

GRAĐEVINSKI FAKULTET
SVEUČILIŠTA U RIJECI



Zbornik radova

XV

Rijeka, 2012.

ZBORNİK RADOVA SVEUČILIŠTA U RIJECI
MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM FLUMINENSIS



**GRAĐEVINSKI FAKULTET
SVEUČILIŠTA U RIJECI**

Izdavač:

Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, Ulica Radmile Matejčić 3

Za izdavača:

Aleksandra Deluka-Tibljaš, dekanica

Glavni i odgovorni urednik:

Željko Arbanas

Tehnička urednica:

Nana Palinić

Lektorica:

Saša Čohar Mančić

Urednički odbor:

Gojko Balabanić
Adriana Bjelanović
Saša Čohar Mančić
Nana Palinić
Vanja Travaš

Adresa uredništva:

Rijeka, Ulica Radmile Matejčić 3

Grafičko rješenje omota:

Alen Karlović, student

Grafička obrada, prijelom i tisak:

Digital IN d.o.o.

Naklada:

250 primjeraka

**ISSN 0350-8552
ISBN 978-953-6953-34-9**

GRAĐEVINSKI FAKULTET
SVEUČILIŠTA U RIJECI

ZBORNİK RADOVA

KNJIGA XV

Rijeka, prosinac 2012.

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI**ZBORNIK RADOVA
KNJIGA XV****Autori:**

Sergije BABIĆ	Jasna KVATERNIK
Adriana BJELANOVIĆ	Morana LALIĆ
Dražen BOŠKOVIĆ	Nataša MIHELČIĆ
Renata BREŠKI	Nino MAHMUTOVIĆ
Mladen BULIĆ	Ivan MAROVIĆ
Nebojša BULJAN	Leo MAVRIĆ
Luka CRNJAK	Dario MEDVEDEC
Jagoda CUPAĆ	Nermina MUJAKOVIĆ
Mateo ČAKARUN	Nevenka OŽANIĆ
Josip ČERVAR	Nana PALINIĆ
Aleksandra DELUKA-TIBLJAŠ	Martina PEŠA
Nevena DRAGIČEVIĆ	Andrej POLIĆ
Ivan DRAŽIĆ	Zoran SKALA
Ivana FUIS	Luka SOKOL
Ivona GUDAC	Ivana SUŠANJ
Suzana ILIĆ	Srđan ŠKUNCA
Barbara KARLEUŠA	Sanja ŠURDONJA
Nataša KOVAČIĆ	Vanja TRAVAŠ
Ljudevit KRPAN	Joško TROŠELJ
Nino KRVAVICA	

RIJEČ DEKANICE

Godina 2012. obilježena je u razvoju Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci prilagodbom na rad u novim prostorima Fakulteta na Kampusu Sveučilišta u Rijeci na Trsatu. Suvremeni prostorni uvjeti, koji omogućavaju koncentrirani rad nastavnika, početak opremanja i rada u laboratorijima i dovoljan broj predavaonica kojim se osigurava optimalan raspored obveza studentima, značajno su unaprijedili kvalitetu rada na Fakultetu i nastavnicima i studentima. Tijekom 2012. godine Fakultet je s uspjehom prošao postupak reakreditacije predviđen Zakonom o osiguravanju kvalitete u znanosti i visokom obrazovanju kojega provodi Agencija za znanost i visoko obrazovanje. U postupku su analizirani različiti aspekti rada na Fakultetu: upravljanje i sustav osiguravanja kvalitete, izvedba studija, kvaliteta nastavnog kadra, kvaliteta znanstveno-istraživačkog rada i međunarodne suradnje kao i postojeći resursi. Svi su navedeni aspekti ocijenjeni pozitivno i Fakultet je dobio potvrdu o ispunjavanju uvjeta za obavljanje djelatnosti visokog obrazovanja i znanstvene djelatnosti.

Nastavljeno je s provedbom Strategije Fakulteta 2011.-2015. temeljem koje je prvi put uveden Fond za unaprjeđenje znanstveno istraživačkog rada na način da je svakom nastavniku i suradniku dodijeljen određeni, za sada skromni, iznos za potrebe financiranja znanstveno-istraživačkih aktivnosti. Nadamo se povećanju Fonda u 2013. godini kao i tome da će uspostavljeni fond pomoći povećanju znanstveno-istraživačkih aktivnosti općenito.

Godina 2012. će na Fakultetu biti zapamćena i po tome što je u toj godini doktoriralo četvero naših djelatnika od kojih troje na doktorskom studiju našega Fakulteta: dr.sc. Goran Volf, dr.sc. Neira Torić-Malić i dr.sc. Dragan Ribarić te jedna djelatnica na Građevinskome fakultetu u Zagrebu: dr.sc. Silvija Mrakovčić.

Tijekom 2012. godine, kao što vidite iz nove knjige našega Zbornika koju imate u rukama, uspješno je proveden poziv za dostavu sažetaka, recenzije i odabir radova za novu, jubilarnu XV knjigu Zbornika radova Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci. Radova je čak 18, a veseli činjenica da se pojedini autori prisutni u prethodnim izdanjima, a koji nisu zaposlenici Fakulteta, sada ponovno javljaju kao autori prepoznajući naš Zbornik kao mjesto na kojem žele publicirati svoja istraživanja.

Zahvaljujem se i čestitam svim autorima radova u Knjizi XV Zbornika radova Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, a posebno onima

koji objavljuju svoj prvi znanstveni ili stručni rad. Na uloženom trudu i podizanju razine kvalitete Zbornika koja se uočava iz godine u godinu zahvaljujem glavnom i odgovornom uredniku, prof.dr.sc. Željku Arbanasu kao i uređivačkom odboru prof.dr.sc. Gojku Balabaniću, prof.dr.sc. Adriani Bjelanović, Saši Čohar Mančić, doc.dr.sc. Nani Palinić i doc.dr.sc. Vanji Travašu.

dekanica
Aleksandra Deluka-Tibljaš

PREDGOVOR

Pred čitateljima je petnaesta po redu knjiga Zbornika radova Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci u kojoj je predstavljeno osamnaest znanstvenih i stručnih radova studenata i djelatnika Fakulteta i drugih znanstvenika i stručnjaka iz područja djelatnosti Fakulteta. Najviše radova u ovoj knjizi izradili su studenti i diplomanti sa svojim mentorima na temu izrađenih diplomskih radova, kao i studenti poslijediplomskih studija koji su sa svojim mentorima i savjetnicima prikazali rezultate svojih istraživanja. U knjizi je objavljeno pet radova iz područja hidrotehnike, tri rada iz područja prometnica, tri rada iz područja organizacije građenja, tri rada iz područja arhitekture i prostornog planiranja, tri rada iz područja konstrukcija i jedan rad iz područja matematike. Veliki interes autora za objavljivanje u Zborniku rezultirao je sa čak 428 stranica u knjizi, najvećem obimu do sada. Cjelokupni tekst Zbornika s radovima u boji dostupan je na priloženom CD-u.

Svi radovi su recenzirani od dva anonimna recenzenta, znanstvenika ili stručnjaka u području sadržaja rada, a u recenziji je sudjelovalo ukupno trideset i dva recenzenta. Postupak recenziranja sigurno je podigao razinu kvalitete radova pa je doprinos recenzenata u postupku završnog sadržaja radova od presudnog značaja. U ovoj knjizi Zbornika radovima je po prvi put dodijeljena kategorija rada od stručnog rada, preko preglednog rada i prethodnog priopćenja sve do izvornog znanstvenog rada. Samo jedan rad ocijenjen je od strane recenzenata i Uredničkog odbora kao izvorni znanstveni rad, dva su rada ocijenjena kao prethodno priopćenje, pet radova svrstano je u kategoriju preglednog rada, a deset u kategoriju stručnog rada. Ovakva kategorizacija pokazala je da su recenzenti bili realni i kritični prema radovima koje su recenzirali. Po prvi put provedena je i klasifikacija radova prema univerzalnoj decimalnoj klasifikaciji (UDK) pa je svakom radu dodijeljen i UDK broj. Radovi su kao i u prethodnim knjigama jezično lektorirani i dodatno provjereni, kako bi se uklonile jezične i tiskarske pogreške. Radovi su na kraju dodatno tehnički uređeni i vizualno uobličeni kroz uređenje prijeloma.

Na kraju ovog Predgovora želim se zahvaliti najprije autorima, bez čijih radova ne bi bilo ove knjige, recenzentima, koji su se pobrinuli za osiguranje kvalitete radova, i članovima Uredničkog odbora. Posebno se zahvaljujem lektorici Saši Čohar Mančić koja je dotjerala radove u jezičnom smislu i našim asistentima koji su uklonili i posljednje preostale pogreške u tekstu, a pogotovo tehničkoj urednici Nani Palinić koja je završno oblikovala knjigu i dala tekstovima novi, kvalitetniji izgled. Sve prethodno navedeno

pokazuje da Zbornik radova postaje, zalaganjem velikog broja sudionika koji sudjeluju u njegovom stvaranju, svake godine sve kvalitetniji u svakom pogledu, što će se, vjerujem, pokazati i kod sljedećeg izdanja.

Glavni i odgovorni urednik
Željko Arbanas

SADRŽAJ

<i>Nataša MIHELČIĆ, Vanja TRAVAŠ</i> Parametrizacija geometrije difuzora	11
<i>Nino KRVAVICA, Suzana ILIĆ</i> Proces podlokavanja temelja na primjeru vjetroelektrana u moru	37
<i>Joško TROŠELJ, Nevenka OŽANIĆ</i> Utjecaj planirane akumulacije Zoretići na mogućnost korištenja voda Rječine	59
<i>Renata BREŠKI, Nevenka OŽANIĆ, Ivana SUŠANJ</i> Regulacija dionice vodotoka Rječine	85
<i>Nevena DRAGIČEVIĆ, Barbara KARLEUŠA, Morana LALIĆ, Ljudevit KRPAN, Zoran SKALA</i> Gospodarenje vodama u cilju osiguranja samoodrživosti otoka	99
<i>Martina PEŠA, Ivana FUIS, Sergije BABIĆ, Nino KRVAVICA</i> Čvorište „Škurinje“ – primjena digitalne aerofotogrametrije u modeliranju slivnih površina.....	125
<i>Luka SOKOL, Srđan ŠKUNCA, Sergije BABIĆ</i> Rekonstrukcija raskrižja „Zamet“ u Rijeci	139
<i>Nataša KOVAČIĆ, Sanja ŠURDONJA, Aleksandra DELUKA-TIBLJAŠ</i> Mogućnosti povezivanja Kampusu Sveučilišta u Rijeci biciklističkim stazama	163
<i>Ivona GUDAC, Ivan MAROVIĆ, Leo MAVRIĆ</i> Upravljanje građevinskom ugovornom dokumentacijom – procesni pristup	183
<i>Dario MEDVEDEC, Dražen BOŠKOVIĆ, Ivan MAROVIĆ</i> Upravljanje javnim infrastrukturnim projektima financiranim iz EU fondova u jedinicama lokalne samouprave	203

<i>Andrej POLIĆ, Dražen BOŠKOVIĆ, Ivan MAROVIĆ</i> Upravljanje projektom gradnje energetske učinkovitih stanova za iznajmljivanje	223
<i>Nana PALINIĆ, Luka CRNJAK</i> Riječki samostan benediktinki – povijest, stanje i prijedlog adaptacije	249
<i>Nana PALINIĆ, Jasna KVATERNIK</i> Kompleks Guvernerove palače u Rijeci – povijest, stanje i prijedlog revitalizacije aneksa	277
<i>Srđan ŠKUNCA</i> Primjena instituta urbanističko-arhitektonskog natječaja u planiranju grada Rijeke od 1993. do 2012. godine	303
<i>Josip ČERVAR, Nebojša BULJAN, Adriana BJELANOVIĆ</i> Sportska dvorana prostorne drvene krovne konstrukcije s radijalnim rešetkastim nosačima i stakleno aluminijskom fasadom	329
<i>Jagoda CUPAĆ, Nebojša BULJAN, Adriana BJELANOVIĆ</i> Stakleno aluminijske fasade – izbor prikladnog konstrukcijskog sustava fasade na primjeru prostorne drvene konstrukcije	357
<i>Mateo ČAKARUN, Mladen BULIĆ</i> Faktori izbočivanja i kritična napreznja pojasnica čeličnih nosača otvorenih poprečnih presjeka.....	385
<i>Nino MAHMUTOVIĆ, Nermina MUJAKOVIĆ, Ivan DRAŽIĆ</i> Newtonova metoda za rješavanje sustava nelinearnih jednadžbi	407

PARAMETRIZACIJA GEOMETRIJE DIFUZORA

PARAMETRIZATION OF MULTI-PORT DIFFUSER GEOMETRY

Nataša MIHELČIĆ*, Vanja TRAVAS*

Sažetak

U radu je prikazan postupak parametrizacije geometrije difuzorske sekcije podmorskog ispusta. Postupkom parametrizacije, koji se ovdje uvodi radi jednostavnijeg opisivanja geometrijskih promjena uzduž difuzora, opisane su geometrijske karakteristike kao što su: promjena poprečnog presjeka difuzora, promjena poprečnog presjeka sapnica na difuzoru te promjena razdaljine između susjednih sapnica. Sve geometrijske promjene su definirane funkcijama nezavisne koordinate položaja na difuzoru (1D opis) i parametara koji opisuju "dinamiku" promjene same geometrijske veličine (parametrizacija). Pritom su parametri geometrije toka odabrani tako da se ne naruše empirijski utvrđeni geometrijski odnosi koji osiguravaju optimalan rad difuzora i podmorskog ispusta. Parametri toka se u tu svrhu adaptiraju kako bi se osigurala minimalno potrebna brzina istjecanja te kako bi protok kroz sapnice difuzora bio ujednačen (jednoliko raspoređen po sapnicama).

Ključne riječi: *podmorski ispust, difuzor, sapnice, parametrizacija*

* Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka
E-mail: {natasamihelcic, vanja.travas}@gradri.hr

Abstract

A parameterization of a multiport diffuser geometry (on a submarine outfall) is presented. The parameterization procedure, which is introduced to specify the geometrical changes along the diffuser, is used to shape geometrical features such as: changes in cross-section of the diffuser, a change in cross-section area of nozzles and changes in the distance between adjacent nozzles. All changes are defined by functions of local coordinates (along the diffuser section) and parameters that are introduced to describe the change in geometry (parameterization). However, the introduced parameters are chosen in such a range so that the empirically determined geometric relationships ensuring the optimal operation of the submarine outfall are preserved. The parameters are used to adapt the shape of a diffuser section, with the aim to ensure necessary minimal flow velocity and to obtain a uniform distribution of flow discharge.

Key words: *outfall, diffuser, nozzles, parameterization*

1. Uvod

Kako bi ispuštanje otpadnih voda u okoliš bilo prihvatljivo, tj. kako bi se minimizirali nepovoljni aspekti kojima ovakva djelatnost utječe na okoliš, potrebno je unaprijed definirati posljedice koje takva aktivnost uzrokuje. Navedeno iziskuje izradu modela za predviđanje pronosa zagađenja i njegove interakcije s prijamnikom. Drugim riječima, potrebno je opisati procese prijenosa, promjene i nakupljanja ispuštene tvari (*effluent*) u prirodni prijamnik (*recipijent*). Pritom, osim očitog miješanja, tj. mehaničke interakcije između efluenta i recipijenta, na dodirnim površinama sudjelujućih fluida mogu se pojaviti i interakcije kemijskog i/ili biološkog podrijetla. Uzimajući navedeno u obzir, cjelovito modeliranje ovakvih sustava je multidisciplinarni zadatak.

Od mnogobrojnih inženjerskih sustava i objekata putem kojih se ispuštaju raznovrsni efluenti tekućeg ali i plinovitog agregatnog stanja [1], u ovome se radu pažnja pridaje samo slučaju ispuštanja pročišćenog kanalizacijskog efluenta u morski recipijent. Štoviše, razmatrat će se samo posebni aspekti navedenog, i to iz perspektive hidrauličke analize toka. Hidrotehnički objekt kojim se provodi ispuštanje otpadnih voda u morski recipijent je *podmorski ispust*. Podmorski ispust se redovito izvodi kao cijev polegnuta na morsko dno. Pritom se, kako bi se postigli prihvatljivi tj. projektom definirani uvjeti miješanja između efluenta i recipijenta, na kraju podmorskog ispusta izvodi *difuzorska sekcija*. Putem adekvatno dimenzioniranih sapnica koje se u današnje vrijeme najčešće izvode kao kružni otvori na difuzorskoj cijevi, difuzorska sekcija ima dva osnovna

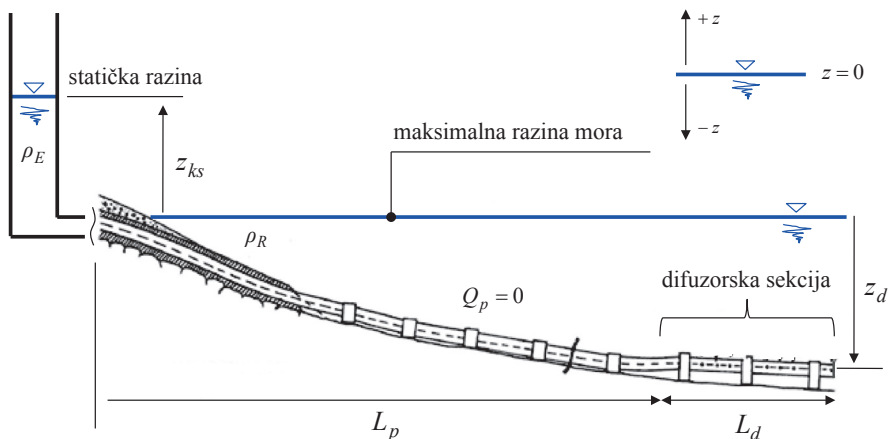
zadatka: (i) osigurati jednoliku raspodjelu protoka po sapnicama te (ii) osigurati da minimalna brzina istjecanja otpadne vode bude veća od unaprijed definirane brzine [2,3]. Ovaj drugi uvjet osigurava dostatan stupanj vrtložnosti, odnosno turbulentno miješanje (te na taj način uzrokuje razrjeđenje). Pritom se miješanje sudjelujućih fluida ne odvija samo na izlazu iz sapnica difuzorske sekcije, već se u stanovitoj mjeri ostvaruje kroz čitavo vrijeme boravka kanalizacijskog efluenta u moru. Uzimajući u obzir silovitost ispuštanja efluenta u more koje se odvija pri brzinama većim od ~ 2.5 m/s [2,4], u ovom se području mehaničke interakcije efluenta i recipijenta ostvaruje maksimalno razrjeđenje koje se, s obzirom na vremenski slijed svih ostalih razrjeđenja, često naziva i *inicijalno razrjeđenje*. Nadalje se, nakon inicijalnog razrjeđenja (koje nastaje u tzv. *bliskom polju*), u takozvanom *tranzitnom* i *dalekom polju miješanja* [1,2,3,5], odvijaju procesi koji su uvjetovani lokalnim atmosferskim i hidrološkim prilikama te stoga u tim područjima nije moguće direktno kontrolirati razrjeđenje. Budući da razrjeđenje efluenta nije reverzibilan proces, stupanj inicijalnog razrjeđenja će posljedično utjecati i na stupnjeve razrjeđenja u tranzitnom i dalekom polju miješanja. Iz svega navedenog slijedi da je difuzorsku sekciju potrebno dimenzionirati uzimajući u obzir projektne zahtjeve dostatnog inicijalnog razrjeđenja.

2. Elementarni hidraulički proračun difuzora

Hidraulički proračun difuzore sekcije provodi se pod pretpostavkom da je strujanje efluenta stacionarno ($\partial v/\partial t=0$), izotermno, da se odvija s potpuno razvijenom turbulencijom te da je morski recipijent nestratificiran ($\partial\rho/\partial z=0$).

2.1. Neoperativno stanje podmorskog ispusta

Pod neoperativnim stanjem podmorskog ispusta se podrazumijeva stanje u kojem je čitav podmorski ispust (uključujući i difuzorsku sekciju) ispunjen kanalizacijskim efluentom u stanju mirovanja. Budući da su na sapnicama difuzorske sekcije efluent i recipijent u dodiru, ovakav se sustav podudara s dobro poznatim hidrauličkim sustavom spojenih posuda [3]. Budući da je gustoća morskog recipijenta najčešće veća od gustoće kanalizacijskog efluenta, rečeno uvjetuje da razina efluenta na ulaznoj strani ispusta mora biti veća od razine mora. U tu svrhu se gradi *nadzemna komora* (slika 1).



Slika 1. Razina efluenta u nadzemnoj komori za neoperativno stanje podmorskog ispusta

Statička se razina efluenta z_{ks} određuje iz uvjeta ravnoteže tlakova na zadnjoj sapnici difuzorske sekcije. Naime, odsustvo gradijenta tlaka uvjetuje da je tlak p_E na zadnjoj sapnici difuzorske sekcije jednak tlaku s druge strane sapnice p_R . Izražavajući tlak putem ekvivalentnog izdizanja vodenog stupca, pod uvjetom da je $\rho_E g (z_{ks} + z_d) = \rho_R g z_d$ (slika 1), slijedi da se statička razina z_{ks} definira izrazom

$$z_{ks} = \frac{z_d (\rho_R - \rho_E)}{\rho_E}. \quad (1)$$

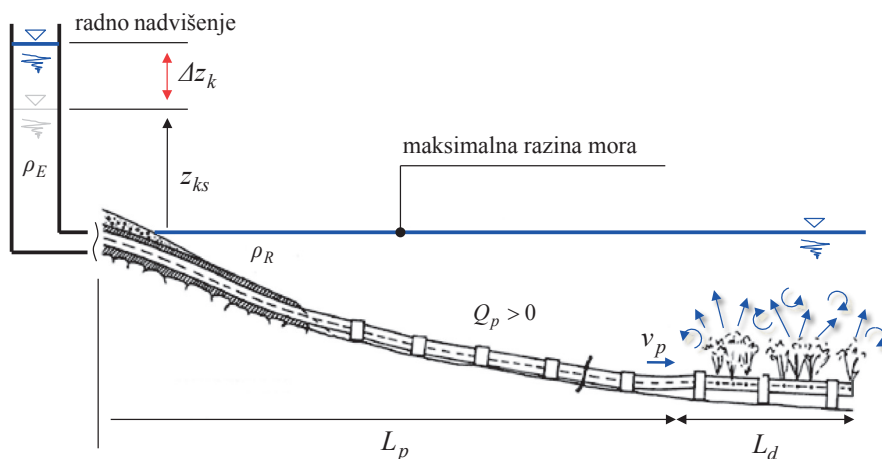
U slučaju da je gustoća morskog recipijenta konstantna i jednaka $\rho_R = 1028 \text{ kg/m}^3$ te gustoća kanalizacijskog efluenta $\rho_E \approx 990 \text{ kg/m}^3$ (kako je i usvojeno u kasnijem primjeru), iz (1) slijedi da je za svaki metar dubine zadnje sapnice na difuzorskoj sekciji uzdignuće efluenta u nadzemnoj komori jednako 3.8 cm.

2.2. Operativno stanje podmorskog ispusta

Operativno stanje podmorskog ispusta je ono stanje u kojem efluent kroz sapnice difuzorske sekcije istječe u recipijent. Za operativno stanje je potrebno odrediti razinu efluenta u nadzemnoj komori z_k tako da se ostvari projektom definirana brzina istjecanja iz sapnica difuzora. Radna razina z_k se definira uzdignućem Δz_k iznad statičke razine z_{ks} (slika 2).

Treba primijetiti da uzdignuće razine Δz_k (slika 2) mora biti takvo da se sve do difuzorske sekcije savladaju linijski i lokalni otpori strujanja te da se pritom još osigura i tlak za postizanje brzine istjecanja koja će omogućiti

potrebno inicijalno razrjeđenje. Dakle, hidraulički proračun difuzorske sekcije započinje definiranjem rubnih uvjeta, tj. vrijednosti brzine toka v_p i tlaka h_p na ulazu u difuzorsku cijev. Pod uvjetom da je strujanje stacionarno, brzina v_p i tlak h_p slijede iz jednadžbi elementarne hidrodinamike tj. iz Bernoullijeve jednadžbe primijenjene na ovakav tlačni sustav. Pritom treba primijetiti da pretpostavka o stacionarnosti toka nije u potpunosti opravdana te da je u vremenu punjenja ili pražnjenja nadzemne komore tok u podmorskom ispustu nestacionaran. Naime, tok se može smatrati stacionarnim jedino u vremenu unutar kojeg je protok kroz difuzorsku sekciju jednak dotoku u nadzemnu komoru.



Slika 2. Razina efluenta u nadzemnoj komori za operativno stanje podmorskog ispusta

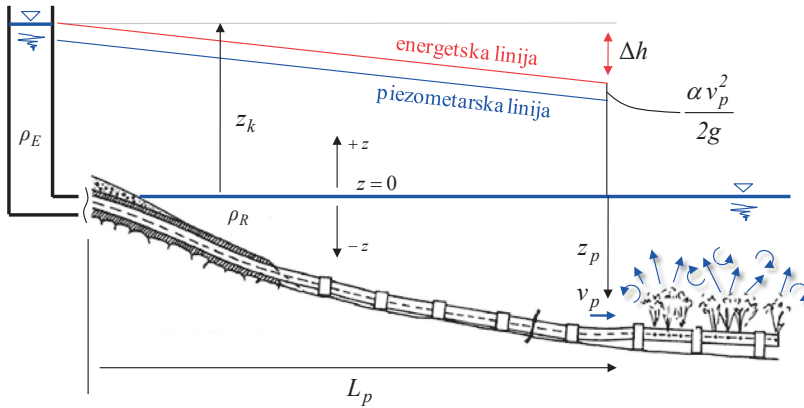
2.3. Brzina v_p na ulazu u difuzor

Uz pretpostavku da je poznata gustoća efluenta ρ_E , gustoća recipijenta ρ_R , geometrija podmorskog ispusta te radna razina efluenta u nadzemnoj komori z_k , brzina v_p na ulazu u difuzorsku sekciju se može izračunati iz Bernoullijeve jednadžbe [6,7,8] napisane za razmatrani tlačni sustav (slika 3). Ukoliko se pretpostavi da je atmosferski tlak jednak nuli te da je brzina vode u nadzemnoj komori zanemarivo mala, jednadžba poprima oblik

$$z_k = -z_p + z_p \frac{\rho_R}{\rho_E} + \frac{\alpha v_p^2}{2g} + \Delta h \Big|_0^{L_p}, \quad (2)$$

gdje je α Coriolisov koeficijent korekcije kinetičke energije, z_k geodetska kota razine efluenta u nadzemnoj komori, z_p geodetska kota podmorskog

ispusta te Δh član energetskih gubitka (u visinskom obliku) nastalih na dužini L_p između nadzemne komore i ulaza u difuzorsku sekciju (slika 1). Kako bi se uvažila razlika u gustoćama recipijenta i efluenta, visinski tlak na desnoj strani (2) se uvećava za faktor korekcije ρ_R/ρ_E .



Slika 3. Energetska i piezometarska linija aktivnog podmorskog ispusta

Uz uvjet da je podmorski ispust konstantnog poprečnog presjeka D_p , brzina v_p je u svakom protočnom profilu između nadzemne komore i difuzorske sekcije jednaka. Ako su lokalni gubici na ulazu u podmorski ispust definirani faktorom otpora ξ_{ul} te linijski gubici Darcyjevim faktorom trenja λ , ukupni energetski gubici Δh (2) se mogu kvantificirati Darcy-Weisbachovom jednadžbom [5]

$$\Delta h = \left(\xi_{ul} + \lambda \frac{L_p}{D_p} \right) \frac{v_p^2}{2g}. \quad (3)$$

Uvrštavajući Δh iz (3) u (2), slijedi jednakost

$$z_k = -z_p + z_p \frac{\rho_R}{\rho_E} + \frac{v_p^2}{2g} + \frac{v_p^2}{2g} \left(\xi_{ul} + \lambda \frac{L_p}{D_p} \right). \quad (4)$$

Ukoliko se uvede supstitucija da je

$$C_p = \left(\xi_{ul} + \lambda \frac{L_p}{D_p} \right), \quad (5)$$

brzina v_p iz (1) poprima oblik

$$v_p = \sqrt{\frac{2g \left(z_k + z_p - z_p \frac{\rho_R}{\rho_E} \right)}{1 + C_p}}. \quad (6)$$

Treba primijetiti da brzinu v_p nije moguće eksplicitno odrediti iz (6) jer član C_p zavisi o istoj brzini v_p (implicitna jednačba). Naime, navedena zavisnost se očituje putem Darcyjevog koeficijenta trenja λ koji je eksplicitno ovisan o Reynoldsovom broju Re tj. o brzini strujanja. Slijedom navedenog, proračun brzine v_p iziskuje iterativni postupak. Iterativna shema se najčešće provodi tako da se u prvom iteracijskom ciklusu $k = 1$ usvoji da nema energetskih gubitaka Δh , čime se brzina v_p iz (6) reducira na

$$v_p = \sqrt{2g \left(z_k - z_p - z_p \frac{\rho_R}{\rho_E} \right)}. \quad (7)$$

S ovakvom aproksimacijom brzine v_p u istom se iteracijskom ciklusu provodi proračun za određivanje pripadajućih lokalnih i linijskih gubitaka Δh . Osim poznavanja geometrijskih i kinematičkih veličina toka (3), u svrhu definiranja Δh je potrebno kvantificirati i Darcyjev koeficijenta trenja λ . Procjena vrijednosti koeficijenta λ se najčešće provodi pod pretpostavkom da se tok u podmorskom ispustu odvija u režimu potpuno razvijene turbulencije. U tom slučaju je λ ovisan o Reynoldsovom broju Re i hrapavosti stijenke cjevovoda ε . Kako se relativna hrapavost stijenke podmorskog ispusta ε/D_p najčešće kreće u granicama od 10^{-6} do 10^{-2} te kako je brzina toka takva da Re varira u rasponu od 5000 do 10^8 , za razmatrani slučaj je opravdano koeficijent λ kvantificirati Swamee-Jainovom jednačbom [6,7]

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D_p} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}. \quad (8)$$

Nakon što su se za tekući iteracijski ciklus definirali energetski gubici Δh (3), istim tim Δh se u narednom iteracijskom ciklusu pristupa novom proračunu brzine v_p (6). Iteracijski ciklusi se nastavljaju sve dok razlike između brzina v_p u dva susjedna iteracijska ciklusa ne postanu zanemarivo male. Najčešće se konvergencija ostvaruje relativno brzo (već nakon par iteracijskih ciklusa), što prvenstveno zavisi o geometrijskim karakteristikama podmorskog ispusta. Osim navedenog, treba primijetiti da brzina na ulazu u difuzor zavisi i o geometrijskim karakteristikama samoga difuzora. Stoga je problem dimenzioniranja implicitan i zahtijeva kompletno fiksiranje geometrije difuzora te njezino naknadno mijenjanje tj. adaptiranje (u sklopu iteracija). Navedeno se provodi kako bi brzine toka u difuzorskoj cijevi bile veće od minimalne dozvoljene brzine kod koje nastupa taloženje tvari.

2.4. Tlak h_p na ulazu u difuzor

Za strujanje tekućina u tlačnim sustavima (kao što je i razmatrani slučaj strujanja efluenta kroz podmorski ispust), piezometarska linija je paralelna s energetsom linijom (slika 3) i udaljena od nje za vrijednost brzinske visine $\alpha v^2/2g$. Kako slijedi iz prikazanog, tlak na ulazu u difuzorsku sekciju se može odrediti iz geometrijskih odnosa ilustriranih na slici 3. Drugim riječima, kota piezometarske linije h_p na ulazu u difuzorsku sekciju je definirana inicijalnim visinskim tlakom $z_k + z_p$ umanjenim za energetske gubitke Δh i brzinsku visinu $\alpha v^2/2g$ (9).

$$h_p = (z_k + z_p) - \Delta h - \frac{\alpha v_p^2}{2g}. \quad (9)$$

Sada se poznate veličine tlaka h_p (9) i brzine v_p (6) mogu shvatiti kao rubni uvjeti korištenjem kojih se treba ustanoviti zadovoljava li unaprijed zadana geometrija sapnica i difuzorske sekcije (domena toka) kriterije postavljene projektom, tj. zahtjevom za dostatno inicijalno razrjeđenje efluenta [9,10,11].

2.4.1. Numerički algoritam

S obzirom na to da su razlozi istjecanja efluenta iz sapnica za sve sapnice jednaki (gradijent tlaka u difuzorskoj cijevi), moguće je formirati jezgrovit proračunski obrazac (numerički algoritam) po kojem će se zasebno analizirati tok iz svake sapnice. Drugim riječima, uzimajući u obzir smjer strujanja efluenta, istjecanje iz svake sapnice će biti ovisno samo o tlaku i brzini efluenta u njenoj neposrednoj uzvodnoj blizini. Redoslijed definiranja varijabli toka iz sapnica prati redoslijed strujanja efluenta, a započinje prvom sapnicom za koju su poznate veličine v_p (6) i h_p (9) na ulazu u difuzorsku sekciju. Kako bi se formirao numerički algoritam za N broj sapnica, uvodi se indeksacija istih. Na taj način svaki proračunski korak posjeduje prostornu koordinatu (i) u kojoj su poznati brzina $v_{d(i)}$ i tlak $h_{d(i)}$ u difuzorskoj cijevi, koordinatu ($i+$) u kojoj je nepoznata brzina toka iz sapnice te koordinatu ($i+1$) na kojoj se nalazi nizvodna susjedna sapnica ispod koje je nepoznat tlak $h_{d(i+1)}$ i brzina $v_{d(i+1)}$ efluenta. Analogno prijašnje uvedenim oznakama te uvažavajući ustaljenu praksu da je $\alpha = 1$, Bernoullijeva jednadžba napisana za dvije točke na istoj strujnici od kojih se jedna nalazi ispod sapnice (i) u difuzorskoj cijevi, a druga na izlazu iz sapnice ($i+$), poprima oblik

$$z_{d(i)} + h_{d(i)} + \frac{\alpha v_{d(i)}^2}{2g} = z_{s(i+)} + h_{s(i+)} \frac{\rho_r}{\rho_e} + \frac{\alpha v_{s(i+)}^2}{2g} + \Delta h \Big|_i^{i+}, \quad (10)$$

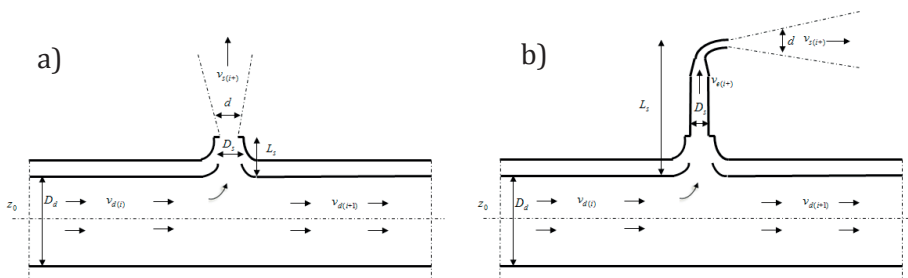
gdje je s h_d označen tlak u visinskom obliku u difuzoru, a s h_s tlak u istom obliku, ali na izlazu iz sapnice. Usvoji li se da je sapnica izvedena u vidu otvora u difuzorskoj cijevi, vertikalni odmak između osi difuzora $z_{d(i)}$ i kote sapnice $z_{s(i+)}$ može se zanemariti, čime se (10) reducira na oblik

$$h_{d(i)} + \frac{\alpha v_{d(i)}^2}{2g} = h_{s(i+)} \frac{\rho_R}{\rho_E} + \frac{\alpha v_{s(i+)}^2}{2g} + \xi_{iz} \frac{v_{s(i+)}^2}{2g}, \quad (11)$$

u kojem je sa ξ_{iz} označen koeficijent gubitaka na izlazu iz sapnice. Kako su tlak na izlazu iz sapnice $h_{s(i+)}$ te brzina $v_{d(i)}$ i tlak $h_{d(i)}$ u difuzoru poznati, slijedi da je

$$v_{s(i+)} = \sqrt{\left(\left(h_{d(i)} + \frac{v_{d(i)}^2}{2g} - h_{s(i+)} \frac{\rho_R}{\rho_E} \right) / (1 + \xi_{iz}) \right) 2g}. \quad (12)$$

Za razliku od ranije (6), jednadžba (12) je eksplicitna, tj. nije potreban iterativni postupak za izračunavanje brzine v_s na izlazu iz sapnice. Navedeno slijedi iz činjenice da ovakav tip sapnice (slika 4a) ne generira linijske gubitke. Pritom je za sapnice s elongacijom (slika 4b) potrebno definirati i linijske gubitke, što će posljedično kao i ranije (6) zahtijevati stanoviti niz iteracijskih ciklusa za definiranje izlazne brzine efluenta v_s .



Slika 4. Presjek sapnice a) bez elongacije i b) s elongacijom

Nakon što se definira izlazna brzina iz sapnice $v_{s(i+)}$ (12), potrebno je odrediti brzinu $v_{d(i+1)}$ i tlak $h_{d(i+1)}$ u nizvodnoj koordinati $(i+1)$ kako bi se definirali rubni uvjeti za proračun sljedeće sapnice $(i+2)$. U tu svrhu se putem jednadžbe kontinuiteta može uspostaviti jednakost

$$v_{d(i)} A_{d(i)} = v_{s(i+)} A_{s(i+)} + v_{d(i+1)} A_{d(i+1)} \quad (13)$$

iz koje slijedi da je

$$v_{d(i+1)} = \frac{v_{d(i)} A_{d(i)} - v_{s(i+)} A_{s(i+)}}{A_{d(i+1)}}. \quad (14)$$

Dobro je obratiti pozornost na to da je u (14) ostavljena mogućnost da susjedni poprečni presjeci difuzora $A_{d(i)}$ i $A_{d(i+1)}$ ne moraju nužno biti jednaki. Naime, pokaže li se za to potreba, difuzorska se cijev može progresivno reducirati u promjeru te će tada susjedni poprečni presjeci imati različite veličine. Iako se zbog definiranja tlaka $h_{d(i+1)}$ na istome mjestu posljedice navedenog najčešće zanemaruju, uvodi se pretpostavka da je između dva susjedna profila, tj. dvije susjedne sapnice, brzina konstantna. U tom se slučaju tlak $h_{d(i+1)}$ može definirati u obliku

$$h_{d(i+1)} = h_{d(i)} - \Delta h \Big|_i^{i+1} + \Delta h_s, \quad (15)$$

gdje je $h_{d(i)}$ tlak u koordinati (i) , Δh gubitak visinskog tlaka između koordinate (i) i koordinate $(i+1)$, definiran Darcy-Weisbachovom jednadžbom

$$\Delta h \Big|_i^{i+1} = \lambda \frac{L_d \Big|_i^{i+1}}{D_{d(i+1)}} \frac{v_{d(i)}^2}{2g} \quad (16)$$

te je Δh_s prirast u visinskom tlaku nastao uslijed redukcije poprečnog profila difuzora od koordinate (i) do koordinate $(i+1)$. Iz geometrijskog odnosa kota piezometarske linije ispred i iza sapnice (i) , slijedi da je

$$\Delta h_s = h_{d(i+1)} - h_{d(i)}. \quad (17)$$

Iz Bernoullijeve jednadžbe napisane za iste presjeke u obliku

$$h_{d(i)} + \frac{v_{d(i)}^2}{2g} = h_{d(i+1)} + \frac{v_{d(i+1)}^2}{2g} + \Delta h, \quad (18)$$

slijedi da je

$$\Delta h_s = \frac{v_{d(i)}^2}{2g} - \frac{v_{d(i+1)}^2}{2g} - \Delta h. \quad (19)$$

Ako je lokalni gubitak energije Δh definiran kao

$$\Delta h = \frac{(v_{d(i)} - v_{d(i+1)})^2}{2g} \xi_{lok}, \quad (20)$$

(17) se može napisati u obliku

$$\Delta h_s = \frac{v_{d(i)}^2}{2g} - \frac{v_{d(i+1)}^2}{2g} - \frac{(v_{d(i)} - v_{d(i+1)})^2}{2g} \xi_{lok}. \quad (21)$$

Ekspandirajući treći član desne strane (21), slijedi da je

$$\Delta h_s = \frac{v_{d(i)}^2}{2g} - \frac{v_{d(i+1)}^2}{2g} - \frac{v_{d(i)}^2}{2g} \xi_{lok} + \frac{2v_{d(i)}v_{d(i+1)}}{2g} \xi_{lok} - \frac{v_{d(i+1)}^2}{2g} \xi_{lok} \quad (22)$$

te nakon sređivanja članova,

$$\Delta h_s = \frac{v_{d(i)}^2}{2g} (1 - \xi_{lok}) - \frac{v_{d(i+1)}^2}{2g} (1 + \xi_{lok}) + \frac{2v_{d(i)}v_{d(i+1)}}{2g} \xi_{lok}. \quad (23)$$

U slučaju da nema lokalnih gubitaka, (23) se može reducirati na oblik

$$\Delta h_s = \frac{v_{d(i)}^2}{2g} - \frac{v_{d(i+1)}^2}{2g}, \quad (24)$$

iz čega slijedi da je [8]

$$\Delta h_s = \frac{(v_{d(i)}^2 - v_{d(i+1)}^2)}{2g}. \quad (25)$$

Za unaprijed definiranu geometriju difuzora i rubne uvjete (v_p i h_p), prikazani skup jednažbi definira numerički algoritam za proračun brzine istjecanja v_s iz sapnica difuzora. U svrhu izrade numeričkih primjera te kvalitativnu validaciju algoritama, isti je implementiran u programskom paketu *Mathcad 14*. U skladu s programskom sintaksom, rezultirajući programski kod je prikazan na slici 5 [7]. Dobro je primijetiti da algoritam sadrži i prateće komentare, pisane s namjerom da se olakša prepoznavanje veze između programske sintakse i prijašnje navedenih jednažbi. Osim navedenog, prikazani numerički algoritam (slika 5) ima za zadatak i ilustrirati kronologiju rješavanja jednažbi. Dakle, za koordinate (i) i ($i+1$), numerički algoritam definira brzinu istjecanja iz sapnice ($i+$), protok kroz istu sapnicu te protok kroz difuzorsku sekciju na koordinati ($i+1$). U nastavku se isti algoritam koristi kao podloga za uvođenje parametrizacije geometrije strujanja, tj. parametrizacije geometrije difuzorske sekcije. Osim kinematičkih veličina, u tu je svrhu na analogni način provedena i indeksacija geometrijskih veličina kao što su promjer difuzora i sapnica.

```

difuzor:= " INICIJALIZACIJA "
vD1 ← vp
hD1 ← hp
QD1 ← Qp
for i ∈ 1 .. br_sapnica
  " PROTOK KROZ SAPNICU i "
  ξsap ← csap ·  $\frac{(vD_i)^2}{2 \cdot g \cdot hD_i}$ 
  vSi ←  $\sqrt{\frac{hD_i + \frac{(vD_i)^2}{2 \cdot g} - \left[ zS_i \cdot \frac{\rho R}{\rho E} \right] \cdot 2 \cdot g}{1 + \xi_{sap}}}$ 
  QSi ← vSi ·  $\frac{(DS_i)^2 \cdot \pi}{4}$ 
  " PROTOK KROZ DIFUZOR IZA SAPNICE i "
  if i < br_sapnica
    " BRZINA IZA SAPNICE i (JED. KON.) "
    vDi+1 ←  $\frac{\left[ vD_i \cdot \frac{(DD_i)^2 \cdot \pi}{4} \right] - \left[ vS_i \cdot \frac{(DS_i)^2 \cdot \pi}{4} \right]}{\frac{(DD_{i+1})^2 \cdot \pi}{4}}$ 
    QDi+1 ← vDi+1 ·  $\frac{(DD_{i+1})^2 \cdot \pi}{4}$ 
    " koeficijent trenja između sapnice i i i+1 "
    Re ←  $\frac{vD_{i+1} \cdot DD_{i+1}}{\nu E}$ 
    λ ←  $\frac{0.25}{\left( \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7 \cdot DD_{i+1}} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$ 
    " ENERGETSKI GUBICI DO SAPNICE i+1 "
    ΔhD ←  $\left[ \lambda \cdot \frac{dL_{i+1}}{DD_{i+1}} \cdot \frac{(vD_{i+1})^2}{2 \cdot g} \right]$ 
    ΔhS ←  $\frac{vD_{i+1} \cdot (vD_i - vD_{i+1})}{g}$ 
    " PIEZOMETARSKA RAZINA ISPRED SAPNICE i+1 "
    hDi+1 ← hDi + ΔhS + ΔhD
  out(i) ← (vSi QSi vDi hDi QDi)T
out

```

Slika 5. Numerički algoritam napisan u programskom paketu MathCAD 14

3. Parametrizacija geometrije

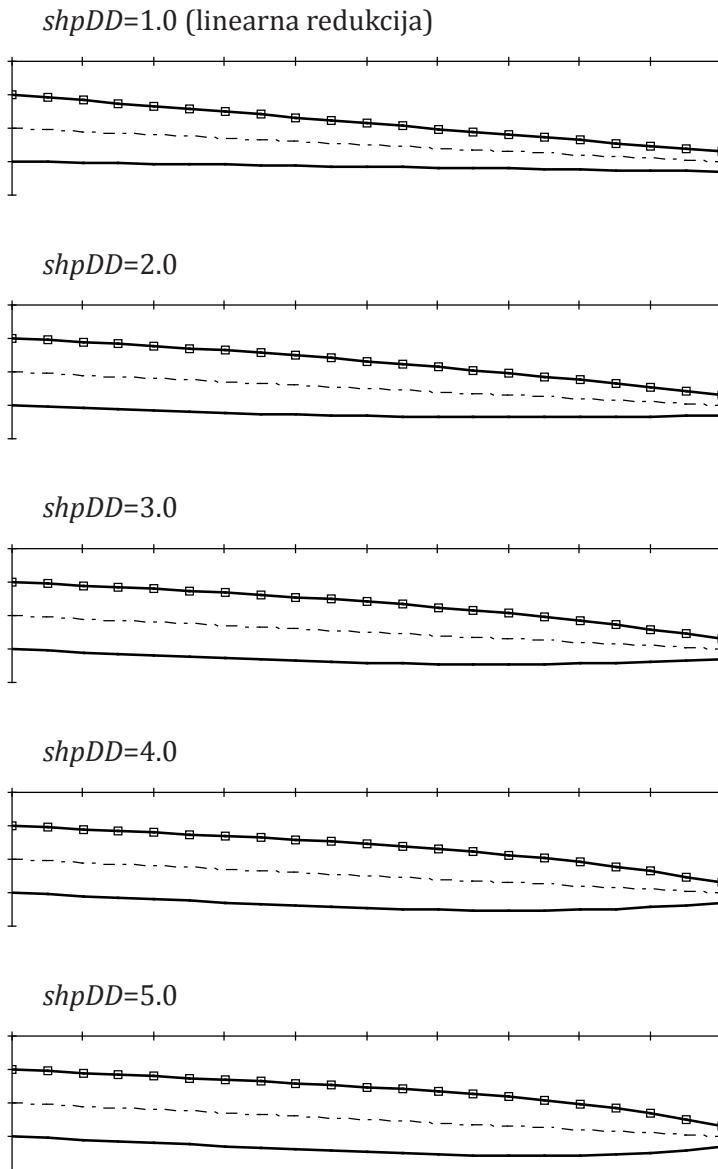
Kako bi se ostvarilo potrebno inicijalno razrjeđenje definirano prethodnim radnjama, difuzorsku sekciju potrebno je dimenzionirati kako bi se zadovoljili uvjeti jednolike raspodjele protoka po sapnicama i minimalne brzine istjecanja. Dakle, dimenzioniranje difuzorske sekcije podrazumijeva definiranje sljedećih geometrijskih veličina: promjer difuzorske cijevi $D_{d(i)}$, promjer sapnica $D_{s(i)}$ i razmak između sapnica (koji se najčešće usvaja kao ekvidistantan). Proces dimenzioniranja se provodi kroz stanoviti niz iteracija unutar kojih se putem sukcesivnih redefiniranja geometrije difuzorske cijevi postepeno prilazi traženim geometrijskim karakteristikama iste. Kako bi se ispitala mogućnost jednostavnijeg redefiniranja geometrije difuzorske cijevi, ista se u ovome radu nastojala opisati s tri parametra. Drugim riječima, geometrijski odnosi koji će se ovim putem parametrizirati su: promjer difuzorske sekcije $D_{d(i)}$ i promjeri sapnica $D_{s(i)}$ te razmak između susjednih sapnica.

3.1. Parametrizacija promjera difuzora

Promjer difuzorske cijevi jedan je od čimbenika koji bitno utječu na cijenu iste. Kako bi se navedeno donekle opravdalo, treba navesti da se progresivna redukcija poprečnog profila difuzorske cijevi najčešće koristi kao geometrijska adaptacija provedena s namjerom da se postigne jednolik raspored protoka po sapnicama (te uvjet minimalne brzine istjecanja). Nakon što su se definirali sukcesivni profili difuzorske cijevi, pristupa se spajanju takvih segmenta. Naime, progresivna redukcija se u praksi postiže tako da se putem fazonskih komada stupnjevito spajaju cijevi različitog promjera i dužina. Spojevi se najčešće izvode varovima te se na taj način i poskupljuje izrada difuzorske sekcije. Parametrizacija ovakve geometrije bi u najmanju ruku iziskivala broj parametara jednak broju redukcija profila difuzora te se na taj način ne bi uvele dodatne pogodnosti koje parametrizacija može unijeti. Stoga će se, budući da se ovdje razmatra samo ideja o uvođenju parametrizacije, u nastavku geometrija difuzorske cijevi parametrizirati nekom glatkom i neprekinutom funkcijom. Funkcija koja se koristi u tu svrhu jest

$$dDdx(i) = (DD_L - DD_0)i^{shpDD} + DD_0, \quad (26)$$

u kojoj je $dDdx(i)$ promjer difuzora na koordinati i te $shpDD$ parametar kojim se definira prijelaz s inicijalnog promjera cijevi DD_0 na zadnji promjer cijevi DD_L . Slika 6 prikazuje set uzdužnih presjeka tako definiranih difuzora.



Slika 6. Primjeri redukcije promjera difuzorske sekcije s (26).

Uzimajući u obzir prethodne činjenice, ovakav prikaz geometrije difuzorske cijevi predstavlja samo (bolju ili lošiju) aproksimaciju iste. Drugim riječima, jasno je da se tako zanemaruju lokalni gubici na fazonskim komadima između spojenih sekcija. Kako je prikazano na slici 6, na ovaj je način relativno jednostavno adaptirati kontrakciju

difuzora. Treba skrenuti pozornost na to da je s (26) geometrija difuzora opisana jednoparametarskim geometrijskim modelom te je na taj način opis limitiran. Štoviše, s (26) se mogu opisati samo stanovite varijacije u geometriji difuzora pa će se u nastavku ispitati njihov odraz na hidrauličke parametre toka.

3.2. Parametrizacija promjera sapnica

Kako bi se postigao jednoliki raspored protoka efluenta kroz sapnice (tj. jednoliko razrjeđenje) te radi neminovnog opadanja brzine istjecanja $v_{s(i+)}$ u smjeru toka, razlike u protocima se najčešće nastoje kompenzirati progresivnim povećavanjem protočne površine sapnica $D_{s(i+)}$. Gotovo analogno varijaciji promjera difuzora (26), promjene u promjerima sapnica se stoga definiraju sličnom funkcijom kao i ranije. Dakle, promjer sapnice $dSdx(i)$ na lokalnoj koordinati i (0 do 1) je definiran funkcijom

$$dSdx(i) = (DS_L - DS_0)i^{shpDS} + DS_0, \quad (27)$$

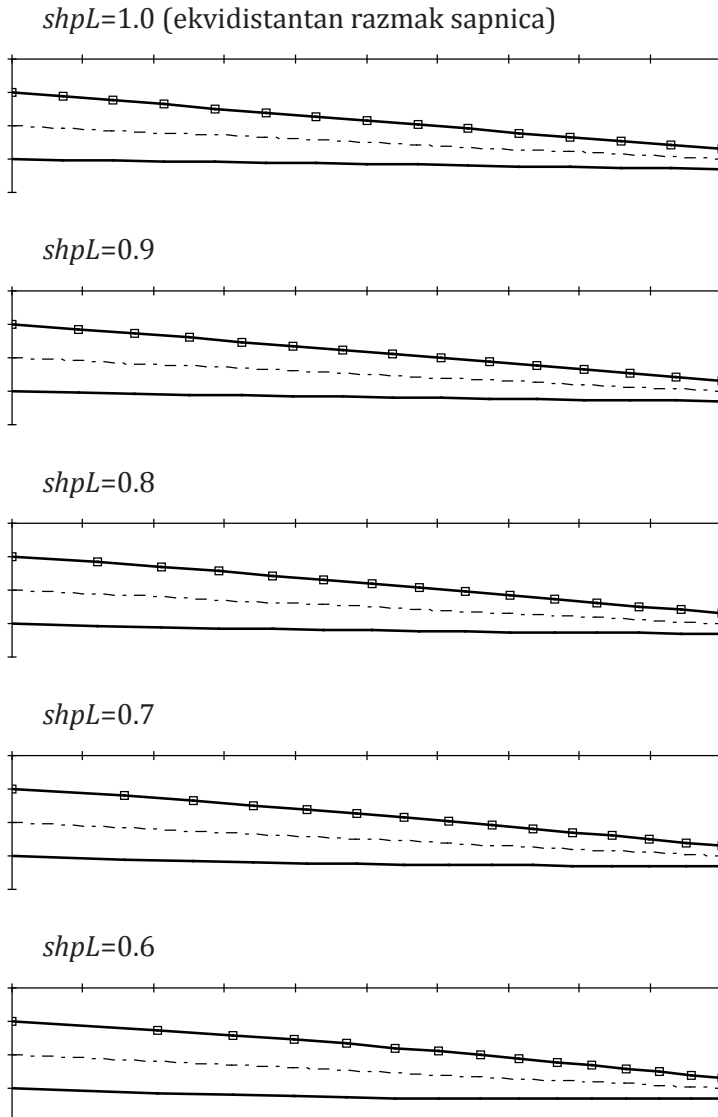
gdje je DS_0 promjer prve sapnice, DS_L promjer zadnje sapnice na difuzorskoj cijevi i $shpDS$ parametar tranzicije promjera sapnica. Isto kao i ranije (26), za $shpDS = 1$ se ostvaruje linearna interpolacija promjera sapnica. U slučaju da je $shpDS > 1$, značajniji je prirast promjera sapnica na kraju difuzorske cijevi, a u slučaju da je $shpDS < 1$, definiran je manje interesantan slučaj geometrijske adaptacije, a to je značajniji porast promjera sapnica na početku difuzorske sekcije. Naravno, ako su promjeri prve DS_0 i zadnje sapnice DS_L jednaki te ako je parametar $shpDS = 1$, sve sapnice imaju jednaki promjer D_s . Upravo ova posljednja kombinacija parametara predstavlja najčešći izbor za inicijalizaciju dimenzioniranja difuzorske cijevi.

3.3. Parametrizacija razmaka sapnica

Parametrizacija promjera sapnica je atipični slučaj geometrijske adaptacije difuzorske cijevi i ovdje se uvodi samo u ilustrativne svrhe. Smanjivanjem razmaka sapnica (kako se prilazi kraju difuzora) smanjuju se i ukupni linijski gubici te osiguravaju veće izlazne brzine efluenta. Da bi se zadala promjenjiva razdaljina sapnica, ovdje se koristi eksponencijalna funkcija s eksponentom $shpL$. Uzimajući u obzir veličinu eksponenta $shpL$, relativni razmak $dLdx(i)$ između sapnice (i) i njene susjedne sapnice ($i+1$) određuje se po funkciji

$$dLdx(j) = j^{shpL}. \quad (28)$$

U slučaju da se usvoji $shpL = 1$, sapnice će biti ekvidistantno razmaknute. S druge strane, tj. u slučaju da je $shpL < 1$, razmak između sapnica će se povoljno smanjivati prema kraju difuzorske cijevi. Nekoliko ovakvih primjera sapnica je prikazano u nastavku (slika 7). Treba naglasiti da nije poželjno da parametar $shpL$ bude veći od 1 jer se u tom slučaju sapnice razmiču na nepovoljan način.



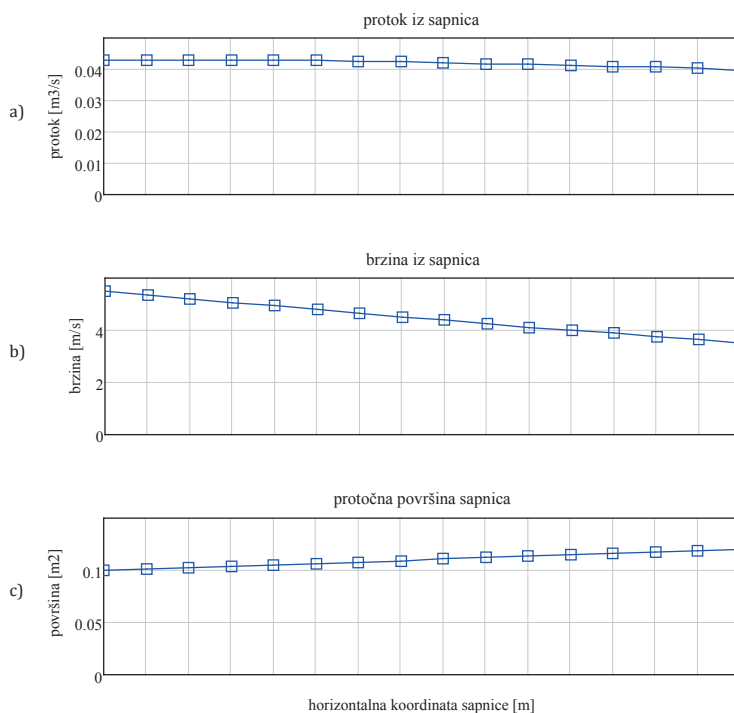
Slika 7. Primjeri redukcije razmaka susjednih sapnica sa (28).

4. Numerički primjer

U nastavku se razmatra slučaj podmorskog ispusta definiranog sljedećim geometrijskim karakteristikama: dubina podmorskog ispusta $z_p = -5$ m.n.m., dužina podmorskog ispusta $L_p = 150$ m, promjer podmorskog ispusta $D_p = 0.45$ m (promjer podmorskog ispusta jednak je promjeru difuzora), apsolutna hrapavost stjenke ispusta $\varepsilon = 0.0001$ m i koeficijent lokalnog gubitka na ulazu u ispušt $\xi_{lok} = 0.018$.

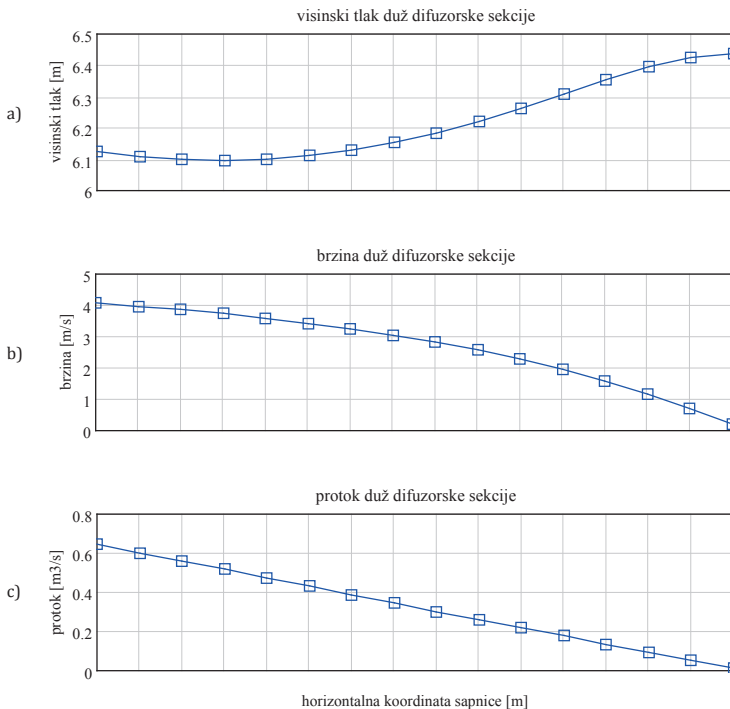
Difuzorska sekcija se definirala sljedećim veličinama: dužina difuzorske sekcije $L_d = 30$ m, broj sapnica $i_n = 16$, dubina prve sapnice $z_p = -5$ m.n.m., dubina zadnje sapnice $z_d = -6$ m.n.m., inicijalni promjer difuzorske cijevi $DD_0 = D_p$, završni promjer difuzorske cijevi $DD_L = 0.3$ m, parametar $shpDD = 1$, promjer prve sapnice $DS_0 = 0.1$ m, promjer zadnje sapnice $DS_L = 0.12$ m, parametar $shpDS = 1$, parametar $shpL = 1$ te lokalni koeficijent gubitaka na sapnici $\xi_{sap} = 0.72$.

U nastavku su prikazane prostorne promjene odabranih hidrauličkih veličina za definiranu geometriju difuzora i parametre toka. Na taj način, slika 8a prikazuje distribuciju protoka iz sapnica difuzorske sekcije, a slika 8b prikazuje raspored izlaznih brzina iz sapnica.



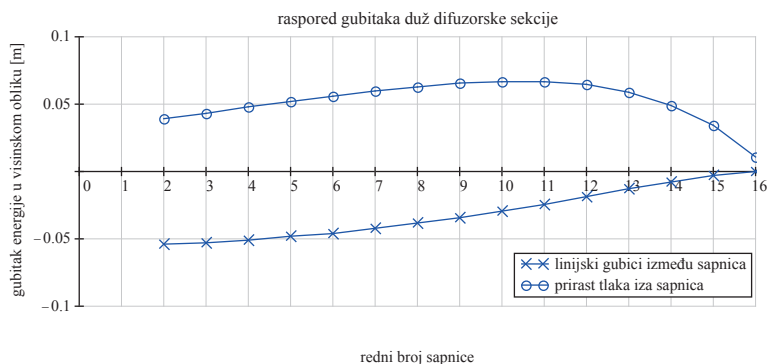
Slika 8. Raspored a) protoka, b) brzina istjecanja i c) površine sapnica.

Treba primijetiti da se za usvojene parametre toka protok iz sapnica rasporedio gotovo jednoliko po sapnicama (slika 8a). Ovakav raspored izlaznih protoka slijedi iz činjenice da su nagib opadanja brzine uzduž difuzora (slika 8b) i nagib porasta protočne površine sapnica (slika 8c) zrcalno simetrični. Drugim riječima, kako brzina opada, protočna se površina sapnica povećava zbog očuvanja protoka. Za usvojenu geometriju i parametre toka može se zaključiti da je ovakva geometrija difuzorske sekcije prihvatljivo dimenzionirana jer ispunjava zahtjev jednolikog protoka po sapnicama i minimalne izlazne brzine. Na slici 9a je za iste parametre toka prikazan tlak duž difuzorske sekcije. Kako se može primijetiti, tlak se progresivno povećava kako se tok efluenta približava kraju difuzorske cijevi. Dobiveni dijagram je kvalitativno isti kao i oni koji se mogu pronaći u literaturi [10]. Obrnuto od tlaka, brzina opada nelinearno kako se tok približava kraju difuzorske sekcije (slika 9b). Treba primijetiti i da se protok u difuzorskoj cijevi smanjuje linearno. Ovakvo opadanje protoka je posljedica linearnog opadanja brzine toka, ali i linearne redukcije poprečnog presjeka difuzorske cijevi i slijedi kao posljedica dobrog dimenzioniranja sapnica (slika 8a).



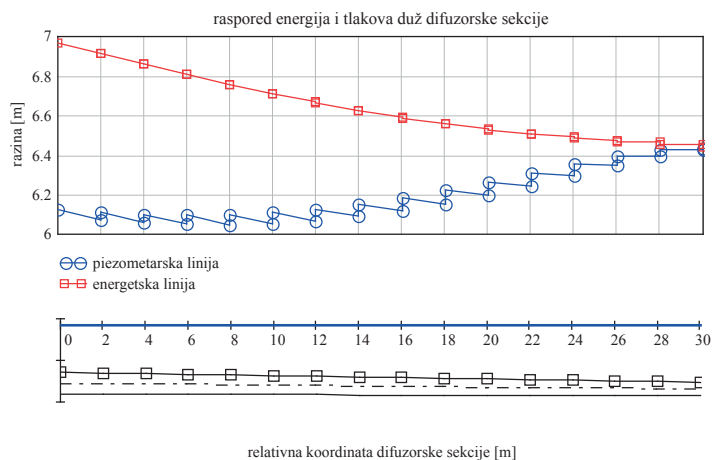
Slika 9. Raspored a) tlaka, b) brzine i c) protoka duž difuzora

Raspored gubitaka energije i prirasta tlaka duž difuzorske sekcije prikazan je na slici 10. Na ordinati se nalazi visinski oblik tlaka Δh , a na apscisi relativna koordinata sapnica na difuzoru. Za razmatranu geometriju difuzora i rubne uvjete toka, prirast tlaka na sapnicama raste do dotične mjere nakon koje opada različitim gradijentom. Ovakav gradijent tlaka je posljedica promjene geometrije difuzorske cijevi, ali i promjene parametara toka.



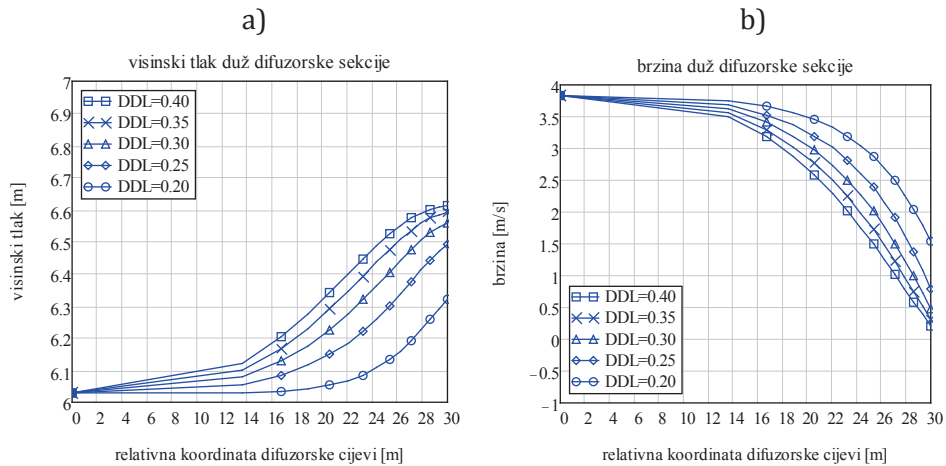
Slika 10. Raspored gubitaka energije i prirasta tlaka duž difuzorske sekcije

Raspored energija i tlakova prikazan je na slici 11. Za razliku od linije energije, piezometarska linija raste od početka prema kraju difuzorske sekcije. Osim navedenog, dobro je i obratiti pažnju na skicu difuzora ispod linije energije i piezometarske linije. Naime, u razmatranom se slučaju može uočiti linearna redukcija profila difuzora.



Slika 11. Raspored energija i tlakova duž difuzora

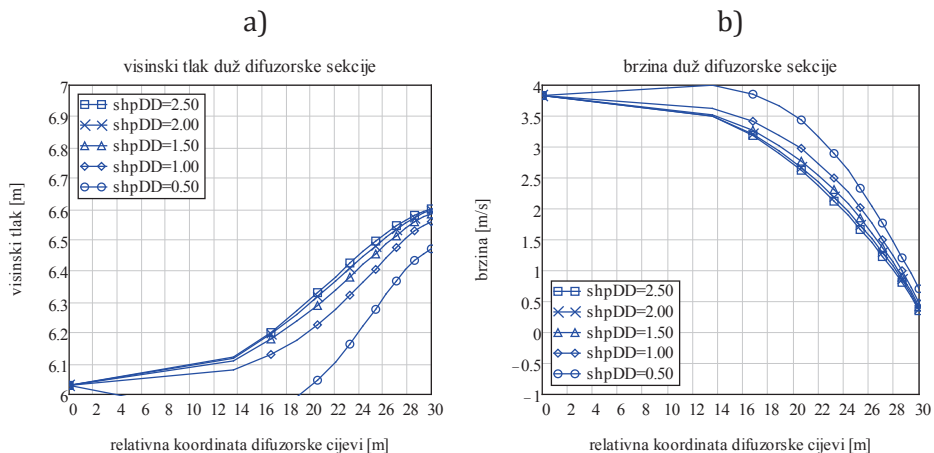
U nastavku će se za iste geometrijske odnose i parametre toka ispitati utjecaj promjene završnog profila difuzorske sekcije. Između prvog promjera difuzora DD_0 i završnog promjera DD_L (koji se ovom prilikom mijenja), usvaja se linearna promjena geometrije, tj. $shpDD = 1$. Ispitani raspon profila DD_L kreće se od minimalne vrijednosti 0.2 m do maksimalne vrijednosti 0.4 m u inkrementima od 0.1 m. Rezultati analize prikazani su u vidu rasporeda tlaka i brzine strujanja u difuzorskoj sekciji (slika 12).



Slika 12. Raspored tlakova i brzina za različite veličine promjera DD_L

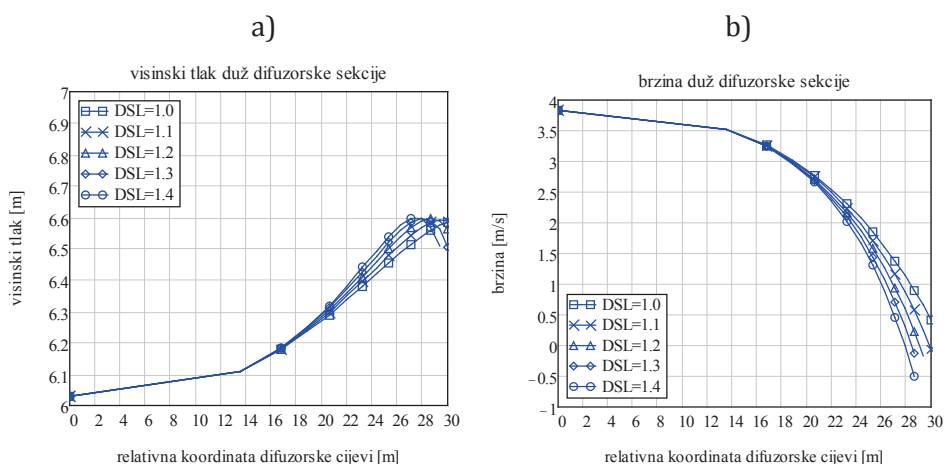
Kako je i bilo za očekivati, razvidno je da redukcijom završnog profila difuzora tlak u istom pada kao posljedica porasta brzine toka. U nastavku će se usvojiti krajnja vrijednost promjera difuzora $DD_L = 0.3$ m te ispitati značaj nelinearne redukcije poprečnog presjeka. Drugim riječima, svi parametri toka ostaju nepromijenjeni, a mijenja se samo parametar $shpDD$. Vrijednosti parametra $shpDD$ se ispituju u intervalu od 2.5 do 0.5. Slika 13a i slika 13b prikazuju utjecaj parametra $shpDD$ na brzinu i tlak u difuzorskoj sekciji.

Kako je prikazano na slici 13a, parametar $shpDD$ ima utjecaj na raspored tlakova uzduž difuzora pa se može koristiti za adaptaciju geometrije istog. Otežavajuća okolnost u navedenom slijedi iz nelinearne veze parametra $shpDD$ i rasporeda tlakova u difuzoru.



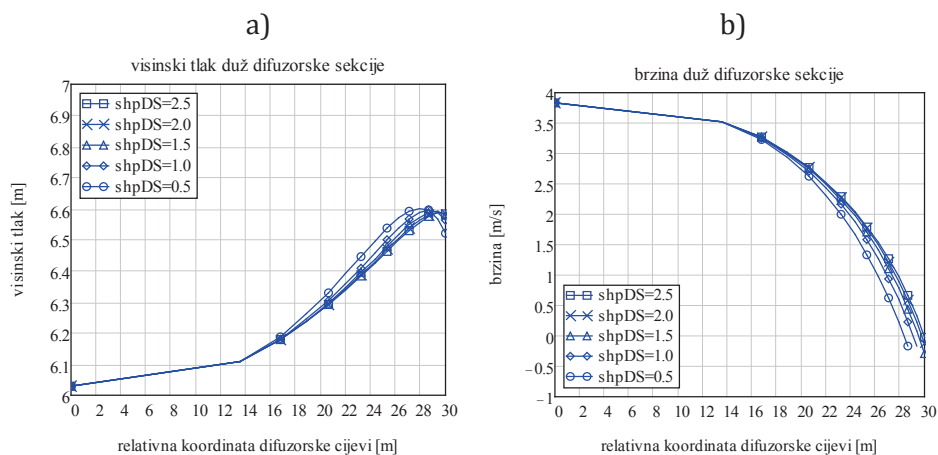
Slika 13. Raspored tlakova i brzina za različite veličine parametara $shpDD$

Kao i u prethodnom primjeru unutar kojeg se reducirao poprečni presjek difuzora (i to najprije linearno, a tek nakon toga nelinearno, mijenjajući parametar $shpDD$) u nastavku će se poprečni presjek sapnica ekspanzirati najprije linearno, a zatim nelinearno. Kako bi se mogao ustanoviti benefit ovakve radnje, potrebno je sve prethodne parametre ostaviti iste, tj. potrebno je omogućiti opravdanu usporedbu narednih s prijašnjim rezultatima. Promjer sapnice od kojeg se kreće je $DS_0 = 0.1$ m (prva sapnica) te se u četiri koraka dolazi do vrijednosti $DS_L = 0.14$ m (zadnja sapnica). Između prve i zadnje sapnice je promjena linearna te su rezultirajuće promjene tlaka i brzine prikazani na slici 14.



Slika 14. Raspored tlakova i brzina za različite veličine parametra DSL

Uzimajući u obzir dobivene rezultate (slika 14), za razmatrani se primjer geometrije i varijabli toka objektivno može zaključiti da je utjecaj ekspanzije promjena sapnice daleko od dramatičnog. Naime, manje promjene u parametrima toka moguće je evidentirati tek nakon sapnice broj 24, što predstavlja 80% dionice difuzora. U nastavku se prilaže kratka analiza utjecaja parametra $shpDS$ na tlak i brzinu strujanja efluenta u difuzorskoj cijevi. Utjecaj parametara $shpDS$ će se ispitati za slučaj da je $DS_0 = 0.1$ m, $DS_L = 0.12$ m, $DD_L = 0.3$ m i parametar $shpDD = 1.5$. Dakle, svi ostali parametri ostaju isti i definirani su inicijalnim stanjem. Za raspon parametra $shpDS$ od 2.5 do 0.5, slika 15 prikazuje promjene visinskog tlaka i brzina strujanja u difuzorskoj cijevi. Za razliku od ranije (slika 13), u ovome slučaju (slika 15) nije ustanovljen značajan utjecaj parametra $shpDS$ na gradijent tlaka po dužini difuzora. Naime, sve piezometarske krivulje imaju slični oblik i tendenciju rasta na početku difuzora te strmog opadanja na samome kraju difuzorske sekcije. Značajan utjecaj parametra $shpDS$ na raspored brzina toka nije evidentiran niti za slučaj brzine strujanja. Valja primijetiti da se u svim slučajevima brzina reducira gotovo linearno (s razlikama u nagibima opadanja brzine) te da se povećavanjem otvora sapnica smanjuje i potreba za brojem sapnica. Naime, što je veća ukupna površina otvora sapnica, to je manja potreba za istim.

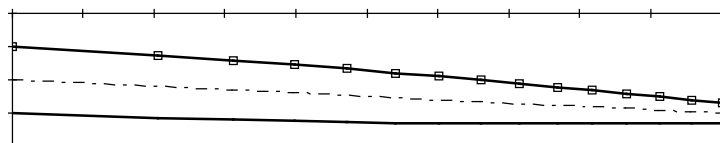


Slika 15. Raspored tlakova i brzina za različite veličine parametara $shpDS$

Uzimajući u obzir prikazane rezultate donosi se zaključak da se za razmatrane parametre toka i geometriju difuzora parametar $shpDD$ pokazao kao koristan parametar za modeliranje potrebnog broja sapnica na difuzorskoj cijevi. Osim navedenog, završni promjer sapnica DS_L je isto pokazao značajan utjecaj na raspored tlakova po difuzorskoj sekciji

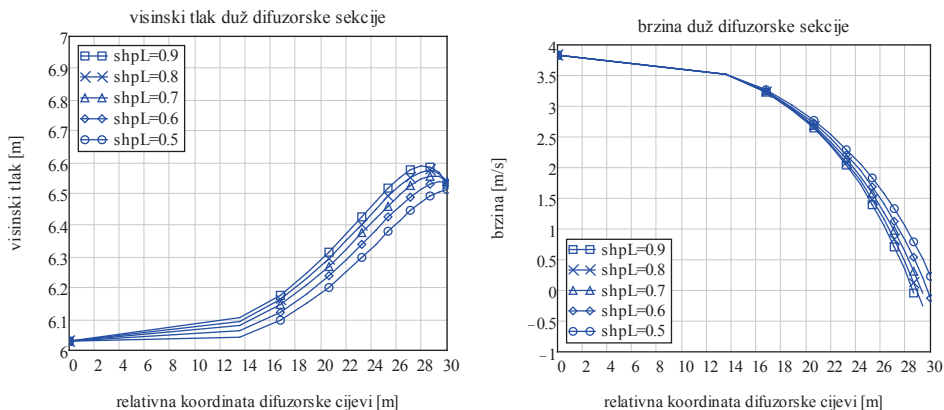
te je i samim time definirao drugačije uvjete istjecanja iz sapnica. Vrlo je važno navesti da ovi zaključci (kao i oni kasnije prikazani) vrijede samo za usvojenu geometriju i parametre toka te se ne mogu generalizirati. Kako bi se detaljnije ispitaio utjecaj uvedenih parametara za parametrizaciju geometrije difuzora, potrebno je stoga provesti mnogo opsežnije parametarske analize.

Iako redukcija razmaka sapnica na difuzorskoj sekciji ne predstavlja popularnu mjeru geometrijske adaptacije u svrhu postizanja jednolikog rasporeda protoka, u nastavku će se, kurioziteta radi, ispitati i takva mogućnost. Na taj se način utjecaj parametra $shpL$ na visinski tlak i brzinu u difuzoru ispitaio u granicama od 0.9 do 0.5. Ovakve vrijednosti parametra $shpL$ prouzročit će progresivno smanjenje razmaka sapnica kako se tok približava kraju difuzora te se uvodi kako bi se smanjili linijski gubici između sapnica i samim time osigurala veća vrijednost tlaka u difuzorskoj cijevi. Naime, veća vrijednost tlaka će posljedično prouzročiti veću izlaznu brzinu kroz sapnice difuzora. Obrnuta opcija nije ispitana jer nema praktični značaj (povećanje razmaka sapnica kako se tok približava kraju difuzora). Za ilustraciju komentirane geometrijske promjene na difuzorskoj sekciji prilaže se slika 16. U navedenom primjeru je parametar $shpL$ (28) usvojen i jednak 0.6.



Slika 16. Nejednoliki raspored sapnica na difuzorskoj sekciji

Uzimajući u obzir dobivenu varijabilnost tlakova u difuzorskoj sekciji (slika 17), parametar $shpL$ se u ovom primjeru pokazao kao vrlo korisnim za modeliranje rasporeda tlakova u difuzorskoj cijevi. Naime, kako je vidljivo na slici 17a, varijacije u parametru $shpL$ uzrokuju značajne promjene u gradijentu tlaka te samim time i promjenu brzine istjecanja iz difuzora. Drugim riječima, uzimajući u obzir ostale uvedene parametre parametrizacije, prikazani primjer ukazuje na to da su protoci iz sapnica pod značajnim utjecajem parametra $shpL$.



Slika 17. Raspored tlakova i brzina za različite veličine parametara $shpL$

5. Završni komentari

U radu je prikazan sažeti numerički algoritam za dimenzioniranje difuzorske sekcije podmorskog ispusta. Kako bi se opis geometrijskih karakteristika difuzorske cijevi pojednostavio, u radu je ispitana mogućnost parametrizacije geometrije iste. Geometrijske karakteristike koje su se nastojale opisati parametrima su: promjena promjera difuzorske cijevi D_d te promjena profila sapnica D_s . Osim navedenog, ispitana je i mogućnost parametarskog definiranja varijabilnog razmaka sapnica. U sva tri slučaja su se geometrijske promjene opisivale jednim parametrom. Iako se u posebnim okolnostima ovakav vid parametrizacije pokazao korisnim, ukoliko se uzmu u obzir provedene numeričke analize može se zaključiti da bi praktičan značaj parametrizacije iziskivao ne jednoparametarski opis geometrije, već višeparametarski opis iste. Drugim riječima, izgleda da su geometrijske promjene koje se u praksi susreću na difuzorskim sekcijama najčešće opisane polinomima višeg stupnja. Stoga je potrebno ispitati drugačije opcije parametrizacije, tj. uvesti opis geometrije s više stupnjeva slobode, ali to u nekom budućem radu.

Literatura

- [1] Lončar, G., Modeliranje u hidrotehnici, skripta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2011.
- [2] Travaš, V., Rukopis predavanja iz predmeta Hidraulika, skripta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2010.

-
- [3] Gjetvaj, G., Rukopis predavanja iz predmeta Hidraulika, skripta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2003.
- [4] Wygnanski, I., Fiedler, H., Some measurements in the self-preserving jet, *J. Fluid Mech.*, 38: pp 577-612, 1969.
- [5] Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., Brooks, N.H., Mixing in Inland and Coastal Waters, *Academic Press*, New York, 1979.
- [6] Agroskin, I.I., Dimitrijević, G.T., Pikalov, F.I., Hidraulika, Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.
- [7] Raus, H., Tehnička hidraulika, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.
- [8] Jović, V., Osnove hidromehanike, Element, Zagreb, 2006.
- [9] Charlton, J.A., Davies, P.A., Bethune, G.M.H., Seawater intrusion and purging in multipoint sea outfalls, *Proc. ICE Part 2* 83, pp 263-274, 1987.
- [10] Wilkinson, D.L., Wareham, D.G., Optimization Criteria for Design of Coastal City Wastewater Disposal Systems, *Proc. Clean Sea 96*, Toyohashi, 1996.
- [11] Larsen, T., Difuzer design for marine outfalls in areas with strong currents, high waves and sediment transport, *Proc. International Specialized Conference on Marine Disposal Systems*, IAWQ 271-227, 1994.

PROCES PODLOKAVANJA TEMELJA NA PRIMJERU VJETROELEKTRANA U MORU

SCOUR AROUND FOUNDATIONS FOR OFFSHORE WIND TURBINES

Nino KRVAVICA*, Suzana ILIĆ**

Sažetak

Cilj ovoga rada je prikazati, ocijeniti i primijeniti neke od recentnijih modela pronosa nanosa te vremenskog razvoja jama uzrokovanih podlokavanjem oko cilindričnih struktura u moru. U prvom dijelu rada daje se kratki pregled teoretske podloge o režimu pronosa nanosa, nakon čega se prikazuju rezultati proračuna pronosa nanosa za proizvoljno zadane hidrodinamičke i sedimentne parametre prema nekoliko različitih metoda koristeći računalni program SEDTRANS. U drugom se dijelu prikazuju rezultati proračuna vremenskog razvoja jama u blizini više različitih tipova i dimenzija temelja u moru s realnim okolišnim parametrima za nekoliko hipotetskih lokacija izgradnje vjetroelektrana u Vinodolskom kanalu pokraj Crikvenice.

Ključne riječi: vjetroelektrane, pronos nanosa, SEDTRANS, podlokavanje

Abstract

Aim of this paper is to present, evaluate and apply several models of sediment transport and time evolution of scour around cylindrical offshore structures. The first part of the paper gives a short overview of theoretical background for sediment transport and results of sediment transport calculations for arbitrarily given hydrodynamic and sediment parameters using SEDTRANS software. In the second

* Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka
E-mail: nino.krvavica @gradri.hr

** Lancaster University, Department of Geography, UK
E-mail: s.ilic@lancaster.ac.uk

part of the paper the time evolution of scour around different foundation types and dimensions is presented using real environmental parameters for several assumed locations for wind farm construction in Vinodol channel near city of Crikvenica.

Key words: *wind farms, sediment transport, SEDTARNS, scour*

1. Uvod

Vjetroelektrane su trenutno jedne od najpopularnijih generatora obnovljive energije u svijetu. Temeljem podataka za 2010. godinu [1] više od 97% svjetske proizvodnje energije putem vjetroelektrana u moru dolazi iz Europe, a od toga više od 85% iz Ujedinjenog Kraljevstva, Danske i Nizozemske. Hrvatska se tek nedavno počela pridruživati suvremenim trendovima korištenja energije iz obnovljivih izvora, pa tako danas postoji tek nekoliko izgrađenih vjetroturbina na kopnu, pretežito na otocima i u priobalnom dijelu Dalmacije. U posljednje se vrijeme sve češće spominje mogućnost izgradnje vjetroelektrana i u Jadranskom moru.

Predviđanje pojave podlokavanja oko temelja i njihova zaštita predstavljaju vrlo bitan element pri planiranju i projektiranju vjetroelektrana u moru. Naime, interakcija fluida i temeljne konstrukcije uzrokuje poremećaje u strujnom polju te, posljedično, eroziju i nastanak jama oko temelja, što može narušiti globalnu stabilnost cijele građevine. Glavni nepovoljni utjecaji na temeljno tlo su pojedinačno ili kombinirano djelovanje morskih struja i valova, koji uz kompleksne sedimentne procese na dnu mogu dodatno otežati izradu jedinstvenog i zadovoljavajuće preciznog modela za predviđanje nastanka i razvoja ove pojave.

U prvome dijelu ovoga rada promatra se proces pronosa nanosa uslijed djelovanja morskih struja i valova. Također se prikazuju rezultati proračuna pronosa nanosa prema Bijkeru [2] te njihova usporedba sa SEDTRANS [3] modelom za jedan proizvoljno zadani slučaj. U drugome se dijelu rada promatra pojava podlokavanja oko konstrukcija u moru te rezultati proračuna vremenskog razvoja i predviđenih dimenzija jama oko nekoliko različitih tipova temelja. Razvoj dubine podlokavanja uslijed djelovanja različitih hidrodinamičkih sila je nestacionaran proces; važno je istražiti hoće li se dubina podlokavanja kontinuirano razvijati, zaustaviti na nekoj maksimalnoj dubini ili čak vremenom zapuniti.

2. Režim nanosa

Pronos nanosa obično se događa u obliku vučenog ili lebdećeg nanosa, ovisno o veličini čestica i hidrauličkim uvjetima tečenja.

Vučeni nanos je onaj dio ukupnog nanosa koji ima više ili manje stalni kontakt s podlogom. Iz tog razloga veličina pronosa vučenog nanosa mora biti u funkciji efektivnih pridnenih posmičnih naprezanja koja djeluju izravno na podlogu [4].

Lebdeći nanos je onaj dio ukupnog pronosa koji se kreće bez stalnog kontakta s podlogom kao rezultat turbulentnog djelovanja fluida. Pojava nabora (*ripples*) ili dina (*dunes*) na dnu povećat će efektivno pridneno posmično naprezanje, dok će se s druge strane veća količina čestica suspendirati zbog separacije tečenja na uzvodnoj strani nabora [4].

Iako u realnim uvjetima ne postoji jasna granica između pronosa vučenog i lebdećeg nanosa, zbog matematičke formulacije fizikalnih procesa važno je definirati sloj unutar kojeg se transport vučenog nanosa događa.

Općenito, razlikuju se tri modela kretanja čestica: kotrljanje (*rolling*) i/ili klizanje (*sliding motion*), skakutanje (*saltation*) i lebdeće stanje (*suspension*).

U trenutku kada vrijednost pridnenog posmičnog naprezanja tek premaši kritičnu vrijednost početnog kretanja, čestice će se početi kotrljati i/ili klizati u stalnom dodiru s podlogom. Povećanjem vrijednosti posmičnog naprezanja, odnosno posmične brzine, čestice će se nastaviti kretati uz podlogu više ili manje pravilnim skokovima, što se naziva skakutanjem. Nakon što iznos posmične brzine premaši iznos brzine padanja, čestice mogu biti uzdignute na razinu na kojoj će turbulentne hidrodinamičke sile biti jednake ili veće od uronjene težine čestica, što rezultira njihovim lebdećim stanjem. Kritično posmično naprezanje izraženo je u funkciji Shieldsovog broja [4].

3. Proračun pronosa nanosa

U nastavku je ukratko opisan proračun ukupnog pronosa nanosa prema Bijkeru kako je opisan u „*Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas*“ [4]. Proračun je izrađen u računalnom programu *MathCAD*.

3.1. Proračun prema Bijkeru

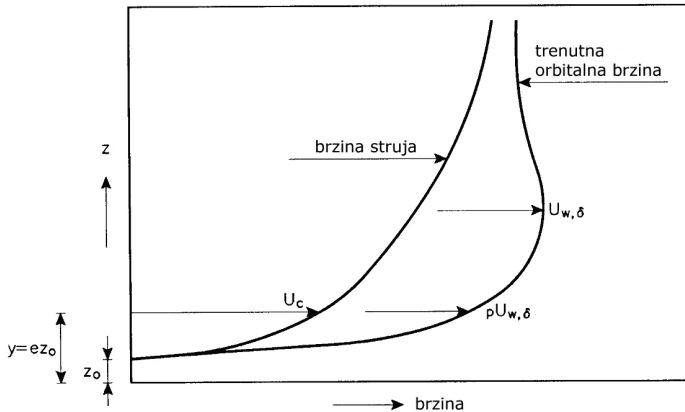
Vrijednost posmičnog naprezanja uslijed kombiniranog djelovanja struja i valova određuje se na sljedeći način: Bijker pretpostavlja kako je utjecaj vala preslab da bi utjecao na debljinu strujnog graničnog sloja. Također pretpostavlja kako postoji viskozni podsloj koji se prostire od dna

do visine $y = e_{z0}$, unutar kojeg brzina raste linearno, a na visini y tangira liniju logaritamske raspodjele brzina iznad nje. Kada se odredi visina e_{z0} , mogu se proračunati vrijednosti strujnih i valnih brzina te odgovarajuće posmično naprezanje [4, 5] (Slika 1).

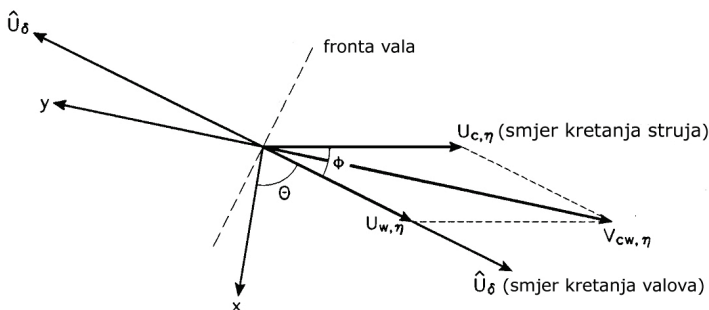
Brzina strujanja fluida U_C i orbitalna valna brzina U_W na rubu viskoznog podsloja definira se na sljedeći način [4]

$$U_C = \frac{u_{*c}}{\kappa}, \quad U_W = p \cdot U_{w,\delta}, \quad p = \sqrt{\frac{f_w}{2\kappa^2}} \quad (1)$$

gdje je u_{*c} posmična brzina, κ Karmanova konstanta (bezdimenzionalna), $U_{w,\delta}$ valna brzina na rubu valnog graničnog sloja, a f_w faktor trenja po dnu uslijed djelovanja valova.



Slika 1. Profil brzina uslijed kombiniranog djelovanja morskih struja i valova prema Bijkeru [4]



Slika 2. Vektor brzina uslijed kombiniranog djelovanja struja i valova

Intenzitet vektora brzina morskih struja $U_{c,\eta}$ i valova $U_{w,\eta}$ na rubu graničnog sloja η , kao i kut između njih Φ , definiraju intenzitet i smjer rezultantnog vektora brzine od kombiniranog djelovanja struja i valova $V_{CW,\eta}$ (Slika 2).

Trenutačno posmično naprezanje u smjeru kretanja struja određuje se iz izraza

$$\tau_{CW,MAX} = \rho \cdot \kappa^2 \cdot V_{CW} \cdot |V_{CW}|, \quad (2)$$

gdje je ρ gustoća fluida. Prosječno posmično naprezanje dobije se integriranjem (2) po valnom periodu T ,

$$\tau_{CW} = \frac{1}{T} \int_0^T \tau_{CW,MAX} dT. \quad (3)$$

U ovom se proračunu os x postavlja u smjeru djelovanja struja, pa tako x vektorska komponenta brzine $V_{CW,x}$ predstavlja mjerodavnu vrijednost za proračun posmičnog naprezanja.

Nakon što je definirano prosječno pridno posmično naprezanje uslijed kombiniranog djelovanja struja i valova, računa se pronos vučenog nanosa izražen u volumnom obliku prema izrazu [4, 5]

$$q_{b,flat} = b \cdot d_{50} \cdot u_{*c} \cdot e^{\left[\frac{-0.27(s-1)\rho g d_{50}}{\mu_r \cdot \tau_{cw}} \right]}, \quad (4)$$

gdje je b valni koeficijent (bezdimezionalan), d_{50} medijan promjera čestice sedimenta, u_{*c} pridna posmična brzina uslijed djelovanja struja, s relativna gustoća sedimenta (omjer gustoće sedimenta i gustoće fluida), g ubrzanje sile teže, μ_r koeficijent oblika dna (bezdimezionalan), a τ_{CW} pridno posmično naprezanje uslijed kombiniranog djelovanja struja i valova.

Jednadžba (4) daje odgovarajuće vrijednosti za slučaj ravnog dna, zbog čega dobivenu vrijednost treba korigirati koeficijentom nagiba dna na sljedeći način prema izrazu [4]

$$q_{b,slope} = \alpha_s \cdot q_{b,flat}, \quad (5)$$

$$\alpha_s = \frac{\tan(\phi)}{\cos(\beta)(\tan(\phi) \pm \tan(\beta))}, \quad (6)$$

gdje je β nagib dna, a ϕ kut unutarnjeg trenja.

Iako je Bijker dao formulu za proračun lebdećeg nanosa preko Einsteinovih integrala [4]

$$q_s = 1.83 \cdot q_b \cdot [I_2 + I_1 \ln(33h / k_s)], \quad (7)$$

gdje su I_1 i I_2 poznati Einsteinovi integrali koji ne zahtijevaju dodatno integriranje, a k_s Nikuradseova hrapavost dna, u ovom će se slučaju veličina pronosa lebdećeg nanosa izražena u volumnom obliku proračunati numeričkom integracijom osnovnog izraza [4],

$$q_s = \int_a^h u(z)C(z)dz, \quad (8)$$

gdje je $u(z)$ funkcija raspodjele brzine po dubini, a $C(z)$ funkcija raspodjele koncentracije nanosa po dubini [4].

$$C(z) = C_a \left[\frac{a}{h-a} \cdot \frac{h-z}{z} \right]^{\left(\frac{w_s}{\kappa u_{*cw}} \right)} \quad (9)$$

C_a je volumna koncentracija nanosa na referentnoj dubini a [4]

$$C_a = \frac{d_{50}}{6.34 \cdot a} \cdot e^{\left[\frac{-0.27(s-1)\rho g d_{50}}{\mu_r \tau_{cw}} \right]}, \quad (10)$$

gdje je $u(z)$ funkcija raspodjele brzine po dubini, h dubina mora, z vertikalna koordinata, u_{*cw} pridnena posmična brzina uslijed struja i valova, w_s brzina padanja čestica sedimenta. Ostali parametri su definirani ranije.

Nakon što su definirane vrijednosti pronos vučenog q_b i lebdećeg q_s nanosa, vrijednost ukupnog nanosa odredit će se jednostavnim zbrajanjem (8) i (5) prema [4]

$$q = q_b + q_s, \quad (11)$$

gdje je q ukupni pronos nanosa, q_b pronos vučenog nanosa, a q_s pronos lebdećeg nanosa. Ukupni pronos nanosa može se izraziti i u masenom obliku, ako se (11) pomnoži s gustoćom sedimenta ρ_s .

3.2. Proračun pomoću *SEDTRANS* programa

SEDTRANS je računalni program razvijen prije više od 20 godina za potrebe proračuna jednodimenzionalnog pronosa nanosa. Najnovija verzija *Sedtrans05* opisana je u [3].

Model SEDTRANS sadrži numerički algoritam za proračun pronosa nekohezivnog i kohezivnog nanosa te omogućuje predviđanje pojave različitih oblika dna kao funkcije efektivnog pridnenog posmičnog naprezanja. Proračun pronosa lebdećeg nanosa računa se pomoću Rouseovog profila, dok se proračun referentne koncentracije određuje prema izrazu autora Smith i McLean [3].

Ulazni podaci su sljedeći: dubina vode, brzina i smjer struje, visina, period i smjer valova, granulacija sedimenta, nagib dna, gustoća sedimenta te salinitet i temperatura vode. Kao rezultat proračuna prikazuje se vrijednost ukupnog pronosa nanosa izražen u volumnom ($m^3/s/m$) i masenom obliku ($kg/s/m$).

3.3. Usporedba rezultata proračuna prema Bijkeru i SEDTRANS modelima

Iako je metoda prema Bijkeru [2] danas vrlo često u uporabi, a ujedno je jedna od prvih inženjerskih metoda za proračun posmičnog naprezanja i pronosa nanosa, Van Rijn [4] navodi kako joj je glavni nedostatak zanemarivanje redukcije profila strujnih brzina pri dnu uslijed kombiniranog djelovanja valova i struja. Iz tog su razloga O'Connor i Yoo uveli koeficijent redukcije brzina α koji uzima u obzir i ovu pojavu [4].

Van Rijn je usporedio izračunate vrijednosti koncentracije lebdećeg nanosa prema Bijkeru, Nielsenu i Van Rijnu s izmjerenim vrijednostima na fizikalnom modelu te zaključio kako metoda prema Bijkeru precjenjuje koncentracije sedimenta u većem dijelu raspona dubina za slabe struje (0,1 – 0,2 m/s), pretpostavljena pridnena koncentracija nanosa daje premalene vrijednosti za 0,1 mm granulaciju sedimenta, ali daje dobre rezultate za 0,2 mm granulaciju sedimenta te da je u slučaju jakih struja (0,4 m/s) oblik profila koncentracije sedimenta nešto precizniji, ali daje premalene vrijednosti za koncentracije pri dnu. Van Rijn je također napravio usporedbu izračunatih vrijednosti ukupnog pronosa nanosa u slučaju kombiniranog djelovanja struja i valova prema istim metodama s izmjerenim vrijednostima te zaključio kako su vrijednosti pronosa ukupnog nanosa preveliki u slučaju niskih vrijednosti pronosa nanosa ($<10^{-3} kg/s/m$), a nešto niži u slučaju većih vrijednosti pronosa nanosa ($>10^{-2} kg/s/m$) [4].

U nastavku ovoga rada prikazuje se primjer detaljnog proračuna stope pronosa ukupnog nanosa uslijed kombiniranog djelovanja struja i valova na dnu s nagibom. Proračun će se provesti metodom prema Bijkeru te usporedno računalnim programom SEDTRANS koji objedinjuje nekoliko različitih modela.

Ulazni podaci su sljedeći:

Val je definiran maksimalnom pridnenom orbitalnom brzinom $u_{bm}=0.35$ m/s, valnim periodom $T=8.0$ s te prilaznim kutom od $\alpha=45^\circ$. Morske struje tvore kut od $\theta_{wc}=45^\circ$ s prilaznim kutom valova i imaju vrijednost od $uc(z_r)=0.35$ m/s na dubini od $z_r=1.0$ m. Dno ima jednoliki nagib od $\beta=1^\circ$ i sastoji se od jednolikog kvarcnog pijeska, gustoće $\rho_s=2650$ kg/m³, promjera $d=0.2$ mm. Fluid je morska voda (gustoće $\rho=1025$ kg/m³, viskozitet $\nu=1.0 \times 10^{-6}$ m²/s). Dubina vode je $h=5.0$ m.

S navedenim ulaznim podacima proveden je proračun u SEDTRANS-u prema pet modela: Engelund – Hansen, Einstein – Brown, Bagnold, Yalin i Van Rijn. SEDTRANS računa sve osnovne parametre (hrapavost, posmična naprezanja, pridnene brzine i sl.) na jednak način, neovisno o odabranoj metodi; razlikuje se jedino konačni izraz za veličinu ukupnog pronosa nanosa [3].

Tabela 1. Prikaz proračuna pronosa nanosa prema pojedinim metodama iz SEDTRANS modela i prema metodi Bijker

	SEDTRANS		Bijker
ukupni pronos nanosa izražen u masenom obliku (kg/s/m) <i>time-averaged net sediment transport as mass (kg/s/m)</i>	Engelund - Hansen	0.0019	0.011
	Einstein - Brown	0.0016	
	Bagnold	0.0030	
	Yalin	0.0031	
	van Rijn	0.0026	

Prema usporednim rezultatima (Tabela 1) može se primijetiti kako je pronos ukupnog nanosa prema Bijkeru mnogo veći nego prema bilo kojoj metodi iz SEDTRANS programa (3 - 7 puta), što je i bilo za očekivati na osnovu ranije izvršenih usporedbi [4].

Analizirajući pojedine korake u postupku proračuna uočeno je najveće odstupanje u procjeni nastanka određenih oblika dna koje značajno utječu na efektivno posmično pridneno naprezanje. Metoda prema Bijkeru predviđa da će uslijed zadanog hidrodinamičkog djelovanja doći do stvaranja određenih nabora na dnu i posljedično puno većeg efektivnog posmičnog naprezanja, za razliku od SEDTRANS modela koji predviđa da neće doći do nastanka nikakvih oblika dna. U ovoj razlici treba tražiti glavni razlog ovog većeg odstupanja konačnih vrijednosti pronosa nanosa.

Treba napomenuti kako je proračun pojave različitih oblika dna i njihovih dimenzija provjeren prema dodatne tri metode (Nap – van Kampen [7], Amos and Collins [8], van Rijn [4]) čiji rezultati nedvosmisleno upućuju na nastanak nabora (*ripples*) na dnu.

4. Pojava podlokavanja

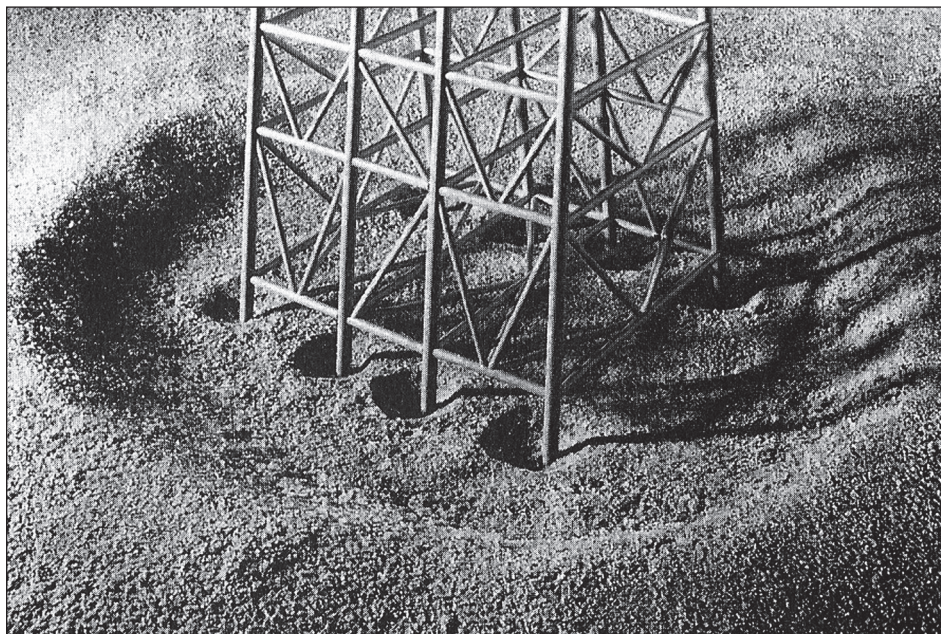
Podlokavanje je proces koji se događa na dijelovima dna s kojih je sediment ispran uslijed djelovanja struja i/ili valova.

Najčešće se događa kao jedan od ili kombinacija više procesa (Slika 3) [5]:

Lokalno podlokavanje – jame strmih rubova oko pojedinih manjih dijelova građevina

Globalno podlokavanje – plitka široka depresija ispod i oko pojedinih građevina

Ukupni pomak morskog dna – erozija dna, taloženje ili kretanje različitih oblika dna



Slika 3. Lokalno i globalno podlokavanje [5]

U ovom će se radu više pažnje posvetiti lokalnom podlokavanju koje nastaje uslijed poremećaja strujnog polja oko izvedene građevine na morskome dnu, zbog čega dolazi do povećanja brzina strujanja kao i do povećanja intenziteta turbulencije. U takvom slučaju dolazi do odnošenja sedimenta s područja u blizini građevine te se tijekom vremena stvara deficit ukupnog materijala u obliku podlokane jame.

Morfodinamički efekti na morskome dnu, kao što je podlokavanje oko građevine, mogu se izraziti jednadžbom (*sediment budget equation*) [5]

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{1}{1 - \varepsilon} \left(\frac{\partial q}{\partial x} + \nabla_D - \nabla_E \right), \quad (12)$$

gdje je $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ promjena razine jedinične površine dna tijekom vremena, q pronos nanosa kroz jediničnu površinu u smjeru x , ∇_D brzina taloženja sedimenta, ∇_E brzina zahvaćanja sedimenta u tok vode, a ε poroznost podloge.

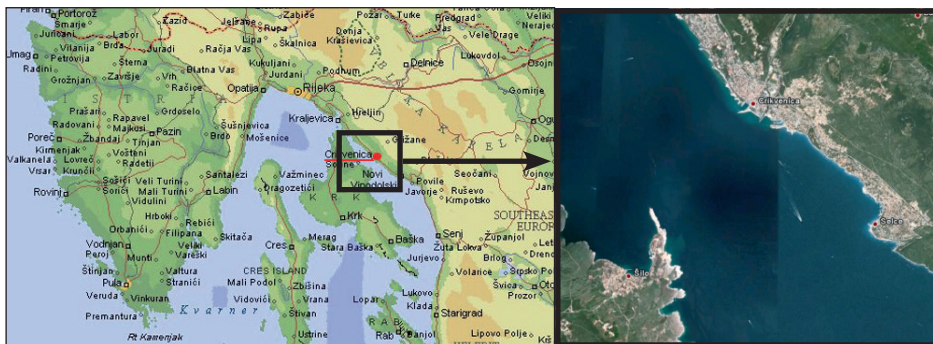
Ukupna dubina podlokavanja oko cilindričnih struktura ovisi o vrijednosti posmičnog naprezanja τ_0 , promjeru stupa D_p te karakteristikama sedimenta. U slučaju kada se posmično naprezanje izjednači s kritičnim posmičnim naprežanjem, dolazi do ravnotežnog stanja kada dubina podlokavanja S_e dostiže maksimum. Za vrijednosti posmičnog naprezanja većeg od kritičnog nema daljnje promjene u dubini podlokavanja, ali se brzina dostizanja maksimalne dubine povećava.

Brzina kojom podlokavanje dna napreduje povezana je s promjenom intenziteta ispiranja sedimenta oko građevine koje nastaje uslijed poremećaja strujnog polja fluida. Općenito, podlokavanje dna oko građevine u početku napreduje vrlo snažno te se asimptotički približava svojem maksimumu.

5. Proračun vremenskog razvoja podlokavanja

5.1. Predmetna lokacija i okolišni utjecaji

U nastavku se daje proračun vremenskog razvoja jama od podlokavanja oko nožice temelja vjetroelektrana u moru na hipotetskoj lokaciji u moru pokraj Crikvenice. Crikvenica je obalno mjesto smješteno u Kvarnerskom zaljevu uz Vinodolski kanal u blizini ušća rijeke Dubračine (Slika 4).



Slika 4. Hipotetska lokacija izgradnje vjetroelektrana pored Crikvenice

Za potrebe izgradnje vjetroelektrana u moru na ovoj lokaciji razmatra se nekoliko mogućih tipova temeljne konstrukcije koji se detaljnije opisuju u nastavku rada. Također se razmatraju tri moguće dubine mora: plitkovodno područje na dubini od 5.0 m, srednje duboko područje na dubini od 25.0 m te dubokovodno područje na dubini od 50.0 m. Iako je preko 90% vjetroelektrana u moru u Europi izgrađeno na dubinama mora manjima od 30 m [1], u ovoj se analizi razmatra i dubina mora od 50 m zbog vrlo strmih nagiba i velikih dubina u Jadranskom moru.

Kako bi se odredio vremenski razvoj jama potrebno je razmotriti sve relevantne prirodne utjecaje poput karakteristika mora, geološkog sastava dna te utjecaja morskih struja i valova na predmetnoj lokaciji.

5.2. Tipovi temelja vjetroelektrana u moru

Temelji vjetroelektrana u moru mogu se podijeliti na tri osnovne grupe prema tipu konstrukcije: piloti (jednostruki ili višestruki), usisni kesoni (jednostruki ili višestruki) te gravitacijski temelji (Slika 5). Osim navedenih postupaka temeljenja, moguće je izvesti i plutajuće vjetroelektrane koje se u ovom radu neće detaljnije razmatrati.

U ovome se radu razmatraju četiri tipa temeljenja:

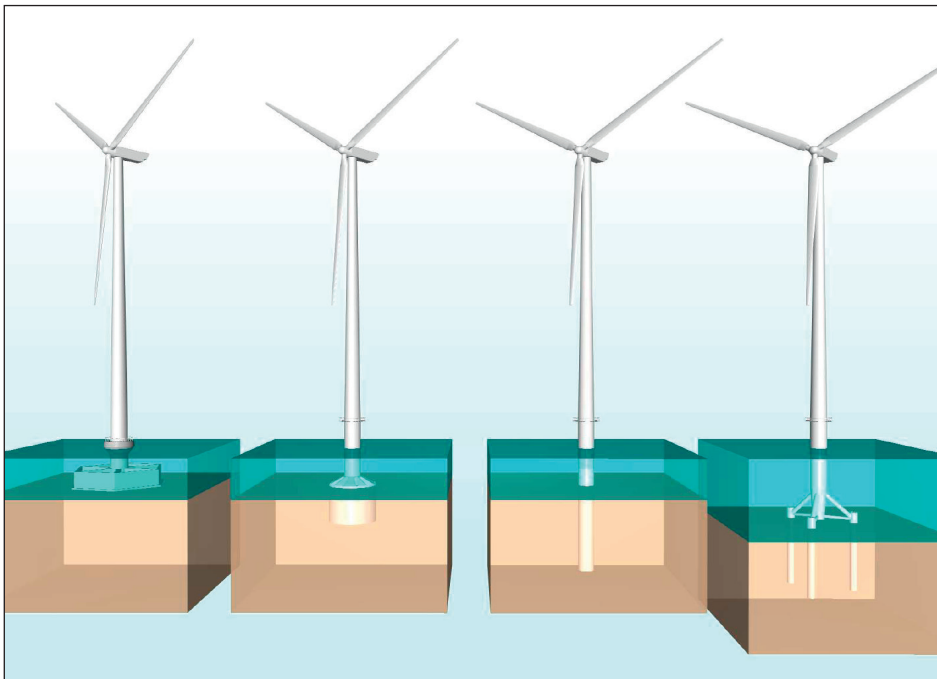
- temeljenje na jednostrukom pilotu,
- temeljenje na tripodnoj pilotnoj konstrukciji,
- temeljenje na usisnom kesonu,
- temeljenje na tripodnoj kesonskoj konstrukciji.

Isplativost izgradnje pojedinog tipa temelja ovisi ponajviše o dubini i karakteristikama temeljnog dna. Svaka lokacija ima svoje specifičnosti, ali općenito se smatra kako je temelj tipa jednostruki pilot isplativ do dubine mora 20 – 30 m, tripodne konstrukcije do dubine mora 35 m, a

usisni kesoni do dubine mora od 40 m. Na dubinama mora većim od 50 m isplative su jedino plutajuće konstrukcije [1, 9].

Na osnovu dostupne recentne literature s podacima o izgradnji i planiranju sličnih vjetroelektrana u moru definirane su standardne dimenzije svakog od navedenih tipova temelja za koje će se provesti proračun vremenskog razvoja dubine podlokavanja [9, 10, 11, 12].

Predmetno područje prekriveno je debelim slojem marinskog sedimenta sastavljenog od glinovito-prahovitih frakcija s proslojcima pijeska ($d_{50} = 0.01$ mm) u kojima prevladavaju čestice silikatnog sastava gustoće $\rho_s = 2650$ kg/m³ [13].



Slika 5. Tipovi temelja vjetroelektrana u moru: a) gravitacijski temelj, b) usisni keson, c) jednostruki pilot, d) tripodna pilotna konstrukcija [9]

Temeljem dostupnih rezultata ranije izrađene numeričke analize polja brzina morskih struja (Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu za potrebe studije [13]), kao mjerodavna brzina uprosječna po dubini, uzima se vrijednost od $u_c = 0.3$ m/s. Kao proračunski val za potrebe određivanja vremenskog razvoja dubine podlokavanja odabire se značajna visina vala 100-godišnjeg povratnog perioda iz II sektora sljedećih karakteristika: $H_{s,100} = 2.35$ m, $T_p = 6.26$ s [13].

5.3. Opis modela

Za proračun vremenskog razvoja dubine podlokavanja koristit će se STEP model (Scour Time Evolution Predictor) koji je nastao u sklopu istraživanja na HR Wallingford [5, 14].

Vremenski razvoj dubine podlokavanja S tijekom vremena t u blizini vertikalne cilindrične konstrukcije u slučaju djelovanja morskih struja i valova računa se prema izrazu [14]

$$S(t) = S_e \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right)^p \right], \quad (13)$$

gdje je S_e ravnotežna dubina podlokavanja, T karakteristični vremenski period podlokavanja koji se definira kao vrijeme nakon kojega je dubina podlokavanja dostigla 63% vrijednosti ravnotežne dubine, a p bezdimenzionalni korekcijski faktor oblika krivulje (Sumer [14] preporučuje vrijednost 1 za djelovanje struja, valova, kao i za njihovo kombinirano djelovanje).

Karakteristični vremenski period podlokavanja može se izraziti pomoću bezdimenzionalnog vremenskog parametra T^* [14]

$$T^* = T \cdot \frac{[g(s-1)d_{50}^3]^{1/2}}{D_p^2}, \quad (14)$$

gdje je g sila gravitacije, s specifična gustoća sedimenta, d_{50} 50-centilna veličina promjera zrna sedimenta, a D_p promjer pilota odnosno građevine oko koje se računa podlokavanje.

Bezdimenzionalni vremenski parametar T^* za djelovanje morskih struja definiran je izrazom [14]

$$T^* = \frac{\delta \cdot \theta^{-2.2}}{2000 \cdot D_p}, \quad (15)$$

gdje je δ debljina graničnog sloja (pretpostavlja se da je jednaka dubini mora), a θ Shieldsov parametar (bezdimenzionalan).

Za slučaj djelovanje valova, T^* je definiran izrazom [14]

$$T^* = 10^{-6} \left(\frac{KC}{\theta} \right)^3, \quad (16)$$

gdje je KC – Keulegan-Carpenter broj ($KC = u_{om} \cdot T_p / D_p$, gdje je T_p valni period).

Za kombinirano djelovanje morskih struja i valova dan je sljedeći općeniti izraz [14]

$$T^* = A \cdot \theta^{-B}, \quad (17)$$

gdje su A i B koeficijenti ovisni o tipu i geometriji konstrukcije. Primjerice, Sumer [14] je odredio koeficijente za slučaj podlokavanja vertikalnog cilindričnog pilota s vrijednostima $A = 0.014$ i $B = -1.29$.

Proračun ravnotežne dubine podlokavanja u slučaju djelovanja morskih struja temelji se na izrazu prema Breuser et al [14]

$$S_C = C_B K_1 K_2 K_3 K_4 D_p \tanh\left(\frac{h}{D_p}\right), \quad (18)$$

gdje su K_1 , K_2 , K_3 , K_4 faktori korekcije (bezdimezionalni) za oblik pilota, kut upada, uvjete dna, veličinu sedimenta, h dubina vode, C_B bezdimezionalni koeficijent oblika koji se kreću u rasponu od 1.25 do 1.7, a prema DNV-u [15] se preporučuje vrijednost 1.3.

Za slučaj djelovanja valova, dubina podlokavanja se računa prema izrazu [14]

$$S_W = S_C [1 - \exp(-0.03(KC - 6))]. \quad (19)$$

Jednadžba (19) vrijedi za slučaj kada je $KC > 6$; za slučajeve manjih vrijednosti Keulegan-Carpenterovog broja smatra se da je val preslab da bi uzrokovao podlokavanje [14].

Vrlo sličan izraz dan je za slučaj kombiniranog djelovanja morskih struja i valova prema [14]

$$S_{CW} = S_C [1 - \exp(-A(KC - B))], \quad (20)$$

gdje su A i B empirijski parametri definirani sljedećim izrazima

$$A = 0.03 + \frac{3}{4} \cdot U_{CW}^{2.6}, \quad (21)$$

$$B = 6 \cdot \exp(-4.7U_{CW}). \quad (22)$$

U_{CW} predstavlja relativni omjer brzina

$$U_{CW} = \frac{u_c}{u_c + u_{0m}}. \quad (23)$$

Vrijednosti u_c i u_{0m} odgovaraju brzini morskih struja na visini $D_p/2$ iznad dna, odnosno pridненоj orbitalnoj brzini od valova prema Soulsbyu

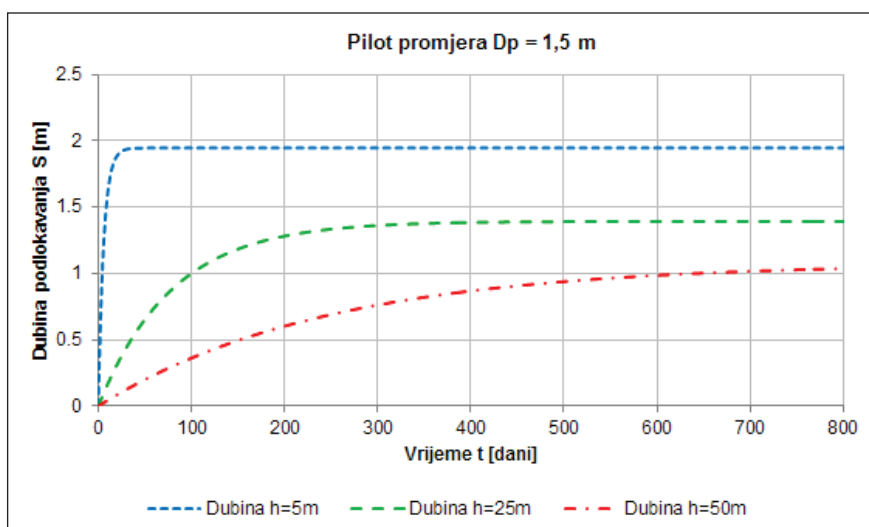
[1]. Jednadžba (20) vrijedi za slučaj $KC > B$; za slučajeve manjih vrijednost KC broja smatra se da će val umanjiti djelovanje struja [14].

5.4. Rezultati proračuna

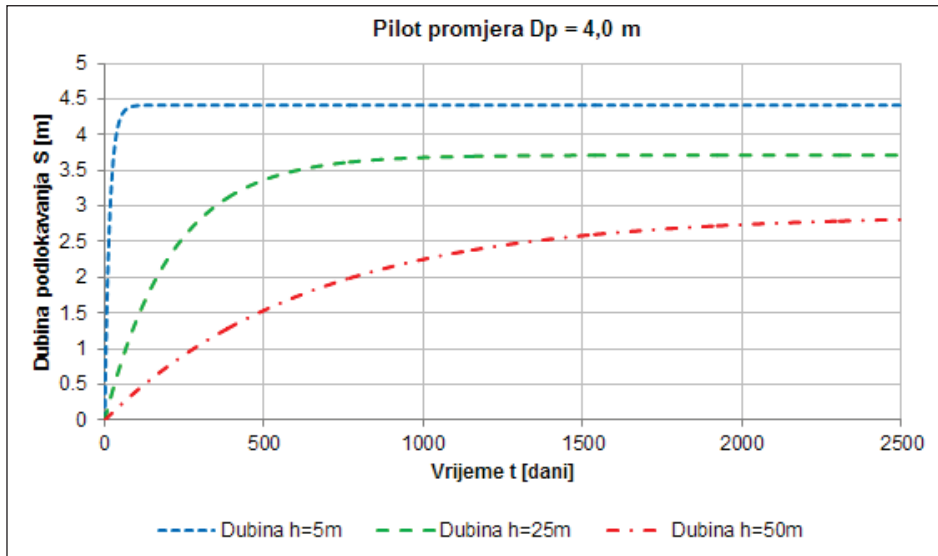
Na osnovu zadanih ulaznih parametara za različite dimenzije temelja D_p (1,5, 4, 6,5 i 20 m) vjetroelektrana u moru proračunate su ravnotežne dubine podlokavanja prema S_e i razvoj podlokavanja u vremenu za slijedeća tri slučaja: za slučaj djelovanja struja prema Breuseru [14], za slučaj djelovanja valova prema Sumeru [14] te za slučaj kombiniranog djelovanja struja i valova prema Sumeru i Fredsoeu [14]. Za sve slučajeve varirane su tri različite dubine mora (5, 25 i 50 m).

Na svim dubinama, za promjere pilota $D_p > 1.5$ m, Keulegan-Carpenterov broj je premalen da bi valovi imali ikakvog utjecaja na proces podlokavanja ($KC < 5$). Proračun je pokazao kako su ravnotežne dubine podlokavanja za promjere pilota $D_p > 1.5$ m u slučaju djelovanja valova i kombiniranog djelovanja struja i valova bile jednake nuli. Valovi, ne samo da ne pridonose procesu podlokavanja, već ga i umanjuju u slučaju kombiniranog djelovanja morskih struja i valova, što se podudara sa zapažanjima Harrisa, Whitehousea i Bensona [14]. Za promjer pilota $D_p = 1.5$ m i djelovanje valova ravnotežna dubina podlokavanja iznosi $S_W = 0.49$ m, dok za kombinirano djelovanje struja i valova ono iznosi $S_{CW} = 0.54$ m.

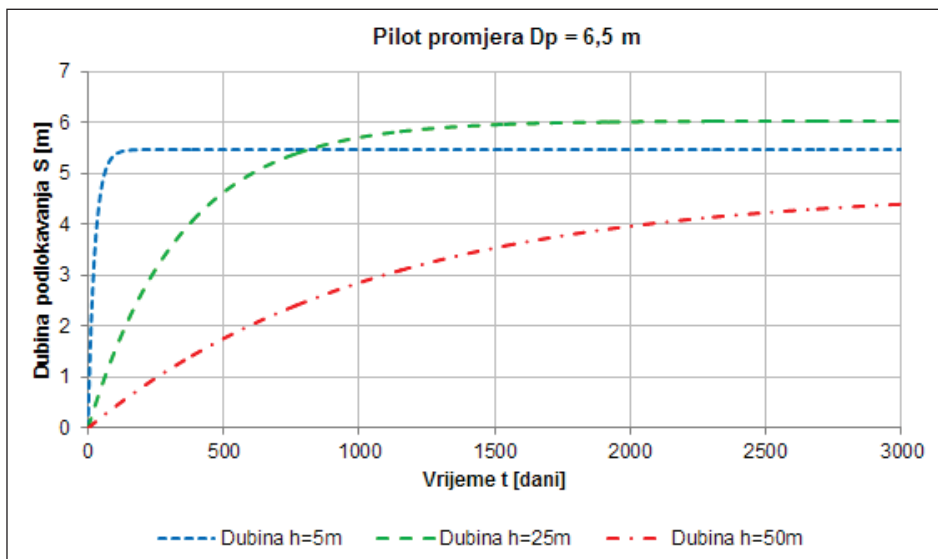
Na Slikama 6, 7, 8 i 9 dan je vremenski prikaz razvoja dubine podlokavanja oko sva četiri tipa temelja za slučaj djelovanja samo morskih struja na dubinama mora od 5, 25 i 50 m.



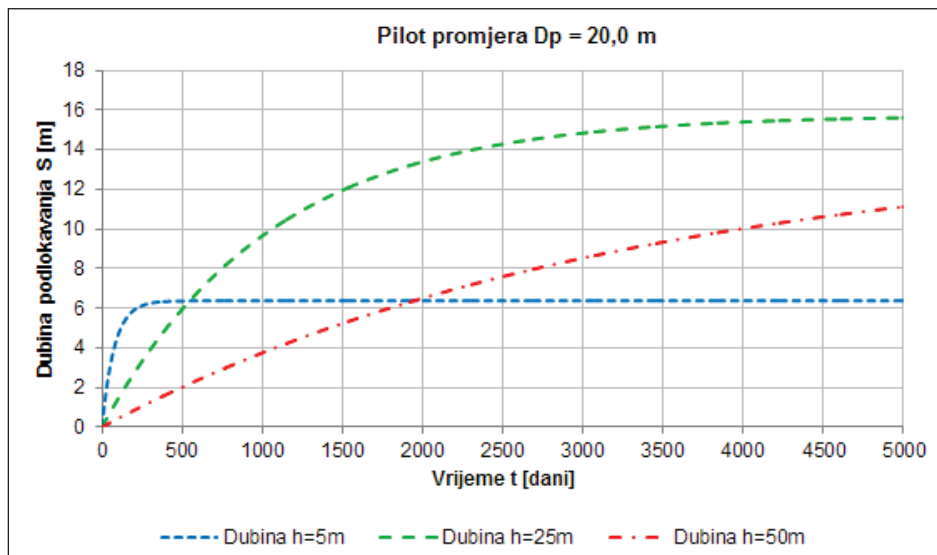
Slika 6. Vremenski razvoj dubine podlokavanja S za promjer pilota $D_p=1.5$ m



Slika 7. Vremenski razvoj dubine podlokavanja S za promjer pilota $D_p=4.0$ m



Slika 8. Vremenski razvoj dubine podlokavanja S za promjer pilota $D_p=6.5$ m



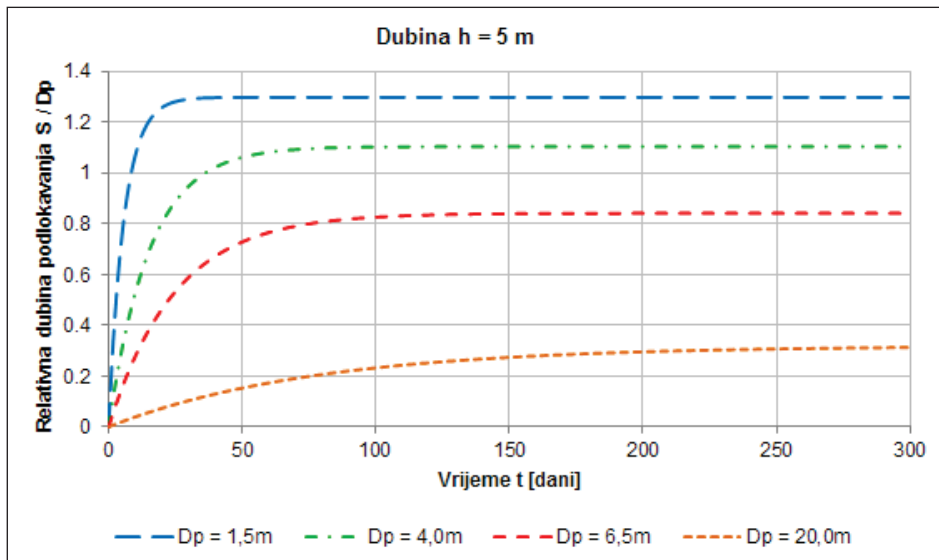
Slika 9. Vremenski razvoj dubine podlokavanja S za promjer pilota $D_p=20\text{m}$

Za slučaj djelovanja morskih struja, na svim dubinama mora h i promjerima temelja D_p rezultati su očekivani u smislu da dubina podlokavanja raste kako se dubina mora smanjuje te da na većim dubinama mora puno sporije dolazi do dostizanja ravnotežne, odnosno maksimalne dubine podlokavanja S_e . Iznimka je u slučaju temelja promjera $D_p = 20.0\text{ m}$ gdje je razvoj dubine podlokavanja ograničen dubinom mora, što se također slaže sa zapažanjima Whitehousea [2] da razvoj dubine podlokavanja nastale oko konstrukcija većih dimenzija ($D_p/h > 0.5$) nije istovjetan razvoju dubine podlokavanja oko relativno „vitkih“ konstrukcija.

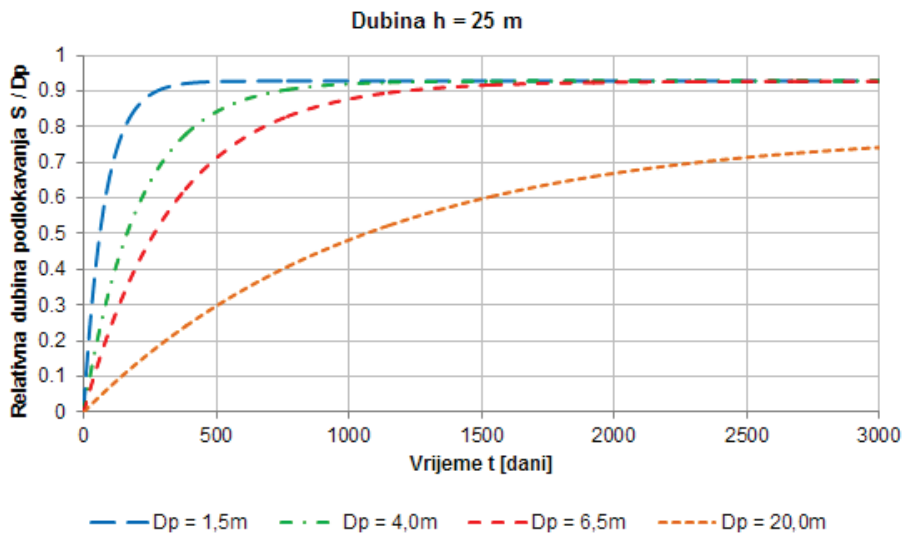
U nastavku se također daje vremenski prikaz razvoja relativne dubine podlokavanja samo za slučaj djelovanja morskih struja, i to za dubine mora $h=5\text{m}$ (Slika 10), $h=25\text{m}$ (Slika 11) i $h=50\text{m}$ (Slika 12). Relativna dubina podlokavanja je omjer dubine podlokavanja S i promjera pilota, odnosno kesona D_p .

Promatrajući rezultate (Slika 10, 11 i 12) može se primijetiti kako je za srednje ($h=25\text{ m}$) i velike dubine mora ($h=50\text{ m}$) relativna dubina podlokavanja S/D_p približno jednaka za sve dimenzije temeljne konstrukcije, što sugerira da se pri dovoljno velikoj dubini i jednakim sedimentnim i hidrodinamičkim uvjetima dubina podlokavanja može izraziti u funkciji promjera temeljne konstrukcije bez obzira na njenu dimenziju. S druge strane, u slučaju malih dubina mora ($h= 5\text{ m}$), relativna dubina podlokavanja S/D_p varira s promjerom temelja, i to na način da

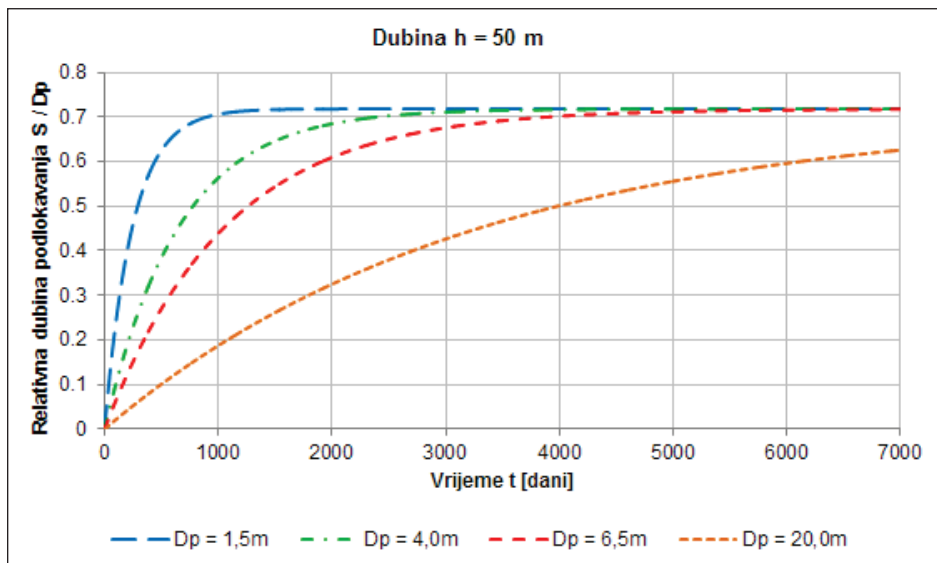
joj je obrnuto proporcionalna (Slika 10), ali to je vjerojatno povezano s činjenicom kako se u ovom slučaju veći promjeri temelja približavaju dubini mora te je čak i nadmašuju.



Slika 10. Vremenski razvoj relativne dubine podlokavanja na dubini mora $h=5 \text{ m}$



Slika 11. Vremenski razvoj relativne dubine podlokavanja na dubini mora $h=25 \text{ m}$



Slika 12. Vremenski razvoj relativne dubine podlokavanja na dubini mora $h=50$ m

Za dubinu $h=50$ m i $D_p < 20$ m, maksimalna dubina podlokavanja iznosi $S_e = 0.71 \times D_p$.

Za dubinu $h=25$ m i $D_p < 20$ m, maksimalna relativna dubina podlokavanja iznosi $S_e = 0.92 \times D_p$.

Objе vrijednosti su bitno manje od DNV standarda [15] koji daje opću preporuku o maksimalnoj dubini podlokavanja $S_e = 1.3 \times D_p$, što potvrđuje važnost proračuna ovog parametra uzimajući u obzir točne hidrodinamičke i sedimentne uvjete na pojedinoj lokaciji.

6. Preporuke za temeljenje

Iako nije uvijek potrebno poznavati točni vremenski razvoj dubine podlokavanja, ta informacija može biti korisna, primjerice pri definiranju uvjeta održavanja konstrukcije. Također, tijekom izvođenja vjetroelektrana od posebnog je značaja poznavati maksimalni vremenski period, od trenutka ugradnje pilota ili kesona, u kojem je potrebno postaviti odgovarajuću zaštitu od podlokavanja.

U praksi postoje dva različita pristupa preventivnih mjera za umanjeње negativnih utjecaja pojave podlokavanja pri projektiranju pilotnih, odnosno kesonskih konstrukcija u moru. Najčešći pristup se očituje u zaštiti temeljnog dna oko konstrukcije. To može biti višeslojni „rip-rap“

kameni nabačaj, zaštitna platforma (protective apron) te zaštitni jastuci (sandbags) ili madraci (mattresses). Drugi pristup dozvoljava potpuni razvoj podlokavanja oko temeljne konstrukcije, ali se proračun konstrukcije (potrebne dubine ukopavanja pilota) provodi s početnom pretpostavkom kako je sav sedimentni materijal od površine dna do dubine koja odgovara ravnotežnoj dubini podlokavanja uklonjen [15].

7. Zaključak

Proračun vremenskog razvoja dubine podlokavanja oko temelja vjetroelektrana u moru pokazao se kao vrlo zahtjevan i osjetljiv postupak. Već i sam proračun pronosa sedimenta u slučaju kombiniranog djelovanja struja i valova predstavlja vrlo kompleksan zadatak. Dostupnih modela i formula ima mnogo, a velika devijacija rezultata pokazala je kako je potrebno vrlo pažljivo odabrati odgovarajući model te dobro poznavati specifično područje primjene svakog pojedinog modela. Naime, većina modela prikazanih u ovome radu je djelomično empirijskog karaktera, a izvedena je na osnovu istraživanja na relativno ograničenom rasponu sedimentnih parametara. Preciznost predviđanja vremenskog razvoja podlokavanja još i više ovisi o točnom odabiru odgovarajućeg modela; izrazi su u potpunosti empirijski, a područje primjene je vrlo specifično i znatno ograničenije. Za neka područja primjene, poput, primjerice, podlokavanja oko konstrukcija relativno većih dimenzija, konkretne formule niti ne postoje, već ih za inženjerske potrebe zamjenjuju samo okvirne preporuke.

Postojeći model proračuna vremenskog razvoja dubine podlokavanja bilo bi vrlo korisno nadopuniti i proračunom opsega tlocrtne površine morskoga dna zahvaćenog procesom podlokavanja, što bi bilo od velike koristi pri odabiru odgovarajuće vrste i količine materijala za zaštitu temeljnog tla.

Kada se govori o realnim mogućnostima izgradnje vjetroelektrana na moru u Hrvatskoj, treba biti svjestan činjenice kako je u Jadranskom moru dno vrlo strmo, a dubine i na najplićim dijelovima otvorenog mora premašuju 50 m. Područja dubina mora manjih od 50 m se u pravilu nalaze u vrlo uskom pojasu uz samu obalu (širine maksimalno nekoliko stotina metara) što, uz izuzetak plutajućih vjetroelektrana, značajno smanjuje površinu podobnu za izgradnju vjetroelektrana na moru.

Literatura

- [1] *Offshore Wind Energy Factbook*. E.on Climate & Renewables. 2010.
- [2] Bijker, E.W., Longshore Transport Computations. *Journal of Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division*, 97: WW4, 1971.
- [3] Neumeier, U., Ferrarin, C., Umgiesser, G., *Sedtrans05 – User Manual*, 2010.
- [4] Van Rijn, L.C., Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. *Aqua Publications*, Amsterdam, Netherlands, 1993.
- [5] Whitehouse, R., Scour at marine structures – A manual for practical applications. Thomas Telford, London, UK, 1998.
- [6] Fredsoe, J., Diegaard, R., Mechanics of Coastal Sediment Transport. *Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 3*, World Scientific, Singapore, 1992.
- [7] Reeve, D., Chadwick, A., Flemin, C., *Coastal Engineering – Processes, Theory and Design Practice*. Spon Press, Oxon, 2004.
- [8] Liu, Z., *Sediment Transport*. Aalborg University, Aalborg, Denmark, 2001.
- [9] Liingaard, M., *Dyanmic Behaviour of Suction Caissons*. PhD Thesis, Aalborg University, Aalborg, Denmark 2006.
- [10] Kurian, J., Ganapathy, C., Monopile Foundations for Offshore Wind Turbines. *ICSBI 2010*, part of ESTCON 2010, Kuala Lumpur, 2010.
- [11] Zaaijer, M.B., Comparison of Monopile, Tripod, Suction Bucket and Gravity Base Design for a 6 MW Turbine. *OWEMES*, ENEA, Italy, 2003.
- [12] Byrne, B.W., Houlsby, G.T., *Foundations for Offshore Wind Turbines*. Philosophical Transactions of the Royal Society, London, England, 2003.
- [13] *Studija utjecaja na okoliš za luku nautičkog turizma Crikvenica*. Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2009.
- [14] Harris, J. M., Whitehouse, R. J. S., Benson, T., The time evolution of scour around offshore structures. *Maritime Engineering*, 163, 2010.
- [15] DNV Offshore Standard DNV-OS-J101. *Design of Offshore Wind Turbine Structures*. DNV, Oslo, 2007.

UTJECAJ PLANIRANE AKUMULACIJE ZORETIĆI NA MOGUĆNOST KORIŠTENJA VODA RJEČINE

INFLUENCE OF PLANNED RESERVOIR ZORETIĆI ON RJEČINA RIVER WATER RESOURCE USAGE POSSIBILITIES

Joško TROŠELJ*, Nevenka OŽANIĆ*

Sažetak.

U radu je provedena standardna analiza hidroloških parametara izmjerenih duž toka Rječine uzvodno od akumulacije Valići te proračun vodne bilance za stanje do kojeg bi došlo u slučaju izgradnje akumulacije Zoretići.

Analizirajući stanje vodoopskrbe Rijeke i bliže okolice te očekivani razvoj tog područja, 1967. godine dolazi se do saznanja da nema drugih izdašnih izvora pitke vode za zadovoljenje svih potreba osim izvora Rječine. Stoga je od 1969. do 1970. godine izrađeno idejno rješenje i glavni projekt „Akumulacije Zoretići“ u gornjem toku Rječine. Do 1985. godine napravljeno je još nekoliko projekata i studija vezanih za akumulaciju Zoretići koje su poslužile kao osnova za analize prikazane o ovome radu. Međutim, zbog neosiguranih izvora financiranja, a i zbog kasnijeg smanjenja godišnje potrošnje vode u Rijeci i okolici, odustalo se od stvarne realizacije tog projekta.

Budući da, u vrijeme kada su se radili projekti vezani za planiranu akumulaciju Zoretići, nisu bili dostupni dovoljno dugi nizovi podataka o protocima na hidrološkim profilima Rječine kakvima raspoložemo danas, u radu je analizirana održivost zaključaka iz tih projekata za proteklo razdoblje, kao i za cjelokupno planirano razdoblje do 2040. godine. Prikazana je planirana prosječna raspoloživa količina vode koja bi se mogla koristiti u vodoopskrbne i elektroprivredne svrhe po mjesecima, kao i količina vode koja bi se prelijevala preko planirane brane akumulacije. Zasebno su analizirana najsušnija razdoblja od 1988. do 2008. godine kako bi se dobio uvid o

* Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka
E-mail: {josko.troselj, nozanic}@gmail.com

moogućnostima zadovoljenja potreba za vodom iz akumulacije za trajanja ekstremnih hidroloških prilika (sušna razdoblja).

Ključne riječi: *vodna bilanca, vodoopskrba, Rječina, akumulacija Zoretići, hidrološki podaci, sušna razdoblja*

Abstract

The paper presents the standard hydrologic analysis of the Rječina river flow upstream from reservoir "Valići" as well as calculation of water balance for possibly changed conditions occurring as a result of projected construction of the upstream reservoir "Zoretići".

In 1967, by analyzing water supply conditions and the expected development of the region at the time, it was known that no alternative abundant source of fresh water in the city of Rijeka and its surroundings except the Rječina source existed. Therefore, from 1969 to 1970, the conceptual design and the main project of the reservoir "Zoretići" were made. Basis for the calculation were conclusions from the actual project made in 1985 and the new available series of daily flow data. The old project has never been realized as a whole due to both the unsecured funding sources and the subsequent reduction of the annual water consumption in the city of Rijeka and its surroundings.

Unfortunately, there were not enough extensive records of series of flow data from hydrological profiles of Rječina recorded, like there are nowadays. Therefore, sustainability of the conclusions has been tested from those projects for the time elapsed and for the whole projected period until 2040. The planned average amount of water available for water supply and electric power industry as well as the amount of water that would spill over the dam per each month was calculated for the projected period until 2040. The driest recorded periods from 1988 to 2008 were calculated separately in order to gain insight into the possibilities of securing the demand for water from the reservoir in the most unfavorable hydrological conditions (drought periods).

Key words: *water balance, water supply, Rječina, reservoir Zoretići, hydrologic data, drought periods*

1. Uvod

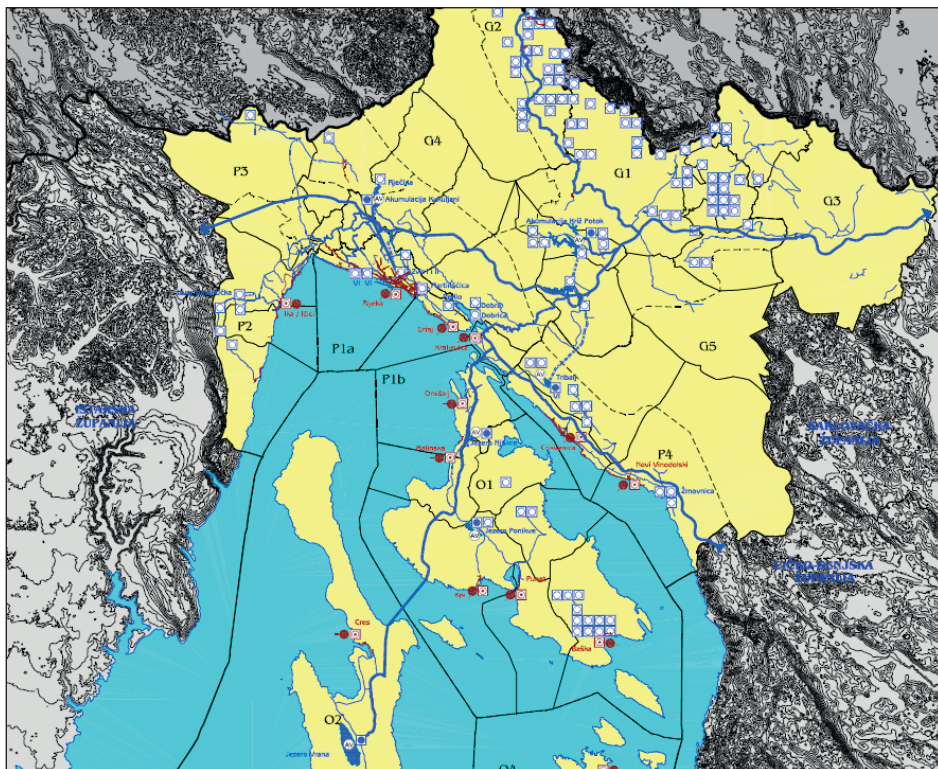
Osnovni cilj samoga rada jest sagledavanje mogućnosti korištenja voda rijeke Rječine iz planirane akumulacije „Zoretići“. Analize su provedene za planirane potrebe za vodom u periodu do 2015. te od 2016. do 2040. godine, s posebnim naglaskom na izuzetno sušne godine (1988., 1997., 2003.) i mogućnostima osiguravanja potrebnih količina vode za vodoopskrbu i elektroprivredu u slučaju realizacije akumulacije „Zoretići“ u takvim uvjetima.

Rječina je vodotok kojemu glavninu protoka čine vode njezina jakog krškog izvora što je smješten na nadmorskoj visini od 325 m.n.m., a dio njezine vodne bilance služi i za vodoopskrbu Riječkog područja. Za sušnih mjeseci i izvor Rječine i njezin glavni tok gotovo redovito presušuju, a to presušivanje zna potrajati i do tri mjeseca godišnje. Ukupna duljina vodotoka Rječine iznosi 18,63 km, površina neposrednog sliva oko 54 km², no ukupna veličina slivnog područja s kojeg se izvor Rječine i povremena izvorišta na području Grobničkog polja prihranjuju višestruko je veća [1].

Duž cijelog toka Rječine, posebno u područjima gdje su naselja, poljoprivredne površine i drugi vrjedniji sadržaji, izgrađene su brojne građevine uređenja toka i izvršeni drugi radovi sa svrhom zaštite od poplava, smanjenja vršnih protoka i erozije [2].

Godine 1894. kaptiran je izvor "Zvir" i stari dio Rijeke dobiva vodovod. Budući da je zbog potrebe crpljenja vode i visokih pogonskih troškova voda iz Zvira bila veoma skupa, 1912. godine počela je izgradnja vodovoda kojim je Rijeka dobila vodu sa izvora Rječine putem gravitacije pa je ta voda ujedno bila i puno jeftinija, a i znatno kvalitetnija od vode iz Zvira [3]. S aspekta vodoopskrbe geografski položaj sliva Rječine je veoma povoljan za šire regionalno područje [1] te je stoga Skupština Općine Rijeka je 1969. godine donijela odluku o gradnji akumulacije „Zoretići“ kapaciteta 16.500.000 m³ s uređajem za kondicioniranje koja je trebala biti namijenjena elektroopskrbi i vodoopskrbi za šire regionalno područje. Izgradnji brane na lokaciji između sela Kukuljani i Zoretići (s potapanjem prvoga) nije se nikada pristupilo zbog pomanjkanja novca i neriješenih problema oko preseljenja pedesetak domaćinstava. Kasnije je predložena varijanta akumulacije „Kukuljani“ s istoimenom branom između sela Kukuljani i izvora Rječine bez potapanja sela. Sam izvor bio bi potopljen 15 metara, ali bi akumulacija bila iste zapremnine, manje površine, veće dubine i bolje kvalitete vode. Umjesto spomenutih varijanti površinske akumulacije vršila su se i hidrološka ispitivanja za zahvat glavnih vodenih tokova iznad Jelenja i Podkilavca [4]. Također se kao varijanta spominjalo i stvaranje podzemne akumulacije vode za vodoopskrbne potrebe, kao i želje za izgradnjom malih elektrana duž njenog toka [1]. Kako bi se dobio uvid o planiranim mogućnostima korištenja vode za regionalnu vodoopskrbu koje bi se realizirale izgradnjom jedne od akumulacija, na Slici 1 prikazan je planirani sustav regionalne vodoopskrbe i odvodnje koji bi tada bio omogućen.

Osim spomenutog korištenja voda izvora Rječine i Zvira, za vodoopskrbu se dijelom koristi i energetske potencijal Rječine. Od 1968. godine u uporabi je brana Valići te se voda iz akumulacije dovodi na postrojenje hidroelektrane Rijeka. Energetski se koristi oko 75% vodne bilance Rječine [1].



Slika 1. Sustav regionalne vodoopskrbe i odvodnje [5]

2. Osnovne značajke vodne bilance Rječine i njenog sliva

2.1. Opće značajke analiziranog prostora

Sliv Rječine pripada slivu Jadranskog mora. To je krški sliv kojeg karakteriziraju prostrane zone prikupljanja vode u planinskom području vrlo bogatom padalinama i vrlo složeni uvjeti izviranja vode na kontaktima s vodonepropusnim barijerama ili pod usporenim djelovanjem mora. Podzemni tokovi su daleko dublji i od razine mora. Vodonosnici su formirani u vapnencima i dolomitima, a barijere su stijene paleozojske i tercijarne starosti [5]. Planinsko zaleđe Rijeke po ukupnim količinama oborina (i do 4000 mm) spada u najvodnija područja u Hrvatskoj [6]. Uzdužni pad vodotoka varira od 1,8% u gornjem dijelu, 3,0% u srednjem dijelu i 0,36% u donjem dijelu toka. Protok Rječine izrazito varira tijekom godine te se kreće od minimuma od 0 m³/s do maksimalno zabilježenih 439 m³/s u profilu ušća u more (izračunato na osnovi vodozapažanja tijekom katastrofalne poplave 19. rujna 1898.). Rječina izvire iz spiljskog

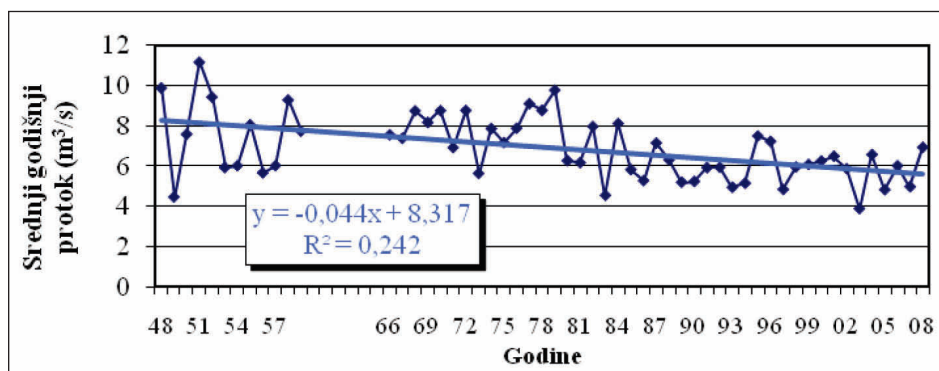
sistema i to je generalno uzlazan izvor jer se sifonalni prostor u zaleđu izvora prostire puno dublje od mjesta istjecanja [4].

2.2. Opće hidrološke značajke Rječine

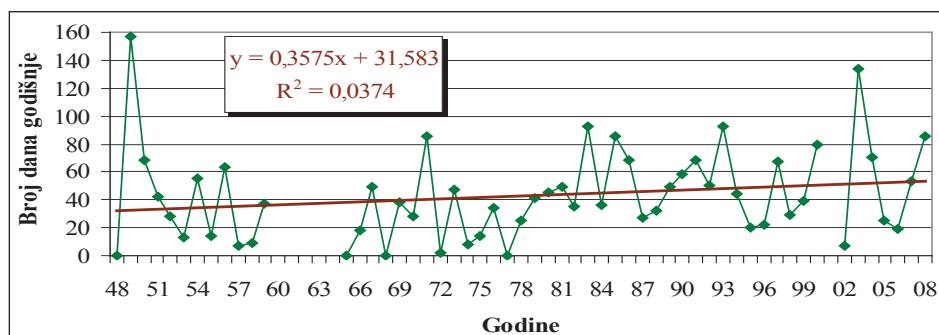
Duž toka Rječine i na izvorima koji ju prihranjuju postoji više aktivnih kao i bivših hidroloških profila [7].

Na Slici 2 prikazani su srednji godišnji protoci izvora Rječine, na Slici 3 prikazan je ukupan broj dana godišnje, a na Slici 4 prosječni postotak dana u mjesecu s presušivanjem preljeva izvora Rječine u promatranom periodu od 1948. do 2008. godine.

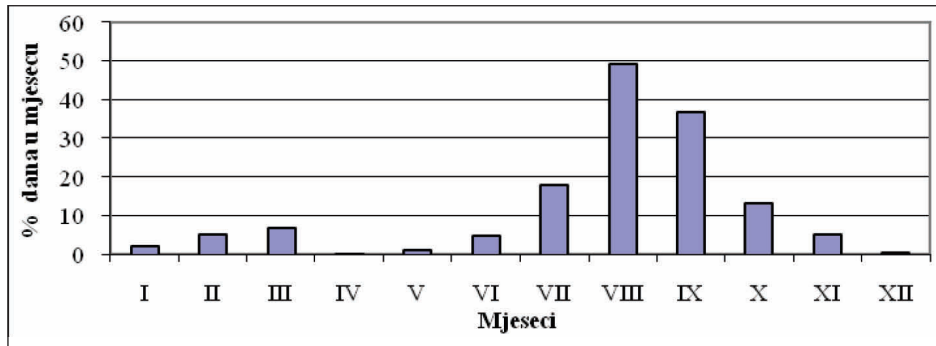
Na Slikama 2, 3 i 4 uočljivi su vrlo negativni trendovi smanjenja srednjeg godišnjeg protoka i povećanja broja sušnih dana izvora Rječine te izrazito neravnomjeran unutar godišnji raspored sušnih dana. Sagledani trendovi pokazatelji su da bi, nastave li se takvi trendovi, izgradnja akumulacije u bližoj budućnosti mogla postati prijeko potrebna.



Slika 2. Razdioba srednjih godišnjih protoka izvora Rječine (1948. - 2008.)



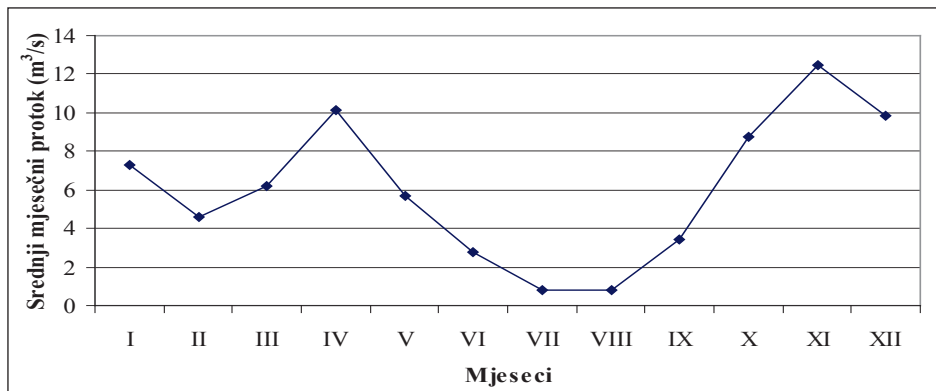
Slika 3. Broj dana godišnje bez preljeva izvora Rječine (1948. - 2008.)



Slika 4. Prosječni postotak dana u mjesecu bez preljeva izvora Rječine (1948. - 2008.)

3. Opće hidrološke značajke na profilu Zoretići - sadašnje stanje

Kako bi se kvalitetnije mogle sagledati promjene vodnog režima Rječine do kojih bi došlo izgradnjom akumulacije Zoretići, potrebno je prvo sagledati sadašnje hidrološke prilike na profilu pregrade planirane akumulacije. Za postaju Zoretići korišten je raspoloživi neprekidni niz podataka o dnevnim protocima i vodostajima od 1988. do 2008. godine. Prilikom proračuna primijenjene su standardne statističke obrade nizova hidroloških podataka.



Slika 5. Godišnji hod srednjih mjesečnih protoka Zoretići (1988. - 2008.)

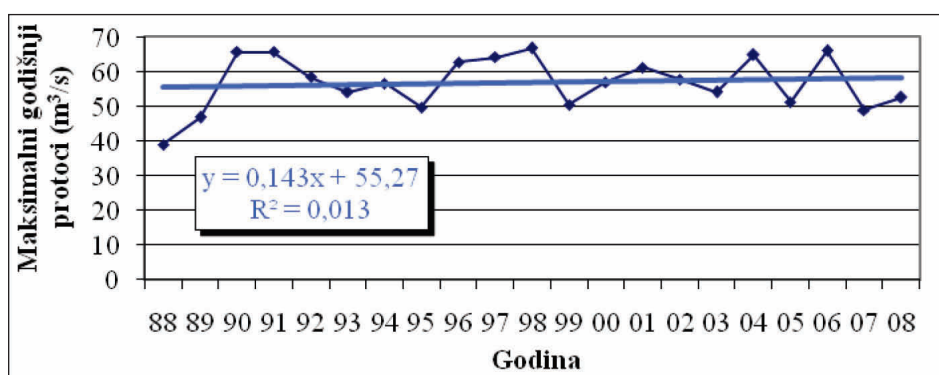
Na Slici 5 grafički je prikazan godišnji hod srednjih mjesečnih protoka postaje Zoretići za razdoblje mjerenih podataka od 1988. do 2008. godine, dok su u Tabeli 1 prikazani rezultati standardne statističke analize izmjerenih mjesečnih protoka na izvoru Rječine. U hidrološkim prilikama

sliva Rječine ovakvi srednji mjesečni protoci su očekivani. Lokalni maksimum u travnju očekivan je, ponajviše zbog topljenja velikih količina snijega u planinskom zaleđu sliva Rječine u to doba godine.

Tabela 1. Standardna statističkih analiza mjesečnih protoka izvora Rječine (m^3/s)

mj/ god	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Sr. God.
Qsr	7,63	6,60	7,06	12,04	9,01	4,34	1,77	1,30	3,64	7,62	11,53	9,92	6,87
σ	5,63	5,68	4,69	4,27	4,84	2,90	1,77	1,68	3,60	5,54	5,80	5,78	1,59
Cv	0,74	0,86	0,66	0,35	0,54	0,67	1,00	1,29	0,99	0,73	0,50	0,58	0,23
Cs	0,83	1,00	0,65	-0,35	0,24	0,63	2,27	2,03	1,28	0,89	0,51	0,72	0,46
max	24,00	21,50	19,38	20,20	19,80	12,10	10,50	8,88	14,50	22,50	30,50	25,00	11,20
min	0,06	0,09	0,11	1,76	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,55	3,88

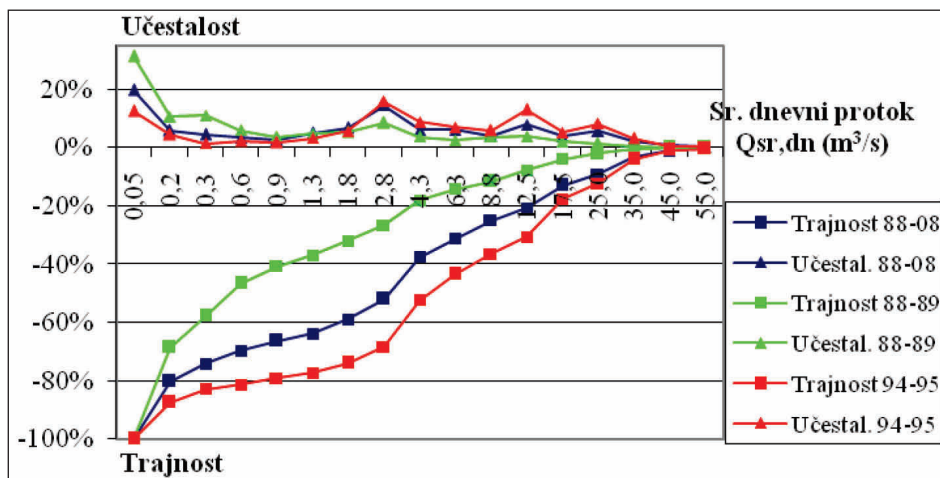
Budući da akumulacija, uz ostale funkcije, služi i za usporavanje velikih vodnih valova, proračun velikih voda prije i nakon izgradnje akumulacije od iznimne je važnosti. Na Slici 6 prikazan je hod maksimalnih godišnjih protoka postaje Zoretići za razdoblje mjerenih podataka od 1988. do 2008. godine. Maksimalni godišnji protoci na profilu Zoretići imaju neznatni trend rasta od samo $0,14 m^3/s$ godišnje. Međutim, raspoloživi niz vremenskih podataka od samo 21 godine premalen je da bi se trend vjerodostojnije sagledao.



Slika 6. Hod maksimalnih godišnjih protoka Zoretići (1988. - 2008.)

3.1. Značajke učestalosti i trajnosti pojave karakterističnih protoka

Provedena je [8] analiza učestalosti i trajnosti karakterističnih vrijednosti protoka za profil Zoretići, i to za cjelokupno razdoblje dostupnih podataka (1988. - 2008.) sa srednjim protokom od $6,07 \text{ m}^3/\text{s}$ te za najsušnije (1988. - 1989.) sa Q_{sr} od $2,48 \text{ m}^3/\text{s}$ i najvodnije (1994. - 1995.) sa Q_{sr} od $8,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Na Slici 7 prikazani su rezultati analize učestalosti i trajnosti srednjih dnevnih protoka na profilu Zoretići. Budući da su krivulje trajanja i učestalosti u vodnom periodu puno bliže prosjeku nego krivulje trajanja i učestalosti u sušnom periodu, može se zaključiti da su ekstremi sušnog perioda puno dugotrajniji nego ekstremi vodnog perioda te će se stoga kod proračuna akumulacije Zoretići posebno sagledavati dugotrajni sušni periodi.



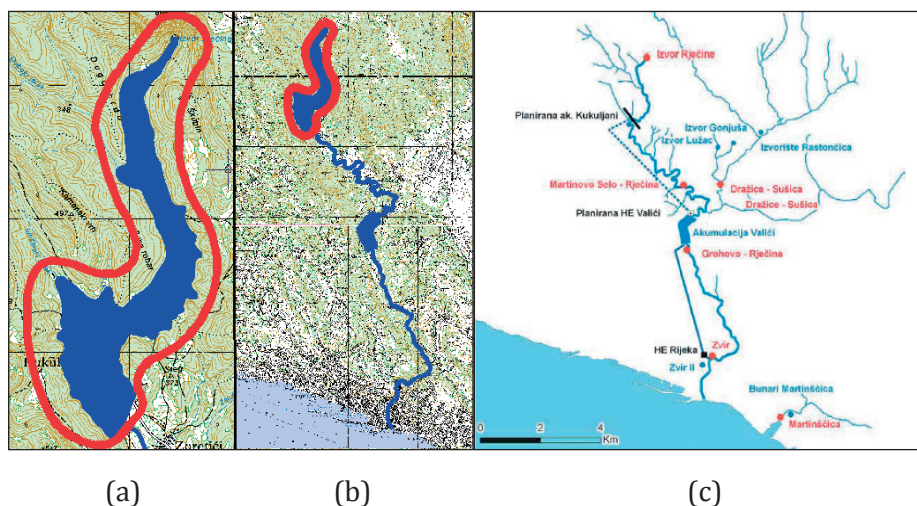
Slika 7. Učestalost i trajnost srednjih dnevnih protoka Zoretići (1988. - 2008.)

4. Profil Zoretići nakon izgradnje akumulacije

4.1. Kratak opis planirane akumulacije Zoretići

Akumulacija Zoretići obuhvatila bi prostor od izvora do sela Zoretići. Najviša usporna kota akumulacije bila bi uvjetovana položajem izvora Rječine i usvojena na $325,5 \text{ m n.m.}$ Ukupni sadržaj akumulacije kod te iste kote iznosio bi cca $16,7 \text{ km}^3$. Najniža kota pražnjenja predviđa se $300,0 \text{ m n.m.}$ tj. cca 12 m iznad dna doline kod pregrade. Korisni sadržaj akumulacije iznosio bi $15,5 \text{ km}^3$. Površina jezera kod maksimalne kote uspora iznosila bi $0,94 \text{ km}^2$, što uz dužinu od $3,5 \text{ km}$ daje prosječnu širinu 270 m [9].

Na Slici 8(a) prikazana je na geografskoj podlozi planirana akumulacija Zoretići u makro-mjerilu, a crvenom bojom označeno je njeno planirano zaštitno područje. Na Slici 8(b) njena pozicija i planirano zaštitno područje prikazani su u mikro-mjerilu te je istaknut i njezin položaj unutar šireg regionalnog prostora. Na Slici 8(c) također je prikazana hidrografska mreža sliva Rječine s hidrološkim profilima i označenom pozicijom pregrade planirane akumulacije „Kukuljani“ kako bi se dobio uvid o međusobnoj blizini lokacija pregrade za obje varijante planiranih akumulacija.



Slika 8. Akumulacija Zoretići na geografskoj podlozi u makro-mjerilu (a) i mikro-mjerilu (b) [2] te hidrografska mreža sliva Rječine (c) [6]

4.2. Namjena Akumulacije Zoretići

4.2.1. Opskrba Rijeke i bliže okolice pitkom vodom

Ukoliko bi se potreba za pitkom vodom u gradu Rijeci i njegovoj okolici s godinama povećavala, upitno je bi li izdašnost postojećeg vodoopskrbnog sustava bila dostatna za zadovoljenje potreba. Loša je strana Riječkog vodoopskrbnog sustava da je izdašnost izvora vrlo promjenjiva, najviše ljeti za vrijeme najveće potrošnje. Potrebno je stoga stvoriti akumulaciju koja će sačuvati vodu u vrijeme većih dotoka za doba kada dotoka nema. To je moguće izvesti u gornjem toku Rječine gdje to geološki uvjeti dozvoljavaju i gdje je voda bolje kakvoće. Proračuni su pokazali da bi za potrebe vodoopskrbe oko 2000. godine trebalo izgraditi akumulaciju korisne zapremnine oko 16 mil. m³. Tome bi odgovarala akumulacija „Zoretići“ [10].

Tabela 2. Planirane količine vode za vodoopskrbu, koje bi se uzimale iz dotoka Rječine i akumulacije „Zoretići“ (m³/s) [10]

Mjesec	1990-2015	2016-2040
I	1,2	1
II	1,2	1
III	1,3	1
IV	1,3	1
V	1,3	1,1
VI	1,4	1,6
VII	1,4	2,1
VIII	1,4	2,1
IX	1,4	1,5
X	1,3	1,2
XI	1,2	1
XII	1,2	1
Prosjek	1,3	1,3
Godišnje (mil. m3)	39,6	39,6

Tabela 3. Planirana minimalna stanja korisnog volumena akumulacije „Zoretići“ prema planu do 2040. godine [10]

Datum	Volumen (%)	Volumen (mil. m3)
1. I	20	3,1
1. II	20	3,1
1. III	20	3,1
1. IV	20	3,1
1. V	80	12,4
1. VI	100	15,5
1. VII	90	13,95
1. VIII	85	13,18
1. IX	75	11,63
1. X	45	8,53
1. XI	20	3,1
1. XII	20	3,1

Za potrebe vodoopskrbe osiguralo bi se prosječno $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ te za biološki minimum 200 l/s . Godišnje bi se za vodoopskrbu iz akumulacije moglo osigurati oko 41 mil. m^3 pitke vode. I nakon izgradnje akumulacije trebalo bi zadržati postojeći sustav dobivanja pitke vode direktno iz izvora Rječine bez kondicioniranja. Jedino za vrijeme nestašice pitke vode trebalo bi koristiti vodu iz akumulacije i kondicionirati prije upotrebe [10]. Planirane količine vode za vodoopskrbu prikazane su u Tabeli 2, a obavezni režim pražnjenja akumulacije prikazan je u Tabeli 3. Planirane količine vode za vodoopskrbu predviđene su zasebno za period do 2015. i od 2016. do 2040. godine te je zbog toga rađena zasebna analiza vodne bilance akumulacije za oba analizirana perioda.

4.2.2. Proizvodnja električne energije u HE Valići i povećanje proizvodnje u izgrađenoj HE Rijeka

Izgradnjom akumulacije Zoretići kao višenamjenskog objekta ostatak voda Rječine (nakon odbitka potreba vodoopskrbe i biološkog minimuma) mogao bi se iskorištavati u planiranoj HE Valići i izgrađenoj HE Rijeka. Uz instalirani protok od $25 \text{ m}^3/\text{s}$ i snagom 18 MW , HE Valići bi u prosječnoj hidrološkoj godini proizvodila 40 GWh električne energije. Elektrana bi radila uglavnom vršno, što bi joj akumulacija Zoretići dozvoljavala. Rad bi se usklađivao s nizvodnom hidroelektranom Rijeka koja ima neznatnu akumulaciju Valići. Zahvaljujući akumulaciji Zoretići, HE Rijeka bi mogla povećati svoju proizvodnju za oko 15 GWh ili 15% dosadašnje proizvodnje. Akumulacija bi se također koristila i kod redovitih godišnjih remonta da se voda ne gubi uzalud [10].

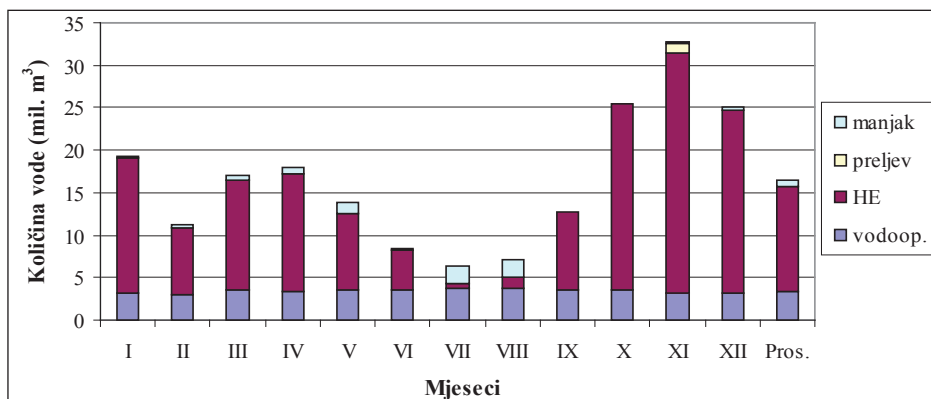
4.2.3. Smanjenje vodnih valova nizvodno od akumulacije Zoretići

Izgradnjom akumulacije Zoretići i držanjem niskog vodostaja u akumulaciji (prema Tabeli 2) u vrijeme očekivanih velikih vodnih valova (od početka studenog do kraja travnja), bilo bi moguće zadržati njihov veći dio. Ukoliko se vodni valovi pojave jedan iza drugog, moglo bi doći do prelijevanja iz akumulacije. To bi se događalo znatno rjeđe, a protoke bi bile znatno niže od dotoka. Ukupno bi se prosječno prelijevalo svega $0,5\%$ voda Rječine, dok se do sada iz akumulacije Valići prelijevalo 12% dotoka [10].

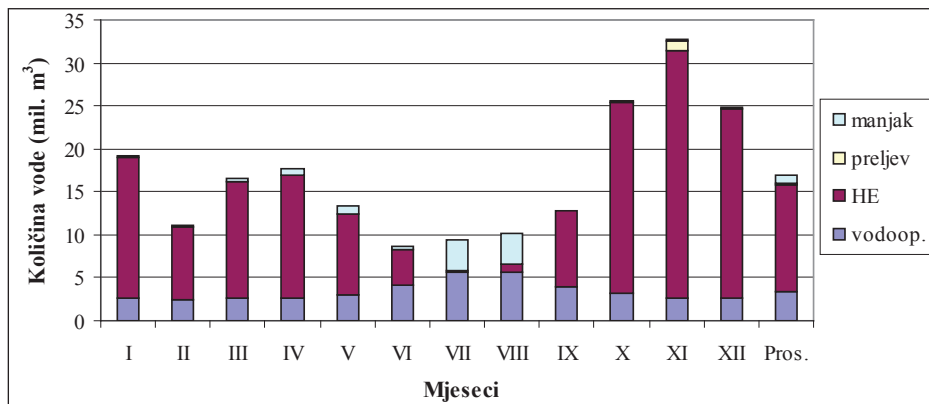
5. Vodna bilanca planirane akumulacije „Zoretići“

Napravljena su dva proračuna [8] vodne bilance akumulacije „Zoretići“, jedan uz pretpostavku da se višak vode iz akumulacije uvijek koristi u cijelosti, a drugi s planiranim minimalnim stanjima akumulacije na početku

svakog mjeseca, što se u sušnijem periodu postiže manjim korištenjem vode u energetske svrhe u ranijim mjesecima. Također, u oba je proračuna zasebno analizirano razdoblje do 2015. godine i od 2016. do 2040. godine, budući da su planirane količine vode za vodoopskrbu za ta dva razdoblja različite (Tabela 2). Kao podaci za proračun uzeti su raspoloživi nizovi srednjih mjesečnih protoka sa postaje Zoretići od 1988. do 2008. Godine koji su osrednjavani na dnevnoj bazi te se time smanjila pouzdanost proračuna, pogotovo iz razloga jer je Rječina vodotok bujičnog karaktera s izraženim maksimumima dnevnih protoka. Takav način osrednjanja protoka odabran je stoga što je proračun rađen za potrebe diplomskog rada prvoga autora pa precizniji proračun nije bio potreban. Kao smjernice za proračun vodne bilance uzeti su podaci za planirane količine vode za vodoopskrbu prikazane u Tabeli 2 te za obavezni režim pražnjenja akumulacije „Zoretići“ prikazan u Tabeli 3. Protok biološkog minimuma usvojen je sa 200 l/s, a protok odvodnog tunela za HE Valići 25 m³/s. Minimalni volumen akumulacije usvojen je sa 1,2 milijuna m³, kao razlika između maksimalnog i korisnog volumena akumulacije. Gubici vode u akumulaciji aproksimirani su sa 2% zbog nepostojanja točnijih (mjenjenih ili izračunatih) podataka. U nastavku su prikazane izračunate prosječne količine raspoložive vode za korištenje u vodoopskrbne i energetske svrhe, kao i višak vode koji bi se prelijevao te manjak vode u pojedinim mjesecima koji bi trebao biti nadoknađen tako da se reducira sveukupna potrošnja vode u prethodnim vodnim mjesecima kada je izvjesno pojavljivanje dužeg sušnog razdoblja. Na Slici 9 prikazane su dobivene količine vode za planirano razdoblje do 2015., a na Slici 10 za planirano razdoblje od 2016. do 2040. godine.



Slika 9. Prosječna mjesečna potrošnja vode iz akumulacije, plan do 2015.



Slika 10. Prosječna mjesečna potrošnja vode iz akumulacije, od 2016. do 2040.

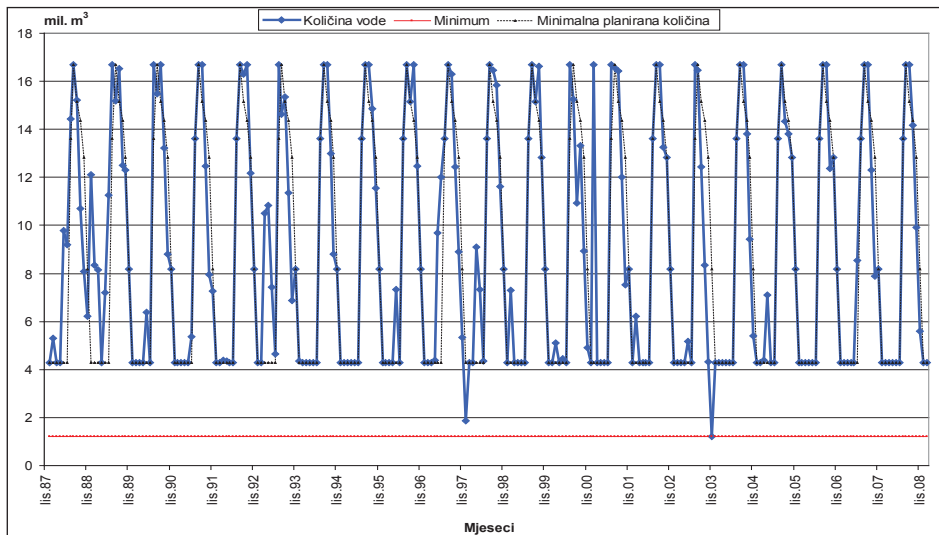
5.1. Vodna bilanca akumulacije Zoretići, uz planirani način upravljanja vodnim resursima

Prethodna analiza vodne bilance akumulacije uz pretpostavku da su uvijek održana planirana minimalna stanja akumulacije na početku svakog mjeseca dala je zadovoljavajuće rezultate. Međutim, upitno je jeli i u najsušnijim prilikama moguće uvijek osigurati minimalna stanja vode u akumulaciji. Također, ukoliko se očekuje sušnije razdoblje u nadolazećim mjesecima, tada se određeni dio vode iz vodnog razdoblja treba sačuvati kako bi akumulacija poslužila svojoj namjeni i u sušnom razdoblju te tako popunio manjak vode.

Kako bi se uvijek postigle planirane minimalne količine vode u akumulaciji na početku svakog mjeseca, ponekad je trebalo reducirati količinu vode namijenjenu za elektroprivredu u mjesecima koji su prethodili sušnijim mjesecima. Iznimno, u izuzetno rijetkim slučajevima ekstremno sušnih perioda, manjak vode mogao bi se nadoknaditi privremenim prestankom ispuštanja biološkog minimuma budući da se radi o vodotoku koji u svom prirodnom okruženju gotovo redovito presušuje u ljetnoj sezoni. Kod upravljanja vodama potrebno je raspolagati podacima o očekivanoj količini oborina i protoka za buduće višemjesečno razdoblje te tome prilagoditi način upravljanja raspoloživim vodama u vodnim mjesecima. Proračun je rađen retroaktivno sa poznatim podacima o protocima na profilu Zoretići od 1988. do 2008. godine. Ako se, dakle, očekuje sličan tip sušnog perioda kakav se već ranije pojavio u nekom analiziranom razdoblju, može se pristupiti i sličnom načinu upravljanja vodama kakav je simuliran u diplomskom radu [8].

5.1.1. Vodna bilanca akumulacije, uz planirani način upravljanja vodnim resursima do 2015. godine

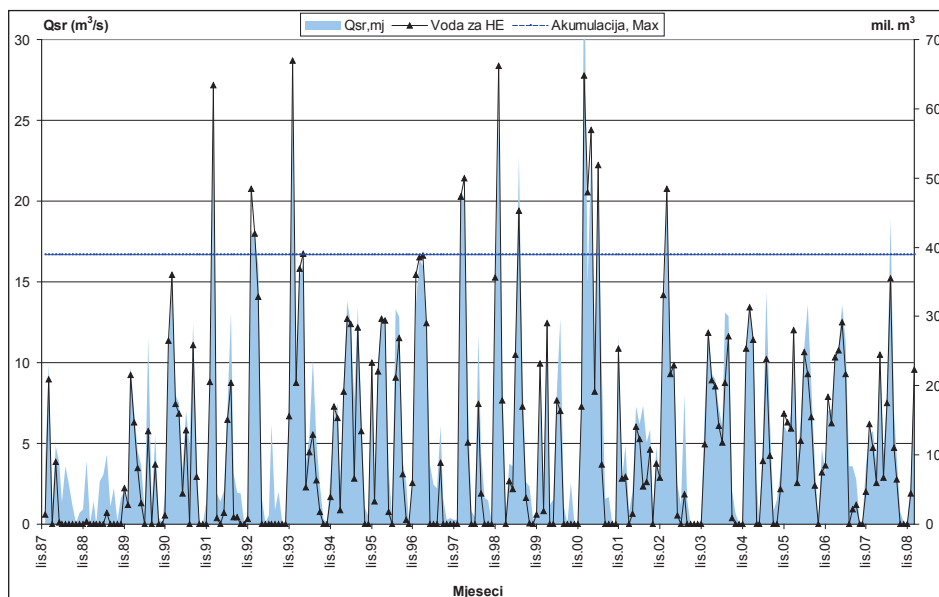
Na Slici 11 prikazana je simulacija stanja akumulirane vode u akumulaciji, a na Slici 12 prikaz odnosa raspoložive količine vode za elektroprivredu i srednjih mjesečnih protoka na profilu Zoretići prema bilanci voda za analizirano razdoblje od 1988. do 2008. godine, uz planirani način upravljanja akumulacijom do 2015. godine prema podacima u Tabelama 2 i 3.



Slika 11. Prikaz stanja akumulirane vode u akumulaciji uz planirani način upravljanja akumulacijom do 2015. godine

Analizom vodne bilance dobiveni su vrlo zadovoljavajući rezultati. U 50 od 255 mjeseci analiziranog niza (19,6%) nije bilo moguće postići planiranu minimalnu količinu vode u akumulaciji na početku mjeseca, međutim, uglavnom se radilo o mjesecima kada je planirana minimalna količina vode relativno velika tako da nemogućnost postizanja iste nije utjecala na opasnost od smanjenja količine vode ispod kritične razine. Samo u dva navrata nije bilo na početku nekog mjeseca moguće postići najmanju minimalnu planiranu količinu vode u akumulaciji od 4,3 milijuna m^3 . Od toga, jedino je u ekstremno sušnoj 2003. godini bilo potrebno reducirati ispuštanje biološkog minimuma sa 200 l/s na 38 l/s u četveromjesečnom razdoblju od lipnja do rujna kako bi se osigurala minimalna razina vode u akumulaciji i planirana količina vode za vodoopskrbu bez redukcije. Preljev uslijed velikih voda pojavio se samo jednom, u studenom 2000., kada HE Rijeka niti pri konstantnom radu nije

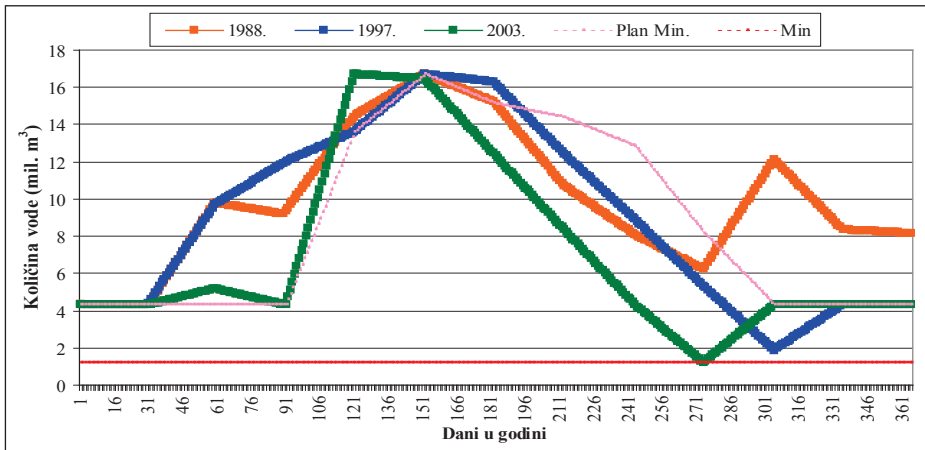
uspjela iskoristiti sav višak vode jer je količina vode dotekla do akumulacije bila veća od one koju je moguće dovesti preko dovodnog tlačnog tunela za HE s protokom od 25 m³/s. To samo potvrđuje da je količina iskorištene vode iz akumulacije iznimno velika.



Slika 12. Odnos raspoložive količine vode za elektroprivredu i srednjih mjesečnih protoka Zoretići do 2015. godine

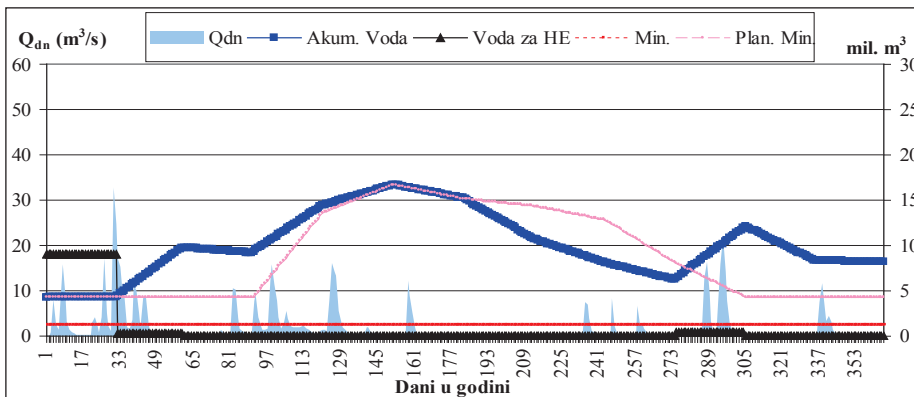
Na Slici 12, uz količine vode raspoložive za elektroprivredu, prikazana je i maksimalna moguća količina vode u akumulaciji kako bi se dobio uvid o omjeru punog kapaciteta akumulacije prema količinama vode koje se mogu iskoristiti u elektroprivredne svrhe. Prosječna mjesečna količina raspoložive vode za elektroprivredne svrhe iznosila bi 11,7 mil. m³. U 88 od 255 mjeseci analiziranog niza (34,5%) ne bi bilo raspoložive vode za elektroprivredu. Od ožujka 1988. do travnja 1989. godine zabilježen je najduži niz bez ili sa zanemarivom količinom raspoložive vode za elektroprivredu budući da je unutar toga niza jedino u listopadu 1988. bilo moguće iskoristiti 0,43 mil. m³ vode za elektroprivredu. Od kolovoza 2005. do travnja 2007., s iznimkom srpnja 2006. godine, zabilježen je najduži niz s konstantnim raspoloživim količinama vode za elektroprivredu uz prosječnu mjesečnu raspoloživu količinu vode unutar niza od 15,6 mil. m³. Prikazan je i zasebni proračun količina vode u akumulaciji za najsušnije godine: 1988. (Slika 14), 1997. (Slika 15) i 2003. (Slika 16) te međusobna usporedba na Slici 13. Uočljiva je i značajna korelacijska veza između količine srednjih

mjesečnih protoka na profilu Zoretići i raspoloživih količina vode za elektroprivredu, pogotovo za srednje i velike vode, kao što se vidi na Slici 17. Koeficijent korelacijske veze za niz od 254 analizirana parova podataka iznosi 0,945, što je izrazito velika podudarnost. Studeni 2000. godine nije uključen u proračun budući da bi tada došlo do prelijevanja vode.

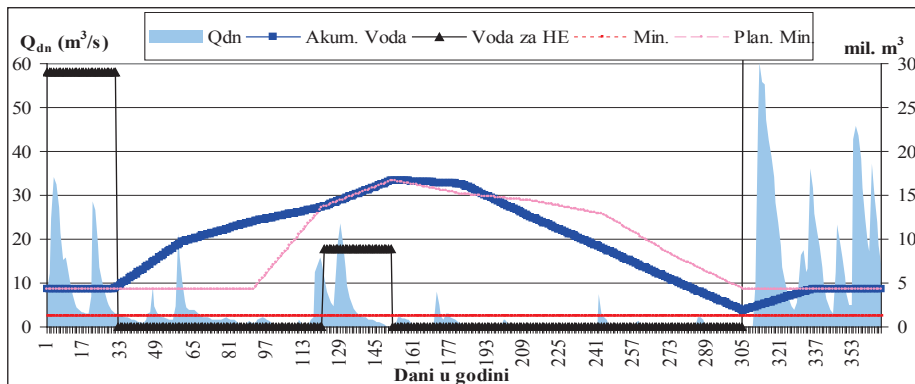


Slika 13. Količine vode u akumulaciji za najsušnije godine, plan do 2015.

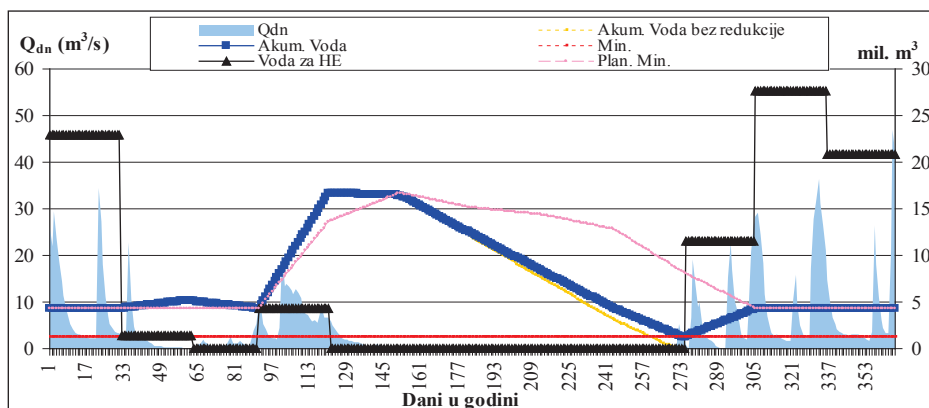
Iz usporednih grafova vidljivo je da su se u svakoj ekstremno sušnoj godini pojavili različiti načini distribucije unutar godišnjih protoka te stoga i način upravljanja vodama akumulacije u vodnom periodu treba biti veoma različit, ovisno o tome kakav se tip sušne godine očekuje.



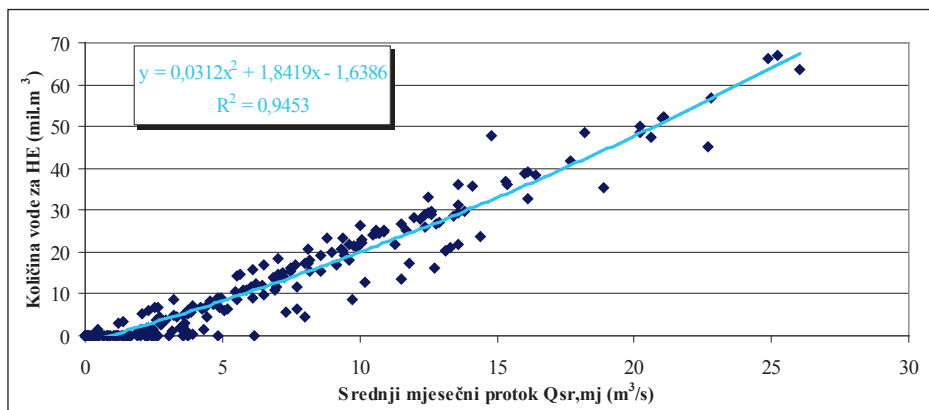
Slika 14. Količine vode u akumulaciji za 1988. prema planu do 2015.



Slika 15. Količine vode u akumulaciji za 1997. prema planu do 2015.

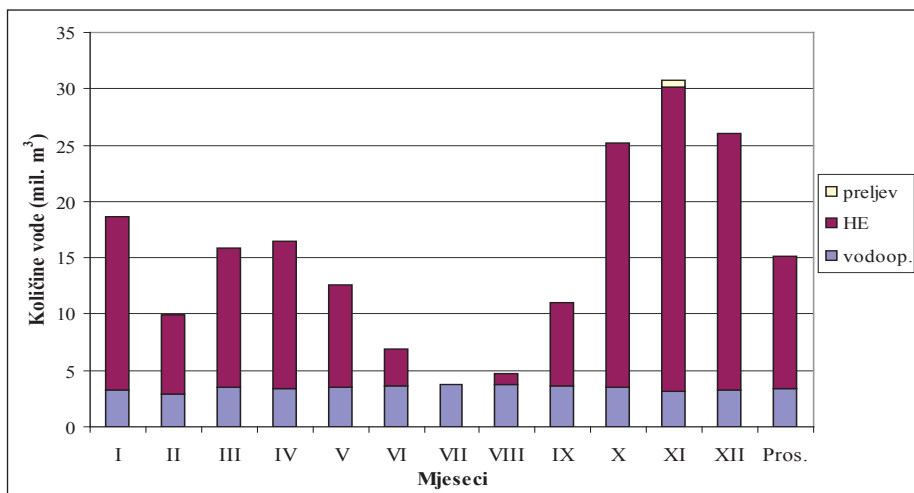


Slika 16. Količine vode u akumulaciji za 2003. prema planu do 2015.



Slika 17. Korelacijska funkcija srednjih mjesečnih protoka i količine raspoložive vode za elektroprivredu od 1988. do 2008., prema planu do 2015. godine

2003. godine pojavilo se najduže sušno razdoblje od čak 105 dana u nizu bez protoka i 136 dana u nizu s protokom manjim od $1 \text{ m}^3/\text{s}$, od 16. svibnja do 28. rujna. U 1997. godini pojavila se slična situacija, 130 dana u nizu protoke su iznosile manje od $1 \text{ m}^3/\text{s}$, međutim, korito nikada nije bilo suho. Također, suho se razdoblje pojavilo sa mjesečnim odmakom od nešto više od jednog mjeseca, od 30. lipnja do 5. Studenog, sa neznatnim i kratkim povećanjima protoka unutar tog suhog razdoblja. Uz reduciranje potrošnje elektroprivrede, vodnom bilancom dobiveno je da 1997. godine nije bilo potrebno poduzimati dodatne mjere kako bi se održala minimalna količina vode u akumulaciji, dok je 2003. godine bilo potrebno reducirati ispuštanje biološkog minimuma s 200 l/s na 38 l/s u četveromjesečnom razdoblju od lipnja do rujna. Kako bi se uvijek postigla minimalna planirana, odnosno maksimalna moguća količina vode u akumulaciji na početku travnja, svibnja i lipnja, potrošnju vode za elektroprivredu bilo je potrebno reducirati za 5,5 mil. m^3 u veljači 1988., za ukupno 7,7 mil. m^3 u periodu od siječnja do ožujka 1997. te za 0,9 mil. m^3 u veljači i 3,1 mil. m^3 u travnju 2003. godine.



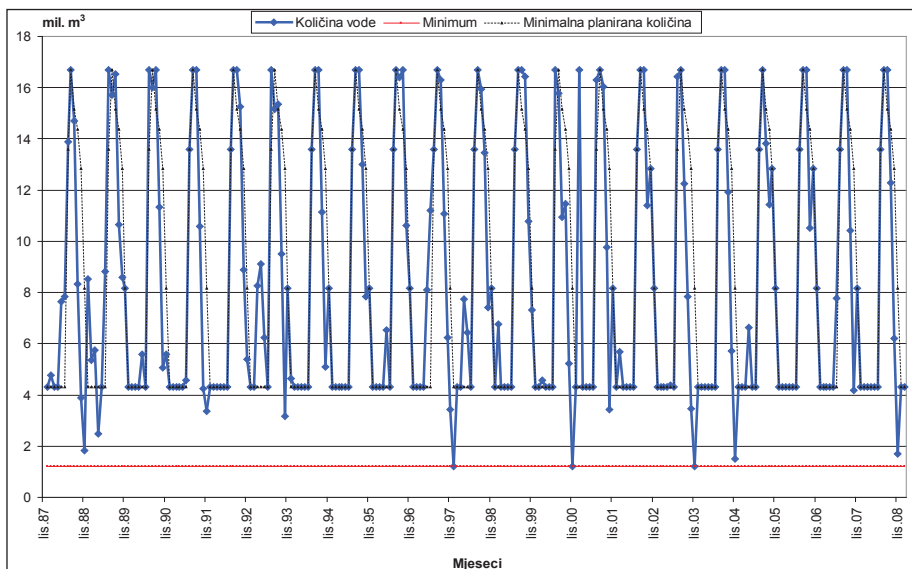
Slika 18. Prosječna mjesečna potrošnja vode iz akumulacije, plan do 2015.

Može se zaključiti da je pojavljivanje suhog perioda krajem lipnja puno povoljnije nego pojavljivanje suhog perioda u svibnju. Razlog tomu je što se, u situaciji kada se očekuju iznimno sušni mjeseci od srpnja do studenog, manjak vode može nadoknaditi prenamjenom vode iz akumulacije u lipnju, tj. održavanjem maksimalne količine vode na početku srpnja, iako je planirana razina za to razdoblje 90% od maksimalne. Takvu prenamjenu vode nije moguće napraviti ako se očekuje sušno razdoblje od svibnja ili lipnja budući da je za početak lipnja ionako planirano održavanje maksimalne razine vode u akumulaciji za sve hidrološke prilike.

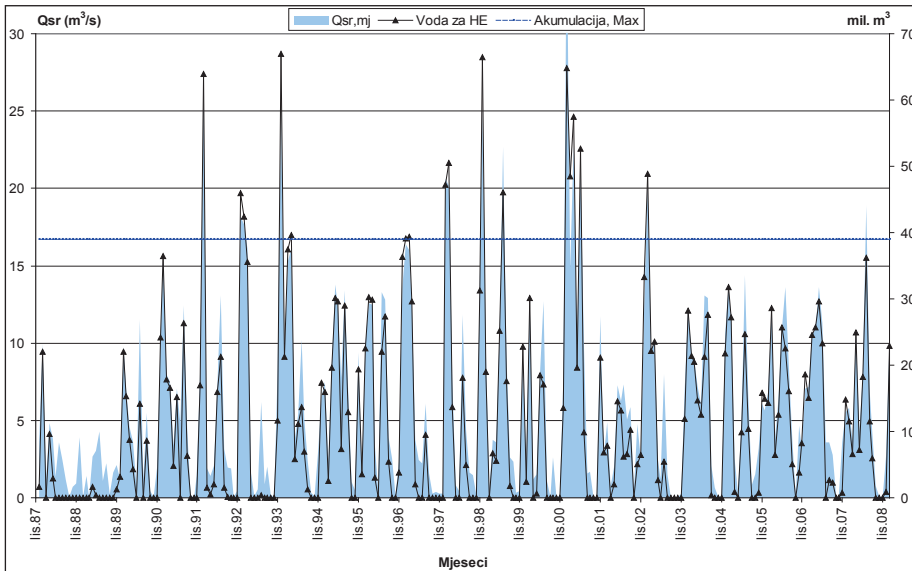
1988. godina specifična je po tome što nije imala ekstremna sušna razdoblja, ali je po prosječnoj količini protoka tokom cijele godine bila najsušnija, s prosjekom od 2,02 m³/s. Vodna bilanca 1988. izrazito je zanimljiva za elektroprivredu budući da pokazuje koliko će iznositi minimalne godišnje količine vode koje će biti moguće upotrijebiti u elektroprivredne svrhe. Vidljivo je da količina vode za elektroprivredne svrhe u najekstremnijoj 1988. godini iznosi oko 10 milijuna m³ vode. Radi usporedbe, ista se takva količina upotrijebi u elektroprivredne svrhe u samo 5 dana za vrijeme velikih voda. Kako bi se dobio uvid u količine vode dostupne za različite namjene prema mjesecima na Slici 18 prikazana je izračunata količina prosječne mjesečne potrošnje vode iz akumulacije prema planiranim količinama vode za vodoopskrbu do 2015.

5.1.2. Vodna bilanca akumulacije, uz planirani način upravljanja vodnim resursima od 2016. do 2040. godine

Na Slici 19 prikazana je simulacija stanja akumulirane vode u akumulaciji, a na Slici 20 prikaz odnosa raspoložive količine vode za elektroprivredu, maksimalne količine vode u akumulaciji i srednjih mjesečnih protoka na profilu Zoretići prema bilanci voda za analizirano razdoblje od 1988. do 2008. godine, uz planirani način upravljanja akumulacijom od 2016. do 2040. godine prema podacima u Tabelama 2 i 3.



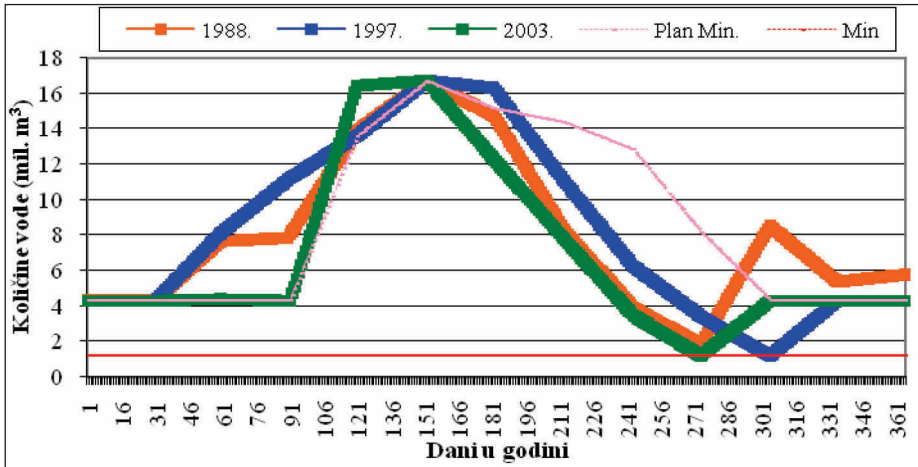
Slika 19. Prikaz stanja akumulirane vode u akumulaciji uz planirani način upravljanja akumulacijom od 2016. do 2040. godine



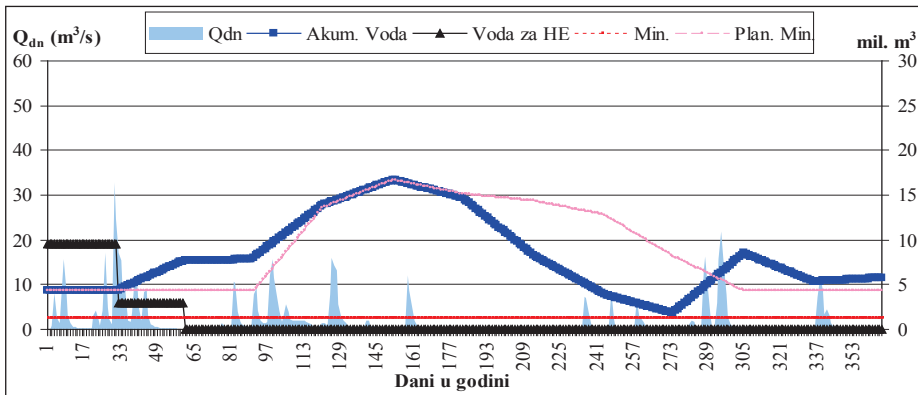
Slika 20. Odnos raspoložive količine vode za elektroprivredu i srednjih mjesečnih protoka Zoretići od 2016. do 2040. godine

Analiza vodne bilance akumulacije za planirano razdoblje od 2016. do 2040. godine je dala znatno nepovoljnije rezultate nego u razdoblju do 2015. godine. U 33 od 255 mjeseci analiziranog niza (12,9%) nije bilo moguće postići planiranu minimalnu količinu vode u akumulaciji na početku mjeseca, što je puno manje nego u razdoblju do 2015. godine. Međutim, čak u jedanaest navrata nije bilo moguće postignuti najmanju minimalnu planiranu količinu vode u akumulaciji na početku nekog mjeseca od 4,3 milijuna m³, a tri puta je trebalo osigurati minimalnu dozvoljenu razinu u akumulaciji redukcijama. U rujnu 2000. biološki minimum reduciran je s 200 l/s na 125 l/s, a 1997. godine je bio potreban potpuni prestanak ispuštanja biološkog minimuma u petomjesečnom razdoblju od lipnja do listopada, kao i reduciranje količine vode za vodoopskrbu za 11,1% u rujnu i listopadu. U najsušnijoj 2003. godini bio je potreban potpuni prestanak ispuštanja biološkog minimuma u četveromjesečnom razdoblju od lipnja do rujna kao i reduciranje količine vode za vodoopskrbu za 25,4% u tromjesečnom razdoblju od srpnja do rujna. Preljev uslijed velikih voda se pojavio samo jednom, u studenom 2000. godine. Budući da je zbog očekivanog turističkog razvoja regije u cjelini u razdoblju od 2016. do 2040. godine planirana mnogo veća potrošnje vode za vodoopskrbu u ljetnim a manja u zimskim mjesecima, logično je za očekivati da će i vodna bilanca akumulacije od 2016. do 2040. godine imati mnogo izraženije ekstreme za sušnih perioda, a do 2015. godine manje ekstreme, ali češće nemogućnosti postizanja planiranih minimalnih

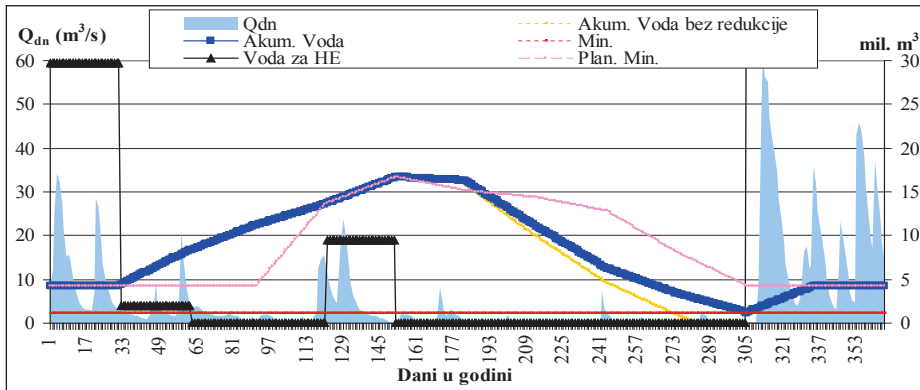
stanja vode u akumulaciji na početku svakog mjeseca. Prikazan je i zasebni proračun količina vode u akumulaciji prema planu od 2016. do 2040. godine za najsušnije godine: 1988. (Slika 22), 1997. (Slika 23) i 2003. (Slika 24) te međusobna usporedba na Slici 21.



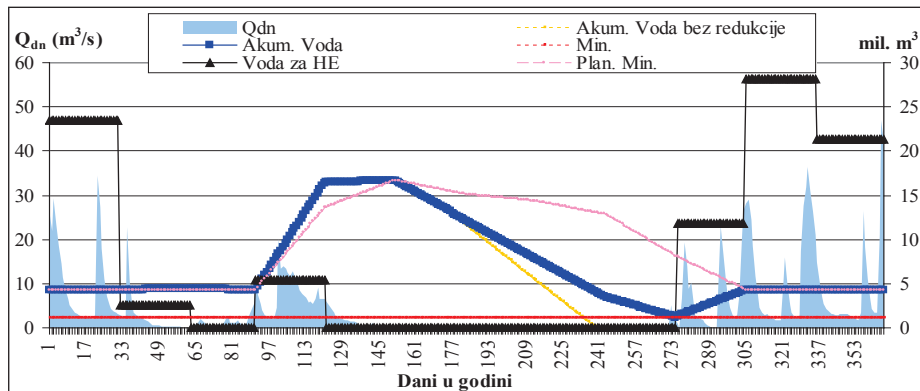
Slika 21. Količine vode u akumulaciji za najsušnije godine, plan 2016. - 2040.



Slika 22. Količine vode u akumulaciji za 1988. prema planu 2016. - 2040.



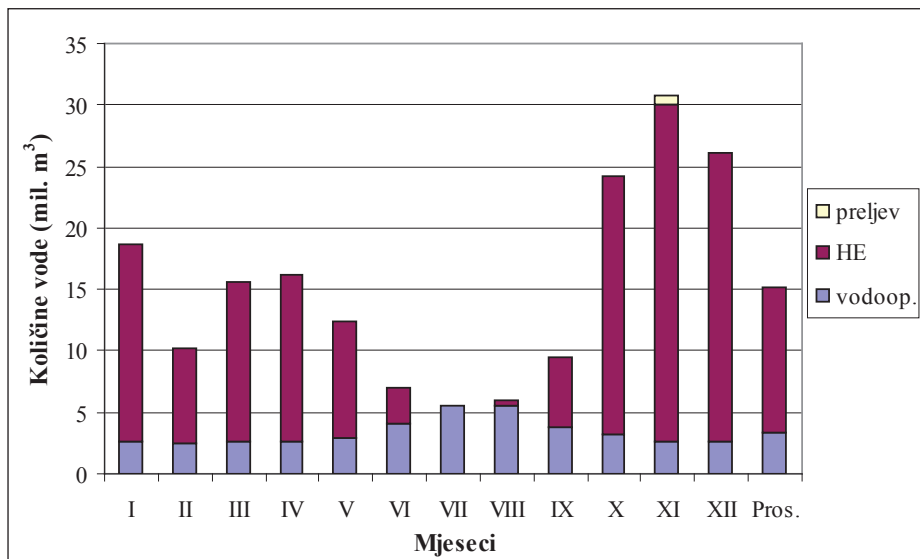
Slika 23. Količine vode u akumulaciji za 1997. prema planu 2016. - 2040.



Slika 24. Količine vode u akumulaciji za 2003. prema planu 2016. - 2040.

Možemo zaključiti da, uz planirana minimalna stanja akumulirane vode na početku svakog mjeseca od 2016. do 2040., češće dolazi do redukcije, odnosno prestanka ispuštanja biološkog minimuma, a u nekoliko navrata je čak potrebno i reducirati količinu vode za vodoopskrbu. Međutim, pozitivne strane tog plana su veće količine vode raspoložive za elektroprivredu u vodnim mjesecima, kao i veće količine vode planirane za vodoopskrbu u ljetnim mjesecima onih godina koje nisu ekstremno suhe.

Na Slici 25 prikazana je izračunata količina prosječne mjesečne potrošnje vode iz akumulacije prema planiranim količinama vode za vodoopskrbu od 2016. do 2040. godine.



Slika 25. Prosječna mjesečna potrošnja vode iz akumulacije, plan 2016.- 2040.

6. Zaključak

U radu su sagledane mogućnosti korištenja voda rijeke Rječine iz planirane akumulacije „Zoretići“ za planirane potrebe za vodom u periodu do 2015. te od 2016. do 2040. godine, a zasebno su analizirane mogućnosti osiguravanja potrebnih količina vode za vodoopskrbu i elektroprivredu za najsušniji 1988., 1997. i 2003. godinu.

Iz provedene analize raspoloživih količina vode može se zaključiti da je, uz predloženi način izgradnje akumulacije Zoretići od 16,7 mil. m³ zapremnine, količina vode koja bi bila iskorištena za vodoopskrbu i elektroprivredu iznimno velika. Prema analiziranoj vodnoj bilanci temeljenoj na izmjerenim srednjim mjesečnim protocima na profilu Zoretići, godišnje bi bilo raspoloživo prosječno 41 mil. m³ vode za vodoopskrbu, 140,5 mil. m³ za elektroprivredu, a tek 0,7 mil. m³ bi se prelijevalo. Međutim, proračun je rađen na način da su ulazni podaci o srednjim mjesečnim protocima osrednjavani na dnevnoj bazi te se time pouzdanost proračuna bitno smanjila, a ponajviše u pogledu količina vode koje bi se prelijevale preko brane.

Kako bi se uvijek postigla minimalna planirana, odnosno maksimalna moguća količina vode u akumulaciji na početku travnja, svibnja i lipnja, potrošnju vode za elektroprivredu bilo bi potrebno reducirati za 3,3 mil.

m³ u veljači 1988., za ukupno 6,9 mil. m³ u veljači i ožujku 1997. te za 2,8 mil. m³ u travnju 2003. godine. Također bi bio potreban potpuni prestanak ispuštanja biološkog minimuma od lipnja do listopada 1997. i od lipnja do rujna 2003. te redukcija vode za vodoopskrbu od 11,1% u rujnu i listopadu 1997. i za 25,4% od srpnja do rujna 2003. godine.

Prosječna mjesečna količina raspoložive vode od 11,7 mil. m³ bila bi gotovo identična za oba planirana razdoblja, ali bi njihov unutar godišnji raspored bio različit. Analiza je pokazala da bi za planirano razdoblje od 2016. do 2040. godine mogućnosti korištenja voda bile manje nego u planiranom razdoblju do 2015. godine, ponajviše zbog veće potrebe za vodom u ljetnim mjesecima. U 88 od 255 mjeseci analiziranog niza (34,5%) ne bi bilo raspoložive vode za elektroprivredu. Količine vode za elektroprivredne svrhe u najekstremnijoj 1988. godini iznosile bi oko 12,5 milijuna m³ vode, a tada bi se pojavio i najduži vremenski period od 11 mjeseci u nizu bez vode za elektroprivredu, od ožujka 1988. do veljače 1989. godine. Od kolovoza 2005. do travnja 2007., izuzevši srpanj 2006. godine, bio bi zabilježen najduži niz s konstantnim raspoloživim količinama vode za elektroprivredu uz prosječnu mjesečnu raspoloživu količinu vode unutar niza od 15,6 mil. m³, kao i prema planu do 2015. godine. Uočljiva je i značajna korelacijska veza između količine srednjih mjesečnih protoka na profilu Zoretići i raspoloživih količina vode za elektroprivredu, pogotovo za srednje i velike vode. Koeficijent korelacijske veze za niz od 254 analizirana parova podataka iznosi 0,95, što je izrazito velika podudarnost, veća nego prema planu do 2015. godine.

Uočljiv je trend pada prosječnog protoka izvora Rječine za 0,04 m³/s godišnje te trend porasta broja dana sa presušivanjem preljeva za 0,36 dana godišnje. Veoma je zabrinjavajući podatak o tako velikom broju porasta sušnih dana godišnje, što posljedično uzrokuje i sve veću neravnomjernost najekstremnijih sušnih i vodnih perioda te stoga utječe veoma nepovoljno na upravljanje akumulacijom. Zasebno su analizirani najsušniji zabilježeni nizovi protoka kako bi se provjerile mogućnosti održavanja minimalne razine vode u akumulaciji za različite najnepovoljnije prilike pojavljivanja malih voda te odredili načini upravljanja vodom u vodnim periodima koji prethode dugotrajnim sušnim periodima. Prema planu do 2015., jedino za period od srpnja do rujna iznimno sušne 2003. godine bio bi potreban prestanak ispuštanja biološkog minimuma kako bi se održala minimalna razina vode u akumulaciji, dok bi prema planu od 2016. do 2040. godine dolazilo do češćeg prestanka ispuštanja biološkog minimuma, a u dva navrata i do redukcije količine vode za vodoopskrbu, ali se u tom periodu unutar godišnji raspored raspoloživih količina vode pokazao povoljnijim.

Ovaj rad temeljio se isključivo na hidrološkom proračunu planirane akumulacije i u tom se pogledu planirana akumulacija pokazala kao veoma iskoristiva i pouzdana, budući da se analizom vodne bilance došlo do zaključka da se gotovo sva raspoloživa voda koja dotekne do profila Zoretići (99,7%) može iskoristiti u razne svrhe kao i gotovo neprekinuto ispuštanje biološkog minimuma, 98,8% analiziranih mjeseci prema planu do 2015. odnosno 96,1% prema planu od 2016. do 2040. godine. Moguće je da bi eventualna izgradnja akumulacije imala i mnoge negativne utjecaje na tok Rječine i regiju u cjelini, međutim to pitanje prelazi okvire i temu ovoga rada.

Literatura

- [1] Županijski zavod za razvoj, prostorno uređenje i zaštitu okoliša. *Prostorni plan Primorsko-goranske županije*. Rijeka, 2000.
- [2] Urbanistica d.o.o. *Prostorni plan uređenja općine Jelenje*. Zagreb, 2006.
- [3] Matejčić, R., *Kako čitati grad*. Adamić, Rijeka, 2007.
- [4] Jurković, S., Marinović-Uzelac, A., *Generalni urbanistički plan grada Rijeke 2000. - 2020.*, Rijeka, 2005.
- [5] Plišić, I. i suradnici. Separat F1 - Zaštita voda županije Primorsko-goranske. *Prostorni plan županije Primorsko-goranske*. IGH d.d., Rijeka, 1996.
- [6] Vodovod i kanalizacija d.o.o. *Rijeka i Grad Rijeka. Prošlost, sadašnjost i budućnost vodoopskrbe i odvodnje*. Rijeka, 2005.
- [7] Ožanić, N., Rubinić, J., *Prirodne hidrološke značajke površinskih vodnih pojava, podloge za potrebe izrade prostornog plana županije Primorsko-goranske*. Rijeka, 1997.
- [8] Trošelj, J., *Utjecaj planirane akumulacije Zoretići na vodnu bilancu gornjeg toka Rječine*, diplomski rad (mentor: Ožanić, N.), Građevinski Fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2011.
- [9] Elektroprojekt d.d. Uređenje akumulacije Zoretići, Glavni projekt. *Knjiga 4 - Građevinski radovi*. Zagreb, 1970.
- [10] Elektroprojekt d.d. Akumulacija Zoretići i HE Valići. *Studija o utjecaju na okolinu, informacija za komisiju za ocjenu studije*. Zagreb, 1985.

REGULACIJA DIONICE VODOTOKA RJEČINE

REGULATION ON A RJEČINA WATERCOURSE SECTION

Renata BREŠKI*, Nevenka OŽANIĆ*, Ivana SUŠANJ*

Sažetak

Regulacija dionice vodotoka Rječine naslov je diplomskog rada napravljenog iz predmeta „Regulacije i melioracije“. Analizirana je jedan kilometar duga neregulirana dionica korita koja se nalazi sjeverno od grada Rijeke i prolazi mjernom postajom Kukuljani (nizvodno prema mjernoj postaji Martinovo selo). Uvidom u zatečeno stanje korita vidljiva je potreba za regulacijom čime bi se omogućila zaštita naseljenog područja u slivu i pridonijelo boljoj iskoristivosti vodnih resursa u nizvodnom dijelu vodotoka Rječine (akumulacija Valići).

Za analizu vodotoka korišten je računalni program HEC - RAS, kojeg je razvio U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center (HEC). Program je namijenjen inženjerima u svrhu prognozirivanja razine i brzine toka vode u nekom koritu za specificirane početne i rubne uvjete. Programom je analizirano prirodno stanje i regulirano korito vodotoka. Analiza prirodnog korita prikazala je plavljenje na pojedinim dijelovima dionice, koje je potom riješeno regulacijom. Stanje neregulirane dionice korita Rječine te rješenja regulacije predloženi su grafički.

Predložena regulacija vodotoka prikazana je u obliku kanala trapeznog oblika s kamenom oblogom (kamenomet) dimenzioniranog na stogodišnji povratni period protoke u iznosu od 106 m³/s. Odabiru kamene obloge prethodio je proračun dimenzioniranja korita za tri različite obloge kanala s jednakim ulaznim parametrima. Velika visinska razlika terena uvjetovala je uvođenje armirano-betonske kaskade u svrhu smanjivanja pada nivelete, a time i brzine vode u koritu. Unutar ovoga rada prikazani su rezultati hidrauličkog proračuna i opisano idejno rješenje regulacije.

* Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka
E-mail: {renata.breski, nevenka.ozanic, ivana.susanj}@yahoo.com

Ključne riječi: regulacija vodotoka, Rječina, trapezni kanal, kamena obloga, HEC - RAS

Abstract

Regulation of Rječina watercourse section is the graduation thesis created within the "Regulation and melioration" course. One kilometer long unregulated section of the riverbed located north of Rijeka was analyzed. This section passes through the hydrological monitoring station Kukuljani and downstream to the monitoring station Martinovo selo. After the riverbed condition inspection, the evident need for regulation providing protection of the inhabited area in the basin and contributing to better utilization of water resources in the downstream part of the watercourse Rječina (accumulation Valići) was shown.

HEC - RAS is a software program developed by the U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center (HEC). It was used for watercourse analysis. The program was designed for engineers in order to predict level and velocity of water flow in riverbed for specific initial and boundary conditions. Two conditions of riverbed were analyzed: the natural condition and the regulated condition.

Analysis of the natural riverbed showed flooding on individual parts of the analyzed section, which could be subsequently solved with the regulation. The condition of the unregulated part of the Rječina riverbed and solutions are presented graphically.

The suggested regulation of watercourse is given in a trapezoidal channel form and stone facing dimensioned for one hundred year return period flow of 106 m³/s. Calculation of riverbed dimensioning for three different channels facing and equal initial boundaries was made prior to suggesting a solution. Based on calculation, the stone facing was selected as the best material. A reinforced-concrete cascade was designed to decrease the large terrain slope and also velocity of water in the riverbed. In this paper, results of hydraulic calculations and preliminary design of the regulation are presented.

Key words: regulation of watercourses, Rječina, trapezoidal canal, stone lining, HEC - RAS

1. Uvod

Reguliranje vodotoka je građevinski postupak obrade vodotoka, odnosno građenje i pružanje zaštitnih mjera od štetnih utjecaja vodotoka. Potreba za reguliranjem raste sukladno rastu broja stanovništva, razvoju gospodarstva i industrije. Regulacija je od velike važnosti za stanovništvo zbog opskrbe vodom za piće, higijenskih navika, rekreacije i sporta, dok je za razvitak gospodarstva i industrije potreba za reguliranjem vodotoka neophodna kako bi se osigurala potrebne količine vode za proizvodnju električne energije i hlađenje uređaja. Nakon obrade otpadne vode do određenog stupnja

pročišćavanja, moguće je njeno ispuštanje u regulirane vodotoke te se upravo to događalo s vodotokom Rječine u prošlosti, ali se događa i danas [1].

Zadatak ovog rada bio je prikazati rezultate analize hidrauličkih parametara i prijedloga uređenja 1 km duge dionice trenutno nereguliranog dijela vodotoka Rječine pri čemu se (upotrebom računalnog programa HEC-RAS) analiziralo parametre pri stogodišnjem protoku na prirodnom i reguliranom koritu kako bi se pronašlo najprikkladnije rješenje regulacije.

Vodoprivredni podaci za dimenzioniranje regulacijskog profila izabrani su iz podloge za potrebe izrade prostornog plana Županije primorsko-goranske pod nazivom „Prirodne hidrološke značajke površinskih vodnih pojava“ [2]. Obloge korita pri regulaciji se u praksi najčešće izvode u obliku kamenog nabačaja (kamenomet), betonskog i zemljanog kanala, pa je unutar ovog rada dimenzioniranje kanala provedeno za sva tri navedena materijala. Pritom je izabran najpovoljniji materijal za definiranu dionicu.

2. Hidrografske i hidrološke karakteristike vodotoka Rječine

Vode sliva Rječine pripadaju primorskom slivu Hrvatske na kojem je dominantna zastupljenost krša i pojava podzemnih voda. Hidrografska mreža je relativno slabo razvijena i na većem je dijelu bujičnih obilježja. Podzemnom cirkulacijom iz planinskoga zaleđa nastaju brojni izvori, od opatijskog, preko riječkog, do vinodolskog primorja, kojima se napajaju vodovodi obalnih gradova i naselja. Sliv izvora u gradu Rijeci ima zonu istjecanja u priobalnom području od Preluke na sjeveru do Kostrene na jugu, s glavnim koncentracijama istjecanja u kanjonu Rječine i uvali Martinšćice. Većina vodotoka u sušnom razdoblju presušuje, ali su česte pojave i izuzetno visokih vodostaja. Na svim vodotocima najniži protoci pojavljuju se od srpnja do rujna [2, 3, 4].

Rječina je vodotok čiji je izvor smješten na nadmorskoj visini od 325 m.n.m.. Ukupna duljina vodotoka je 18,63 km sa slivnom površinom od cca. 54 km². Rječina ima nekoliko pritoka, a najvažniji je Sušica s oko 35 km² slivnog područja koji prikuplja vodu s Grobničkog polja i utječe u Rječinu uzvodno od akumulacije Valići. Sušica ima dosta manjih pritoka, a među najvažnijima su: Mudna dol, Zala, Lužac i Borovica. Krški izvori su uglavnom smješteni na dionici Sušice između Borovice i Lužca, kod Potkilavca. Duboki jarak se nalazi u gornjem dijelu sliva Rječine, a na donjem dijelu toka, u samom centru grada, utječu i preljevne vode izvora Zvir.

Slika 1 prikazuje sliv Rječine s ucrtanim položajima izvora, vodotoka i hidroloških postaja. Na samom početku vodotoka Rječine nalazi se krški izvor koji redovito presušuje 2 do 3 mjeseca u godini. Stalni vodni doprinos daju prelivne vode izvora Zvir koje su smještene u blizini njenog ušća. Po potrebi se u sušnim periodima u vodoopskrbni sustav uključuju kaptažni zahvat Zvir II i bunari u Martinšćici. Manje aktivni izvori su Gonjuša i Rastinjača na Grobničkom polju te Lužac, prtok Sušice.



Slika 1. Površinski vodotoci u zaleđu vodotoka Rječine [5]

2.1. Uređenje i regulacija vodotoka Rječine

Važnost Rječine utvrđena je još kroz povijest formiranjem gradova u blizini ušća vodotoka (rijeka), prvotno Trsata, a onda i Rijeka i Sušaka. Rijeka se razvila na jednoj, a Sušak na drugoj strani obale Rječine te se 1946. godine formiraju u jedinstveni grad. Ušće Rječine bila je prva gradska luka. Koristila se za pogon mlinova za mljevenje žitarica, stupa za pranje sukna, stupica za

ljuštenje ječma i pilana. Na obalama su izgrađene klaonice stoke, Tvornica za obradu životinjske kože i krzna, Tvornica leda i Tvornica papira [6]. Osim njenog iskorištavanja, krajem prošlog stoljeća počela je realizacija uređenja toka i stabilizacije Rječine obzirom da se ušće u more nalazi na samom užem području Rijeke. Nakon što je 1719. godine Rijeka proglašena slobodnom lukom, briga o uređenju korita Rječine postala je dužnost države. Problem su stvarale poplave i zasipanje luke velikim količinama nanosa kojeg je vodotok donosio. Na ušću su sagrađeni gatovi od kojih je gat na lijevoj obali produžen za 47 metara. Gat uz lijevu obalu produžen je u more po projektu iz 1856. godine i zakrenut prema zapadu. Stoljetnim se poplavama vodotoka Rječine u gradu Rijeci stalo na kraj reguliranjem toka u srednjem i donjem dijelu sliva te na području pritoke Sušice. Iskopano je novo korito odnosno, prelocirano je ušće Rječine u zonu Brajdice. Iskop je trajao od 1854. do 1855. godine. U njen dosadašnji nizvodni dio toka puštena je morska voda i nastao je mrtvi rukavac u sustavu luke, tzv. „Mrtvi kanal“. Mrtvi kanal danas služi kao luka za barke i manje brodove [2, 7].

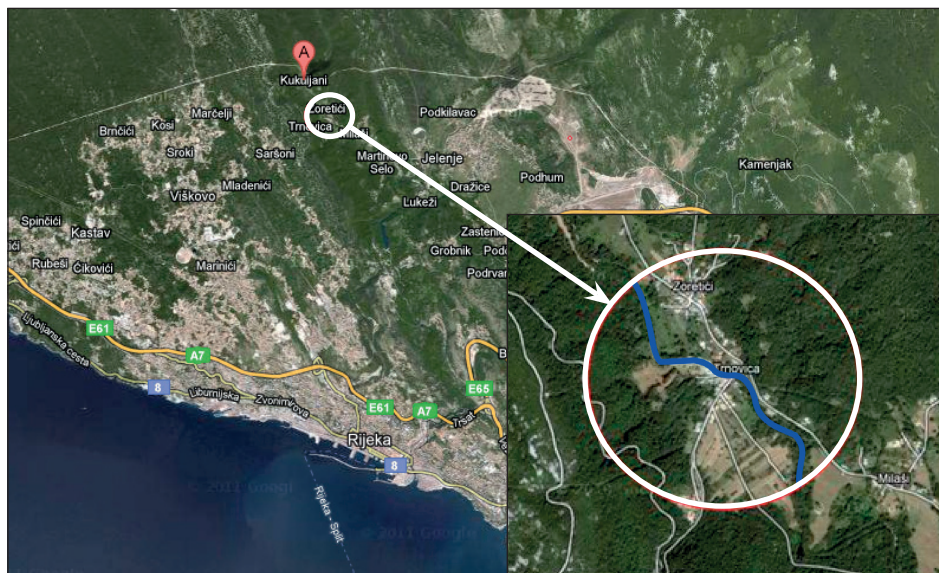
Danas je svrha regulacije Rječine u odnosu na njenu povijest nešto drugačija. Važnost regulacije Rječine očituje se u vodoopskrbi riječkog područja i korištenju njezinih potencijala za stvaranje električne energije. Godišnje se u prosjeku iz izvora Rječine za vodoopskrbu koristi 0,938 m³/s. Izvor Rječine je jedan od ukupno sedam izvorišta pitke vode Riječkog vodovoda te je stoga vidljiva potreba za njezinim očuvanjem. Voda se koristi i u svrhu proizvodnje električne energije u HE Rijeka u čiju je svrhu godine 1968. izgrađena brana Valići. Na vodotoku Rječina vršilo se i zbrinjavanje otpadnih voda, pa je zbog njenog očuvanja 1981. godine dovršena izgradnja gradskog kolektora na desnoj obali Rječine, a 1955. godine izgrađen i Centralni uređaj za pročišćavanje i dispoziciju otpadnih voda Grada Rijeke.

Daljnji planovi vezani uz regulaciju Rječine vezani su za veće korištenje vodnih resursa Rječine i njenih izvora za potrebe vodoopskrbe i energetike. Ideja je izgraditi male elektrane duž njenog toka te u većoj mjeri iskoristiti njene ambijentalne vrijednosti. To se posebice odnosi na nizvodni dio kanjona u predjelu Žanac, lociranom cca. 2-3 km od centra Rijeke. Planirana je izgradnja akumulacije Kukuljani u svrhu vodoopskrbe i energetske potrebe.

3. Hidraulički proračun

Nakon uvida u podloge i terenskog pregleda postavljena je buduća trasa reguliranog dijela korita Rječine. Dionica korita dugačka je 953,96 m. Sastoji se od 10 krivina minimalnog radijusa od 33,96 m i maksimalnog radijusa veličine 647,46 m. Korito se dimenzionira na maksimalni protok stogodišnjeg povratnog perioda - u iznosu od 106 m³/s.

Hidraulički se proračun sastoji od dimenzioniranja kanala (geometrija i vrsta materijala obloge), proračuna vučne sile, proračuna nadvišenja vodnog lica u krivinama, dimenzioniranja kaskade i proračuna slapišta. Proračuni su provedeni korištenjem već uobičajenih izraza pri projektiranju regulacija vodotoka koji vrijede za tečenje sa slobodnom vodnom površinom. Za dimenzioniranje kanala i kaskade korištena je Bernoullijeva jednadžba [8] primijenjena za jednoliko strujanje u otvorenim kanalima te Chezyeva formula [8] za proračun brzine toka u otvorenom vodotoku. Režim strujanja u kanalu je provjeren izračunom Freudovog broja [8]. Vučeni nanos je računat po kriteriju kritične vučne sile na jedinicu površine prema Mayer-Peteru i Mülleru [9], a nadvišenje vode u krivinama prema Miller-ovoj formuli [9] za proračun nagiba vodnog lica. Dimenzije slapišta (dužina i dubina bučnice) se svode na određivanje stupnja potopljenosti hidrauličkog te duljinu hidrauličkog skoka. Dužina slapišta se definira prema Smetani [9], Bradley i Peterki [9] ili Silvesteru [9]. Unutar ovoga rada prikazani su samo rezultati hidrauličkog proračuna. Postupke proračuna i dobivene rezultate moguće je detaljnije proučiti u diplomskom radu [10] prema kojem je ovaj rad nastao.



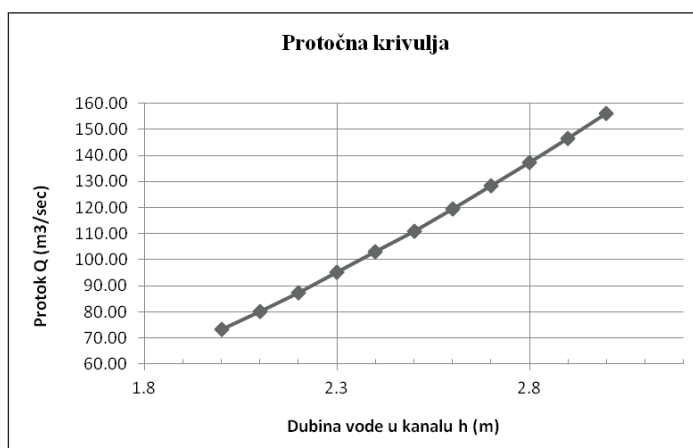
Slika 2. Pregledna situacija vodotoka Rječine - zadana trasa regulacije [12]

Na Slici 2 prikazan je položaj vodotoka Rječine u kojemu je jasno istaknuta regulirana dionica rijeke. U domeni ovog rada regulaciju je važno provesti na način da se ne poremeti biološka ravnoteža vodnog toka i okolnog područja, a u isto vrijeme osigura zaštita od štetnog djelovanja

vode. Provedeno je dimenzioniranje kanala za tri vrste materijala; kameni nabačaj (kamenomet), beton i zemljani materijal te su dobivene osnovne dimenzije reguliranog kanala. Polazni podaci su za svaki od materijala bili jednaki, a odnose se na protok $Q = 106 \text{ m}^3/\text{s}$, širinu dna kanala $b = 10,00 \text{ m}$, pad kanala $I_0 = 0,5 \%$ i nagib pokosa $1:\text{m} = 1:2$. Manningov-i koeficijenti hrapavosti su izabrani za kameni nabačaj $n = 0,035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, za beton $n = 0,016 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ te za zemljani materijal $n = 0,03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ prema vrijednostima koje je dao Chow [11]. Na profilu 17 zamišljena je kaskada kako bi se savladala visinska razlika terena i ujedno se hidrauličkim skokom disipirala energija između uzvodnog i nizvodnog dijela toka.

3.1. Dimenzioniranje kanala

Određivanje dubine vode H u trapeznom kanalu prema zadanom protoku Q , kritične dubine H_k i brzine v vrši se grafoanalitičkim postupkom pomoću krivulje protoka koja je izrađena korištenjem prethodno u tekstu spomenutih formula. Na Slici 3 prikazana je protočna krivulja.



Slika 3. Protočna krivulja reguliranog dijela kanala na vodotoku Rječine [10]

Nakon odabira materijala obloge kanala, računaska analiza je definirala sljedeće parametre toka: dubina vode $H = 2,44 \text{ m}$, kritična dubina vode $H_k = 1,96 \text{ m}$ i brzina vode $v = 2,92 \text{ m/s}$.

3.2. Rezultati dimenzioniranja obloge kanala Rječine

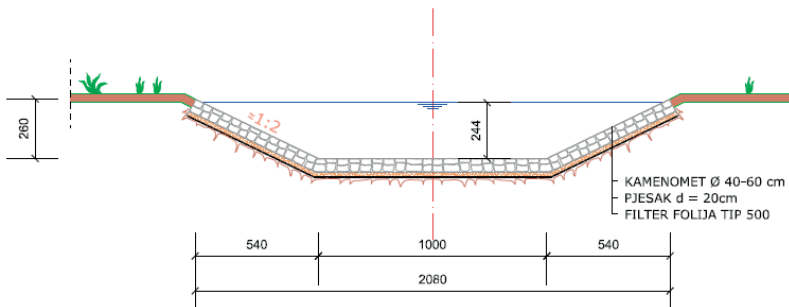
Iz Tabele 1 može se vidjeti da je kameni nabačaj najbolji materijal za izvedbu regulacije zato što se brzina toka u tom slučaju kreće unutar dozvoljene brzine za tu vrstu materijala (koja iznosi $1,1 - 4,5 \text{ m/s}$) [9] te je

dubina vode u kanalu veća od kritične dubine vode (čime je osigurano mirno i stabilno tečenje). Ukoliko bi se regulacija izvela kao betonsko korito, javilo bi se silovito strujanje jer je dubina vode manja od kritične dubine, što je pri izvedbi regulacija svakako poželjno izbjeći. Korito s zemljanim materijalom je u ovom slučaju također neadekvatno jer bi takvom izvedbom brzina vode u koritu bila veća od one dopuštene za taj materijal.

Tabela 1. Tabela 1: Prikaz rezultata regulacije s obzirom na oblogu korita [10]

Dimenzioniranje dionice korita Rječine			
	Korito s kamenim nabačajem	Betonsko korito	Korito sa zemljanim materijalom
Brzina v [m/s]	2.92	5.27	3.26
Dubina vode u kanalu H [m]	2.44	1.56	2.25
Kritična dubina vode u kanalu H_{kr} [m]	1.96	1.96	1.95
	Zadovoljava	Ne zadovoljava	Ne zadovoljava

S obzirom na rezultate dobivene hidrauličkim proračunom i proračunom vučne sile, usvojena je debljina kamene obloge od 0,85 m i frakcija kamena veličine 0,4 do 0,6 m ispod koje se postavlja pješčana posteljica debljine 0,2 m koja će zaštititi filter foliju (TIP 500). Filter folija omogućava kontakt vode u koritu s podzemnom vodom u oba smjera te također sprečava ispiranje temeljnog materijala. Predviđeno je da se profil kanala iskopa u punom profilu, postavi filter folija, posteljica i kameni nabačaj, kao što je karakterističnim presjekom prikazano na Slici 4.

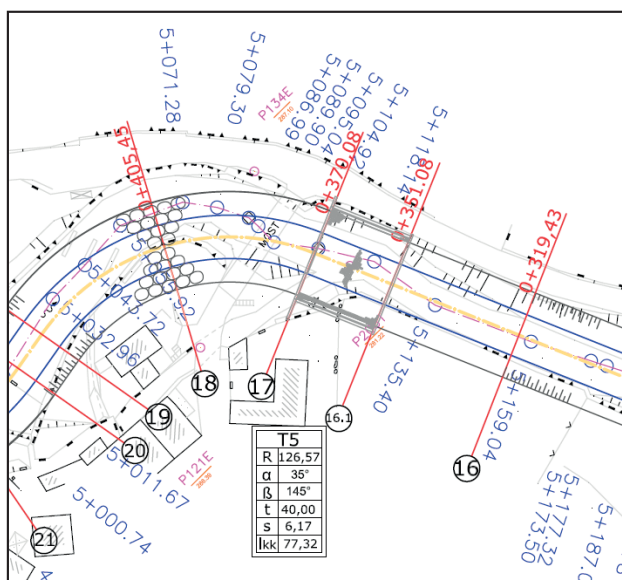


Slika 4. Karakteristični presjek [10]

Prema proračunu vučne sile i visine oblaganja pokosa usvojeno je da se pokosi u cijelosti oblože kamenim nabačajem. Obzirom na nadvišenje vodnog lica u krivinama i usvojenom dubinom vode u kanalu, usvojena je ukupna dubina kanala od 2,60 m.

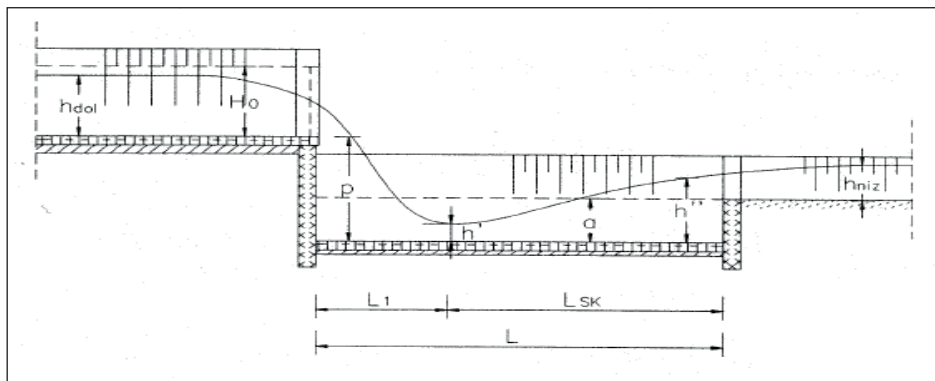
3.3. Dimenzioniranje kaskade i slapišta

Dimenzije kaskade usvajaju se na osnovu oblika kanala i konfiguracije terena. Preljev se nalazi na profilu br. 17, stacionaža 0+370,08 m, kao što je vidljivo na Slici 5. Dobiveni podaci iz prethodnog proračuna korišteni su kao dio ulaznih vrijednosti za proračun. Odabrane su sljedeće dimenzije širine preljeva: $b = 10$ m i visina kaskade $h = 1,96$ m.



Slika 5. Prikaz kaskade i slapišta na profilu br. 17 [10]

Hidrauličkim proračunom kaskade i računanjem dimenzija slapišta dobiveni su sljedeći rezultati: energetska visina $H_0 = 2,89$ m, specifična energija gornje vode $E_0 = 4,89$ m. Prva spregnuta dubina jednaka je $h' = 0,83$ m, a druga spregnuta dubina $h'' = 3,37$ m. Kako bi se postigao potopljeni hidraulički skok, produbljuje se slapište pa je dubina bučnice $a = 1,1$ m, a usvojena dužina slapišta iznosi $L = 19$ m. Gornje izračunate vrijednosti su označene na Slici 6. Kaskadu treba izvesti od armiranog betona, a tada beton obložiti kamenom kako bi se objekt estetski uklopio u kompletnu regulaciju izvedenu od kamenog nabačaja.



Slika 6. Prikaz kaskade i slapišta s označenim elementima

4. HEC - RAS

HEC - RAS je računalni program koji služi za modeliranje hidrauličkih parametara vodotoka. Koristi se za regulirane i neregulirane, umjetne i prirodne vodotoke. Program HEC -RAS namijenjen je za jednodimenzionalno matematičko modeliranje strujanja u otvorenim vodotocima, i to za stacionarna i nestacionarna strujanja. Program je razvio U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center (HEC). Stvoren je kako bi se vršilo upravljanje i reguliranje rijekama, lukama i sličnim hidrotehničkim objektima. HEC - RAS pronalazi određenu komercijalnu primjenu u poplavnom području upravljanja i osiguranju od poplava. Uključuje brojne mogućnosti za unos podataka, hidrauličku analizu komponenata, pohranu podataka i mogućnosti upravljanja te grafička i tablična rješenja. Tečenje se može aproksimirati kao jednodimenzionalno, što znači da se strujanje vode može opisati samo sa jednom komponentom brzine. Program omogućava modeliranje podkritičnog, nadkritičnog i složenog režima otvorenog vodotoka zajedno s uvedenim mostovima, propustima, branama i drugim konstrukcijama [13].

Stacionarni tok sa slobodnom površinom izračunava se od jednog poprečnog presjeka prema drugom poprečnom presjeku tako da se riješi energetska jednadžba pomoću iterativnog postupka koja se naziva metoda standardnog koraka. Vladajuće diferencijalne jednadžbe su date u obliku parcijalnih diferencijalnih jednadžbi poznatih pod nazivom Saint - Venantove jednadžbe te se za specificirane rubne i početne uvjete rješavaju metodom konačnih razlika [13].

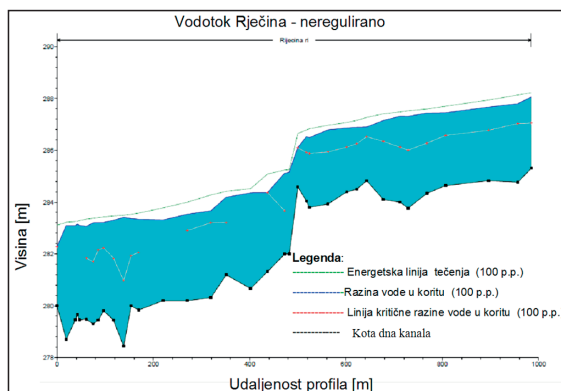
4.1. Modeliranje u HEC - RAS-u

Zbog komplicirane i promjenjive geometrije presjeka prirodnog kanala, prilikom izrade projekta regulacija obično se računaju hidraulički parametri u reguliranom kanalu pravilnog geometrijskog presjeka kojim će se zamijeniti prirodno stanje, dok se razlozi za regulacijom javljaju nakon pojave poplava a rezultat su iskustva projektanta ili nekih drugih već ranije nabrojanih razloga. Spomenuti računalni program omogućava analizu prirodnog i reguliranog stanja hidrauličkih parametara unosom geometrije poprečnih profila i trase kanala pa je moguće utvrditi probleme pri velikim protocima i prije nego se dogode. Analizom hidrauličkih parametara na prirodnom koritu moguće je pronaći optimalno rješenje sanacije izbjegavajući poddimenzioniranje kao i predimenzioniranje. Unutar ovoga rada analizirano je stanje prirodnog i reguliranog korita na zadanoj trasi regulacije te su rezultati uspoređeni s ranije dobivenim rezultatima.

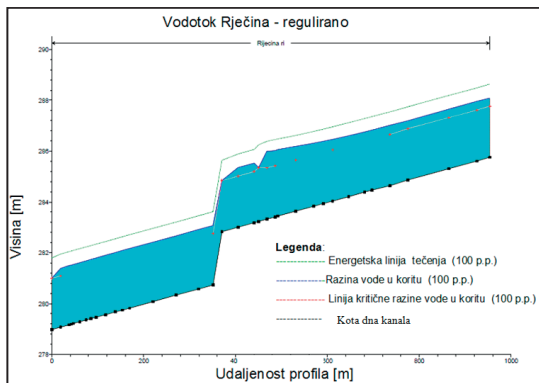
Unosom podataka o protoku, trasi kanala i poprečnog profila HEC - RAS programom je prikazan izgled neregulirane dionice korita Rječine. Jednako je tako modelirana ista dionica korita s kamenim nabačajem. Ulazni podaci su: protok $Q = 106 \text{ m}^3/\text{s}$, Manningov koeficijent hrapavosti za kameni nabačaj $n = 0,035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, geometrija profila i njihove međusobne udaljenosti.

Na Slici 7 vidi se stanje uzdužnog presjeka neregulirane dionice korita Rječine (hidraulički proračun programa HEC - RAS), a na Slici 8 izgled uzdužnog presjeka korita nakon što se ista dionica regulirala.

Analizom nereguliranog korita Rječine utvrđeno je da se prilikom protoka stogodišnjeg povratnog perioda događa izljevanje vode iz kanala, a uvođenjem regulacije se taj problem anulira. Usporedba hidrauličkih parametara dobivenih iz programa poklapaju se s onima izračunatima ranije, pa se može zaključiti da je regulacija vodotoka adekvatno osmišljena.



Slika 7. Uzdužni presjek neregulirane dionice korita Rječine [10]



Slika 8. Uzdužni presjek regulirane dionice korita Rječine [10]

5. Zaključak

Unutar ovoga rada opisan je dio prijedloga rješenja regulacije dionice korita vodotoka Rječine duljine 953,96 m. Zadana dionica prolazi mjernom postajom Kukuljani, nizvodno prema postaji Martinovo selo. Regulacijom bi se osigurala stabilnost korita, onemogućilo prelijevanje, zaštitili okolni objekti i ljudi, a time i osigurala veća iskoristivost voda za nizvodne objekte kao što je, primjerice, akumulacija Valići (HE Rijeka), pod uvjetom da se regulira i ostale dionice gdje se za to ukazuje potreba.

Prikazani su rezultati hidrauličkog proračuna za korito s tri različite obloge te izabrana odgovarajuća. Proračun je proveden i u računalnom programu HEC - RAS i na temelju dobivenih rezultata je osmišljeno najprikladnije rješenje. Analizom nereguliranog korita Rječine utvrđeno je da se prilikom protoka stogodišnjeg povratnog perioda događa izljevanje vode iz kanala, a uvođenjem regulacije se taj problem anulira. Usporedba hidrauličkih parametara razvidno je da se parametri dobivenih iz programa poklapaju s onima izračunatima ranije, pa se može zaključiti da je regulacija vodotoka adekvatno osmišljena.

Dionica kanala Rječine dimenzionirana je na stogodišnji povratni period i protok u iznosu od $Q = 106 \text{ m}^3/\text{s}$. Rješenjem se predlaže trapezni kanal s kamenom oblogom (kamenomet), padom dna kanala $I_0 = 0,5 \%$, širinom $b = 10 \text{ m}$ te nagibom pokosa $m = 1:2$.

Kanal će se obložiti kamenom jer u tom slučaju taj materijal ispunjava sve zahtjeve regulacije. Obzirom na regulacijske parametre nagiba nivelete, uvedena je kaskada na profilu br. 17 s ciljem svladavanja visinske razlike terena i disipacije energije između uzvodnog i nizvodnog dijela toka.

Odabrane dimenzije kaskade su širina $b = 10$ m i visina $h = 1,96$ m. Dimenzije slapišta su određene obzirom na dužinu hidrauličkog skoka i uvjet potopljenosti istog, pri čemu je dužina slapišta $L = 19$ m a dubina bučnice $a = 1,1$ m.

Literatura

- [1] Svetličić, E., *Otvoreni vodotoci*. Fakultet građevinskih znanosti, Zagreb, 1987.
- [2] Ožanić, N., Rubinić, J., *Prirodne hidrološke značajke površinskih vodnih pojava*. Podloge za potrebe izrade prostornog plana Županije primorsko - goranske, Rijeka, 1997.
- [3] http://www.hhd.hr/fileovi/publikacije_drustva/zbornici/z...pr.../01_geres.pdf
- [4] <http://www.hr/hrvatska/zupanije/primorskogoranska>
- [5] Rubinić, J., Sarić, M., *Hidrologija vodnih resursa u slivu Rječine*. Prošlost, sadašnjost i budućnost vodoopskrbe i odvodnje - Iskustva i izazovi, Zbornik radova sa stručno poslovnog skupa povodom 120 godina vodoopskrbe i odvodnje u Rijeci, Opatija, 2005.
- [6] Linić, A., *Vodoopskrba Rijeke i okolice*. Prošlost, sadašnjost i budućnost vodoopskrbe i odvodnje - Iskustva i izazovi, Zbornik radova sa stručno poslovnog skupa povodom 120 godina vodoopskrbe i odvodnje u Rijeci, Opatija, 2005.
- [7] <http://www.rijeka.hr/Default.aspx?art=214>
- [8] Vuković, Ž., *Osnove hidrotehnike, Prvi dio*. Akvamarine, Zagreb, 1994.
- [9] Vuković, Ž., *Osnove hidrotehnike, Drugi dio*. Akvamarine, Zagreb, 1994.
- [10] Breški, R., *Regulacija dionice korita Rječine*, diplomski rad (mentor: Ožanić, N.), Građevinski fakultet Rijeka, 2011.
- [11] Chow, V.T., *Open Channel Hydraulics*. Mc Graw - Hill Book Company, Inc. New York, 1959.
- [12] <http://maps.google.hr/maps?hl=hr>
- [13] <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/hecras-features.html>

GOSPODARENJE VODAMA U CILJU OSIGURANJA SAMOODRŽIVOSTI OTOKA

WATER MANAGEMENT FOR ENSURING SELF-SUFFICIENCY OF ISLANDS

**Nevena DRAGIČEVIĆ*, Barbara KARLEUŠA*, Morana LALIĆ*,
Ljudevit KRPAN**, Zoran SKALA****

Sažetak

Samoodrživost podrazumijeva zadovoljenje barem tri osnovne čovjekove potrebe iz vlastitih izvora, a to su voda, hrana i energija. Glavni problem većine otoka, kako u Hrvatskoj tako i u svijetu, predstavlja njihova izoliranost te ograničeni izvori slatke vode i energije neophodni za njihov razvoj. Voda je na otocima ograničavajući čimbenik razvoja, a pravilo prioriteta korištenja uvijek ima vodoopskrba. Potrebne količine vode mogu se osigurati na otoku zahvaćanjem atmosferske vode (kišnice), površinske vode, ukoliko se na otoku formira koncentrirano otjecanje, podzemne vode (slatkovodne leće), morske vode te korištenjem otpadnih voda. Kod zahvaćanja i korištenja kišnice problem predstavlja neujednačenost oborina tijekom godine. Najznačajniji vodonosnik svakog otoka je leća slatke vode za koju najveću opasnost predstavlja potencijalno zaslanjenje. Nadalje, jedini prirodni vodni resurs kojeg na otocima ima u izobilju je more i njegovom desalinizacijom dobiva se neograničeni vodni resurs pogodan za sve namjene. Ključni element za desalinizaciju je energija koja, ako lokalno nije dostupna, predstavlja najveću stavku investicije i operativnih troškova. Budući da su otoci resursima ograničena cjelina, ponovno korištenje otpadnih voda jedna je od mogućnosti koja može doprinijeti ostvarivanju samoodrživosti. Obzirom da su bogate hranjivim tvarima pročišćene otpadne vode se uz određenu obradu i kontrolu mogu koristiti za navodnjavanje određenih poljoprivrednih kultura. U

* Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka
E-mail: {nevena.dragicevic,barbara.karleusa,morana.lalic}@gradri.hr

** Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije, Splitska 2/II, Rijeka
E-mail: {ljudevit.krpan,zoran.skala}@pgz.hr

Hrvatskoj je Nacionalnim programom razvitka otoka utvrđen nedostatak vode za potrebe vodoopskrbe stanovništva i poljoprivrede. Kao primjer mogućih rješenja u gospodarenju vodama na otocima prikazat će se primjer otoka Unije. Prikazat će se postojeće stanje korištenja voda na otoku, kao i rezultati ispitivanja stanovništva (anketiranjem) o mogućnostima razvoja te osiguravanja količina vode potrebnih za razvoj otoka. Analizirat će se mogući izvori vode za vodoopskrbu, zaštitu od požara i navodnjavanje te prezentirati nekoliko varijanti rješenja koja bi mogle doprinijeti samoodrživosti otoka. U radu će se ukratko prikazati i primjeri gospodarenja vodama na Egejskim otocima na kojima je integralni pristup gospodarenju vodama osigurao gospodarski i turistički razvoj otoka.

Ključne riječi: samoodrživost, voda, otoci, Unije, desalinizacija, kišnica, podzemne vode, korištenje otpadnih voda

Abstract

Self-sufficiency means using your own resources to satisfy at least three basic human needs: water, food and energy. The main problem that most islands face is isolation as well as limited resources of fresh water and energy necessary for their development. Water represents a limiting factor for island development where priority is always given to water supply. The required amount of water on an island can be provided from gathering atmospheric water (rain water), groundwater (freshwater lenses), seawater and reuse of wastewaters. When rainwater usage is considered, the biggest problem comes from unevenness of rainfall during the year. The most important aquifer of each island is a fresh water lens for which the increase of water salinity potentially presents the greatest risk. Furthermore, the only unlimited natural water resource that all islands have is the sea which, once desalinized, becomes suitable for all purposes. The key element of desalinization is energy, which, if not available locally, represents the largest financial investment as well as the biggest operational cost component. Since islands are areas with limited water resources, wastewater reuse is one of the possibilities that can potentially contribute to achieving sustainability. Treated waste waters are rich with nutrients and, with some treatment and control, can be used as such for irrigation of certain agricultural plants. The National Island Development Plan in Croatia has established insufficient amount of water resources for water supply purposes as well as agriculture. The island of Unije is taken as an example of possible water management solutions on islands with an overview of the current state of water resources as well as the results of the population survey on the possibilities of development and ensuring the amount of water required for development of the island. Possible water resources for water supply purposes, fire protection and irrigation will be analyzed within a few proposed solutions in attempt to contribute to island sustainability. This paper will briefly show examples of water management on the Aegean islands, where integrated approach to water management has provided economic and tourism development of the islands.

Key words: sustainability, water, island, Unije, desalinization, rainwater, underground water, use of waste water

1. Uvod

U ovom radu analizirat će se gospodarenje vodama na otocima u cilju osiguranja njihove samoodrživosti.

O postizanju samoodrživosti nekog prostora može se govoriti kada se iz vlastitih izvora mogu zadovoljiti barem tri osnovne čovjekove potrebe, a to su voda, hrana i energija. Glavni problem kod otoka najčešće predstavlja izoliranost i ograničenost resursima. Stoga je, da bi otok bio samoodrživ, potrebno sagledati ga kao cjelinu. Pažljivo osmišljen sustav samodostatnosti otoka može bitno utjecati na kvalitetu života stanovnika na otoku te rezultirati zadržavanjem sadašnjih, povratom nekadašnjih i/ili dolaskom novih stanovnika [1].

Integralni pristup podrazumijeva sagledavanje složenih sustava kao jedne cjeline, što u gospodarenju vodama obuhvaća optimizaciju korištenja vodnih, energetske i ostalih resursa na održiv način [2].

Sukladno tome, održivi razvoj se definira kao proces zadovoljenja sadašnjih potreba društva bez ugrožavanja istih za buduće generacije [3].

Voda je na otocima često ograničavajući čimbenik razvoja. Prioritet korištenja voda ima vodoopskrba stanovništva, a tek potom poljoprivreda i ostala korištenja [2, 4]. U slučaju ograničenih vodnih resursa, važni elementi održivosti koji se moraju uzeti u obzir su štednja i učinkovito trošenje vode, pravedna raspodjela vode svim korisnicima, cijena dostatna za povrat troškova i razvoj, korištenje svih raspoloživih prirodnih resursa kao i nekonvencionalnih izvora vode, upravljanje kakvoćom voda, a posebno salinitetom, odgovornost nadležnih institucija i organizacija nužna za provedbu održivog gospodarenja vodama, kadrovska jačanje te školovanje [5].

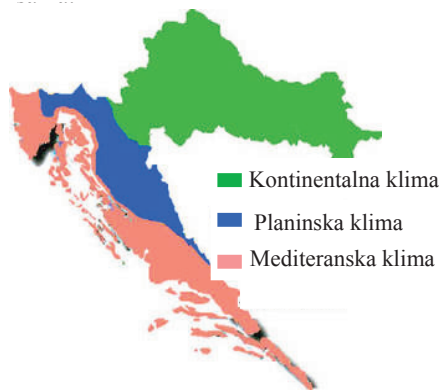
Problematika samoodrživosti otoka analizirat će se u ovome radu kroz osiguravanje potrebnih količina vode za vodoopskrbu, gašenje požara i navodnjavanje zelenih i poljoprivrednih površina korištenjem tradicionalnih i suvremenih rješenja na primjeru hrvatskog otoka Unije. Za usporedbu će se analizirati i nekoliko primjera osiguranja samoodrživosti otoka u svijetu.

2. Gospodarenje vodama u cilju osiguranja samoodrživosti hrvatskih otoka

2.1. Vodni resursi na hrvatskim otocima

Za Jadransko je područje karakteristična Mediteranska klima s hladnim i vlažnim zimskim te sušnim i toplim ljetnim periodom (Slika 1). Ukupna godišnja količina oborina kreće se prosječno od 800 – 1200 mm [3] iz čega

je evidentno da se Jadransko područje ne može svrstati u sušna područja siromašna kišama.



Slika 1. Područje obuhvaćenosti Hrvatske mediteranskom klimom [6]

Nažalost, klima je u izravnoj suprotnosti s prirodnim i društvenim potrebama za vodom. Ljeti, kada su, kako zbog većih temperatura, tako i zbog povećanih turističkih aktivnosti, potrebe za vodom najveće, vode ima najmanje. Osnovni problem vezan uz opskrbu vode otoka iz vlastitih rezervi je nepovoljna raspodjela oborina, a time i količina voda uskladištenih u vodonosniku otoka. Slobodno se može reći da vode na otocima ima, ali ona nije lako iskoristiva, odnosno dostupna pogotovo u razdoblju najvećih potreba za njom.

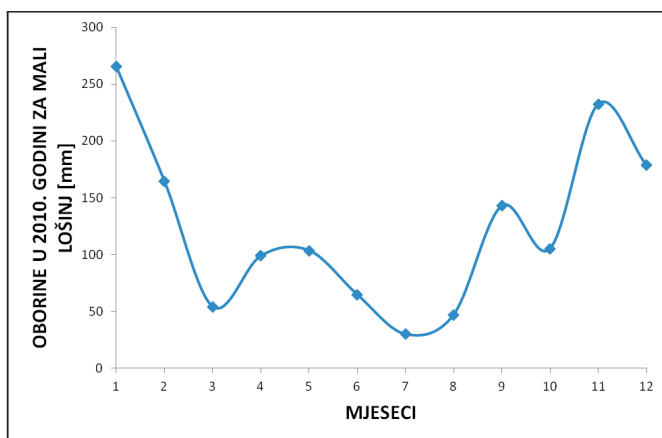
Tradicionalni i lako dostupni izvor vode na otocima je kišnica. Lokve i cisterne (Slika 2) stoljećima su se koristile za opskrbu vodom stanovništva, stoke te za zalijevanje poljoprivrednih i zelenih površina.



Slika 2. Stare cisterne (šterne) [7, 8]

Danas je osnovna značajka zahvata oborinskih voda ta da se vodom mogu opskrbiti pojedina kućanstva ili više njih, a samo iznimno se na takvom zahvatu može zasnivati vodovodni sustav za zaseoke i manja sela [9].

Opće je poznato da je cisterna vodoopskrbna građevina koja se primjenjuje u krajevima siromašnim površinskim ili podzemnim vodnim resursima. Stoga je važno znati srednju dnevnu potrošnju vode koja podmiruje osnovne čovjekove potrebe za piće, pranje, pripremanje jela te napajanje stoke. Međutim, problem se najčešće javlja zbog nejednoliko raspoređenih oborina tijekom godine (Slika 3).



Slika 3. Primjer unutargodišnjeg rasporeda oborina zabilježenih u Malom Lošinj 2010. godine (grafički prikaz podataka preuzetih iz [10])

U kišnome dijelu godine, od studenog do travnja, cisterne se pune, dok je u sušnom dijelu godine, od svibnja do listopada, priliv vode u cisterne veoma mali. Kod vodoopskrbe pojedinih potrošača sela i zaseoka površine krovova kuća i gospodarskih zgrada koriste se kao nakapne plohe. Ukoliko se na taj način opskrbljuje stanovništvo i stoka manjih naselja, izvode se i tzv. „javne“ cisterne.

Zbog nerazvijene industrije na otocima atmosfera je relativno čista, pa je voda koja dopijeva u cisternu zadovoljavajuće higijenske kvalitete, kako glede bakterijskoga zagađenja, tako i glede sadržaja toksičnih materija [11]. Raslinje koje se nalazi u blizini cisterni, lišće i otpaci raslinja koji nošeni vjetrom mogu dospjeti na nakapne plohe mogu biti jedan od izvora zagađenja, ali povremenog i slabog karaktera, dok su životinje koje se kreću po nakapnim ploham, poput ptica i mačaka, glavni uzročnici eventualnog bakterijskog zagađenja.

Obzirom na spomenute posebnosti opskrbe vodom kišnicom, ističe se potreba racionalnog korištenja vode i posebne brige u smislu kvalitetnog i redovitog održavanja nakapnih ploha i cisterni. Osnovni preduvjet sigurnog i trajnog korištenja kišnice podrazumijeva obradu vode procjeđivanjem te bakteriološku zaštitu vode u cisterni, što se postiže raznim dezinfekcijskim sredstvima [9].

Tradicionalnim prikupljanjem kišnice često je teško zadovoljiti postojeće potrebe za vodom te značajniji gospodarski razvitak otoka temeljiti isključivo na ovom obliku umjetnog prikupljanja voda. Iz tog razloga kvalitetni pristup rješavanju vodoopskrbe otoka mora obuhvatiti različite varijante, od priključenja na kopneni vodoopskrbni sustav ili dovoza vode vodonoscima s kopna, korištenja površinskih i podzemnih voda otoka, obradu morske ili bočate vode postupcima desalinizacije do sekundarnog korištenja otpadnih voda.

Na količinu vode u nekom prostoru utječu hidrološka i geološka svojstva podloge. Krš koji prevladava u geološkoj osnovi primorskog dijela Hrvatske bitno utječe na gospodarenje vodama tog područja. U geološkoj građi hrvatskih otoka većinom prevladavaju vapnenci, a na manjim površinama ima dolomita i terciarnog fliša. Vapnenci su jako propusne stijene, što se odražava na posebnost hidrografskih prilika na našim otocima. Bez obzira na razmjerno velike količine padalina, voda se ne uspijeva dulje zadržati na površini, pa stoga nema stalnih površinskih vodnih tokova. Jezera su rijetke pojave vode otocima, a voda se uglavnom zadržava nakon obilnijih kiša u lokvama, dok se povremene površinske vode mogu prikupljati u manje akumulacije [12].

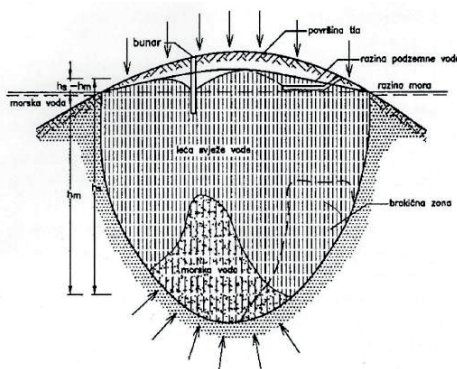
Jedini stalni vodni resurs otoka je leća slatke vode u podzemlju čiji je potencijal formiranja i kapacitet moguće utvrditi temeljem hidrogeoloških istraživanja. To je vodonosnik u krškim stijenama koji se formira u šuplinama otoka do razine mora gdje se formira leća slatke vode koja se u obalnom području prazni u more. Ovisno o propusnosti podzemnih geoloških struktura, punjenje kao i pražnjenje leće može biti sporije ili brže. Zbog ovih značajki vodni resursi otoka su siromašni, a istraživanje podzemnih voda u kršu i njihova moguća eksploatacija vrlo nesiguran i skup zadatak. Veliki troškovi glavni su razlog zbog kojeg se istraživanja najčešće ne provode, a bez istraživanja nema ni kvalitetnih informacija za planiranje i projektiranje zahvata vode.

Hidrogeološka situacija na otocima je složena za eksploataciju podzemnih voda pa je teško za očekivati da će se bušenjem zdenaca doći do sigurnih količina za eksploataciju jer bunar mora pogoditi upravo područje šupljina da bi zahvatio vodu. Da bunar pogodi takvo područje, njegov bi

kapacitet bio mali jer priliv voda prema bunaru određuje propusnost i kapacitet šupljina oko njega [5]. U ovakvim se slučajevima za zahvaćanje podzemnih voda koriste galerije, dugački horizontalni zahvati kojima se presijecaju geološke šupljine kojima se podzemna voda kreće prema moru.

Podzemne vode su uglavnom dobre kakvoće, a može ih ugroziti jedino otpadna voda naselja koja se nalazi iznad ovih voda pa je zagađenje koje se najčešće javlja i prelazi dozvoljene granice vode za piće bakteriološko. Stoga, uz rješavanje zahvata vode treba razmatrati i problem sakupljanja i zbrinjavanja otpadnih voda.

Najveća opasnost za vodonosnike u kontaktu sa morem je zaslanjenje vodonosnika (Slika 4) do kojeg može doći zbog eksploatacije (precrpljivanja) [5].



Slika 4. Dinamika leće svježe vode u dodiru s morskom vodom [9]

Potrebno je naglasiti da su, uz kišu, podzemne vode najsigurniji trajni lokalni izvor vode na otoku. U kišnome razdoblju i mjesecima iza tog razdoblja mogu imati značajne kapacitete. Nažalost, najmanje ih ima ljeti kada su vodoopskrbne potrebe najveće. I u ovom slučaju kao i kod korištenja kišnice formiranje akumulacije rješava sigurnost opskrbe tijekom ljetnog perioda.

Jedini prirodni resurs kojeg na otocima ima u izobilju je more. Otok je okružen morem i ono je dostupno u svim njegovim dijelovima te se već dulje vrijeme koristi za vodoopskrbu stanovništva u sušnim područjima [5]. To je neograničeni vodni resurs čijom desalinizacijom dobivamo vodu koju dalje možemo koristiti za sve namjene. Zadnjih dvadesetak godina tehnologije desalinizacije su značajno napredovale tako da je cijena dobave vode iz mora sve povoljnija. Postrojenja za desalinizaciju vrlo su

jednostavna, relativno mala te bez značajnijeg utjecaja na okoliš (Slika 5). Međutim, ključni element desalinizacije je energija koju ovaj postupak zahtijeva u značajnoj mjeri, a ako ista lokalno nije dostupna, tada dobava energije postaje najveća stavka investicije. U slučaju otoka, kritični period za opskrbu energije je ljeto, kada je potrošnja najveća. Zbog toga bi instaliranje većeg sustava s desalinizacijom sigurno zahtijevalo značajne investicije u opskrbi energijom što može bitno umanjiti isplativost ovoga zahvata. Međutim, kao i kod vodoopskrbe, svi otoci izvan ljetne sezone imaju značajne viškove energije te za rad sustava za desalinizaciju u tom periodu ne bi trebalo ulagati u energetski sustav. To znači da bi se i u ovom slučaju mogla razmotriti gradnja akumulacije kao dio rješenja opskrbe vodom. Troškove dobave vode iz mora je teško unaprijed odrediti jer značajno ovise o lokalnim uvjetima, a pravilo je da su jedinični troškovi manji što je kapacitet uređaja veći. Kod manjih uređaja do 100 m³/dan troškovi su oko 1-3 €/m³ proizvedene vode. Troškovi značajno opadaju smanjenjem saliniteta, odnosno zahvaćanjem bočate vode (Tablica 1).



Slika 5. Primjer postrojenja za desalinizaciju kapaciteta 6 – 660 m³/dan [13]

Tablica 1. Okvirni troškovi desalinizacije slane vode [5]

VRSTA VODE	TROŠKOVI ENERGIJE (€/m³)	UKUPNI TROŠKOVI RADA (€/m³)
MORSKA VODA (70 bara)	0,42	0,49-2,12
BOČATA VODA (30 bara)	0,11	0,22-0,94

Danas je desalinizacija komercijalno u cijelosti primjenjiva metoda osiguranja potrebnih količina vode na otocima. Brzina gradnje, modularnost (razvitak sukladan gospodarskom razvoju) i znatno niži investicijski troškovi stavljaju proces desalinizacije u prioritetni položaj ukoliko postoji odgovarajući izvor energije.

Da bi gospodarenje vodama na otocima bilo cjelovito, potrebno je sagledati i zbrinjavanje otpadnih voda. Najprihvatljiviji pristup zbrinjavanja otpadnih voda na otocima jest smanjenje emisija i obrada istih do razine prihvatljivosti ispuštanja u okoliš. Današnji zahtjevi na tehnologiju obrade otpadnih voda kao prioritete postavljaju niske pogonske troškove, pouzdanost pri promjenama režima rada te mogućnost upotrebe otpadne vode u industriji ili za navodnjavanje [14]. Kakvoću ovih voda potrebno je konstantno pratiti i kontrolirati zbog mogućih bakterioloških i fizikalnih zagađenja. Budući da je otok resursima ograničena cjelina, racionalno korištenje vodnih resursa kao i ponovno korištenje otpadnih voda jedan je od ciljeva u ostvarivanju samoodrživosti.

Ovaj je izvor vode u mnogim državama već uobičajeni izvor vode za navodnjavanje. Pročišćene otpadne vode tradicionalno se koriste kao vode za navodnjavanje zelenih i poljoprivrednih površina (za poljoprivredne kulture kod kojih se proizvodi se ne konzumiraju sirovi). Poznato je da su ove vode jedine vode koje se koriste za navodnjavanje svih kultura u Izraelu i drugim državama koje su inače veliki izvoznici agruma.

Današnja poljoprivreda na otocima [15] ovisi o prirodnim padalinama i realizira se najčešće na usitnjenim posjedima kao sporedna djelatnost. Najveći dio poljoprivrednih proizvoda daju dvije grane, maslinarstvo i vinogradarstvo. Inače osnovne tradicionalne, odnosno potencijalne poljoprivredne djelatnosti na našim otocima su: maslinarstvo, pčelarstvo, mediteransko voćarstvo i vinogradarstvo [16]. Intenzivniji uzgoj poljoprivrednih kultura zahtijeva navodnjavanje koje često nije moguće osigurati iz postojećeg sustava vodoopskrbe, čime pročišćene otpadne vode postaju idealnim vodnim resursom za te namjene.

Jednom uporabljena voda postaje otpadna, koja se sustavom kanalizacije prikuplja na uređaju za pročišćavanje gdje se pročišćava i potom ispušta u more. Količina ovih voda je negdje oko 65% isporučenih količina pitkih voda u naselju. Što je potrošnja vode u naselju veća, to je veća i količina otpadnih voda [5]. Iz toga proizlazi da ovih voda ima najviše upravo kad je voda najpotrebnija i kad se najviše troši, odnosno u ljetnim mjesecima, što znači da je ovaj izvor vodom najizdašniji upravo kada je najpotrebniji.

Preduvjet za korištenje ovih voda je postojanje kanalizacije i uređaja odgovarajućeg stupnja čišćenja otpadnih voda. Najveći problemi koji se vežu uz korištenje ovih voda odnose se na čovjekovo zdravlje, odnosno bakteriološku kakvoću vode te teške metale i druge otrovne tvari. Uspješno pročišćavanje ovih voda podrazumijeva upravo eliminaciju tog bakteriološkog zagađenja. Otpadne vode industrijski nerazvijenih turističkih naselja u pravilu ne sadrže teške metale i druge otrovne tvari, ali su zato bogate hranjivim solima (N, P, K) te u tom smislu i vrlo korisne, jer dijelom mogu zamijeniti gnojidbu poljoprivrednih površina.

Za obradu otpadnih voda manjih naselja najpogodnije je koristiti lagune ili biljne uređaje u kojima se odvija cijeli niz prirodnih procesa kojima se poboljšavaju značajke vode, posebno bakteriološke.

Ovim je vodama naročito povoljno navodnjavati poljoprivredne površine bliže naselju (odnosno lokaciji uređaja), pa je o tome potrebno voditi računa već kod samog planiranja kanalizacijskog sustava naselja.

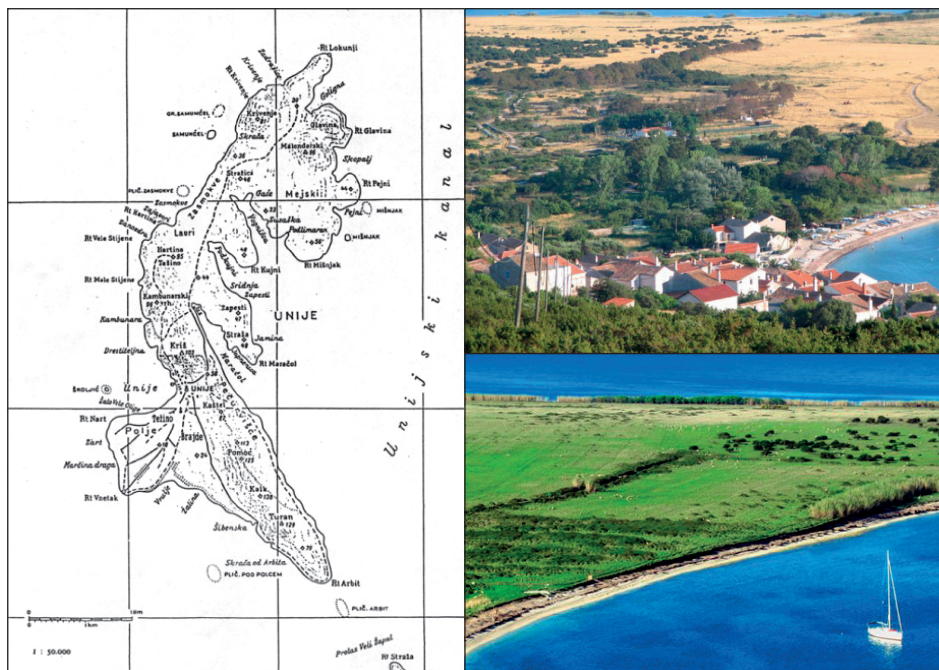
Za potrebe navodnjavanja mogu se koristiti i otpadne vode lokalnih uređaja, odnosno septičkih jama uz uvjet da se iste mogu upotrebljavati tek nakon dvadesetak dana zadržavanja u manjim akumulacijama. Na ovaj se način manje parcele oko stambenih objekata mogu trajno navodnjavati tijekom ljeta s u prosjeku dobivenih 80 l/dan vode po stanovniku uz uvjet da se ono provodi isključivo pod-površinskim sustavom, nikada prskanjem ili zalijevanjem, kako bi se isključio mogući izvor širenja oboljenja i izbjegao direktni kontakt čovjeka i životinja s bakteriološki zagađenim vodama.

U Hrvatskoj postoje manji kanalizacijski sustavi na nekim većim otocima poput Krka i Cresa, međutim na malim otocima zbog nedostatka kanalizacijskog sustava ovi izvori vode nisu dostupni.

2.2. Primjer gospodarenja vodama otoka Unije u cilju osiguranja samoodrživosti

2.2.1. Postojeće stanje i raspoložive podloge

Otok Unije (Slika 6), čije ime dolazi od grčke riječi „heneios“, što znači njiva, nalazi se na sjevernom dijelu Jadrana i administrativno pripada Primorsko-goranskoj županiji. Površina otoka iznosi 16,8 km² sa razvedenom 36,6 km dugom obalom. Prema zadnjem popisu stanovništva iz 2011. godine samo mjesto Unije broji 292 kućanstava od čega svega 47 stalnih odnosno 88 domaćih stanovnika [17]. Na otok se može doći manjim avionom ili brodom, a specifičan je po tome što na njemu nema automobilske prometa. Krasi ga i popularan naziv „otok cvijeća“ jer broji oko 600 različitih biljnih vrsta, od čega veliki broj ljekovitog bilja poput čička, lavande, gospine trave, kadulje, masline, lovora, mirte, ružmarina i smokve.



Slika 6. Karta otoka Unije, mjesto Unije i Unijsko polje [18]

Kada se govori o samoodrživosti otoka Unije, prvenstveno je potrebno planski osmisliti njegov vodoopskrbni sustav prema pravilima permakulture [19] koristeći načela: briga za Zemlju, briga za ljude i pravedna raspodjela. Drugim riječima, permakultura se bazira na načelima poboljšanja života kroz uspostavu sustava čiste vode, zraka, zemlje, prirode i domaćih sorti životinjskih vrsti o kojima čovječanstvo ovisi, osiguranja zadovoljenja osnovnih ljudskih potreba za hranom, energijom i skloništem, u kontekstu štedljivog društva s ciljem međusobnog pomaganja regionalno i globalno te pravednoj raspodjeli, korištenju lokalnih i podjeli viškova resursa. S aspekta vodnih resursa nastoji se osigurati opskrbu vodom iz više različitih izvora kako bi se smanjilo opterećenje i kontinuirano iscrpljivanje isključivo jednog izvora, a istovremeno se prema vodi odnosi na najštedljiviji mogući način, nastojeći je u nezagađenom obliku vratiti u prirodni ciklus. U permakulturnom dizajnu, opskrba vodom se osigurava sakupljanjem kišnice, ponovnim korištenjem sivih ili pročišćenih voda, prirodnih tokova i akumulacija te vodovodom ukoliko je on dostupan.

Nacionalnim programom razvitka otoka [20] nedvojbeno je utvrđen nedostatak pitke, sanitarne vode, kao i one za potrebe poljoprivrede, što je posebno izraženo u ljetnim mjesecima, kada je, kao što je već ranije spomenuto, potreba za vodom veća. Na Unijama ne postoji niti sustav

vodoopskrbe niti sustav odvodnje. Vodoopskrba se na otoku osigurava prikupljanjem kišnice, a po potrebi se voda s otoka Lošinja dovozi brodom vodonoscem. Ovim načinom stanovništvo podmiruje samo najnužnije potrebe za vodom te je ovako postavljen sustav daleko od zadovoljavajućeg rješenja i ispunjenja potreba za vodom [16]. Stoga je veoma bitno sustav vodoopskrbe otoka Unije osmisliti kao samoodrživu cjelinu koja bi obuhvaćala prikupljanje kišnice sa svih krovnih površina, zahvaćanje podzemnih voda (slatkovodne leće), mogućnost sekundarnog korištenja sivih i pročišćenih otpadnih voda te alternativno rješenje sakupljanja i spremanja vode sa polja fotonaponskih ćelija planirane komunalne solarne elektrane.

Na otoku postoje dva javna kopana bunara, jedna javna i 220 privatnih cisterni. Budući da o kakvoći vode u cisternama na otoku Unije nisu vršena istraživanja niti rađene studije, najbliži uvid u stanje predočuje provedena analiza kakvoće vode u cisternama Primorsko-goranske županije [21]. Unije zbog nedostupnosti javnoj vodoopskrbi spadaju u sredine koje i danas kao primarni izvor vode za piće koriste tradicionalno prikupljanje oborinskih voda u cisterne. Iako prirodno destilirana, oborinska voda može sadržavati brojna atmosferska onečišćenja i mikroorganizme te u tom slučaju predstavlja potencijalni zdravstveni rizik. Problem može predstavljati fekalna kontaminacija i prisutnost patogenih mikroorganizama. Za razliku od javne vodoopskrbe u kojoj je voda pod stalnim nadzorom i monitoringom javno-zdravstvenih službi i sanitarne inspekcije, ispitivanje mikrobiološke kakvoće vode iz individualnih objekata ovisi o dobroj volji samih vlasnika, odnosno korisnika. Analiza prikupljenih podataka pokazuje da je 66% ispitanih uzoraka mikrobiološki neispravno, što ukazuje na neadekvatno održavanje cisterni za vodu koje na taj način predstavljaju potencijalni zdravstveni rizik. Da bi se postiglo zadovoljavajuće stanje na terenu, važno je potaknuti edukaciju stanovništva, usmjeriti ih na pravilno održavanje cisterni, saniranje nakapnih ploha, mogućnost izvedbe odvodnje prvih kiša nakon sušnog razdoblja te, naposljetku, na redovitu kontrolu mikrobiološke kakvoće vode.

Na otoku su 1983. godine izvedena dva bušena zdenca ukupne izdašnosti od oko 2,5 l/s bočate vode koji se koriste za sanitarne i protupožarne potrebe te za zalijevanje [22]. Uz uvjet prethodne desalinizacije, ovi se zdenci planiraju uključiti u budući vodoopskrbni sustav otoka. Također veoma je bitno umjereno crpljenje podzemnih voda otoka, odnosno otočne leće kako ne bi došlo do prodora morske vode i dodatnog zaslanjenja samih izvora.

Provedenom anketom o utvrđivanju stanja vodoopskrbe lokalnog stanovništva otoka Unije [7] na uzorku od 14 kućanstava zaključeno je da je lokalno stanovništvo jako dobro prilagođeno životnoj situaciji na otoku

te izrazito dobro informirano. Broj stalnih ukućana prosječno iznosi 2,6 osoba po kućanstvu, a srednja vrijednost veličine cisterni iznosi 37,9 m³. U pravilu, stanovnici ostaju bez dovoljnih količina vode već u svibnju, a katkad i u travnju, pa sve do rujna ili čak listopada. Oni dobro prilagođeni nadopunjuju cisterne samo u vrhu sezone u srpnju i kolovozu, dok oni s manjim cisternama i zimi kada dolazi brod vodonosac čiji se dolazak organizira kada se sakupi veći broj kućanstava kojima je potrebna voda. Ukoliko neko kućanstvo ostane bez vode i ne može izdržati do dolaska vodonosca, organizira se spajanje na protupožarne hidrante koji crpe vodu iz vodne leće te sa ta voda dostavlja protupožarnim crijevima. Većina kućanstava vodu iz cisterne koriste za piće, od čega dio domaćinstava ne koristi nikakve mjere pročišćavanja. Između nakapne plohe i cisterni svi imaju predfiltere od pijeska, šljunka i aktivnog ugljena. Pravo iznenađenje je da nekoliko kućanstava posjeduje i pročišćivače na reverznu osmozu ne bi li mogli što više konzumirati vodu dostavljenu iz protupožarnih rezervi. U svim kućanstvima domaćini imaju naviku isprazniti cisternu i očistiti je. Njih 50% radi to svake dvije do tri godine, dok ostali obavezno jednom godišnje. Zanimljivo je da su upravo ona domaćinstva koja ne koriste nikakve metode pročišćavanja vode redovita u održavanju cisterni. Svi ispitanici imaju septičku jamu, u nekim kućanstvima čak i po dvije, dok ugostiteljski objekt zbog zahtjeva inspekcije ima ukupno pet međusobno povezanih septičkih jama.

Prilikom opisivanja navika o potrošnji vode skoro svi su stanovnici izrazili štedljivost. Paze da iz slavine voda ne teče bez potrebe, a pri tuširanju koriste što je manje vode moguće. Perilicu rublja ima svako kućanstvo, dok perilicu posuđa samo jedno. Voda od pranja posuđa koristi se za zalijevanje vrta, a u nekim se kućanstvima hvata čak i voda od pranja perilice rublja. U vrtovima je česta pojava bačva za sakupljanje kišnice. Zanimljivo je da su, unatoč nedostatku vode na otoku, vrtovi kuća izrazito bogati raznim vrstama cvijeća (Slika 7).

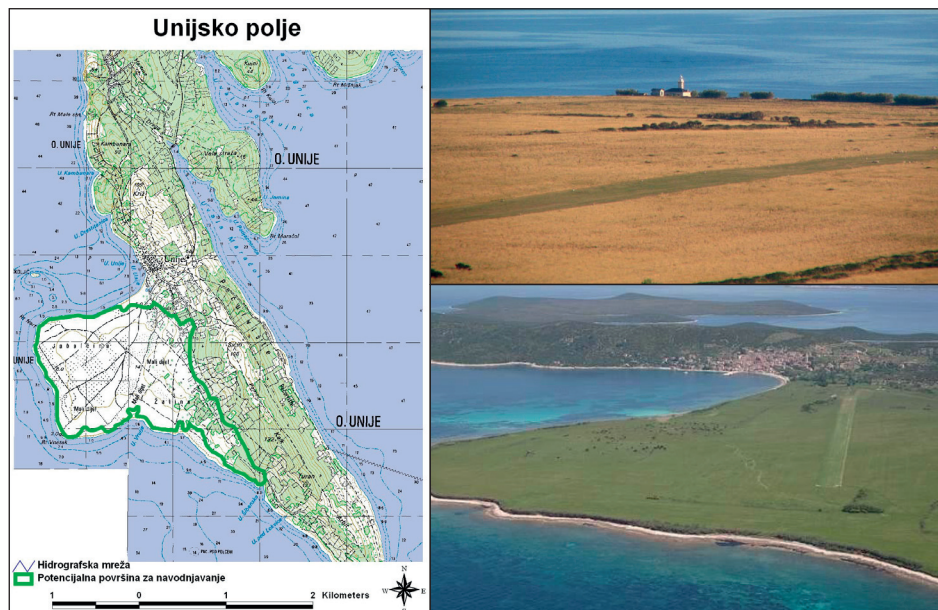
Uz zadovoljenje potrebe vodoopskrbe u cilju osiguranja samoodrživosti otoka treba stvoriti uvjete proizvodnju hrane te je stoga potrebno osigurati i vodu za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Prema elaboratu Plana navodnjavanja Primorsko-goranske županije [23] među 9 prioriternih lokacija za navodnjavanje nalazi se i Unijsko polje (Slika 8) koje je zbog svoje veličine najpogodnije za razliku od ostalih mnogo manjih, međusobno odvojenih površina. Unijsko polje površine 250 ha svojim potencijalom proizvodnje hrane nadmašuje potrebe lokalnog stanovništva. To je tlo nekontaminirano umjetnim gnojivima i zaštitnim sredstvima te ga je iz tog razloga potrebno staviti u funkciju zadovoljenja potreba šireg okruženja čiji će temelj biti poljoprivreda na organskim osnovama koja trajno može funkcionirati bez vanjskih inputa [1].



Slika 7. Bogati vrtovi i okućnice kuća na otoku Unije [7]

Nažalost, poljoprivreda otoka danas nije ni izdaleka tako razvijena u odnosu na ranije stanje te nisu iskorištene sve mogućnosti koje pružaju sadašnji prirodni uvjeti. Najvrjednije poljoprivredne površine izložene su eroziji i degradaciji. Osim proizvodnje hrane za potrebe otočana i Malog Lošinja, Unije imaju potencijal postati rasadnik autohtonih mediteranskih poljoprivrednih sorti za sve sjevernojadranske otoke [1].

Prema planu navodnjavanja Primorsko-goranske županije [23] stanje vodnih resursa na otoku Unije je slijedeće: površinskih vodotoka nema, dok mogućnost navodnjavanja postoji zahvaćanjem podzemnih voda. Daljnje provedenim istražnim radovima dokazana je mogućnost crpljenja istih od oko 2,5 l/s [23]. Međutim, navedenim radovima nisu iscrpljene sve mogućnosti zahvata podzemnih voda u Unijskom polju. Nadalje, za osiguranje vode za potrebe navodnjavanja Unijskog polja nužno je istražiti i mogućnost izgradnje površinskih spremnika (bazena ili akumulacija) napajanih oborinskim vodama iz sustava nakapnih ploha te istražiti i izgraditi nove zahvate voda iz podzemnih vodonosnika. Još jedna alternativa koja bi se mogla razmotriti je korištenje i otpadnih voda nakon odgovarajućeg pročišćavanja ukoliko bi se izgradio sustav odvodnje i obrade otpadnih kućanskih voda.



Slika 8. Unijsko polje [23, 24, 25]



Slika 9. Navodnjavanje metodom kap po kap [26]

Najpogodniji način za navodnjavanje Unijskog polja bilo bi lokalizirano navodnjavanje metodom „kap po kap“ [26] na način da se voda dovodi i raspodjeljuje do svake biljke „lokalno“, vrlo precizno i štedljivo pomoću posebnih hidrauličkih naprava. Temeljni princip ove metode (Slika 9) je da voda iz sustava gusto postavljenih plastičnih cijevi izlazi kroz posebne kapaljke i vlaži tlo uz svaku uzgojenu biljku. Ovom se metodom može najpreciznije dodavati voda potrebna tlu.

Veliki problem na Unijama predstavlja nedovoljan broj radno aktivnog stanovništva koje bi moglo oživjeti poljoprivrednu proizvodnju i održavati zajedničke sustave opskrbe vodom i energijom.

2.2.2. Analiza mogućih rješenja vodoopskrbe stanovnika na otoku Unije

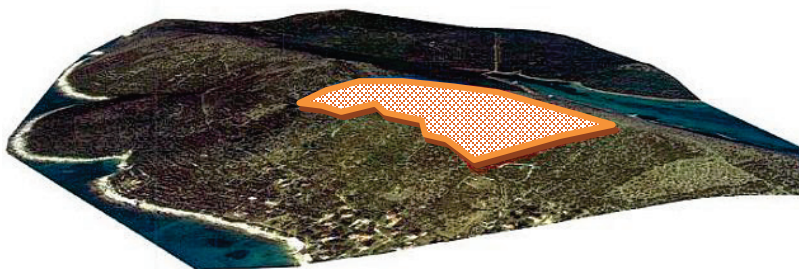
U ovom poglavlju analizirat će se potencijalna rješenja vodoopskrbe na otoku Unije predložena na temelju predviđenih 203 stanovnika i 1000 turista u privatnom smještaju na kraju tridesetogodišnjeg projektnog razdoblja.

Za potrebe proračuna pretpostavljena je srednja dnevna potrošnja vode od 170 l/stanovniku/dan. Danas je ta potrošnja znatno manja, međutim za očekivati je da će se izgradnjom vodovoda životne navike lokalnog stanovništva znatno promijeniti što će rezultirati povećanjem standarda življenja, a time i porasta potrošnje vode po stanovniku.

Također, potrebno je uzeti u obzir veliki porast u potrošnji vode za vrijeme turističke sezone, odnosno u ljetnim mjesecima u prosječnom trajanju od oko 100 dana. U tom razdoblju potrošnja vode doseže svoje maksimume, što je odraz „posebnog“ ponašanja ljudi, odnosno turista tijekom godišnjeg odmora, a neposredno ovisi o vrsnoći turističke ponude obzirom na udobnost i atraktivnost. Na Unijama postoji isključivo mogućnost privatnog smještaja, a procijenjena dnevna potrošnja vode iznosi 250 l/turistu/dan.

Budući da na otoku nema hotela, kampova i industrije potrebno je još zadovoljiti potrebe za gašenje požara i osigurati siguran izvor koji omogućava minimalnu propisanu količinu vode za vrijeme trajanja požara od minimalno 2 sata. Prema tome, za naselje Unije potrebno je osigurati djelovanje jednog hidranta kapaciteta 10 l/s u trajanju od najmanje dva sata [27].

Za potrebe vodoopskrbe stanovništva potrebno je osigurati maksimalnu dnevnu količinu vode $Q_{\max, \text{dn}}$ od 430 m³/dan te maksimalni protok od 7,5 l/s temeljem maksimalne satne količine vode $Q_{\max, \text{sat}}$. Budući da se za zadovoljenje energetske potrebe Unija planira korištenje obnovljivih izvora energije, u planu je izgradnja solarne elektrane. Njeni fotonaponski paneli ujedno bi se mogli koristiti kao nakapne plohe za prikupljanje kišnice u javnu cisternu iz koje bi se voda gravitacijski distribuirala do potrošača (Slika 10).

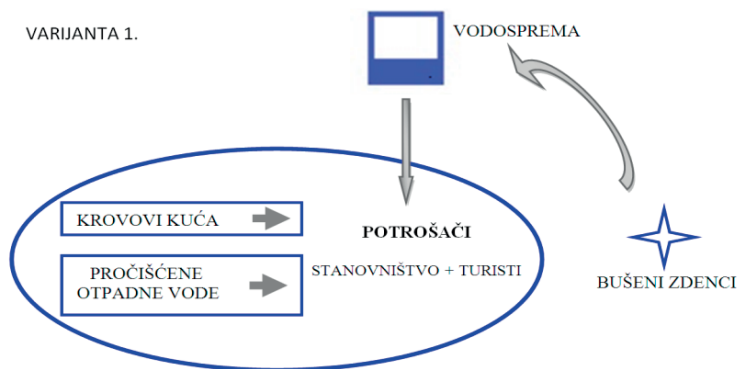


Slika 10. Područje obuhvata za izgradnju buduće solarne elektrane [7]

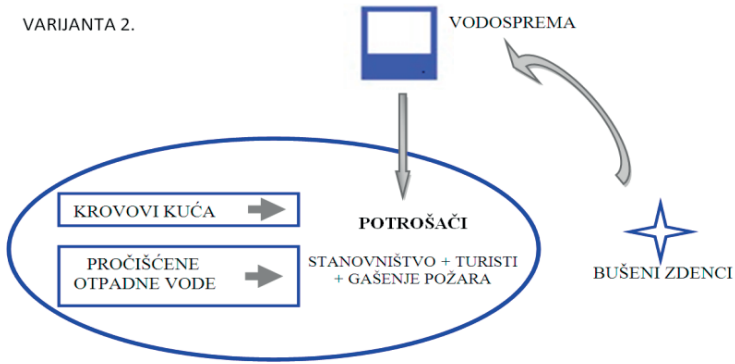
Uzimajući u obzir navedeno analizirane su četiri različite varijante [7] osiguravanja vode za potrebe stanovništva naselja Unije prikazane slikama 11, 12, 13 i 14.

U predloženim i analiziranim varijantama uzeti su u obzir slijedeći izvori vode:

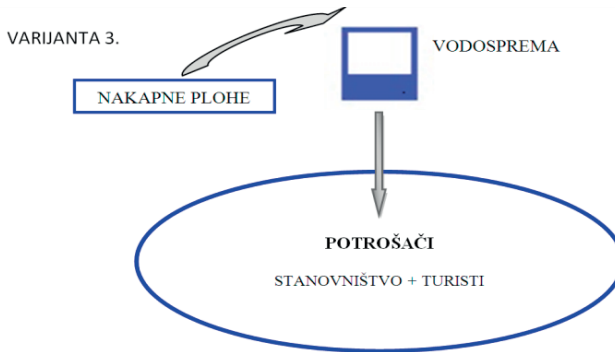
- kišnica prikupljena sa krovova kuća lokalnog stanovništva u cisterne,
- crpljenje podzemnih voda otočne vodne leće,
- kišnica prikupljena na nakapnim ploham sunčanih kolektora buduće solarne elektrane i
- sekundarno korištenje otpadnih voda (sivih ili pročišćenih otpadnih voda).



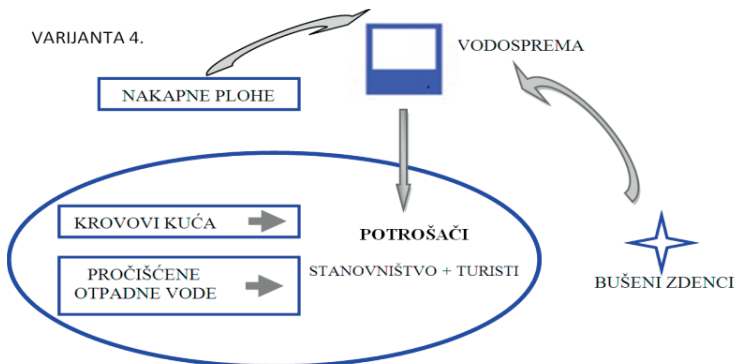
Slika 11. Varijante 1 opskrbe vodom Unija [4]



Slika 12. Varijante 2 opskrbe vodom Unija [4]



Slika 13. Varijante 3 opskrbe vodom Unija [4]



Slika 14. Varijanta 4 opskrbe vodom Unija [4]

Prva varijanta uzima u obzir da se potrebe stanovništva i turista za vodom zadovolje sakupljanjem kišnice u cisternama kućanstava, povremenim crpljenjem otočke vodne leće, uz korištenje sivih ili pročišćenih otpadnih voda za zalijevanje okućnica, ispiranje wc-a i sl. čime se smanjuje potrošnja pitke vode za 36% [7]. 100%-tno zadovoljenje potreba za pitkom vodom dobiveno je uz sezonsko crpljenje vodne leće čiji intenzitet crpljenja ne prelazi dozvoljeni kapacitet prema rezultatima provedenih istraživanja. U ovoj varijanti postavlja se kao problem osiguravanje vode za gašenje požara i povremena potreba za desalinizacijom vode zahvaćene iz otočke vodne leće za koju je potrebno osigurati odgovarajući izvor energije (potencijalna gradnja solarne elektrane).

Druga varijanta, uz potrebe opskrbe vodom stanovništva i turista, obuhvaća i potrebe za gašenje požara te potrebne količine osigurava kombiniranjem sakupljanja kišnice u cisternama kućanstava, korištenja sivih ili pročišćenih otpadnih voda i, na koncu, crpljenjem otočke vodne leće. Ova varijanta daje 100%-tno zadovoljenje potreba za vodom uz redovito crpljenje vodne leće koje ne prelazi dozvoljeni kapacitet crpljenja od 2,15 l/s na postojećim bušotinama na Unijskom polju. Za ovu varijantu potrebno je detaljnije istražiti kapacitet zahvata vode iz slatkovodne leće te osigurati odgovarajući izvor energije za potrebe desalinizacije.

Treća varijanta analizira mogućnosti zadovoljenja potreba za vodom stanovništva i turista upotrebom isključivo kišnice prikupljene na nakapnim ploham sunčanih kolektora buduće solarne elektrane (2 ha). Isključenjem svih ostalih mogućnosti izvora vode za piće te usvajanjem predloženog izračunato je 85%-tno zadovoljenje potreba za vodom. Iz navedenog je jasno da je za vodoopskrbu stanovništva neophodno osigurati vodu i iz nekih drugih izvora. Zaštita od požara u ovoj varijanti može se osigurati zahvaćanjem vode iz slatkovodne leće ili nekim drugim rješenjem.

Četvrta varijanta opskrbe vodom stanovništva i turista kombinira sakupljanje kišnice nakapnim ploham sa sunčanih kolektora elektrane, sakupljanje kišnice sa krovnih površina u cisterne kućanstava, crpljenje otočne vodne leće te korištenje sivih ili pročišćenih otpadnih voda. Potreba za crpljenjem vodne leće javlja se samo u ljetnim mjesecima. Ovom varijantom moguće je osigurati potrebne količine vode za vodoopskrbu u naselju tijekom cijele godine, no u vodospremama je potrebno osigurati i količine vode potrebne za gašenje požara. Potrebno je osigurati i odgovarajući izvor energije za desalinizaciju vode iz otočke leće, što je moguće riješiti gradnjom solarne elektrane.

Kao još jedna sigurnost u analiziranim varijantama moguće je razmotriti i rezervu vode koja se može osigurati dovozom vode s kopna vodonoscima te eventualno korištenje morska vode za gašenje požara.

U svim varijantama treba posebnu pažnju dati osiguravanju i kontroli kakvoće vode koja se koristi za piće.

Za konačni odabir najpovoljnije varijante potrebno je provesti detaljna hidrogeološka ispitivanja otočne vodne leće kako bi se definirala mogućnost crpljenja korištenjem vertikalnih ili horizontalnih zahvata vode, a da se pritom ne naruši ravnoteža vodne leće. Budući da je u podzemnim vodama otoka Unije izražena zaslanjenost, kondicioniranje vode za vodoopskrbne svrhe mora uključivati i procese desalinizacije. Za desalinizaciju je potrebno osigurati odgovarajuću energiju te je stoga potrebno razmotriti mogućnost korištenja solarne elektrane.

Obzirom na postojeće navike stanovništva da koristi sive vode za zalijevanje okućnice, treba razmotriti mogućnost izvedbe instalacija u zgradi koje odvajaju sive i crne vode odmah po mjestu nastanka ili pak izvedbu kompostnih toaleta čime bi se smanjila potrošnja vode i količina crnih otpadnih voda.

Za osiguravanje vode za potrebe navodnjavanja potrebno je, uz razmatranje korištenja podzemnih voda i površinskih akumulacija, razmotriti varijantu osiguravanja potrebnih količina izvedbe sustava odvodnje i obrade otpadnih voda obzirom da otpadnih voda ima najviše u ljetnim mjesecima kada je i potreba za navodnjavanjem najveća. Pri tome je potrebno osigurati odgovarajuće pročišćavanje otpadnih voda (najpogodnije je koristiti biljne uređaje). Svakako treba analizirati mogućnost i isplativost izvedbe sustava odvodnje otpadnih voda obzirom na broj stalnih stanovnika, topografiju naselja (strm teren na nekim dionicama), širinu ulica i sl.

3. Primjeri samoodrživih vodoopskrbnih sustava otoka u Europi

U sušnim područjima Europe, prvenstveno Mediterana, učestala je pojava nestašica vode u ljetnom periodu kada potreba i potražnja za vodom prelaze svoj godišnji prosjek. Alternativa tradicionalnim načinima opskrbe vodom tih krajeva sastoji se u desalinizaciji boćate podzemne vodne leće otoka uz naglasak na strategiju sprječavanja prodora morske vode te ponovnog korištenja otpadnih voda. Danas je desalinizacija morske vode glavno sredstvo u borbi protiv nestašice vode na otocima poput Santorinija te Kanarskim otocima, dok je prijevoz pitke vode brodom vodonoscem alternativa za područja koja nisu previše udaljena od kopnenog izvora vode. Često oskudna električna energija predstavlja ozbiljan problem desalinizaciji vode. No, obje spomenute alternative iznimno su skupe [28].

Jedan od primjera integralnog gospodarenja vodama na otocima su Egejski otoci, među koje spada i Santorini, čiji su zahtjevi za vodom u zadnjih deset godina u stalnom porastu, što je rezultat intenzivne izgradnje hotela i širenja naselja. Njihove su potrebe danas velikim dijelom zadovoljene uporabom ograničenih podzemnih voda, desalinizacijom morske te dopremanjem slatkovodne vode brodovima. Također, kao alternativni izvor vode koriste se pročišćene otpadne vode. Dosadašnja svjetska iskustava pokazala su da ponovno korištenje voda mora biti sastavni dio dugoročne strategije upravljanja vodnim resursima, a očuvanje voda usmjereno na smanjenje uporabe vode kao i recikliranje otpadnih voda za potrebe čišćenja, industrijskih pogona te poljoprivredno navodnjavanje. Takav pristup gospodarenju vodama doprinosi očuvanju količina pitke vode.

Kao što je ranije spomenuto, dopremanje vode sa kopna brodovima uobičajena je praksa na Egejskim otocima, a ujedno i najbrži i najjednostavniji način da se ispune sve potrebe stanovnika i turista za slatkom vodom, naročito u ljetnim mjesecima. Međutim, volumen transportirane vode ograničen je kapacitetima tankera koji za vrijeme turističke sezone, kada je potražnja za vodom najveća, nisu uvijek u mogućnosti održati korak s potražnjom [28]. Osim toga, ovakav prijevoz uključuje potrošnju fosilnih goriva koji izgaranjem osim energije oslobađaju i otrovne i štetne plinove poput ugljičnog monoksida, ugljičnog i sumpornog dioksida koji se sakupljaju u atmosferi te u obliku kiselih kiša padaju na Zemlju te štetno utječu na prirodu i na građevine [29].

Značajni napredak membranske tehnologije zadnjih dvadesetak godina omogućio je dostupnost desalinizacije vode koja je danas postala gotovo uobičajen postupak dobivanja svježije vode i jedan od glavnih izvora vode na otocima. Jedan od takvih primjera je i Egejski otok Syros koji za te potrebe koristi postupak reverzne osmoze.

Kod planiranja svakog od ovih načina dobave vode u obzir se mora uzeti cjelokupni sustav sa energetske potrebama i dugoročnom održivosti.

Gospodarske djelatnosti na malim otocima Grčke oslanjaju se uglavnom na ljetni turizam koji je postupno zamijenio tradicionalna zanimanja poput poljoprivrede i ribolova. Potražnja za vodom ima visoku sezonsku varijabilnost i stvara značajne pritiske na postojeće vodne resurse [28,30]. Problemi s nedostatkom vode traju svega jedan do dva mjeseca godišnje za vrijeme vrhunca turističke sezone. Upravo zbog vrlo kratkog trajanja vršne potrošnje, u većini slučajeva zabranjen je razvoj rješenja koja zahtijevaju značajne investicijske troškove, poput postrojenja za desalinizaciju te površinske akumulacije.

Primjer još jednog samoodrživog sustava gospodarenja vodama je i otok Paros u Egejskom moru. To je mali otok površine 196 km² poznat kao jedna od najpopularnijih turističkih destinacija Grčke gdje tokom ljetnih mjeseci broj turista pridonosi porastu stanovništva do pet puta. Zbog velike imigracije uslijed razvoja turizma u proteklih dva desetljeća, broj stalnog stanovništva na otoku povećao se za preko 50%, a očekuje se da će se taj trend nastaviti i u narednom razdoblju [28,31].

Vodonosnici koji čine 95% opskrbe vodom otoka za vrijeme ljetnih mjeseci nastoje pratiti povećanu potražnju za vodom. Nažalost, rezultat toga je njihova pretjerana eksploatacija. Također je važno za napomenuti da sakupljenom oborinom u privatnim cisternama uspije zadovoljiti svega 5% ukupne potražnje za vodom.

Zbog navedene problematike javila se potreba za razvojem optimalne kombinacije vodnih resursa za potrebe opskrbe vodom uz uvjet minimalnih troškova cijene dobave vode. U tu svrhu razvijen je optimalizacijski model opskrbe vodom otoka Paros za razdoblje od 2002. do 2030. godine koji uključuje rad podzemnih bunara i bušotina, površinskih akumulacija, desalinizaciju vode na snagu vjetra te brodove vodonosce. Ovakvim pristupom kombiniranog korištenja vodnih resursa osiguran je optimalni doprinos svakog od zasebnih izvora opskrbe. Na otoku postoji više od 40 bušotina ukupnog kapaciteta 923 m³/h, koji tijekom srpnja i kolovoza rade na više od 90% svog kapaciteta u nastojanju da slijede povećane potrebe za vodom. Ostatak godine, kada je potrošnja vode daleko manja, rade na svega 50% kapaciteta. Saznanja o podzemnim vodama otoka Paros u ovome trenutku govore u prilog mogućnosti sporijeg povećanja kapaciteta bušotina čime se ne bi smjeli stvoriti nepovratni problemi zasljenjenja podzemnih voda. Sagledavajući rast potrošnje vode zadnjih desetljeća te uzimajući u obzir veliku vjerojatnost povećanja zahtjeva za njom u budućnosti, ekonomski trošak kao i utjecaj postupaka desalinizacije korištenjem energije vjetra su zadovoljavajući i prihvatljivi [31].

4. Zaključak

Gospodarenje vodama temeljno na integralnom pristupu, načelima održivog razvoja i permakulture osnova su za osiguravanje samoodrživosti otoka.

Prioritetno treba osigurati potrebne količine vode za vodoopskrbu stanovništva te gašenje požara, a zatim osigurati vodu za potrebe navodnjavanja poljoprivrednih površina čime se osigurava proizvodnja hrane za potrebe lokalnog stanovništva i turista. Posebnu pažnju treba usmjeriti na korištenje obnovljivih izvora energije (vjetra ili sunca).

Za ostvarenje navedenih potreba treba analizirati paralelno tradicionalna i suvremena rješenja kako bi se pronašlo najbolje rješenje, a ono najčešće podrazumijeva kombinaciju tradicionalnih i suvremenih rješenja.

Potrebno je cjelovito sagledati sve vodne resurse koji su na raspolaganju na otoku i svakako uzeti u obzir i korištenje pročišćenih ili sivih voda.

U ovom je radu na primjeru otoka Unije i nekoliko primjera otoka u Egejskom moru prikazana navedena problematika i moguća rješenja.

Vrlo važan aspekt za osiguranje samoodrživosti otoka je edukacija lokalnog stanovništva o načinima racionalnijeg korištenja svih resursa, pa tako i vode, mogućnostima ponovne upotrebe voda nakon pročišćavanja, kontroliranju i osiguravanju kvalitete vode za piće i dr.

Treba istaknuti još jednom da osiguravanje samodostatnosti otoka može bitno utjecati na kvalitetu života stanovnika na otoku te rezultirati zadržavanjem sadašnjih, povratom nekadašnjih i/ili dolaskom novih stanovnika čime se postiže revitalizacija otoka.

Razmatrajući konkretne aktivnosti koje predstoje na otoku Unije, u narednom razdoblju bitno je jasno artikulirati i predstaviti ukupan plan razvoja otoka temeljen na samoodrživosti. Garancija za uspjeh ovakvog razvojnog modela prije svega leži u potrebi njegovog prihvaćanja od strane cjelokupnog lokalnog stanovništva, a potom i šire lokalne zajednice. Uvažavajući pretpostavku da će ovakav model razvoja biti prihvaćen, može se očekivati aktivno uključenje svekolikog stanovništva, ali i pravnih subjekata u njegovu operacionalizaciju koji će u investicijama koje su potrebne za osiguranje samodostatnosti (vodne, energetske ili prehrambene) uvidjeti vlastiti interes. Primorsko-goranska županija će i nadalje, bilo neposredno ili posredno putem svojih ustanova i trgovačkih društava, davati aktivnu potporu lokalnoj zajednici u osiguranju njene kvalitetne razvojne perspektive vodeći prije svega računa o aktivaciji svih lokalnih razvojnih potencijala, a sve u cilju osiguranja kvalitetnog življenja lokalnog stanovništva.

Literatura

- [1] Skala, Z., *Neslužbene smjernice za razvoj otoka Unije*, Izdavač, Rijeka, 2011.
- [2] <http://www.urbandictionary.com>
- [3] Margeta, J., *Osnove gospodarenja vodama*. Građevinsko – arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 1992.

- [4] *Zakon o vodama*, "Narodne novine", 2009.,153, 2011.,130
- [5] Margeta, J., *Priručnik za hidrotehničke melioracije: Vodnogospodarski aspekti razvoja navodnjavanja u priobalju i krškom zaleđu – navodnjavanje na otocima*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2007.
- [6] <http://www.cromaps.com/>
- [7] Lalić, M., *Mogućnosti samoodržive vodoopskrbe stanovništva na otoku Unije – Diplomski rad*, Građevinski fakultet, Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2011.
- [8] <http://croinfo.net>
- [9] Gulić, I., *Opskrba vodom*; Hrvatski savez hrvatskih inženjera, Zagreb, 2000.
- [10] *Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2011*, Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, Zagreb, 2011.,p. 48.
- [11] Štambuk-Giljanović, N., *Vode Dalmacije*. Nastavni Zavod za javno zdravstvo Splitsko – dalmatinske županije, Split, 2006.
- [12] www.geografija.hr
- [13] <http://www.impeks.hr>
- [14] Ružinski, N., Anić Vučinić, A., *Obrada otpadnih voda biljnim uređajima*. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 2010.
- [15] Vujčić, R., Trp, A., Hrastnik, B., *Sustavi desalinacije u funkciji razvitka otočne poljoprivrede*, Proceedings of the International Congress Energy and the Environment 1998, 267-274, Croatian Solar Energy Association, Opatija, 1998.
- [16] *Program održivog razvitka za otočnu skupinu Lošinj, Unije, Male Sakrane, Vele Sakrane, Susak, Ilovik, Sveti Petar, Vele Oruje, Trstenik, Palacoli, Primorsko-goranska županija*; Županijski zavod za održivi razvoj i prostorno planiranje, Rijeka, 2005
- [17] <http://www.dzs.hr/>
- [18] www.otok-unije.com
- [19] <http://www.kneja.hr>
- [20] *Nacionalni program razvitka otoka*, Republika Hrvatska, Ministarstvo razvitka i obnove, Zagreb, 1997.
- [21] Furlan, N., Kovačević, N., Linšak, Ž., Pružinec Popović, B., Globin, I., *Mikrobiološka analiza voda u cisternama u Primorsko – goranskoj županiji*, Hrvatska vodoprivreda, 194: 57-58. Hrvatske vode, Zagreb, 2011.

- [22] *Otok Unije – hidrogeologija Unijskog polja*, Rudarsko geološko naftni fakultet, Zagreb 1983.
- [23] Građevinski fakultet Rijeka (voditelj Nevenka Ožanić): *Plan navodnjavanja Primorsko-goranske županije*, Arhiva teh. dokumentacije Građevinskog fakulteta u Rijeci, 2006.
- [24] <http://www.villas-rab.com>
- [25] <http://www.tz-malilosinj.hr>
- [26] Tomić, F, Romić, D., Mađar, S., *Oprema za lokalizirano natapanje, Priručnik za hidrotehničke melioracije, Navodnjavanje*, Knjiga 4, Sustavi, Građevine i oprema za natapanje, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci i Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, str. 177-230, Rijeka, 1995.
- [27] *Pravilnik o hirantskoj mreži za gašenje požara*, "Narodne novine", 2006., 8
- [28] Zacharias, I., Koussouris, T., *Sustainable Water Management in the European Islands, Physics and Chemistry of the Earth*, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere, 40: 233-236., 2000.
- [29] www.wikipedia.org
- [30] Gikas, P., Tchobanoglous, G., *Sustainable use of water in the Aegean Islands*, Journal of Environmental Management, 90: 2601-2611, 2009.
- [31] Voivontasa, D., Arampatzisa, G., Manoli, E., Karavitis, C., Assimacopoulos, D., *Water supply modeling towards sustainable environmental management in small islands- the case of Paros*, Desalination, 156: 127-135, 2003.

ČVORIŠTE “ŠKURINJE” - PRIMJENA DIGITALNE AEROFOTOGRAMetriJE U MODELIRANJU SLIVNIH POVRŠINA

ROAD JUNCTION “ŠKURINJE” - APPLICATION OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRY IN WATERSHED AREA MODELING

Martina PEŠA* , Ivana FUIS* , Sergije BABIĆ , Nino KRVAVICA****

Sažetak

Digitalni model reljefa (DMR) i digitalni ortofoto (DOF) danas su gotovo nezaobilazni načini prikaza terenskih podataka, kako u projektiranju objekata tako i u različitim istraživačkim područjima. Dostupnost suvremenih tehnologija omogućava brzo i povoljno kreiranje DMR-a i DOF-a visoke rezolucije kao baze podataka za različite aktivnosti. U ovom radu bit će prikazan proces nastanka DMR-a i DOF-a čvorišta Škurinje na Riječkoj obilaznici korištenjem zračnih aerofotogrametrijskih snimaka iz daljinski navođenog oktokoptera. Konačni produkt je 3D prikaz terena s odgovarajućom fototeksturuom., svaki piksel konačnog modela ima svoju koordinatu i pripadajuću fototeksturu okoline. Aerofotogrametrija je geodetska metoda kojom se podaci o prostoru dobivaju procesom zabilježbe, mjerenja i interpretacije zračnih snimaka. Ključni parametri aerofotogrametrijskog snimanja su poprečni i uzdužni preklopi snimki te mjerilo snimanja. Snimanje je provedeno pomoću daljinski navođenog oktokoptera u kojemu su integrirani GPS i digitalna kamera s video linkom na zemaljsku stanicu kojim je omogućen prikaz područja snimanja u realnom vremenu. Za obradu digitalnih zračnih snimki visoke razlučivosti te kreiranje krajnjih proizvoda (DOF, DMR i 3D prikaza) koriste se specijalizirani algoritmi.

* G.E.O.T.I.M. d.o.o., A. Šantića 30, Poreč
E-mail: geotim@pu.t-com.hr

** Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, R. Matejčić 3, 51000 Rijeka
E-mail: sergije.babic@gradri.hr, nino.krvavica@gradri.hr

Rezolucija DOF-a i podatak DMR-a visoke rezolucije u direktnoj su relaciji s visinom leta s koje je snimljeno traženo područje. Slivne površine na cestama, naročito u području čvorišta, karakteriziraju maleni i po smjeru promjenjivi nagibi ploha čime je određena i tražena preciznost podataka DMR-a zbog određivanja karakteristika slivnog područja. U radu je prikazan rezultat snimanja područja površine 7.50 ha s osvrtnom na primijenjene metode i dobivene karakteristike modela.

Ključne riječi: digitalna aerofotogrametrija, DMR – digitalni model reljefa, ortofoto visoke razlučivosti, mjerilo snimanja, slivna površina

Abstract

Digital Elevation Model (DEM) and digital orthophoto (DOP) are now almost inevitable field data models for the design of buildings and in various research areas. The availability of modern technology enables a quick and convenient creation of DEM's and DOF's as high-resolution data base for various activities. This paper presents the DEM and DOF creation for the road junction Škurinje on the Rijeka bypass using aerial photographs from remotely guided octocopter. The final product is a 3D terrain model with appropriate texture. Each pixel of the final model has its own coordinates and the related environmental texture. Photogrammetry is the geodetic method to get information about the area recordation process, measurement and interpretation of aerial photographs. Key parameters of aerial photographs are transverse and longitudinal overlaps of scanning and recording scale. Recording was done by remote guided octocopter with integrated GPS and digital camera and video link to ground stations that enabled the display area of the recording in real time. For the processing of digital aerial images of high resolution, and creating the final product (DOF, DEM and 3D) specialized algorithms were used. Resolution of DOF and the DEM data and high resolution are in direct relation with the altitude from which the recordings of the area were taken. Watershed areas on the roads, especially in the road junctions, are characterized by small change in slope direction and surface which is determined by the accuracy of the information required DER to determine the characteristics of the watershed area. The paper presents the result of the recorded area of 7.50 ha with emphasis on applied methods and the resulting characteristics of the model.

Key words: digital aerophotogrametry, DEM – digital elevation model, high-resolution orthophoto, recording scale, watershed

1. Uvod

Čvorište Škurinje na Riječkoj obilaznici odabrano je kao jedno od ispitnih polja u međunarodnom znanstvenom projektu „Sistemi za odvođenje kišnih voda kao dio urbane i prometne infrastrukture“ [1]. Opremanje ispitnog polja i provedbu mjerenja provode „Autocesta Rijeka-

Zagreb" d.d. Zagreb, KD „Vodovod i kanalizacija“ d.o.o. Rijeka i Građevinski Fakultet Sveučilišta u Rijeci. Jedna od temeljnih pretpostavki za uspješnost programa je poznavanje slivnog područja, odnosno veličine i visinskih odnosa objekata na području čvorišta. U ovom radu prikazana je primjena suvremene tehnologije geodetskog snimanja, kartiranja i modeliranja objekata i primjenjivost na zahtjevnijim zadacima. Na čvorištu Škurinje provedeno je aerofotogrametrijsko snimanje. Iz dobivenih snimki obradom je dobiven digitalni ortofoto, digitalni model reljefa (DMR), 3D prikaz terena s odgovarajućom fototeksturom te 3D prikaz navedenog područja. Za potrebe računalnog određivanja veličine i karakteristika slivnih površina neophodno je poznavanje 3D prikaza terena, a ostali prikazi koriste se za evidenciju opisnih podataka slivnih površina.

2. Zašto aerofotogrametrija

2.1. Zahtijevana točnost i detaljnost prikaza snimka ispitnog polja

Slivne površine ispitnog polja su u naravi kolne površine koje karakteriziraju relativno maleni nagibi ploha slivnih površina promjenjivih po veličini i smjeru kojima je određeno površinsko otjecanje oborinskih voda. Izvedeno stanje i promjene tokom eksploatacije objekta razlikuju se od projektiranog stanja u mjeri prihvatljivoj za sigurno odvijanje prometa. Geodetski snimak izvedenog stanja objekta nije dovoljno detaljan da bi se sa sigurnošću mogle odrediti karakteristike slivnog područja te je za potrebe ispitnog polja potrebno izvršiti detaljan snimak postojećeg stanja s položajem svih objekata sustava odvodnje. Standardna kartirana geodetska podloga ne opisuje stanje na izvedenim objektima i detalje položaja i vrste opreme u profilu ceste pa je foto snimak područja izvor dodatnih podataka bitnih za određivanje karakteristika sliva.

Geodetski snimak izvedenog stanja napravljen uobičajenim geodetskim metodama poput tahimetrijskog snimanja totalnim stanicama, preciznim nivelmanom, odnosno geodetskim snimanjima GPS-om, daje unaprijed definiran broj profila (karakteristika slivnog područja), što je u uskoj korelaciji s dogovorenim mjerilom snimanja.

Primjenom navedenih metoda zasigurno bi se ostvarili točniji podaci, no isti bi bili daleko skuplji, a vremenski rok izrade puno duži, dok bi samo snimanje bilo izuzetno opasno zbog vrlo gustog prometa. Primjena standardnog geodetskog snimka je logičnija u uvjetima kada se zadano područje nalazi unutar guste vegetacije.

Primjenom DMR-a investitor, odnosno projektanti dobivaju neusporedivo brže i više geoprostornih informacija.

2.2. Izvedivost snimanja

Fotogrametrijska metoda snimanja spada u kategoriju indirektnih, odnosno daljinskih snimanja bez fizičkog kontakta s objektom promatranja. Odvijanje prometa na objektu onemogućava odnosno otežava direktan pristup za evidenciju podataka tako da je fotogrametrijska metoda usvojena kao vrlo povoljna za izradu snimka uz mogućnost naknadnog evidentiranja podataka i geopozicioniranja detalja bitnih za različita opažanja na površini objekta.

Čvorište Škurinje ima veliku cirkulaciju prometa, pa bi stoga bilo gotovo nemoguće detaljno snimiti navedeno područje klasičnim geodetskim metodama bez njegovog prethodnog zatvaranja. Snimanje klasičnim geodetskim metodama bi isto tako bilo dugotrajno jer bi čvorište bilo potrebno snimiti u gustim profilima da bi dobili što točnije podatke o slivnim površinama. Iako bi klasična geodezija možda dala i točnije podatke, gledajući omjer brzine i kvalitete, fotogrametrijska metoda je puno brža, isplativija te, u konačnici, jeftinija metoda kojom se dobije veliki broj 3D točaka te detaljni DMR zadanog područja.

2.3. 3D model objekta

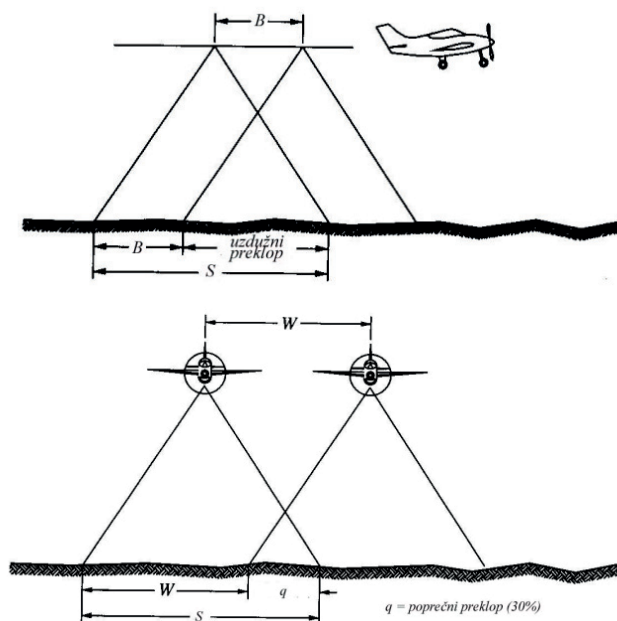
Suvremene tehnologije omogućavaju da se baze podataka i 3D modeli objekata kreiraju automatski, odnosno rezultat su računalne analize digitalnih snimaka objekta. 3D model objekta se danas nameće kao standard za ozbiljnije analize objekta i procesa na njima, a baze podataka modela podržane su različitim suvremenim aplikacijama za simuliranje različitih procesa na objektima.

3. Rezultati snimanja i opis modela

3.1. Općenito o aerofotogrametriji

Aerofotogrametrija je metoda kojom se podaci o prostoru dobivaju procesom zabilježbe, mjerenja i interpretacije zračnih snimaka. Veličine koje su nam bitne kod samog aerofotogrametrijskog snimanja su poprečni i uzdužni preklap snimki (Slika 1) te mjerilo snimanja (M_s), odnosno prostorna veličina slikovnog elementa (piksela) na terenu (Ground Sampling Distance - GSD). Kod snimanja analognom kamerom mjerilo snimanja je osnovni faktor kojim je definirana točnost snimanja, dok je kod snimanja digitalnom kamerom to GSD.

Poprečni preklap je preklap susjednih nizova i iznosi, kao i uzdužni preklap, 80%.



Slika 1. Uzdužni i poprečni preklap [2]

Mjerilo snimanja je odnos žarišne duljine leće kamere i relativne visine letjelice te ga računamo prema [3] izrazom (1):

$$M_s = \frac{h}{f}, \quad (1)$$

Gdje je:

M_s - mjerilo snimanja;

h - relativna visina leta;

f - žarišna duljina leće kamere.

U našem slučaju relativna visina leta je 100 m, dok žarišna duljina leće kamere iznosi 16 mm, odnosno mjerilo snimanja je 1:6250.

GSD računamo prema [3] sljedećim izrazom (2):

$$GSD = \frac{h}{f} \cdot \text{veličina slikovnog elementa} \quad (2)$$

Budući da je rezolucija snimki 4592 x 3056, a veličina senzora 23.4 x 15.6 mm, lako dobijemo veličinu slikovnog elementa od 0.0051 mm, odnosno prostornu veličinu slikovnog elementa na terenu koja iznosi 3.19 cm.

3.2. Opis primijenjene tehnologije

Aerofotogrametrijsko snimanje je provedeno pomoću daljinski navođenog oktokoptera AscTec Falcon 8 (Slika 2) koji na sebi ima ugrađen GPS uređaj za određivanje pozicije. Na letjelici se nalazi integrirana digitalna kamera Sony NEX-5 (Slika 3) koja ima žarišnu duljinu 16 mm te mogućnost zaokretanja $\pm 90^\circ$ u vertikalnom smislu. Kamera ima video link na zemaljsku stanicu (Mobile Ground Station) (Slika 2), pa stoga u svakom trenutku imamo neposrednu sliku područja snimanja.



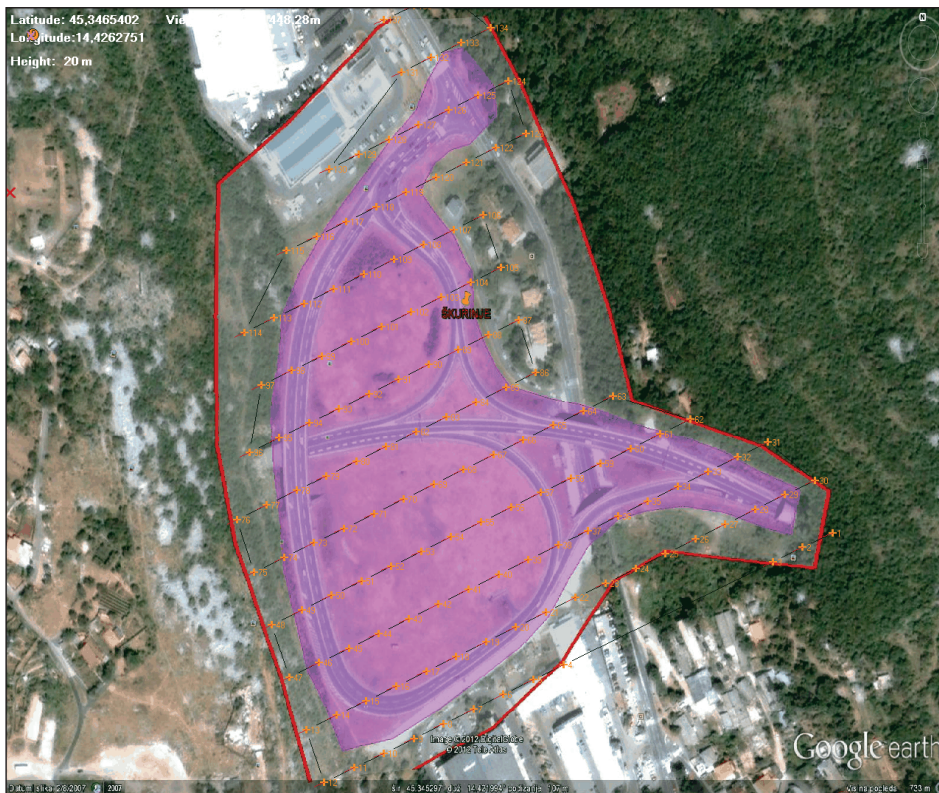
Slika 2. AscTec Falcon 8 i Mobile Ground Station



Slika 3. Fotoaparar Sony NEX-5

3.3. Pripremni radovi

Prije samoga snimanja potrebno je napraviti plan leta letjelice. Plan leta izrađujemo u softveru AscTecAutoPilotControl v1.64 [4] u kojemu određujemo pozicije snimanja digitalnih snimki na snimci s aplikacije Google Earth, kao što je prikazano na Slici 4. Prije snimanja se provodi i kalibracija kamere u programu AgisoftLens [5].

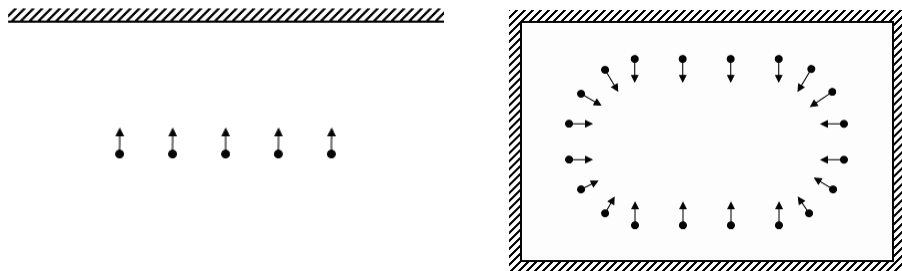


Slika 4. Plan leta (AscTec AutoPilot Control v 1.64)

Na terenu je potrebno prije samog snimanja označiti orijentacijske točke s poznatim koordinatama (Ground Control Points - GCP) koje će biti vidljive na snimkama. GCP koristimo za georeferenciranje i postizanje veće točnosti snimaka. U našem slučaju kao orijentacijske točke su korišteni šahtovi i slivnici koji se nalaze na samom čvorištu.

3.4. Aerofotogrametrijsko snimanje

Snimanje za dobivanje digitalnog ortofota izvodi se kutom kamere od 90° , odnosno vertikalno, dok je za dobivanje 3D modela s pripadajućom fototeksturom objekte potrebno snimiti i horizontalno, odnosno kutom kamere od 0° (Slika 5).



Slika 5. Ispravan način snimanja fasada i izoliranih objekata [3]

Snimalo se s visine od 100 m, dok poprečni i uzdužni preklopi iznose 80%, što znači da je razmak između centra svake snimljene fotografije 32.16 m u smjeru letenja, odnosno 22.26 m u smjeru okomitom na smjer letenja. Ukupno je snimljena 141 fotografija.

3.5. Obrada snimki i podataka

Obrada dobivenih snimki, kao i dobivanje krajnjih proizvoda, odnosno, digitalnog ortofota, DMR-a i 3D prikaza provedeno je u programu Agisoft PhotoScan Professional Edition, v0.8.5 [4].

Nakon učitavanja fotografija potrebno je na snimkama označiti GCP, kao što je to prikazano na Slici 6.



Slika 6. Označavanje kontrolnih točaka (GCP)

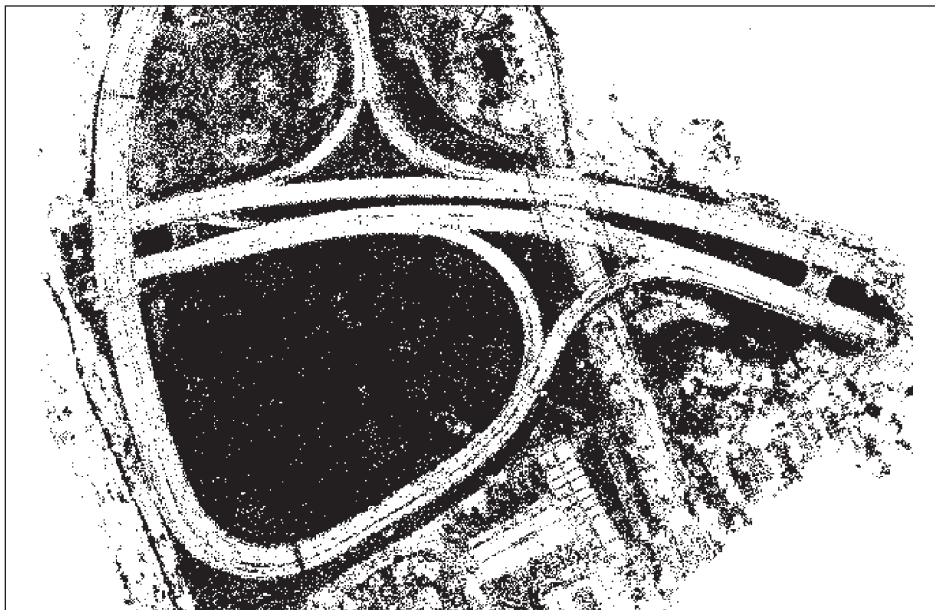
Kontrolne točke (GCP) nam služe za georeferenciranje modela, odnosno digitalnog ortofota (Slika 7.) visoke razlučivosti na kojem su uočljivi i mjerljivi različiti detalji izvedenog objekta. Za potrebe snimaka kontrolne točke određene su namjenski i predstavljaju poklopce okana

kanalizacionog sustava te predstavljaju vezu između modela terena i modela kanalizacionog sustava.

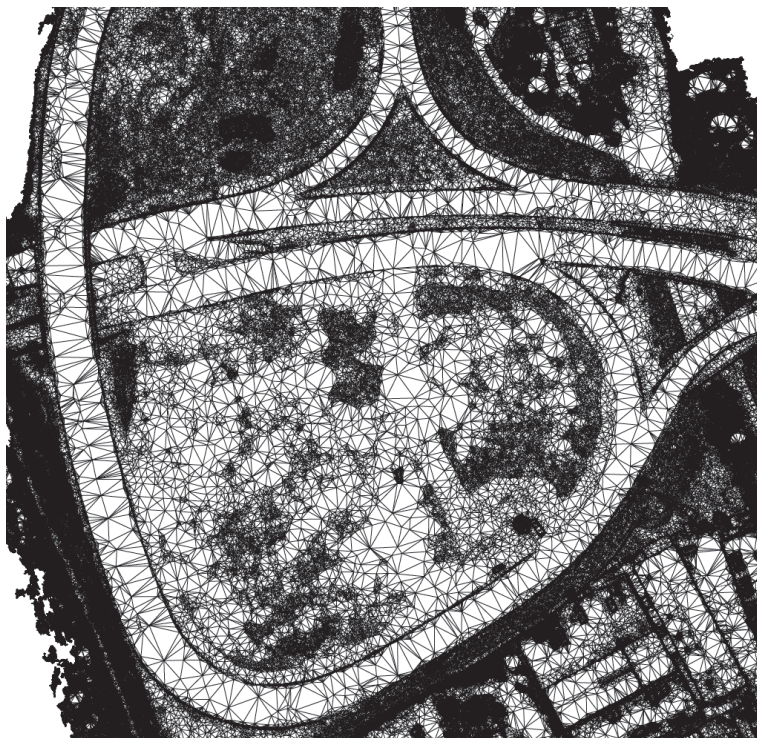
Model objekta predstavljen je skupom automatski generiranih 3D točaka grafički prikazanih na Slici 8 ili kao tekstualni zapis koji se koristi kao baza podataka za kreiranje triangulacijske mreže plohe terena (Slika 9).



Slika 7. Prikaz georeferenciranog DOF-a visoke razlučivosti



Slika 8. Grafički prikaz georeferenciranih točaka modela terena



Slika 9. Grafički prikaz triangulacijske mreže plohe terena

Kao krajnji proizvod navedene aplikacije formira se 3D model snimljenog područja (Slika 10) prema triangulacijskoj mreži na čijim plohamu se nalaze georeferencirani segmenti digitalnog ortofota.



Slika 10. Prikaz 3D modela [4]

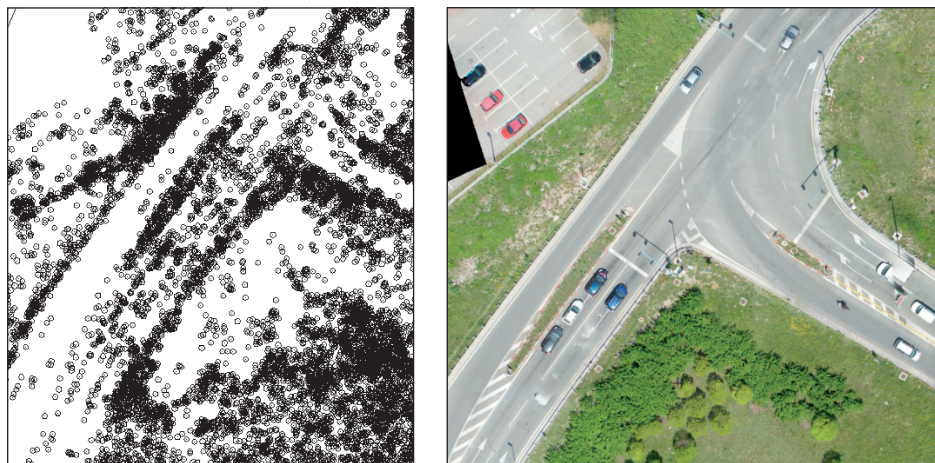
Istim programom moguće je izvršiti i analizu točnosti položaja kontrolnih točaka. U Tablici 1 prikazana je ocjena točnosti pojedinih kontrolnih točaka (GCP) i promatranog modela.

Tablica 1. *Tablica 1: Točnost GCP-a*

GCP	Y [m]	X [m]	H [m]	Točnost [m]	Točnost Y [m]	Točnost X [m]	Točnost H [m]
1	5455084.035	5022664.078	114.450	0.043	-0.018	0.012	-0.037
10	5455075.109	5022653.875	114.040	0.042	0.004	0.036	-0.020
11	5455074.689	5022654.425	114.070	0.051	-0.006	0.035	-0.037
11a	5455059.504	5022542.575	111.210	0.012	0.006	0.004	0.010
C	5455068.281	5022658.312	114.540	0.032	-0.021	0.013	-0.021
...
		Ukupna točnost:		0.054	0.032	0.024	0.036

3.6. Analiza podataka

Ukupna površina snimljenog područja iznosi oko 14 ha, samog promatranog područja (čvorište) oko 7.50 ha, a površina promatranog sliva (kolne površine) oko 1.90 ha. Znatno veća snimljena površina posljedica je razvedenosti oblika područja i plana leta za potrebe snimanja. Prikazani model kreiran je za ukupno snimljeno područje i sastoji se od 645400 točaka. Obrada tako velike baze podataka zahtijeva korištenje računala danas natprosječnih karakteristika, pa se nameće potreba da se za promatrane potrebe izdvoje samo neophodni podaci [5]. Izuzetno velik broj točaka modela posljedica je aplikacije predefiniranih uvjeta. U želji da se ploha modela visinski prikaže detaljnije nametnuti su strogi kriteriji izdvajanja točaka prema kriteriju visinske razlike te razlike u teksturi. Prema takvim kriterijima plohe izvan kolnika čvorišta očekivano su prikazane s znatno većim brojem podataka po jedinici površine, što je vidljivo iz prikaza na Slici 8. Uočeno je također i da gustoća zapisa na površini kolnika nije ravnomjerna. Gustoća zapisa očekivano je veća na segmentima kolnika s većim poprečnim i uzdužnim nagibima, ali je znatno veća u području raskrižja odnosno na mjestima gdje vozila čekaju na prolaz kroz semaforizirano raskrižje (Slika 11).



Slika 11. Gustoća zapisa u području raskrižja

Naknadnim pregledom kolnika ustanovljeno je da je algoritam prema zadanim kriterijima evidentirao i kolotrage na kolniku.

Točnost modela nije jednostavno procijeniti; procjenjujemo je na temelju položaja identičnih točaka (GCP) na modelu i terenu. Kontrolne (GCP) točke prethodno su snimljene terestičkom metodom i u modelu usvojene kao točni podaci, a Tablica 1 prikazuje odstupanja kao rezultat samog algoritma koji uspoređuje položaj kontrolnih točaka u prirodi i na modelu. Stvarno odstupanje modela zapravo je gotovo nemoguće odrediti jer to znači da bi trebali znati stvaran položaj svake točke dobivenog 3D modela na terenu. Ukupno je korišteno 55 kontrolnih točaka čija je pozicija bila uvjetovana položajem okana objekata površinske odvodnje (Slika 10). Položaj tih točaka nije u potpunosti povoljan za opisani način rada i vjerojatno je utjecao na točnost samog modela jer bi za dobivanje što točnije plohe prometnice bilo potrebno snimiti više točaka na samoj prometnici, što je u danim uvjetima bilo nemoguće i vrlo opasno radi velike količine prometa.

Na promatranom je modelu visinska razlika između najviše i najniže snimljene točke oko 40 m, a na više lokacija nalaze se cestovni nadvožnjaci i zidovi značajnijih visina. Algoritam je sve objekte prepoznao i prikazao bez potrebe za intervencijom i korekcijom samoga modela.

4. Zaključak

Prikazana aerofotogrametrijska metoda snimanja pokazala je mogućnost učinkovitog korištenja i na manjim i zahtjevnijim objektima. Terenski dio aktivnosti sveden je na minimum, a modeliranje objekta

automatizirano. Podloge koje su dobivene kao konačan rezultat daju znatno više podataka od klasičnog geodetskog snimka, što se prvenstveno odnosi na DOF koji daje realnu sliku terena za razliku od klasičnog vektorskog prikaza, a omogućavaju i naknadna evidentiranja osobitosti snimljenog objekta.

Kao i kod svakog automatiziranog procesa, pokazala se potreba za optimiziranjem pojedinih procesa i postavljenih zahtijeva kako bi se konačan produkt prilagodio namjeni za koju je kreiran.

Tijekom rada pokazala se potreba za :

- određivanjem povoljnijeg, odnosno ravnomjernijeg rasporeda i broja kontrolnih točaka podređenog potrebama modela,
- utvrđivanjem povoljnije visine leta, odnosno mjerila snimanja kojom će detalji biti dovoljno jasni uz korištenje manje memorijskog prostora računala,
- opreznim zadavanjem parametara algoritma za automatsko generiranje 3D točaka modela čime se utječe na njihovu brojnost i mogućnost praktičnog korištenja i na računalima uobičajenih memorijskih kapaciteta.

Nastavnim korištenjem prikazane metode snimanja i analizom rezultata utvrdit će se parametri koji uz optimiziranje pojedinih procesa daju rezultate tražene, odnosno očekivane točnosti.

Literatura

- [1] http://hikom.grf.bg.ac.rs/web_stranice/KatZaHidr/NaucniProjekti/2011-2014/37010/index.html
- [2] http://student.geof.unizg.hr/skriptarnica/index.php?action=downloadfile&filename=snimanje_iz_zraka.ppt&directory=fotogrametrija&
- [3] Neumann, K., *Trends for digital aerial mapping cameras. Proceeding from The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008.
- [4] *Operating Manual AscTec Falcon 8 Version 2.0*. Ascending Technologies GmbH, Krailing, April 2012.
- [5] *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 0.8.5*. AgiSoft LLC, St. Petersburg, 2012.

REKONSTRUKCIJA RASKRIŽJA „ZAMET“ U RIJECI

RECONSTRUCTION OF INTERSECTION “ZAMET” IN RIJEKA

Luka SOKOL * , Srđan ŠKUNCA ** , Sergije BABIĆ*

Sažetak

Cestovna mreža gradskih područja najčešće se razvija korištenjem naslijeđenih cestovnih pravaca na koje se prometno vežu novi sadržaji. Na taj se način prometni koridori, a naročito područja raskrižja, postepeno opterećuju dodatnim sadržajima kojima se osigurava pristupačnost, ali s druge strane smanjuje propusna moć i sigurnost odvijanja prometa. U prostornom razvoju zapadnog dijela grada Rijeke, spoj Zametske ulice, Ulice Ivana Ćikovića Belog i Ulice Bože Vidasa stekao je jednako važno prometno kao i fizionomsko značenje. Riječ je, naime, o mjestu na kojem se s glavnog uličnog i prometnog pravca (državna cesta D304) izdvajaju važni ulični i prometni pravci prema stambenom području Zamet i njegovom središtu, Malonjima te Krnjevu. Izgradnja novih sadržaja (tržnica, sportska dvorana) i dijelova cestovne mreže u bližoj okolini lokacije izmijenila je prometne potrebe na samom raskrižju. Međutim, iako prepoznatljivo, postojeće prometno rješenje i vrlo niska urbana razina šireg područja raskrižja, zaslužuje istraživanje mogućnosti unaprjeđenja i stvaranja nove kvalitete prometnog rješenja te njegove prostorne interpretacije. Postojeći Detaljni plan uređenja dijela područja Zapadni Zamet sadrži prometnu i prostornu regulaciju koja predstavlja dobro ishodište za opisano istraživanje. U ovom radu je prikazano idejno rješenje rekonstrukcije postojećeg raskrižja. Na temelju analize postojećeg stanja i prostornoplanske dokumentacije razrađeno je više varijantnih rješenja koja su u procesu nastajanja postajala tehnički složenija obuhvaćajući širi prostor predviđenih intervencija. Konačno rješenje obuhvatilo je ne samo kolni

* Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 1, 51000 Rijeka
E-mail: luka.sokol@gradri.hr, sergije.babic@gradri.hr

** Grad Rijeka, Odjel gradske uprave za razvoj, urbanizam, ekologiju i gospodarenje zemljištem,
Titov trg 3
E-mail: srdjan.skunca@rijeka.hr

promet, već i omogućilo prenamjenu postojećih sadržaja na lokaciji raskrižja formiranjem značajnije površine namijenjene pješačkom prometu. Osim klasičnog prikaza tehničkog rješenja raskrižja, u radu je prikazano i korištenje suvremenih računalnih aplikacija za 3D vizualizaciju samog rješenja.

Ključne riječi: *rekonstrukcija, raskrižje, pješačke površine, urbanističko planiranje, 3D vizualizacija, Grad Rijeka*

Abstract

The road network of urban areas has usually been developed using the inherited roads where new facilities are developed and their traffic needs met. In this way, transport corridors, particularly areas of intersection, gradually overload the additional amenities to ensure affordability, but on the other hand reduce the throughput capacity of traffic flow and safety. In the urban development process of the western part of the city of Rijeka, the wider area of the connection of Zametska Street, Ivana Čikovića Belog Street and Bože Vidasa Street have gained an equally important traffic and physiognomic meaning. It is, in fact, the place where the main street (D304) segregate significant street and traffic routes to the residential area Zamet and its center as well as Malonji and Krnjevo quarters. Construction of new facilities (markets, sport hall) and parts of the road network in the vicinity of the site have changed the transportation needs at the intersection. However, although recognizable, the existing traffic solution and a very low level of urban quality of the wider intersection area deserve exploration of the possibilities of improving and creating new quality transport solutions and its spatial interpretation. The existing Detailed plan of Zapadni Zamet Quarter includes transport and spatial regulation that represent a good starting point for the research as described. This paper presents the preliminary reconstruction design of the existing intersection. Based on the analysis of the current situation and urban plan solution more alternatives have been designed but through the examination each of them has become more complex in terms of technical requests of the solution and the encompassing area. The final solution includes not only vehicular traffic but also enables the redevelopment of existing facilities at major intersections forming surface intended for pedestrian traffic. In addition to the usual technical solution presentation of the intersection, this paper has presented the use of modern computer applications for 3D visualization of the solution, making the proposal more understandable.

Key words: *reconstruction, intersection, pedestrian areas, urban planning, 3D visualization, City of Rijeka*

1. Uvod

Raskrižje „Zamet“ nalazi se na trasi državne ceste D304 u istoimenom zapadnom predjelu grada Rijeke, a sam naziv označava spoj Zametske ulice, Ulice Ivana Čikovića Belog, Bože Vidasa i braće Monjac. Svojim položajem na trasi Državne ceste kojom se vrši longitudinalno prometno povezivanje

Riječke obilaznice i zapadnih prigradskih i gradskih područja s centrom grada ali i lokacije na kojoj se priključuju pravci tranzsverzalnog prometnog povezivanja priobalnog područja s „višim“ gradskim područjima, raskrižje u široj cestovnoj mreži zapadnog dijela grada predstavlja mjesto koje svojim prometnim kapacitetom bitno utječe na stanje prometa u širem području. U ovome su radu prikazane mogućnosti preoblikovanja jednog gradskog raskrižja u ograničenim prostornim uvjetima, a kao osnova za rad korišteni su materijali diplomskoga rada [1]. Cilj ovog rada nije iznaći konačno rješenje prometno preopterećene lokacije, već prikazati kako se početnim jednostavnim zahvatima u prostoru osim zadovoljenja osnovnih postavljenih zadataka ujedno otvaraju i novi, čime rješenje postaje sve kompleksnije i zahtijeva izmjene na cestovnoj mreži sve šireg područja. Stoga u radu nije obrazložena (ne)opravdanost predloženog rješenja, već su izložene osnovne prednosti i nedostaci pojedinog varijantnog rješenja i, konačno, složenost procesa preoblikovanja postojećih gradskih raskrižja. U radu je izostala i kvalitetna analiza prometnog opterećenja jer je složenost završnih rješenja ukazala na potrebu izrade vrlo kompleksnih prometnih prognoza na širem području postojećeg raskrižja. Vizualizacijom odabranog rješenja dan je samo jedan sve prisutniji oblik prikazivanja složenih tehničkih rješenja razumljiv širem krugu korisnika, a sve dostupniji primjenom suvremenih pomagala.

2. Povijesni pregled

Zametska ulica i Ulica Ivana Ćikovića Belog nazivi su dijelova povijesne ceste položene predjelom Zameta. Trasu nalazimo na kartama iz XIX. st. [2] pod nazivom „Neue Post Strasse nach St. Peter“ tj. *Nova poštanska cesta prema Pivci*, koja je počinjala u tadašnjoj Rijeci, a bila trasirana preko Kastva. Tijekom 19. stoljeća uz trasu ceste postupno se grade uglavnom stambene građevine s okućnicama, jednostavne arhitekture. Gušća gradnja s osobinama centra Zameta formira se na prijelazu stoljeća uglavnom na dionici današnje Ulice braće Monjac i ograncima iste. Nakon provedbe Rimskih sporazuma tj. priključenja Rijeke Kraljevini Italiji 1924. godine, Zamet postaje pogranično mjesto s tadašnje jugoslavenske strane, no ova okolnost nije djelovala afirmativno na njegovu urbanu profilaciju tijekom daljnjih dvadesetak godina, sve do pripojenja matičnoj državi 1945. godine.

Izrazita i planirana urbanizacija odvija se od pedesetih godina 20. stoljeća nadalje kada Zamet postaje područje jake, pretežito višestambene izgradnje. Poratna urbanizacija isprva je usmjerena na južna rubna područja jer je i pokrenuta u funkciji smještaja radnika zaposlenih u tada izrazito industrijskom obalnom području od Kantride do Mlake. Postupno

se, međutim, pomiče i obuhvaća centralne i sjeverne predjele Zameta, pa se od šezdesetih godina nadalje provode značajnije dogradnje cestovne mreže, uključujući i rekonstrukcije trase glavne ceste na način izvedbe cestovnih odsječaka kojima se rektificiraju dijelovi izvorne trase u zavojima, obilazeći tako preizgrađena područja s bitno suženim slobodnim profilom ceste koji više ne može prihvatiti narasle prometne potrebe. Dijelovi napuštene trase (Ulica braće Monjac, Obitelji Sušanj) izvode se kao samostalni odvojci (u prometnom smislu privozi novoformiranih raskrižja) od kojih se formiraju i nove stambene ulice za novoizgrađena stambena područja. Današnje raskrižje „Zamet“ je u osnovi posljedica opisanih intervencija u prostoru uz povremene preinake (proširenja kolnika) namijenjene povećanju sigurnosti odvijanja prometa.

Do izgradnje novih gradskih magistralnih prometnica (Nova cesta, Obilaznica) raskrižje „Zamet“ je centralna točka vođenja lokalnog i tranzitnog prometa u ovom dijelu Grada. Ovisno o prometnim potrebama, režimu prometa i stanju šire cestovne mreže raskrižje povremeno postaje ograničavajući element protočnosti prometa.

Iako je za područje Zameta tijekom proteklih pedesetak godina izrađeno više prostornih planova, njihova realizacija nije bila ravnomjerna u pogledu planiranih rješenja. Kao i na mnogim drugim gradskim područjima, doneseni planovi u najvećoj mjeri ostvareni su u pogledu više/stambene izgradnje, dok je izgradnja stanovanju pratećih sadržaja, ali i prometne mreže u opsegu koji bi nadilazio funkcionalne potrebe, izostajala. [3]

Izgled i organizacija naselja u današnjem obliku u najvećoj se mjeri oblikovala i realizirala tijekom kasnih sedamdesetih i osamdesetih godina 20. stoljeća (izgradnja stambenih nizova i tornjeva). *Provedbeni urbanistički plan gradskog naselja Zapadni Zemet* [4] primjenjivao se do 2002. godine kada je u smanjenom obuhvatu donesen *Detaljni plan dijela područja Zapadni Zemet* [5]. U oba navedena prostorna plana najznačajnija su rješenja koja su se odnosila na smještaj, sadržajno i prostorno dimenzioniranje i oblikovanje područja centra Zameta te rješenja prometnog sustava s naglaskom na utvrđivanje prometnog koridora za proširenje ceste D304 na 4 prometna traka. Na tragu opisanih rješenja izrađen je i 1994. donesen *Urbanistički projekt centra gradskog naselja Zapadni Zemet* [6] koji je, iako nerealiziran, poslužio kao dobra osnova za redefiniranje urbanističkog dijela rješenja prilikom izrade *Detaljnog plana dijela područja Zapadni Zemet* [5]. Međutim, organizacija prometne mreže gradskog područja i mogućnosti i opseg zahvata na njoj ostala su otvorena pitanja.

Godine 1999. Odjel za urbanizam Grada Rijeke poduzeo je izradu prostornog rješenja „glavne ceste“ (Zametska ulice, Ulica Ivana Čikovića) tj.

izradu idejnog rješenja rekonstrukcije s analizom prostornih mogućnosti gradnje uz nju. Iako su vlasnici nekretina prijedlog prihvatili, negativno mišljenje Hrvatskih cesta, ponajviše motivirano ekonomskim razlozima, vratilo je rješavanje problema na početak.

Daljnja su istraživanja usmjerena na razmatranje prometno-građevinskih rješenja koja će najmanje zadirati u zatečene strukture. Tako je ispitano rješenje vođenja prometnice tunelom za smjer voženje Krnjevo-Zamet-Diračje, kao i rješenje trase dijelom na vijaduktu južno od Zametske ulice, a dijelom u tunelu postojećom trasom Zametske. Ovo se rješenje pokazalo i prostorno prihvatljivim te je korišteno za izradu novog Detaljnog plana i u njega ugrađeno.

Činjenica je, međutim, kako potencijal urbanističkih rješenja (zbog niza detalja i razina kojima se prostorni plan ne može do kraja baviti) dolazi do izražaja tek kroz njihovu daljnju razradu. Stoga je i ovo plansko rješenje koje daje uopćeni tipološki i prostorni okvir vođenja trasa prometnica i njihova uklapanja u urbanistički kontekst bilo zahvalno za razradu do one razine na kojoj se može razgledati raspon mogućih implikacija, provesti njihovo vrednovanje i opredijeliti se oko daljnje primjene. S obzirom na metodologiju urbanističkog planiranja i mogućnosti realizacije, rješenja koja će se pokazati trajnom vrijednošću uvijek će se čuvati za vrijeme u kojem će moći biti ostvarena.

3. Postojeće stanje

3.1. Izgrađenost lokacije

Raskrižje „Zamet“ nalazi se u izrazito stambenom gradskom području. Unutar radijusa od 250 metara smješteni su svi važni centralni sadržaji (osnovna škola, sportska dvorana kapaciteta oko 2.000 mjesta, policijska postaja, crkva, zdravstveni sadržaji i sl.), prateći sadržaji (trgovine, ugostiteljstvo, obrti i sl.) te javni prostori Zameta (Trg riječkih olimpijaca).

Na samome raskrižju prisutni su brojni trgovački i ugostiteljski sadržaji u postojećim objektima u neposrednoj blizini raskrižja.

3.2. Uvjeti odvijanja prometa

Postojeće raskrižje „Zamet“ je nepravilno, nesemaforizirano četverokrako „X“ raskrižje, a prema dispoziciji privoza i uvjetima prometovanja moglo bi se okarakterizirati i tipologijom dvaju vrlo bliskih T-raskrižja. U prometnome smislu, raskrižje distribuira lokalne prometne tokove koje generiraju stambena naselja Zapadni Zamet, Diračje, Marčeljeva draga

i dr., ali i tokove daljinskog prometa koji se u ovo područje generiraju preko čvora Diračje. Budući da je državna cesta D304 prometni koridor koji povezuje urbanizirano područje gradova Rijeke i Kastva, značajna je i komponenta javnog gradskog i tzv. prigradskog prijevoza koji se duž njega odvija.

Raskrižje čine četiri privoza (Slika 1):

Privoz 1 – Zametska ul.: jedan prometni trak za smjerove: ravno, desno i lijevo;

Privoz 2 – Ul. Braće Monjac: jedan prometni trak za sve smjerove vožnje;

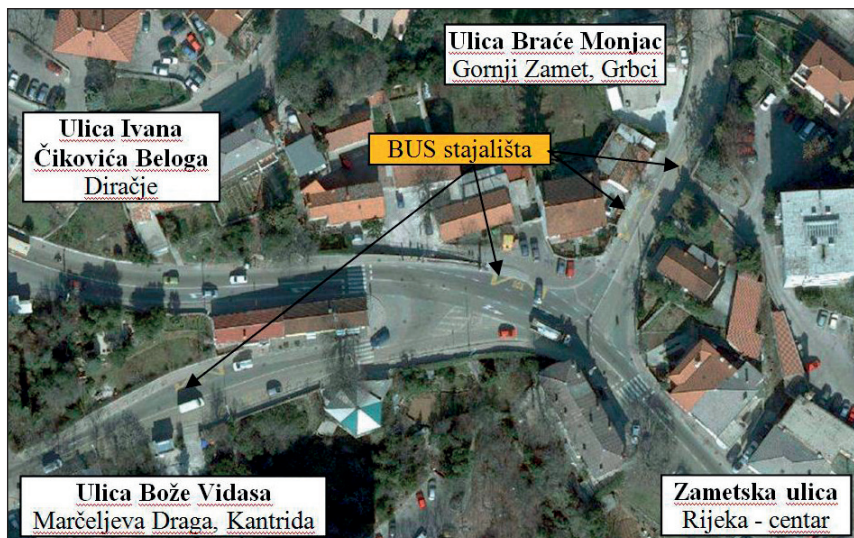
Privoz 3 – Ul. Ivana Ćikovića Belog: jedan prometni trak za sve smjerove;

Privoz 4 – Ul. Bože Vidasa: jedan prometni trak za smjerove ravno i desno, a posebna traka za lijeve skretače.

Privoz 1, kojim se raskrižju pristupa iz smjera grada, s privozom 3, kojim se pristupa iz smjera Diračja, čini glavnu prometnicu, državnu cestu D304. Gledajući iz smjera grada, privoz 1 je u odnosu na raskrižje ispružen i visinski u blagom usponu, a nastavno kroz raskrižje položen je u lijevoj krivini. Profil ceste podređen je potrebama kolnog prometa s obostrano suženim nogostupom na samome privozu gdje je smješten i pješački prijelaz. Veliki nedostatak je nepostojanje traka za lijeve skretače prema privozu 4.

Privoz 2 predstavlja Ulica braće Monjac kojom se preko ovog raskrižja ostvaruje prometna povezanost u smjeru sjeveroistoka, tj. prema Gornjem Zametu, Grbcima i Marinićima. Ovaj privoz ima najbolje prometne osobine: nalazi se na vanjskoj strani krivine te ima potpunu preglednost raskrižja. Veliki nedostatak privoza čini položaj autobusnih postaja, tj. njihov smještaj na kolniku dovozne i odvozne trake na samo dvadesetak metara nakon raskrižja. Pješački promet na privozu 2 je ograničen jednostranim nogostupom promjenjive širine na istočnoj strani, a preglednost drvoredom i gradnim zidom na zapadnoj strani ulice.

Privoz 3 omogućava pristup iz smjera Diračja, a u odnosu na raskrižje „Zamet“ položen je u desnoj krivini, visinski u padu prema raskrižju. Profil ulice je i na ovom privozu podređen potrebama kolnog prometa ali s dovoljnim širinama nogostupa i zadovoljavajućom preglednošću. Na ovome privozu također nedostaje trak lijevog skretača. Na privozu 3 (dovozu) nalazi se autobusna postaja koja ima zadovoljavajući smještaj, dovoljno udaljen od raskrižja.



Slika 1. Ortofoto raskrižja „Zamet“ sa naznačenim privozima

Najlošije karakteristike ima privoz 4, odnosno Ulica B. Vidasa, koja ne samo što je u odnosu na raskrižje položena pod vrlo ostrim kutom, već se nalazi i s unutarnje strane krivine, što uvelike smanjuje preglednost koju dodatno opterećuju i objekti u raskrižju. Na ovome privozu također najviše problema imaju lijevi skretači iako postoji posebna traka za njih, ali nedovoljne duljine preglednosti. Širine nogostupa su zadovoljavajuće kao i pješački prijelaz ispred objekta prehrambene namjene.

Promatrajući raskrižje „Zamet“ bez privoza 4 ono bi se moglo ocijeniti povoljnim u odnosu na geometriju privoza. Međutim, zbog nepovoljnih geometrijskih osobina privoza 4, ukupna ocjena raskrižja je nepovoljna.

3.2.1. Analiza prometnog opterećenja

Analiza prometnog opterećenja za postojeće stanje izvršena je prema postojećim podacima brojanja prometa na lokaciji raskrižja „Zamet“ [7]. Prometno opterećenje je svakako jedan od važnih elemenata pri oblikovanju raskrižja, a ostvarenje zadovoljavajuće propusne moći jedan od pokazatelja uspješnog tehničkog i prometnog rješenja. Grad Rijeka ima specifičnu cestovnu mrežu koja je u posljednjih desetak godina doživjela značajne promjene otvaranjem za promet niza novih cesta i prerregulacijama na važnijim cestovnim pravcima. Prometno opterećenje na gradskim ulicama je stoga u tom periodu vrlo dinamično. Osim toga, značajne sociološke i ekonomske prilike značajno su utjecale na dinamičnost prometnih opterećenja. Trenutno stanje prometnog opterećenja u takvim uvjetima nije

pouzdan podatak kojim bi se vršilo vrednovanje nekog prometnog rješenja ili dugoročne prognoze prometnog opterećenja. Stoga je u ovome radu usvojeno prometno opterećenje iz 2008. godine samo kao pokazatelj razine prometnog opterećenja koje je i u takvom obliku bilo dovoljno za ocjenu (ne)opravdanosti nekih od predloženih rješenja. Brojenje prometa [7] izvršeno je tijekom tjedna (četvrtak) u jutarnjem i popodnevnom vršnom satu. Kao mjerodavan, usvojen je vršni jutarnji sat od 7:00 do 8:00 (Tablica 1), te popodnevni od 15:00 do 16:00 sati (Tablica 2) budući se unutar njih događalo najveće prometno opterećenje uzrokovano jutarnjim odlaskom stanovnika područja na posao, odnosno poslijepodnevni povratkom s posla.

Tablica 1. Prometno opterećenje za jutarnji vršni sat od 7:00 do 8:00 h

ZAMETSKA - B. VIDASA (trenutno stanje)						
sat	privoz	smjer	voz/h	PAJ	ukupno voz/h	ukupno PAJ
JUTARNJI VRŠNI SAT 07 - 08	1	1-2 (D)	28	31	507	611
		1-3 (R)	344	410		
		1-4 (L)	135	170		
	2	2-1 (L)	31	42	198	232
		2-3 (D)	4	4		
		2-4 (R)	163	186		
	3	3-2 (L)	28	34	678	776
		3-1 (R)	540	609		
		3-4 (D)	110	133		
	4	4-1 (D)	126	145	223	271
		4-2 (R)	58	65		
		4-3 (L)	39	61		
Raskrižje ukupno:					1606	1890

Na temelju podataka dobivenih brojenjem prometa može se zaključiti da su privozi 1 i 3 najopterećeniji i u jutarnjem i popodnevnom vršnom satu, što je ujedno i glavni smjer na raskrižju „Zamet“. Privoz 1 je opterećeniji u popodnevnim satima, dok je privoz 3 opterećeniji u jutarnjim satima. Što se ostalih privoza tiče, privoz 2 je opterećeniji u jutarnjim satima, dok je privoz 3 opterećeniji u popodnevnim satima.

Tablica 2. Prometno opterećenje za popodnevni vršni sat od 15:00 do 16:00 h

ZAMETSKA - B. VIDASA (trenutno stanje)						
sat	privoz	smjer	voz/h	PAJ	ukupno voz/h	ukupno PAJ
POPODNEVNI VRŠNI SAT 15 - 16	1	1-2 (D)	32	33	766	816
		1-3 (R)	521	565		
		1-4 (L)	213	218		
	2	2-1 (L)	22	22	104	107
		2-3 (D)	5	5		
		2-4 (R)	77	80		
	3	3-2 (L)	30	39	574	656
		3-1 (R)	489	554		
		3-4 (D)	55	63		
	4	4-1 (D)	157	160	312	320
		4-2 (R)	103	104		
		4-3 (L)	52	56		
	Raskrižje ukupno:					1756

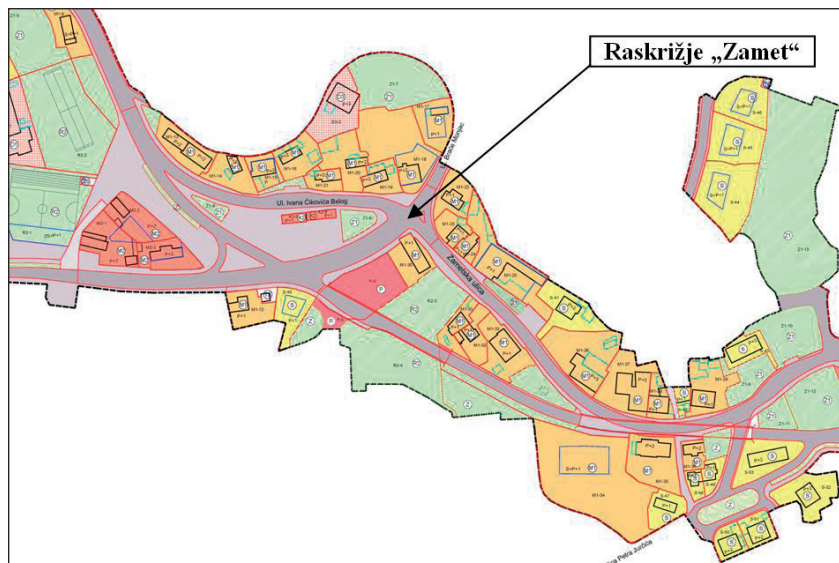
Također na temelju podataka možemo primjetiti velik broj lijevih skretača iz privoza 1 u privoz 4, što je u naravi predstavlja jedan od najvećih problema ovoga raskrižja budući da ono nije opremljeno dodatnim trakom za lijeve skretače.

Opisano stanje prisutno je već duže vrijeme uz povremene značajnije promjene odnosa prometnog opterećenja pojedinih privoza ovisno o stanju na široj cestovnoj mreži. Otvaranjem za promet Riječke obilaznice i povremenim prer regulacijama režima prometa ostvareni su povoljniji uvjeti odvijanja prometa i na samome raskrižju. Uz povremene rekonstrukcije, odnosno preoblikovanja privoza iscrpljene su prostorne mogućnosti na ovoj lokaciji. Na samu protočnost, preglednost i sigurnost raskrižja dodatno utječe i veliki broj autobusnih postaja koje se nalaze na privozima 2 i 4, a posebice autobusna postaja gradskih i prigradskih linija smještena u samome raskrižju.

3.2.2. Prostorni plan

Područje Zapadni Zamet u kojem se nalazi raskrižje „Zamet“ prema Generalnom urbanističkom planu [8] utvrđeno je kao područje stambene, stambeno-poslovne i društvene namjene.

Generalnim [8] i Detaljnim planom uređenja [5] (Slika 2) predviđena je rekonstrukcija raskrižja „Zamet“ te su predviđeni koridori za njegovu rekonstrukciju unutar kojih su smještena varijantna rješenja.



Slika 2. Detaljni plan uređenja područja zapadni Zamet [5]

4. Idejno rješenje

Na temelju prometnog opterećenja i rješenja prometne mreže sadržanog u DPU dijela područja Zapadni Zamet, za raskrižje „Zamet“ izrađeno je nekoliko varijantnih rješenja na temelju kojih je odabrano najpovoljnije. Varijantna rješenja podjeljena su u dvije skupine:

- I. raskrižja s kružnim tokom prometa i
- II. denivelirana raskrižja.

Iz skupine kružnih raskrižja se u ovome radu prikazuju dvije varijante: jedna s jednim prometnim trakom u kružnome toku i druga s dva prometna traka u kružnome toku.

Iz skupine deniveliranih raskrižja u ovom je radu prikazana temeljna varijanta koja je razrađena u 4 varijantna rješenja izrađena s ciljem optimizacije građevinskog i prometnog rješenja u odnosu na druge kriterije (prostorne, prometne, pješačke, javni prijevoz, dostupnost pojedinim sadržajima i sl.)

4.1. Raskrižja s kružnim tokom prometa

Za rekonstrukciju raskrižja Zamet izrađeno je više radova kojima se uglavnom u postojećim gabaritima nastojalo poboljšati uvjete prometovanja, prvenstveno sigurnost prometa. Posljedica neuspješnosti

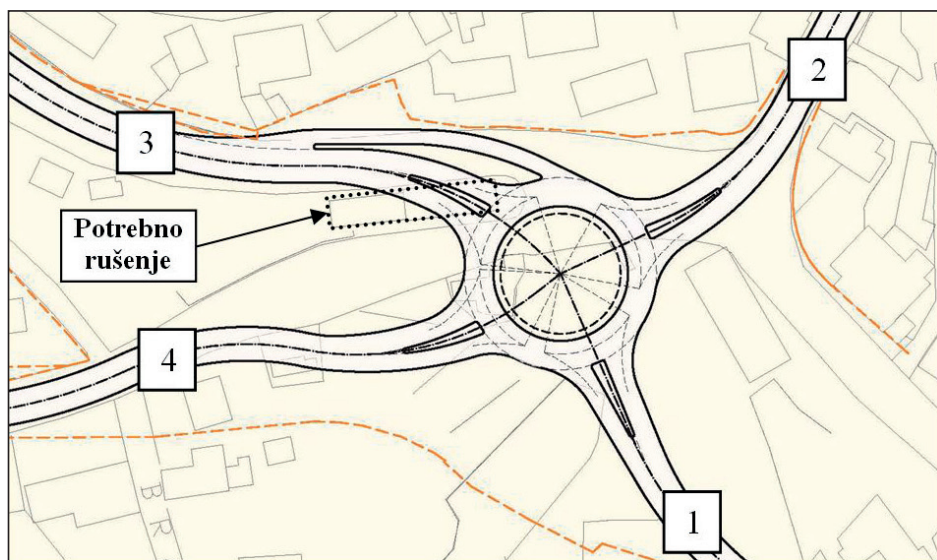
iznalaženja rješenja u postojećim gabaritima je i koridor prikazan Detaljnim planom uređenja područja zapadni Zamet (Slika 2.) Stoga su u ovome radu prikazana rješenja kružnih raskrižja s većim radijusom kružnog kolnika u koridoru definiranom DPU-om.

4.1.1. Varijanta I

Kružno raskrižje formirano je kao jednostručno, kolnika širine 6.0 m i vanjskog radijusa $R = 20.0$ m. Položaj kružnog toka nalazio bi se ispred objekta u ul. B. Vidasa (kućni br. 2) te bi zahtjevao izvedbu nosive konstrukcije koja bi nosila čitavo kružno raskrižje. Svi ostali elementi projektirani su prema smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja.

Za potrebe javnoga prijevoza predviđen je poseban izlaz za autobuse iz smjera grada neposredno prije privoza 3. Izlaz ujedno služi kao i autobusno stajalište koje se ponovo spaja na privoz 3. (Ul. I. Ć. Beloga). Autobusno ugibalište na privozu 3 prema gradu bi se nalazilo na postojećoj lokaciji, a postaje na privozu 2 bi se u potpunosti trebale ukloniti te pozicionirati na prihvatljivom položaju gdje postoji dovoljno prostora. Postaje na privozu 4 bi se udaljile od raskrižja te pozicionirale prema dvorani „Zamet“

Pješački promet kod ovog varijantnog rješenja je nepovoljan zbog velikog broja konfliktnih točaka s motornim vozilima, naročito pri iskrcaju putnika na obližnjim autobusnim postajama

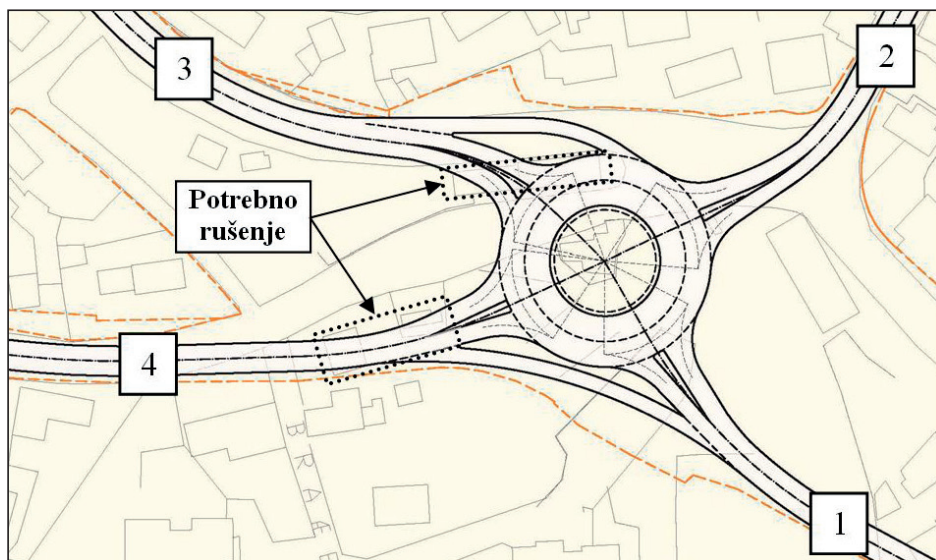


Slika 3. Varijantno rješenje „Kružni tok varijanta I“

Za kružno raskrižje predviđeno „varijantom I“ izvršen je proračun prema Austrijskoj metodi kojom se proračunava propusna moć, odnosno stupanj opterećenosti ulaza na temelju ulaznih podataka (prometnog opterećenja i geometrije raskrižja) Koristeći se postojećim podacima brojanja prometa [7] na lokaciji raskrižja „Zamet“, prema proračunu, kružno raskrižje „varijanta I“ ne zadovoljava zbog preopterećenosti privoza 1 (320%) i privoza 3 (163%). Iz tih razloga „varijanta I“ nije zadovoljila osnovne uvjete te je ono odbačeno.

4.1.2. Varijanta II

Na temelju podataka dobivenih proračunom u prethodnoj varijanti u cilju povećanja propusne moći, idejnim rješenjem – varijantom II predstaviti će se raskrižje s dvotračnim kružnim kolnikom vanjskog radijusa $R = 25.0$ m. Dvotračni kolnik kod ovakvih radijusa (srednje velika kružna raskrižja) nije uobičajen, ali se zbog velike količine prometa i rezultata dobivenih prethodnom varijantom ovim odabirom htjelo provjeriti koliki bi utjecaj na promet imao još jedan trak. Pozicija kružnog toka nalazila bi se ispred objekta u Ul. B. Vidasa (kućni br. 2) te bi zahtijevala izvedbu nosive konstrukcije koja bi nosila kompletno kružno raskrižje.



Slika 4. Varijantno rješenje „Kružni tok varijanta II“

Pješački promet kod ovog varijantnog rješenja također je nepovoljan zbog velikog broja konfliktnih točaka s motornim vozilima.

Prema proračunu izvršenom korištenjem Austrijske metode [9], kružno raskrižje prema „varijanti II“ također ne zadovoljava zbog preopterećenosti privoza 1 (196%) i privoza 3 (116%). Osim prometnih razloga, neprihvatljivim ga čini potreba nužnog rušenja pojedinih građevina, nepovoljno odvijanje pješačkog prometa, veliki opseg građevinskih radova i visoka cijena njihove izvedbe.

Smanjenju opterećenosti privoza pridonijelo bi povećanje broja ulaznih i izlaznih traka na najopterećenijim privozima (dvije trake na ulazima i izlazima), no ni takvo rješenje ne bi zadovoljilo planirane prometne potrebe.

4.1.3. Raskrižja s kružnim tokom prometa – zaključak

Na temelju predočene analize dvaju varijantnih rješenja s kružnim tokom prometa zaključeno je da se ista napuštaju zbog ključnog nedostatka – preopterećenosti privoza.

„Varijantno rješenje I“ u potpunosti ne zadovoljava, dok bi se rješenje u „varijanti II“ znatno poboljšalo povećanjem broja ulaznih i izlaznih traka na najopterećenijim privozima, što nije moguće izvesti radi prostornih ograničenja. Isto se odnosi i na povećanje radijusa kružnog raskrižja. Preopterećenost privoza 1 i 3 ukazuje na postojanje dominantnog smjera na raskrižju, pa i ta karakteristika pokazuje da kružni tok nije najpovoljnije rješenje (kružni tok primjeren je podjednakim opterećenjima privoza).

4.2. Denivelirano raskrižje

4.2.1. Varijanta I

Idejno rješenje deniveliranog raskrižja „varijanta I“ predviđeno je kao denivelacija privoza 2 i 4 izvedbom tunela trasom postojeće Ul. braće Monjac, dijelom ispod korigirane trase Zametske ulice te ponovog uklapanja na trasu Ul. B. Vidasa. Postojeća trasa Zametske ulice prije samog raskrižja bi se ovim rješenjem potpuno napustila, a uklapanje u postojeću trasu bi se izvelo nakon raskrižja, odnosno na početku Ul. I.Ć. Belog.

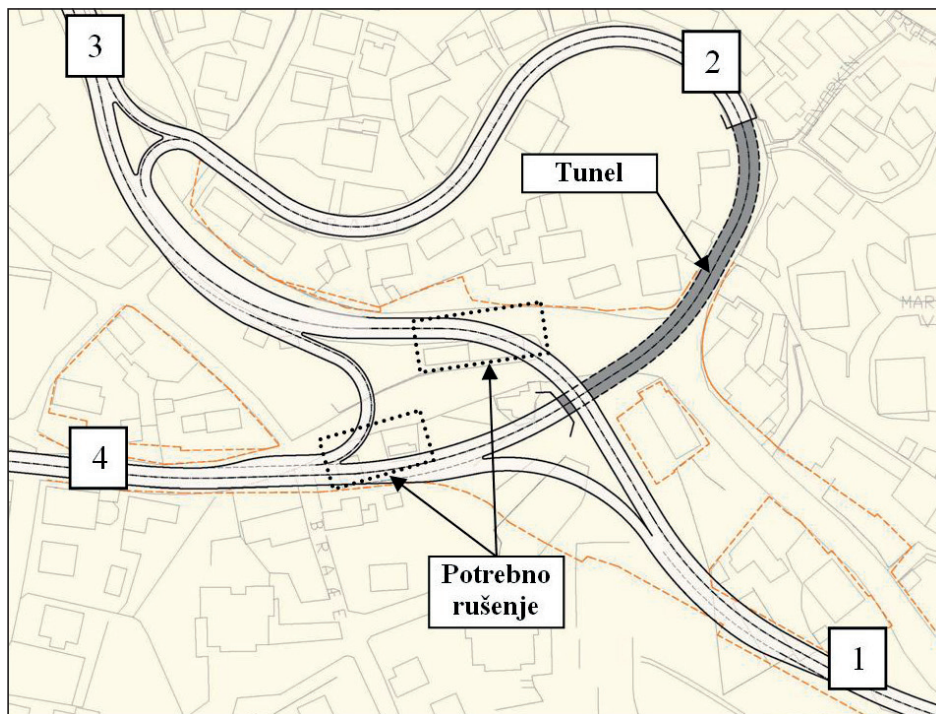
Prednosti:

- vrlo sigurno, konfliktne točke svedene na ulijevanje i izlijevanje;
- mogućnost potpunog razdvajanja prometa pješačkog i
- motoriziranog prometa;
- stvaranje pješačkih zona i zelenih površina.

Nedostaci:

- upitni smjerovi u raskrižju – konfiguracija terena (visinske razlike) dovode u pitanje pojedine rampe (skretanje iz privoza 3 u privoz 4);

- zatvaranje ili regulacija pojedinih ulica u široj zoni raskrižja;
- nepovoljno za stanare Ul. B. Monjac – znatno povećanje prometnog opterećenja na već vrlo „siromašnom“ profilu ceste;
- regulacije pojedinih linija javnog prijevoza;
- potrebno uklanjanje objekata.



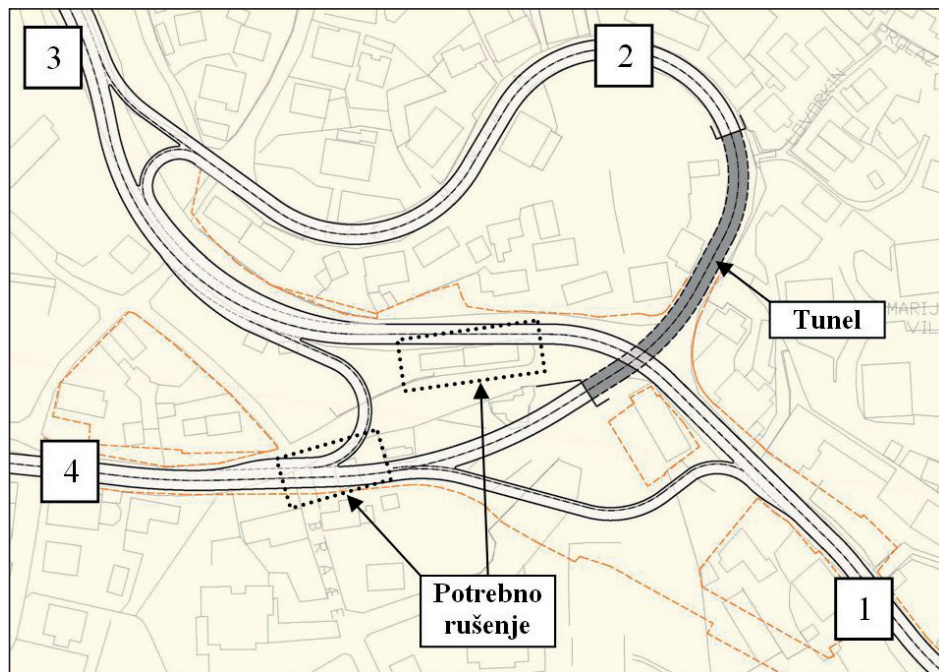
Slika 5. Varijantno rješenje „Denivelirano varijanta I“

4.2.2. Varijanta II

Idejno rješenje deniveliranog raskrižja „varijanta II“ također je predviđeno kao denivelacija smjera prema Zapadnom Zometu i Marčeljevoj Dragi izvedbom tunela kroz postojeću trasu Ul. braće Monjac, provlačenja ispod postojeće trase Zametske ul. te ponovog uklapanja na trasu Ul. B. Vidasa.

Ovim bi se rješenjem zadržala postojeća trasa Zametske i Ul. I.Ć. Belog uz minimalnu rekonstrukciju trase čime bi se i smanjili troškovi izgradnje.

U odnosu na prethodno rješenje, dodatna je prednost ovog rješenja zadržavanje postojeće trase Zametske ulice, dok su nedostaci jednaki onima iz prethodne varijante.



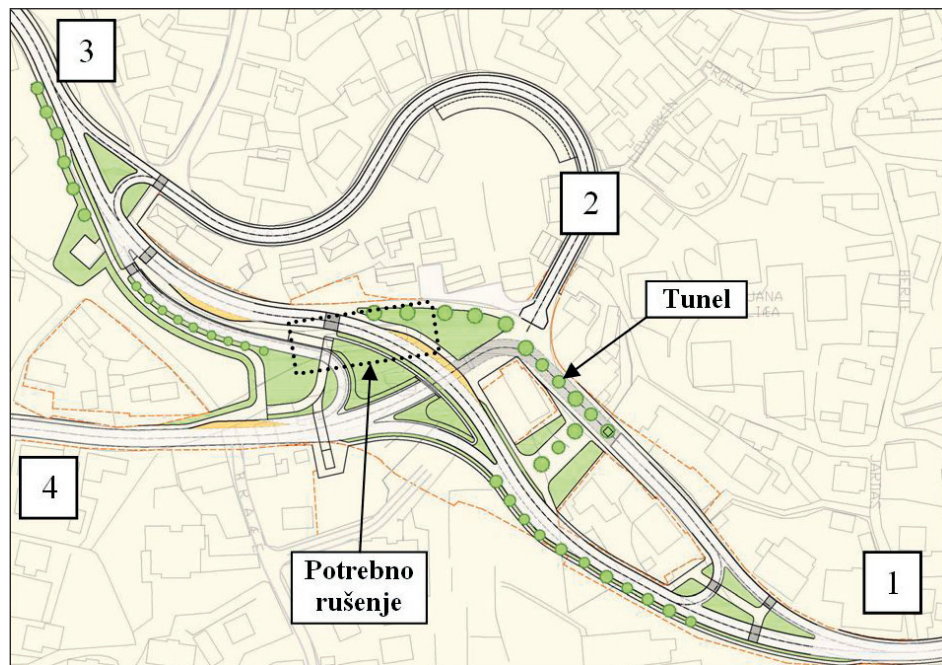
Slika 6. Varijantno rješenje „Denivelirano varijanta II“

4.2.3. Varijanta III

Eliminacijom nedostataka i optimizacijom prethodnih varijanta, idejno rješenje deniveliranog raskrižja „varijanta III“ predviđeno je kao denivelacija smjera prema Zapadnom Zametu i Marčeljevoj Dragi, ali izvedbom tunela kroz postojeću trasu Zametske ulice, provlačenja ispod nove trase Zametske ul. u području današnjeg križanja te ponovog uklapanja na trasu Ul. B. Vidasa. Ovim rješenjem dolazi do zatvaranja Ul. braće Monjac (privoz 2) čime ista postaje zaglavna stambena ulica s okretištem. Njen priključak na privoz 3 moguće je izvesti i kao „T“ raskrižje u nivou.

Prednosti:

- vrlo sigurno, konfliktne točke svedene na ulijevanje i izlijevanje;
- mogućnost potpunog razdvajanja prometa pješačkog i motoriziranog prometa;
- rasterećenje raskrižja zatvaranjem ul. Braće Monjac i pretvaranje iste u stambenu ulicu;
- stvaranje pješačkih i zelenih površina;
- mogućnost formiranja novog centra Zameta.



Slika 7. Varijantno rješenje „Denivelirano varijanta III“

Nedostaci:

- upitni smjerovi u raskrižju – konfiguracija terena (visinske razlike) dovode u pitanje pojedine rampe (skretanje iz privoza 3 u privoz 4);
- zatvaranje ili preregulacija prometa pojedinih ulica u široj zoni;
- regulacije linija javnog prijevoza koje prolaze Ul. B. Monjac;
- potrebno uklanjanje objekata.

4.2.4. Varijanta IV

Daljnjom razradom „varijante III“ idejno rješenje deniveliranog raskrižja „varijanta IV“ zadržalo je načelno istu trasu uz manje korekcije na glavnome smjeru (smjer 1 – 3) kako bi se u potpunosti izbjeglo rušenje objekta te je ukinuta rampa (smjer 3 – 4) zbog nepovoljne konfiguracije terena.

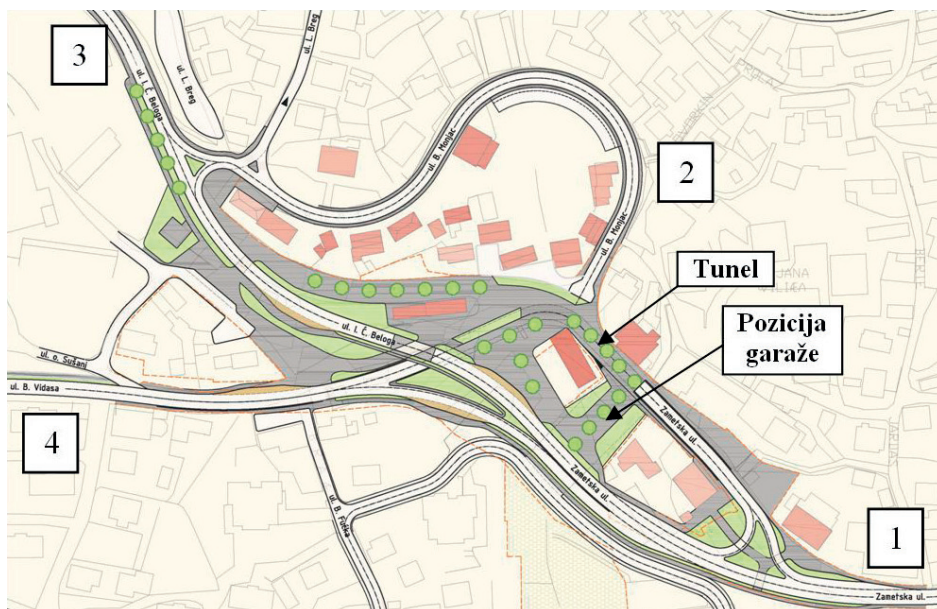
Prednosti:

- vrlo sigurno, konfliktne točke svedene na ulijevanje i izlijevanje;
- mogućnost potpunog razdvajanja prometa pješačkog i motoriziranog prometa;
- rasterećenje raskrižja zatvaranjem Ul. braće Monjac i pretvaranje iste u stambenu ulicu;
- stvaranje pješačkih i zeleneih površina;

- mogućnost stvaranja novog centra Zameta;
- mogućnost izgradnje podzemne garaže.

Nedostaci:

- preregulacija prometa u široj zoni zbog priključka privoza 2 na 3;
- regulacije linija javnog prijevoza koje prolaze Ul. B. Monjac.



Slika 8. Varijantno rješenje „Denivelirano varijanta IV“

4.2.5. Denivelirano raskrižje – odabrano rješenje

Rekonstrukcija raskrižja „Zamet“ s deniveliranim raskrižjem prikazana je u četiri varijante. Početna „varijanta I“ deniveliranog raskrižja se optimizirala kroz varijante II i III, zahvaljujući kojima je dobivena varijanta IV. Denivelirano raskrižje „Varijanta IV“ odabrano je i obrađeno kao idejno rješenje koje zadovoljava najviše postavljenih kriterija.

Na temelju kriterija izvršeno je ocjenjivanje varijantnih rješenja te je odabrano rješenje koje zadovoljava najviše postavljenih kriterija. Na prvom mjestu kriterija se nalaze osnovni uvjeti koje mora zadovoljiti raskrižje, a to su sigurnost i propusna moć, dok su potom postavljeni funkcijski i prostorni kriteriji koje bi raskrižje trebalo zadovoljiti.

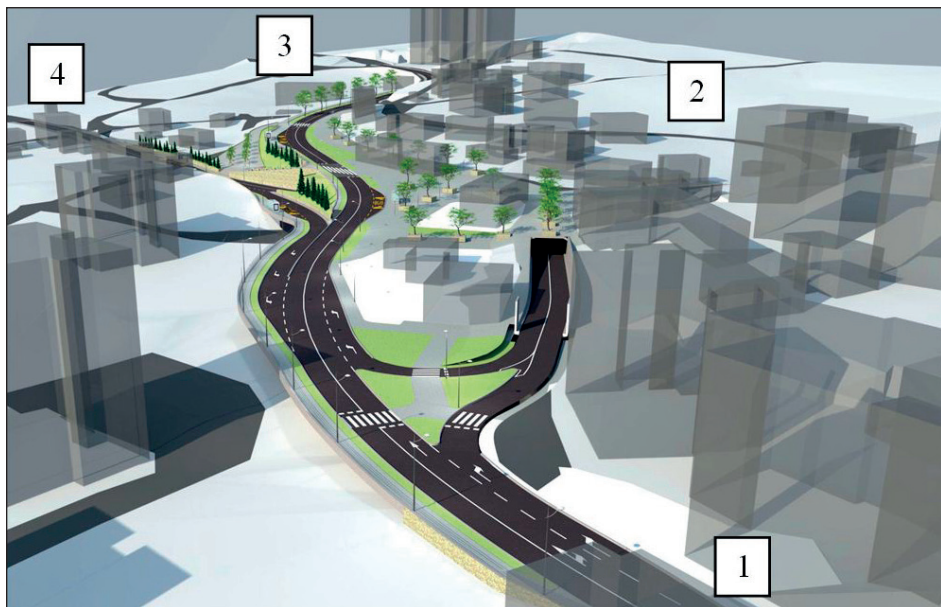
Tablica 3. Ocjenjivanje varijantnih rješenja prema kriterijima. (Oznake ocjena u tablici: P - zadovoljava, O/P - osrednje, O - ne zadovoljava)

VARIJANTNO RJEŠENJE	KRUŽNO RASKRIŽJE		DENIVELIRANO RASKRIŽJE			
	R V-I	R V-II	D V-I	D V-II	D V-III	D V-IV
SIGURNOST I PREGLEDNOST ZA VOZILA	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SIGURNOST I PREGLEDNOST ZA PJEŠAKE	✗	✗	✓	✓	✓	✓
PROPUSNA MOĆ	✗	✗	✓	✓	✓	✓
UPITNI SMJEROVI	✓	✓	✗	✗	✗	✓
UKLANJANJE OBJEKATA	✗	✗	✗	✗	✗	✓
ZAKIDANJE PRIVATNIH PRILAZA	✓	✓	✗	✗	✗	✓
NOVE PJEŠAČKE I ZELENE POVRŠINE	✓/✗	✓/✗	✓	✗	✓	✓
MOGUĆNOSTI PODZEMNE GARAŽE	✓	✓	✓	✓/✗	✓	✓
KOMPLEKSNOST IZRADE I FINANCIJE	✓/✗	✗	✗	✓/✗	✗	✗
UKUPNA OCJENA	5/9	4.5/9	5/9	4/9	5/9	8/9

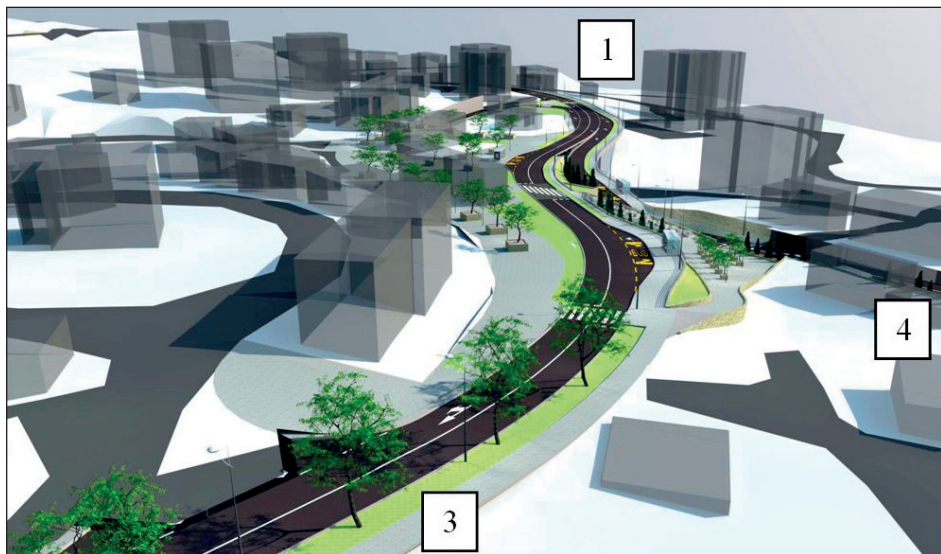
4.2.6. Idejno rješenje „denivelirano raskrižje IV“

Rješenje glavne gradske ulice tj. poteza Zametska ulica - Ul. I. Ć. Belog, zahtijeva napuštanje postojeće ulične trase u duljini od oko petstotinjak metara, i to na odsječku od postojeće zgrade Doma zdravlja (Zametska ul. 63) do iznad križanja s Ul. V. i M. Lenca. Nova trasa položena je na vijaduktu koji se vodi preko vrtova i zelenih površina smještenih zapadnije od postojećih ulica do objekta na adresi Ul. B. Vidasa 2, a potom slijedi teren i približno nagib postojeće trase do mjesta uklapanja. Nova trasa visinski bi bila na približno istoj nadmorskoj visini kao postojeća trasa Ul. I. Ć. Belog, tako da bi njen kolnik u području današnjeg raskrižja bio na približno istoj visini.

Sporedna trasa, tj. smjer prema Zapadnom Z ametu započinje kod zgrade Doma zdravlja te se vodi denivelirano trasom postojeće Zametske ulice do područja današnjeg raskrižja. Deniveliranje trase započinje približno kod k.br. 65A, vođenjem u nagibu do 6% kako bi se ispod glavne trase omogućio optimalan svijetli profil (uključujući i dodatnu visinu za izvedbu konstrukcije tunela/vijadukta), sve do uklopa u postojeću trasu Ul. B. Vidasa na dionici između križanja s Ul. B. Fućak i stambene građevine na adresi Ul. B. Vidasa 3.



Slika 9. Pogled na raskrižje iz smjera grada prema Diračju: vidljiva je nova trasa Zametske ul. te ulaz u tunel (trasa današnje Zametske ul.). Brojevima su označeni privozi raskrižja

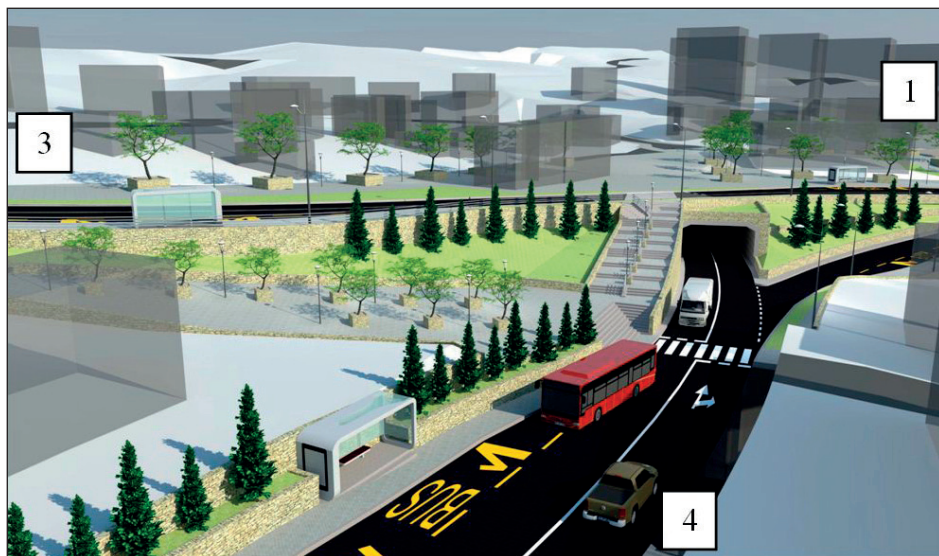


Slika 10. Pogled na raskrižje iz smjera Diračja prema gradu: vidljiva je nova trasa Ul. I.Č. Belog te pješačke površine nastale na trasi današnje Ul. I.Č. Beloga.

Spoj glavne i sporedne trase rješava se uljevnim i izljevnim trakama, dok se smjer Zapadni Zamet – grad rješava rampama s uljevnim i izljevnim trakama. Zbog nepovoljne visinske konfiguracije terena desni skretači iz smjera Diračja prema Zametu preusmjeravaju se na raskrižje Ul. I. Ć. Beloga – Ul. A. Turka.

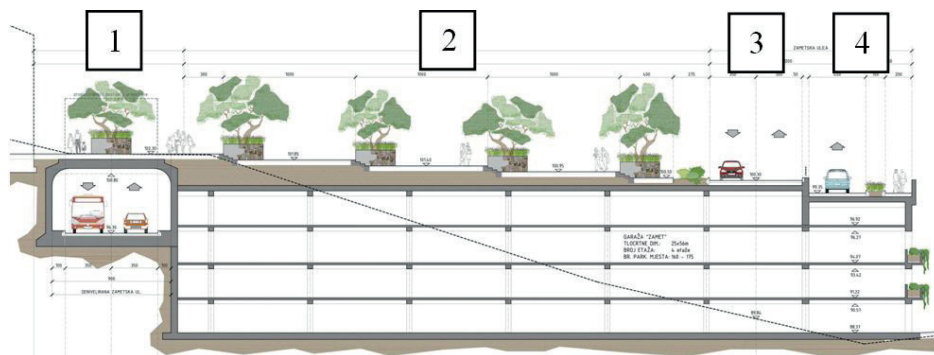
Ovim rješenjem Ulica braće Monjac postaje ulica s okretištem, čime se osigurava nesmetan prilaz stambenim, obrtničkim i ostalim uslužnim objektima, a na području današnje zelene površine uz objekt Doma zdravlja predviđeno je parkiralište za dvadesetak automobila. Spoj ulica Braće Monjac i I. Ć. Beloga ostaje na sadašnjoj poziciji uz rekonstrukciju križanja. Ulica V. i M. Lenca ovim se rješenje predviđa kao jednosmjerna ulica prema Gornjem Zametu, čime se otvara mogućnost i izvedbe nogostupa, dok se ulicu Ludvetov breg predlaže riješiti kao zaglavnu, tj. namijenjenu samo za potrebe stanara.

Smještaj autobusnih postaja na glavnoj trasi zadržava otprilike današnje pozicije. Pješački promet riješen je u nivou s prometnicama. Na glavnoj trasi pješački prijelaz bi bio postavljen ispred objekta „pekare Arena“ te bi prekidao glavni smjer u cilju umirivanja prometa. Također, predviđeno je blago izdizanje samog prijelaza ili postavljenje granitnih kocaka u području pješačkog prijelaza.



Slika 11. Pogled na raskrižje iz smjera Zameta prema ul. B. Monjac: vidljiv je portal tunela te pješačke površine uz raskrižje

Odabirom „varijante IV“, osim rješenja prometnog problema, sama zona raskrižja „Zamet“ dobiva na vrijednosti radi stvaranja velikih pješačkih i zelenih površina te potencijalnog širenja središta Zameta. Rješenje također predviđa i izgradnju garaže kojom bi se riješio problem parkiranja u široj zoni raskrižja, pa čak i mogućnost smještaja zametske tržnice na prvom nivou garaže.



Slika 12. Presjek u području garaže: 1 – tunel prema Zametu, 2 – podzemna garaža sa trgov, 3 – „nova“ Zametska ulica, 4 – priključna rampa iz smjera Zamet – centar

4.2.7. Nužne regulacije prometa u široj zoni raskrižja „Zamet“

Ukidanjem pojedinih smjerova i stvaranjem zaglavni ulica rekonstrukcija raskrižja „Zamet“ zahtijeva sljedeće nužne regulacije odvijanja prometa u široj zoni:

- Ulica Ludvetov Breg - rekonstrukcijom raskrižja, ulica Ludvetov breg postaje jednosmjerna, ali sporedna ulica prema Ul. braće Mohorić koja postaje glavnom. Drugi krak ulice Ludvetov breg postaje zaglavna ulica s okretištem samo za stanare.
- Ulica B. Fućka i P. Jurčića - spoj Ulice B. Fućka i izmještene trase Ul. B. Vidasa napušta se zbog velikih visinskih razlika. Stoga Ul. B. Fućka postaje zaglavna samo za dostavu i interventna vozila. Rekonstrukcijom raskrižja „Zamet“ predviđa se izgradnja podzemne garaže te je predviđena prilazna cesta nastala spojem ulica. B. Fućka i P. Jurčića.
- Raskrižje ulica I. Ć. Beloga i A. Turka - rekonstrukcijom raskrižja „Zamet“ zbog nepovoljnih visinskih razlika izostavljena je rampa za desne skretače iz smjera Diračja prema Zametu. Ovakva situacija zahtijeva promjenu smjera u Ul. A. Turka kako bi se omogućilo skretanje iz smjera Diračja.

- Raskrižje ulica B. Vidasa i Obitelji Sušanjski - zadržava postojeći položaj, dok Ulica obitelji Sušanjski postaje zaglavna s okretištem za stanare.

Planirano raskrižje Ul. I.Ć. Beloga i B. Bačića - Generalnim urbanističkim planom grada Rijeke (Sl.N. 07/07) predviđa se izgradnja raskrižja Ul. I.Ć. Beloga i B. Bačića s vezom na Ul. M. Jengića. Ovo bi raskrižje omogućilo skretanje desnim skretačima s raskrižja „Zamet“, a također bi omogućilo stvaranje obilaznog pravca (Zametska – Ložičina – Nova cesta – B. Mohorića - B. Bačića – I. Ć. Beloga)

5. Zaključak

U radu je prikazano promišljanje rješenja rekonstrukcije raskrižja „Zamet“ koje, osim zahtjeva izrazito prometnog karaktera, nameće potrebu uvažavanja šireg urbanog konteksta te vrednovanje svakog potencijalnog rješenja u svijetlu međusobnih utjecaja koje ono proizvodi u zadanim ili induciranim prostornim i ostalim uvjetima. Samo tehničko rješenje posljedica je unaprijed postavljenih uvjeta.

Obrada diplomskog zadatka predstavljenog u ovom radu omogućila je da se rješenje sagleda upravo u takvom, širem kontekstu, što je tijekom razrade rješenja dovelo do neočekivanih odgovora zahvaljujući slobodi koja je pružana u istraživanju mogućnosti rješenja.

Današnje stanje prometne opterećenosti na raskrižju „Zamet“ sigurno ne opravdava i izvedbu prikazanog rješenja, iako je isto izrađeno uz poštivanje postojećeg dokumenta prostornog uređenja. Dinamika prometnog opterećenja u Gradu Rijeci posljedica je periodičnog puštanja u promet kapitalnih cestovnih objekata (dionice i čvorišta zabilaznice, D404, ...), promjene lokacija generatora značajnog prometnog opterećenja (kamionski terminal „Srdoči“, ...) i otvaranja novih sadržaja (trgovački centri, javne garaže, dvorana „Zamet“, ...). Realno je očekivati da će i planirani kapitalni objekti (nove trase D304 i Ž5025, Zagrebačka obala, Županijski centar za gospodarenje otpadom, ...) imati slične posljedice na postojeću cestovnu mrežu. Takve promjene sigurno ne znače da postojeću cestovnu mrežu ne treba rekonstruirati i povremeno prilagođavati prometnim potrebama. Rješenja je potrebno sagledavati ne samo kroz poboljšanja uvjeta odvijanja prometa na promatranim lokacijama, već i kroz „usputne“ promjene u namjeni prostora koje mogu bitno promijeniti standard življenja u pojedinim područjima.

Diplomski rad na kojem se ovaj rad temelji proizlazi iz suradnje Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci s Odjelom za razvoj, urbanizam, ekologiju i gospodarenje zemljištem Grada Rijeke. Intrigantnost postavljenog

zadatka izazvala je otvoren, kritički i interakativan odnos između mentora, stručnjaka spomenutog Odjela te izrađivača diplomskog rada kojemu je takav pristup svakako bio poticajan u stvaranju kreativnog pristupa prema postavljenom problemu.

Literatura

- [1] Sokol, L., *Rekonstrukcija raskrižja Zamet u Gradu Rijeci*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, diplomski rad, 2011.
- [2] Palinić, N., *Urbanistički razvitak Rijeke – Skripta za internu upotrebu na GF Rijeka*, Rijeka, 2011.
- [3] Bižaca, D., *Uloga prometa u razvoju Rijeke*. U: Črnjar, M., ur. *Prostorno planiranje u Primorsko-goranskoj županiji*, 45-58. Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije, Rijeka 2011.
- [4] *Provedbeni urbanistički plan gradskog naselja Zapadni Zamet*, Grad Rijeka, „Službene novine“ Primorsko-goranske županije broj 16/91, 19/93 i 10/99.
- [5] *Detaljni plan dijela područja Zapadni Zamet*, Grad Rijeka, „Službene novine“ Primorsko-goranske županije broj 30/02.
- [6] *Urbanistički projekt centra gradskog naselja Zapadni Zamet*, Grad Rijeka, „Službene novine“ Primorsko-goranske županije broj 21/94.
- [7] *Brojenje prometa*, Institut građevinarstva Hrvatske d.d. Poslovni centar Rijeka, br. pr. IGH-55400-557/08, Rijeka, prosinac 2008.
- [8] *Generalni urbanistički plan Grada Rijeke*, Grad Rijeka, Sl.N. 07/07,2007
- [9] *Smjernice za projektiranje i opremanje raskrižja kružnog oblika – rotora*, Institut prometa i veza, Zagreb, kolovoz 2002.

MOGUĆNOSTI POVEZIVANJA KAMPUSA SVEUČILIŠTA U RIJECI BICIKLISTIČKIM STAZAMA

POSSIBILITIES FOR CONNECTING UNIVERSITY CAMPUS IN RIJEKA BY BICYCLE TRAFFIC FACILITIES

Nataša KOVAČIĆ*, Sanja ŠURDONJA*, Aleksandra DELUKA-TIBLJAŠ*

Sažetak

Biciklistički promet u gradovima posljednjih je desetljeća jedna od uspješnijih metoda umanjivanja negativnog efekta na okoliš kojega generira motorni, osobito individualni motorni promet. Pozitivni učinci na okoliš, zdravlje ljudi, uštede za pojedince i zajednicu u cjelini glavni su razlozi što prometne politike razvoja brojnih europskih gradova (primjerice Beča, i Kopenhagena) vide razvoj preduvjeta za biciklizam kao jedan od svojih glavnih ciljeva. Lokacija Sveučilišnog kampusa u Rijeci na Trsatu ne predstavlja idealnu lokaciju za povezivanje područja čitavoga grada sa Kampusom, ali sigurno otvara mogućnost povezivanja ovoga područja sa okolnim naseljima koja su na približno istoj nadmorskoj visini, a to su naselja u istočnome dijelu grada. U ovome će se radu analizirati preduvjeti uspješne implementacije biciklističkog prometa u gradovima. Prikazat će se mogućnosti implementacije mreže sigurnih biciklističkih staza u široj zoni Kampusu i okolnih naselja te ponuditi rješenje moguće mreže biciklističkih staza i načina njihovog što jednostavnijeg i efikasnijeg uklapanja u prometnu infrastrukturu.

Ključne riječi: gradski promet, biciklistički promet, mreža biciklističkih staza, Kampus Sveučilišta u Rijeci

* Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Ulica Radmile Matejčić 3, Rijeka
E-mail: {natas.kovac, sanja.surdonja, deluka}@gradri.hr

Abstract

Cycling traffic in the city has been for decades one of the most efficient methods to mitigate negative environmental effects of the motorized traffic in general and the individual motorized traffic in particular. Positive effects on the environment, people's health and savings of individuals and community are among the most important reasons that transportation policies of the developed European cities (for example Copenhagen and Vienna) recognise development of cycling as the best solution for their traffic systems. Location of the Campus of the University of Rijeka in Rijeka does not have the position that allows easy cycling connections with whole city area. However, there is a possibility to connect the Campus with the surrounding residential area of the east part of the city situated at the similar elevation level. In this paper the preconditions for a successful implementation of cycling in the city traffic systems will be analyzed as well as the possibilities to connect the University Campus in Rijeka with surrounding area with a cycling network that assures safe cycling to the Campus. The cycling network solution set in the way that it can be easily incorporated in the present traffic infrastructure will be presented in the paper, too.

Key words: urban traffic, cycling traffic, cycling network, University Campus in Rijeka

1. Uvod

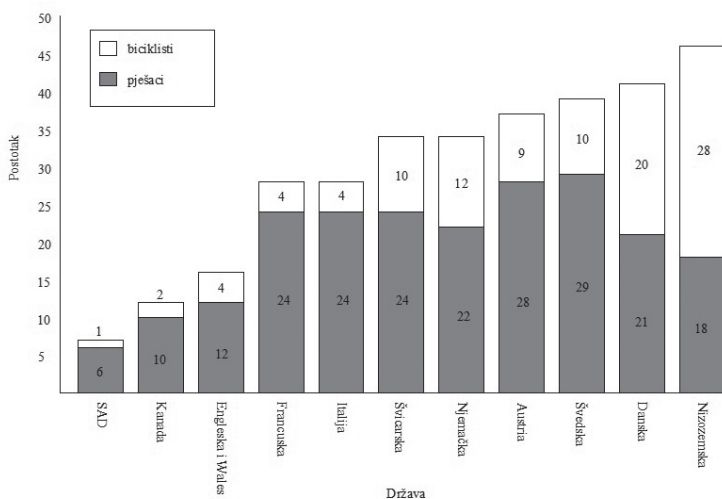
Bicikl kao prijevozno sredstvo u gradovima pruža mnoge prednosti – pozitivno utječe na smanjenje prometnih gužvi i zagađivanje okoliša, pozitivno utječe na tjelesnu kondiciju, a, pokazuje se, i na zdravstveno stanje korisnika [1]. Bicikl povećava mobilnost stanovništva jer se biciklom mogu koristiti i one kategorije stanovnika koje ne mogu koristiti automobile (mlađi, siromašniji), istovremeno smanjujući zagušenost naselja automobilima. Na prostoru koji na cesti zauzima jedan automobil može se voziti šest bicikala. Što se tiče parkiranja, omjer je još veći, pa se na prostoru koji je potreban da bi se parkirao jedan automobil može smjestiti čak 20 bicikala. Na Slici 1 vrlo je vjerno prikazano koliko prostora „troši“ prijevoz istog broja putnika različitim vrstama prijevoznih sredstava.

Razvoj prometnih sustava u gradovima koji respektiraju zahtjeve nemotoriziranih sudionika u prometu te time potiču razvoj takvih vidova prometa uočljiv je u brojnim zemljama zapadne Europe.



Slika 1. *Prostor potreban za prijevoz istog broja putnika automobilom, autobusom i biciklima [2]*

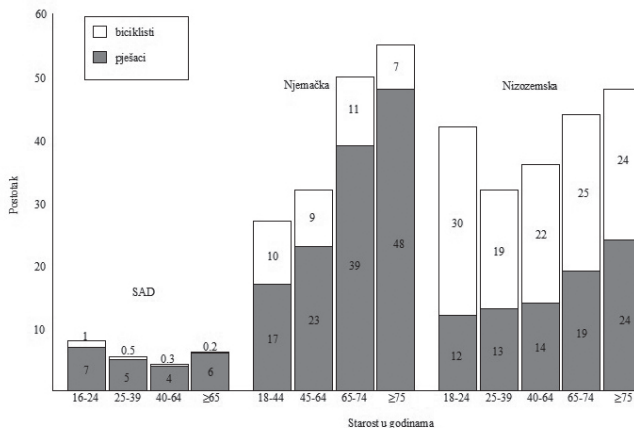
Na Slici 2 je prikazana raspodjela prometa između biciklističkog i pješačkog za veći broj razvijenih zemalja u Europi i Americi. Uočava se da je udio nemotoriziranog prometa značajno veći u europskim zemljama, a biciklističkog u zemljama sjeverne Europe – Danskoj i Nizozemskoj. Obje navedene zemlje bilježe primjere velikih gradova u kojima se kroz nekoliko desetljeća sustavnim prometnim politikama uspjelo udio biciklističkog prometa značajno povećati. Amsterdam (Nizozemska) tako danas ima 28 % dnevnih putovanja koja se izvode biciklom, a Kopenhagen (Danska) čak 32% [3] s planom prema kojem bi se do 2015. godine 50% dnevnih putovanja unutar grada trebalo obavljati biciklom [4].



Slika 2. *Raspodjela putovanja – nemotorizirani vidovi prometa [5]*

Pozitivni primjeri se mogu pronaći i u zemljama geografski i tradicijama bližima Hrvatskoj, primjerice Austriji. Prometni plan Beča donesen 2003. godine [6] kao jedan od glavnih ciljeva navodi smanjenje udjela putovanja automobilima unutar grada na 25%, a kao jednu od mjera za postizanje toga cilja i povećanje udjela putovanja biciklom na 8% .

Posebno se kod analize korištenja bicikla u gradovima zanimljivim pokazuje duljina putovanja koji se obavljaju biciklom kao i svrha za koju se pri putovanju koristi bicikl te dobne skupine koje dominantno koriste bicikl. Pokazuje se, primjerice, da u Nizozemskoj, zemlji koja se ističe kao pozitivni primjer u postignutim rezultatima u promociji biciklističkog prometa, najveći udio među biciklistima čine pripadnici dobne skupine od 18-24 godine tj. one dobne skupine kojoj u najvećoj mjeri pripadaju studenti (Slika 3).



Slika 3. Udio različitih dobni skupina u biciklističkom prometu [5]

Analiza dostupnih podataka o prometnim politikama i rezultatima tih politika za nekoliko američkih sveučilišta [7] na kojima se nastoji povećati udio nemotoriziranog prometa u raspodjeli dnevnih putovanja dokazuje da se i tradicionalni američki tzv. „automobilski“ gradovi uslijed problema generiranih motornim prometom okreću alternativni, tj. nemotoriziranom prometu i to njegovoj popularizaciji upravo unutar studentske populacije koja i zbog fizičkih predispozicija može jednostavnije prihvatiti korištenje biciklom u dnevnim putovanjima. Iz podataka u navedenom radu [7] je vidljivo da je udio biciklističkih putovanja na analiziranim sveučilištima u SAD-u 12-24% od ukupnog broja dnevnih putovanja na kampuse. Zanimljivo je da se radi o kampusima smještenim unutar urbanog područja kao što je i Kampus Sveučilišta u Rijeci o kojemu će u ovome radu biti više riječi.

Sve navedeno bilo je motiv da se analizira mogućnost stvaranja uvjeta za povezivanje novog Kampusa Sveučilišta u Rijeci mrežom biciklističkih staza sa okolnim stambenim zonama.

Cilj ovoga rada je prikazati mogućnosti za uvođenje biciklističkog prometa u gradu Rijeci i to unutar područja Kampusa Sveučilišta u Rijeci (u daljnjem tekstu Kampus) i njemu susjednih gradskih naselja: Trsata, Vežice i Vojaka. Analiza šireg područja grada Rijeke upućuje na određene teškoće u potencijalnoj organizaciji biciklističkog prometa prvenstveno zbog nepovoljnih topografskih uvjeta. Visinska razlika između pojedinih dijelova grada i centra iznosi i do 200 m. U slučaju povezivanja Kampusa s okolnom zonom radi se o naseljima smještenim na podjednakoj nadmorskoj visini, što olakšava planiranje samih staza. Postojeće prometno rješenje, kao niti prostorni planovi za Kampus [8], ne predviđaju biciklističku infrastrukturu unutar prometne mreže te se ovim radom nastoji potaknuti promišljanje prometne politike povezivanja Kampusa s okolnim zonama u skladu sa suvremenim tendencijama razvoja prometnih sustava gradova i sveučilišnih kampusa u razvijenim zemljama.

2. Biciklistički promet u gradovima

Glavni zahtjev kojega mreža biciklističkih putova u gradovima treba zadovoljiti jest sigurnost biciklista. Preporuke za projektiranje biciklističkih putova razvijene za grad Kopenhagen osim sigurnosti, kao važne mjere za intenziviranje biciklističkog prometa, navode slijedeće mjere [9] potrebne za uspješno planiranje i poticanje biciklizma u gradovima:

- definiranje plana biciklističkih staza;
- organiziranje kampanja i drugih oblika informiranja o mogućnostima korištenja bicikla;
- restrikcije u korištenju automobila;
- razvijanje kompetencija za planiranje i projektiranje biciklističkih putova;
- podizanje razine sigurnosti na cestama (uvođenjem mjera smirivanja prometa);
- povezivanje biciklističkih putova s javnim gradskim prijevozom;
- pojačano održavanje cesta;
- osiguravanje mjesta za parkiranje bicikla;
- ekonomske mjere u korist biciklista (npr. porezne olakšice za bicikliste).

2.1. Biciklistički putovi u gradovima

Definiranje plana biciklističkih staza prema [9] podrazumijeva stvaranje koherentne i potpuno povezane mreže biciklističkih putova te, nakon uspostave mreže, njezino stalno preispitivanje i unaprjeđivanje. Posebno se ističe potreba povezivanja obrazovnih institucija mrežom koja u što većoj mjeri prolazi izvan prometnica, zelenim gradskim površinama. Kao mjera se primjerice navodi predviđanje dvosmjernog biciklističkog prometa u ulicama u kojima motorni promet ima jednosmjernan režim kao i osiguravanje infrastrukture, kako za kretanje, tako i za parkiranje bicikla uz radna mjesta.

Biciklističke putovi u gradovima se uobičajeno vode na 4 osnovna načina [1]:

- pješačkim pločnicima,
- biciklističkim trakovima,
- biciklističkim stazama,
- biciklističkim cestama.

2.1.1. Pješački pločnici

Ukoliko se biciklistička prometnica nalazi na pješačkom pločniku, onda dijelovi pješačkih pločnika na kojima se odvija istovremeno biciklistički i pješački promet moraju biti jasno označeni. Označiti se moraju na način da se postavi vertikalna i horizontalna prometna signalizacija (na pločniku iscrtane oznake bicikla i smjera kretanja). Biciklistički i pješački promet moguće je voditi na pješačkim dijelovima ukoliko je u tom dijelu pješačke mreže pješački promet povremenog karaktera i ukoliko širina pješačkog pločnika to dozvoljava.

2.1.2. Biciklistički trakovi

Biciklistički trakovi se nalaze na dijelu kolnika, ali moraju biti obilježeni na poseban način i isključivo služe biciklističkom prometu. Širina bi trebala biti minimalno 1 m, a obavezno se mora odvojiti debelom žutom ili bijelom crtom i na traci učestalo ucrtati bicikl (žutom ili bijelom bojom) ili se može kompletno obojiti npr. crvenom bojom.

2.1.3. Biciklističke staze

Biciklističke staze su u poprečnom profilu prometnice smještene obostrano uz kolnik za svaki smjer posebno, odvojene rubnjakom ili potpuno izvan gabarita postojećih prometnica. Njihova širina bi morala biti tolika da se omogući neometano pretjecanje (minimalno 1,5 m).

2.1.4. *Biciklističke ceste*

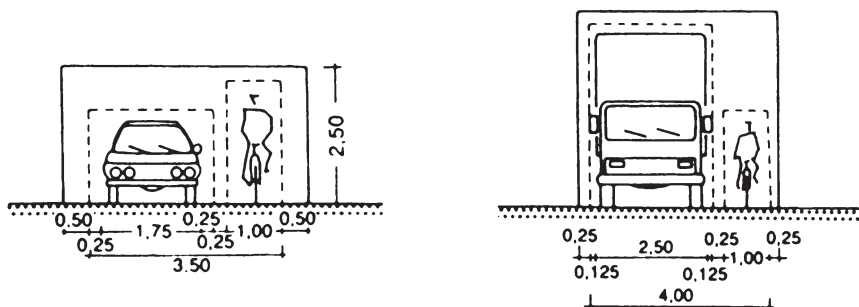
Biciklističke ceste se nalaze izvan gusto naseljenih gradskih područja neovisno o postojećoj ili planiranoj cestovnoj mreži. One služe za dnevne i rekreativne aktivnosti. Zahtjevi za izvođenje biciklističke ceste nalažu da ima 4 biciklistička traka te da je potpuno odvojena od postojećih prometnica s kojima su križanja denivelirana.

U gradovima se promet u pravilu odvija biciklističkim trakovima ili stazama jer zajednički prostor po kojem se kreću pješaci i biciklisti generira probleme sigurnosti, a u brojnim zemljama (pa tako i u Hrvatskoj) nije dozvoljeno kretanje bicikala pješačkim hodnicima. Biciklističke ceste traže prostor koji u gradu nije uvijek moguće organizirati. Ono o čemu bi trebalo voditi računa jest da se pri planiranju biciklističkih staza u izgrađenim područjima ne smanjuje prostor za kretanje pješaka, već prostor namijenjen motornom prometu.

2.1.5. *Osnovni geometrijski parametri biciklističkih putova*

Najmanja širina biciklističke staze ili trake za jedan smjer vožnje je 1,0 m (Slika 4), a za dvosmjerni promet 1,60 m. Ako je biciklistička staza ili traka neposredno uz kolnik, dodaje se zaštitna širina od 0,75 m. Iznimno, zaštitna širina nije obvezna ako je u ulici trajno ograničena brzina kretanja motornih vozila na 50 km/h. Nizozemske preporuke za projektiranje biciklističkih putova pri definiranju njihove širine u obzir uzimaju i intenzitet motornog prometa uz planiranu biciklističku stazu [2].

Za sigurnu udaljenost od fizičkih zapreka kao što su ulična infrastruktura, raslinje, stabla, javna rasvjeta i sl. uzima se dodatnih 50 cm. Ako se staza nalazi uz kontinuiranu zapreku kao što je betonski zid, preporuča se ocrtavanje bijele ili žute linije široke 10 cm na udaljenosti 0,60 m od prepreke kako bi se izbjegla mogućnost da biciklist zapne za nju. „Svijetla visina“ bi trebala iznositi 2,5 m ili, tamo gdje to prostor dopušta, 3m.



Slika 4. Prometni i slobodni profil biciklističke staze [10]

2.2. Elementi uzdužnog profila biciklističkih putova

Na strmim padinama biciklisti se susreću s dvije vrste problema:

- postignu preveliku brzinu kada idu nizbrdo i ne uspijevaju se zaustaviti kako bi izbjegli moguće opasnosti ili ostale bicikliste;
- ne mogu voziti uzbrdo te su prisiljeni gurati bicikl do vrha uzbrdice čime zauzimaju puno više prostora nego kada su na biciklu, što predstavlja opasnost za bicikliste.

Prema AASHO vodiču za planiranje biciklističke infrastrukture [11] iznad 3% prihvatljiva duljina strme padine opada u smislu funkcionalnosti pa se uobičajeno nagib do 3% smatra optimalnim. Međutim, u praksi postoje mnogi slučajevi gdje to nije moguće izvesti te se mora usvojiti strmiji nagib. U tom slučaju treba se voditi za time da 5% bude najveći uzdužni nagib i osigurati ravne dijelove, kaskade duge recimo 20 m i u redovitim razmacima, kako bi biciklisti lakše savladali nagib. Mogućnost ublaživanja nagiba je proširenje staze dodatnih 1,2 do 1,8 m da bi sporijim biciklistima omogućilo hodanje i guranje bicikla kod dugih kosina.

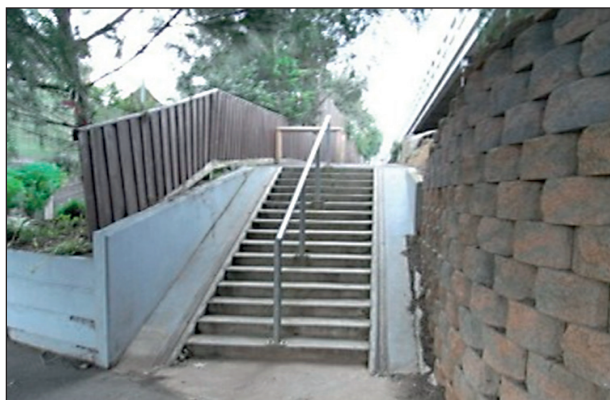
Nagibe na stazama za zajedničko korištenje treba svesti na minimum, osobito na dugim kosinama. Tamo gdje se ne mogu izvesti drugačije postoje preporučane duljine staze za određene nagibe.

U GUP-u grada Rijeke usvojeni su nagibi kako slijedi [12]:

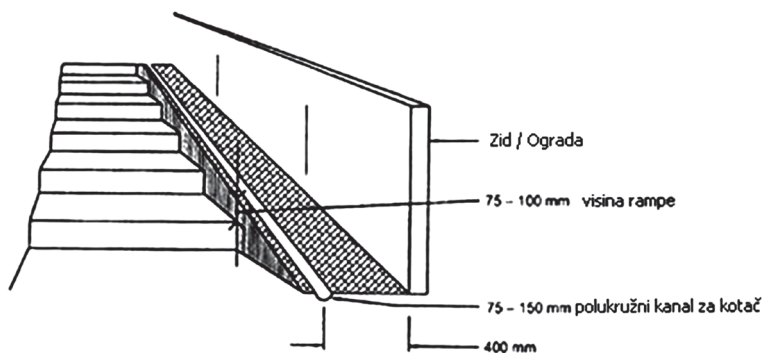
- nagib do 3% na neograničenoj duljini,
- nagib od 5% na ograničenoj duljini dionice do 100 m,
- nagib veći od 7% na duljini od 50 m,
- nagib veći od 10% na duljini od 20 m.

Na mjestima na kojima nije moguće izbjeći veliki nagib jedno od rješenja je postavljanje stepenica s rampom kojom bi se biciklistima omogućilo guranje bicikla umjesto nošenja. Rampe treba uzeti u obzir kao

posljednji izbor u projektiranju, a prije njih se treba razmisliti o drugim načinima savladavanja nagiba. Rampe često mogu biti neprihvaćene od strane biciklista zbog nespretnosti korištenja, pogotovo ako postoji alternativno rješenje. Postojeće stepenice se često mogu modificirati dodavanjem rampe, formiranjem betonske ispune ili čeličnih ploča (Slika 5 i Slika 6). Mogu biti smještene uz rub stepenica ili uz središnji rukohvat.



Slika 5. Čelična rampa za bicikle na stepenicama [13]



Slika 6. Dimenzije rampe za bicikle na stepenicama [13]

2.3. Obilježavanje biciklističkih putova

Za označavanje biciklističkih prometnica koristi se horizontalna i vertikalna signalizacija. Vertikalna signalizacija bi trebala biti postavljena na svim mjestima gdje se ostalim vozačima ili pješacima treba naglasiti da poštuju prostor biciklističkih prometnica te također treba upozoriti na smjer kretanja biciklista. Osim vertikalnih znakova koristi se horizontalna

signalizacija. Ona obuhvaća obojano površinu biciklističke prometnice, iscrtane znakove bicikla na površini prometnice, smjerove kretanja te linije koje obuhvaćaju samu prometnicu. Crveno obojana površina se može koristiti cijelom trasom ali je to skupa varijanata pa se preporuča korištenje samo kod dionica gdje treba posebno naznačiti da se radi o biciklističkoj stazi, a to su raskrižja, zajedničke površine koje biciklisti dijele s pješacima ili automobilima. Iscrtan znak bicikla bijelom ili žutom bojom treba se nalaziti na stazi svakih 20-30 m i sama staza treba biti označena bijelim ili žutim linijama i drugim oznakama (Slika 7).



Slika 7. Vertikalna signalizacija [14]

2.4. Biciklistički promet u raskrižjima

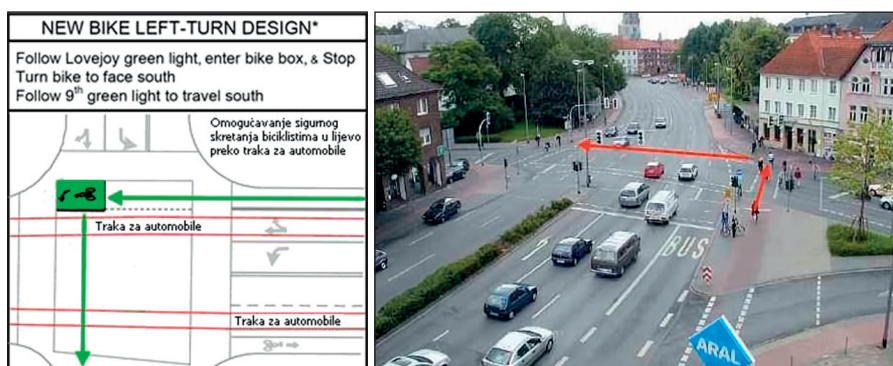
Glavna zadaća biciklističkih prometnica u raskrižjima je omogućavanje vidljivosti i slobodno skretanje biciklista. Budući da na raskrižjima biciklisti više nisu fizički odvojeni od ostalog prometa, vozači motornih vozila i sami biciklisti moraju poštovati prostor biciklističke staze. Biciklisti se kroz raskrižje mogu voditi direktnim ili indirektnim skretanjem.



Slika 8. Pomaknuta stop linija radi skretanja biciklista ulijevo [15]

Jedan od načina kako poboljšati kretanje biciklista kroz raskrižje je pomicanje STOP linije za automobile nekoliko metara unatrag kako bi biciklisti imali bolju preglednost i više prostora za kretanje kad im njihova zelena faza na semaforu to dopusti (Slika 8). Na taj su način biciklisti smješteni ispred automobila koji imaju namjeru skretati i presjecati put biciklistima te su samim time u fizičkoj i vremenskoj prednosti.

Siguran način skretanja biciklista u raskrižju koji se prema prometnim pravilima u Danskoj nazvao Kopenhagen Left (Slika 9) omogućuje biciklistima skretanje ulijevo iz svog traka koji se nalazi uz trakove za automobile, dok je desno skretanje automobilima u raskrižju zabranjeno crvenim svjetlom.



Slika 9. Skretanje biciklista u raskrižju – tzv. Kopenhagen left [16, 17]

Kako bi biciklisti na raskrižjima bili čim uočljiviji, biciklistička traka se može prenamijeniti u biciklističku stazu na udaljenosti oko 5 m od ulaska u raskrižje radi sigurnijeg prolaska biciklista. Staza bi trebala biti obojana 5 m prije ulaska u raskrižje i trebala bi na sebi sadržavati oznake bicikle kroz cijelo raskrižje. Također, zabrana parkiranja automobila 5 m od raskrižja trebala bi omogućiti dobru preglednost biciklistima u njihovim stazama.

3. Povezivanje Kampusa sveučilišta u Rijeci biciklističkim stazama s okolnim naseljem

3.1. Osnovna načela postavljanja

U Rijeci je situacija oko planiranja biciklističkog prometa dosta složena jer se biciklistički promet u postojeću infrastrukturu ne može uklopiti jednostavnim rješenjima.

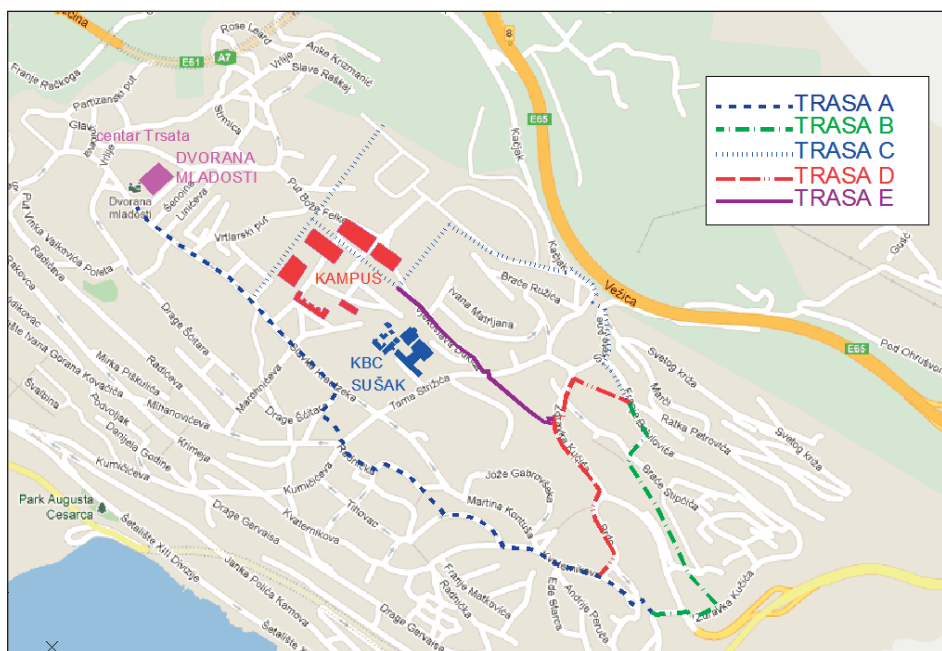
Intenziviranje biciklističkog prometa u istočnom dijelu grada Rijeke s područja s kojeg je moguće ostvariti biciklističke veze sa Kampusom moguće je ostvariti na način da se stvori mreža sigurnih biciklističkih prometnica kojom bi se povezali svi bitni sadržaji u tom dijelu grada. Izgradnjom Kampusa dio mlađe populacije grada Rijeke gravitira tom području i to je jedan od glavnih razloga zašto treba planirati bolju povezanost Trsata s ostalim gradskim četvrtima, a posebice onima s kojima se može ostvariti relativno jednostavna veza jer ne postoje značajnije visinske razlike u terenu i gdje se očekuje dodatni porast mlađe populacije građana, a to su Donja i Gornja Vežica, Trsat i Vojak.

Kod povezivanja gradskih četvrti Trsat, Donja Vežica i Gornja Vežica razmotreno je nekoliko varijanti postavljanja trase biciklističkih prometnica koje bi tvorile mrežu na istočnome dijelu grada Rijeke. Bitno je bilo uzeti u obzir planiranje budućih prometnih rješenja u tom području te povezivanje centraliteta, istovremeno vodeći brigu da biciklistička prometnica na tom potezu može osigurati potrebne tehničke zahtjeve [18].

Pri postavljanju trasa biciklističkih prometnica nastojalo se trase postavljati izvan profila prometnica, po postojećim pješačkim zonama ili kroz zelene površine stazama odvojenim od motornog prometa. Kao neophodna varijanta vođenja prometa, na pojedinim se potezima biciklistički promet usmjeravao preko pješačkih pločnika zajedno s pješačkim prometom pri čemu se vodilo računa o očekivanom broju pješaka. Posebno se vodilo računa o sigurnom vođenju biciklističkog prometa kroz postojeća i planirana raskrižja.

3.2. Opis postavljene mreže biciklističkih putova

Osnovnu mrežu biciklističkih staza kojima bi se Kampus povezo sa istočnim gradom dijelom čini 5 biciklističkih trasa (staza): A, B, C, D i E (Slika 10) [18]. Njihova ukupna duljina iznosi oko 6,4 km. Staze su uglavnom međusobno povezane. Povezivanjem trasa stvorila se mreža koja spaja sve četvrti (Trsat, Vojak, Gornja i Donja Vežica) međusobno te ih spaja sa svim važnijim objektima na tom području.



Slika 10. Prikaz mreže biciklističkih staza

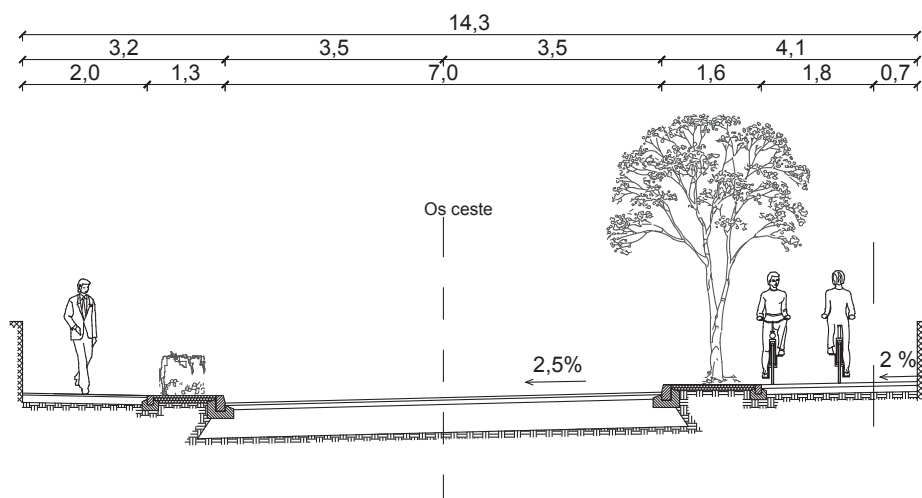
Svaka od trasa je dvosmjerna i prati prirodnu konfiguraciju terena ili se vodi već postojećim pješačkim nogostupima ili kolnikom. Poprečni nagib biciklističke prometnice je 2% duž svih trasa ili prati nagib postojećeg kolnika ukoliko se na njemu nalazi. Širina biciklističkih prometnica kreće se od 1,5 m do 3,0 m, ovisno o raspoloživom prostoru te zadovoljava potrebnu širinu za odvijanje dvosmjernog prometa. Rekonstrukcije koje su potrebne na svim trasama su rušenje postojećih betonski rubnjaka, asfaltiranje podloge za biciklističke staze ili izrade betonske podloge na mjestima gdje treba povezati postojeću infrastrukturu te izgradnja rampi.

Na predviđenim trasama treba linijama iscrtati biciklističke putove, označiti oznakama smjerove kretanja i oznake biciklističkih putova, obojiti

dijelove trasa u raskrižjima i označiti ih te postaviti vertikalnu signalizaciju i stupiće za odvajanje motornog i biciklističkog prometa. Oprema za parkiranje bicikala treba biti postavljena u blizini svih javnih objekata (kod škola, fakulteta, bolnice, ambulanti, sportsko –rekreativnih površina), i to u dovoljnom broju za sve korisnike.

3.2.1. TRASA A: Trsat – Donja Vežica

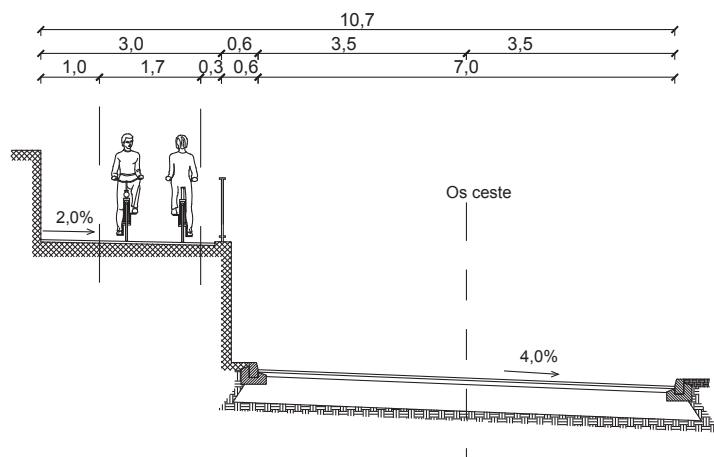
Predviđeno je da bi Trasa A povezivala područje Trsata s Donjom Vežicom. Dio trase je postavljen uz postojeće ceste (Ulicu Slavka Krautzeka, Radničku ulicu, Kvaternikovu ulicu), a dio trase kroz zelene površine. Prijelaz preko raskrižja je predviđen na mjestu semaforiziranog raskrižja. Trasa završava na mjestu okretišta gradske autobusne linije. Ukupna duljina Trase A je 2,1 km. Na trasi prevladavaju povoljni uzdužni nagibi do 5% na prihvatljivim udaljenostima, osim na jednom dijelu gdje nagib na duljini 53 m iznosi 8,9 %, što se smatra prihvatljivim. Širina same staze je promjenjiva na cijeloj dionici te iznosi 1,5-1,8 m ovisno o prostoru u kojem se nalazi (Slika 11). Potrebno bi bilo rekonstruirati dio Ulice Vlade Grozdanića, tj. trebalo bi izraditi manju rampu uz postojeće stepenište i na dijelu ulice kojim se vodi biciklistički put trebalo bi proširiti postojeći pješački nogostup da se dobije potrebna širina za odvijanje biciklističkog prometa te bi na stubištu u pothodniku ispod željezničke pruge trebalo postaviti ili izgraditi rampe za olakšani prijevoz bicikala.



Slika 11. Poprečni presjek Trasa A – Ulica Slavka Krautzeka

3.2.2. TRASA B: Trsat – Donja Vežica – Gornja Vežica

Trasa B je nastavak na Trasu A i vodi se od pothodnika u Kvaternikovoj ulici, prelazi Ulicu Zdravka Kučića i nastavlja Ulicom Franje Belulovića prema stambenom naselju Gornja Vežica.



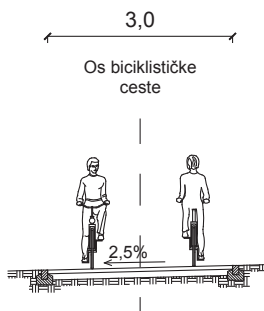
Slika 12. Poprečni presjek Trasa B – Ulica Zdravka Kučića (istok)

Trasa je postavljen kroz zelene površine i parkirališne prostore kako bi se izbjegle prometne i strme ulice. Ukupna duljina trase B je 1,1 km. Uzdužni nagibi su uglavnom povoljni, osim na nekoliko dionica gdje iznose nešto iznad 6% te na jednom dijelu i 9,4%. Ta najstrmija dionica je duga 61,5 m, što bi moglo stvarati probleme kod nekih biciklista, pa postoji mogućnost prelamanja te strmine jednom kaskadom, zaravnjenim dijelom od 15,0 m kako bi se upson lakše savladao. Širina je promjenjiva cijelom trasom ovisno o prostoru u kojem je smještena te iznosi 1,5-2,0 m (Slika 12). Na ovoj trasi trebalo bi rekonstruirati postojeća stepeništa kroz stambeni dio naselja i dijelom ih prenamijeniti u biciklističku prometnicu s kaskadama koja bi vodila sve do priključenja Ulice Braće Stipčića na Ulicu Franje Belulovića.

3.2.3. TRASA C: Trsat – Donja Vežica – Gornja Vežica – Kampus Sveučilišta u Rijeci

Trasa C je nastavak na trasu B i kreće od križanja ulica Franje Belulovića i Ratka Petrovića u naselju Gornja Vežica prema Kampusu prijelazom preko vrtače na području lokaliteta Sv. Ana i brda Kačjak na kojemu je planiran sjeverni dio Kampusu. Postoji i mogućnost spajanja s ulicom Kačjak iz zone Kampusu izravno, uz izgradnju planiranih prometnica unutar Kampusu, čime bi se povežalo naselje Orehovica mrežom biciklističkih prometnica.

Ukupna duljina Trase C je oko 1,7 km. Širina na ovoj trasi se kreće od minimalnih 1,5 m za dvosmjernu biciklističku stazu do 3,0 m (Slika 13). Tu se na dvije duže dionice javljaju nagibi od 6,3% i 7,6%. Budući da pješački most s ulicom povezuju stepenice, i tu bi se trebale izgraditi rampe za olakšano prevoženje bicikle na tom mjestu. Detaljna mreža biciklističkih prometnica u zoni Kampusa nije razrađena; to je zadaća ostalih projekata planiranja prometnica u tom području.

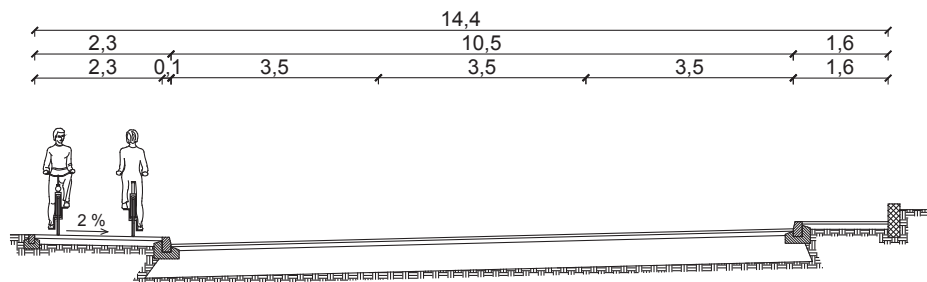


Slika 13. Trasa C – Poprečni presjek unutar zelenih površina

3.2.4. TRASA D: Gornja Vežica-Donja Vežica

Trasa D planirana je kao trasa koja povezuje naselja Donja i Gornja Vežica te trase B i C. Zbog konfiguracije terena ova je trasa zahtjevnija od ostalih trasa te ju ne bi mogli koristiti svi biciklisti.

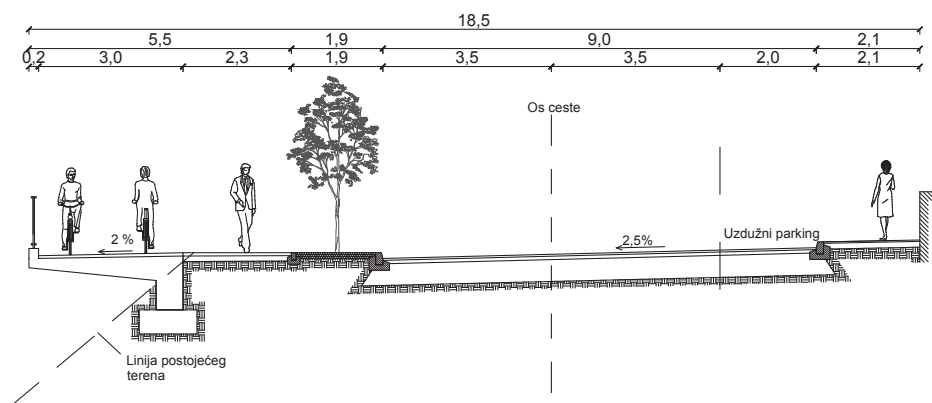
Ukupna duljina trase D je oko 800 m. Uzdužni nagibi koji prevladavaju na ovoj trasi su nepovoljniji od onih na ostalim trasama jer svi iznose više od 4%, dok su neki i 9,5% i to na duljini od 81,0 m. Na ovoj trasi bi bilo najprihvatljivije cijelom dionicom pokušati ublažiti taj nagib postavljanjem kaskada duljine 20 m radi odmora biciklista i lakšeg savladavanja strmine ili proširivanjem staze da bi korisnici mogli gurati biciklu ako ne mogu savladati strminu. Širina staze na ovoj dionici iznosi 1,7-2,5 m (Slika 14).



Slika 14. Trasa D – Poprečni presjek Zdravka Kučića (zapad)

3.2.5. TRASA E: Kampus – Gornja Vežica-Donja Vežica (Trasa D)

Trasa E je izvediva pod uvjetom izgradnje planiranog nastavka Ulice Vjekoslava Dukića uz prostor „Istravina“, mostom preko željezničke pruge gdje bi se spojila s ulicom Zdravka Kučića. Ta bi se trasa vodila od prometnica unutar zone Kampusa, od Sveučilišne avenije, Ulicom Vjekoslava Dukića, sve do križanja s Kučićevom, gdje bi se povezala s trasom D. Ukupna duljina trase E je oko 700m. Uzdužni nagib većim dijelom trase iznosi nešto više od 7,5 %, no to bi se trebalo riješiti planiranjem nastavka ulice Vjekoslava Dukića. Za preostalu dionicu izrađeno je detaljnije rješenje prema projektu rotora na križanju ulice Vjekoslava Dukića i Tome Strižića. Podloga za izradu idejnog projekta dijela trase E bio je idejni projekt Rotora u ulici Tome Strižića [19] kojeg je izradio Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci 2011. godine. Ovaj idejni projekt predstavlja predložak za razradu i ostalih predviđenih trasa. Ulica Vjekoslava Dukića je dvosmjerna, širine prometnih trakova su 3,25 m, širine nogostupa s obje strane ulicu su 2,25 m, u ulici postoji i uzdužni parking za automobile širine 2,0 m (Slika 15).

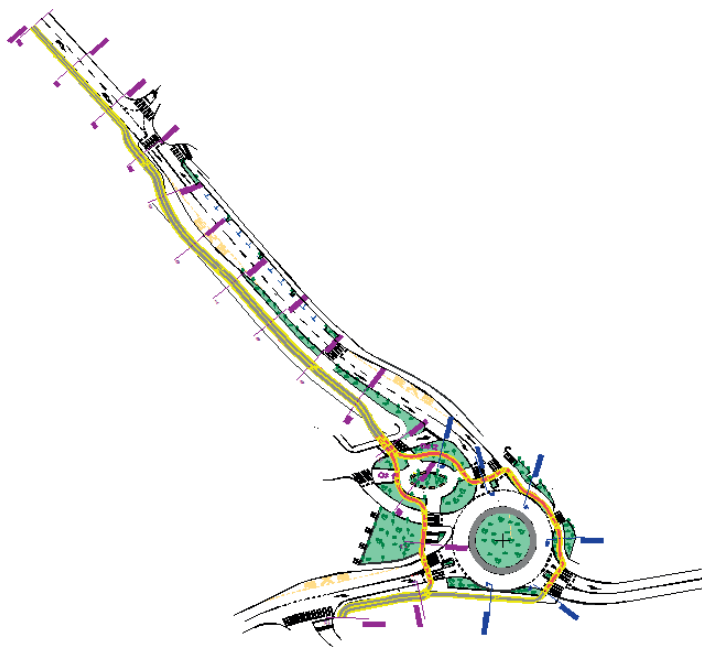


Slika 15. Poprečni presjek Trasa E – Ulica Vjekoslava Dukića

Uzdužni nagibi su relativno nepovoljni te se zbog konfiguracije terena nije uspjelo postići povoljnije rješenje nego da biciklistička staza prati te nagibe, ali se zato za uspon uz strminu odabrala položajna dionica gdje je najveći nagib iznosi 12% na dionici od 20 m. Staza se nalazi na području s gustim motoriziranim i pješačkim prometom pa ju je potrebno primjereno označiti. Tako bi podloga staze trebala biti obojana crvenom bojom od privoza KBC-a Sušak na Ulicu Vjekoslava Dukića i dalje cijelim područjem rotora, da bude jasno uočljiva. Staza mora biti označena žutim trakama te se na njoj treba nalaziti oznaka bicikle i smjer kretanja. Vertikalna

signalizacija mora biti jasno istaknuta da bi ostali vozači mogli na vrijeme uočiti kuda prolazi biciklistička staza i pozvati ih na oprez.

S jedne strane ulice je stambeno naselje s izgrađenim objektima te se time ne ostavlja dovoljno prostora za najpovoljniji smještaj biciklističke staze, već se može iskoristiti slobodan prostor sa strane ulice prema KBC-u. Biciklistička staza je postavljena jednom stranom ulice, uz pješački nogostup te bi se time odvojila od ostalog motoriziranog i pješačkog prometa. Kasnije, kako se približava rotoru, odvaja se na svaki smjer vožnje zasebno. Smjerove je bilo potrebno odvojiti zbog nepovoljnog nagiba terena pa je strmija os predviđena za spuštanje niz Dukićevu ulicu do Strižićeve, dok je blaža os predviđena za suprotan smjer kako bi se olakšao uspon prema Kampusu. Staza na području rotora prelazi preko svih privoza rotoru, preko pješačkih nogostupa te dijelom zelenih površina. Prijelaz preko privoza je smješten uz pješačke prijelaze, ali time nije smanjena širina pješačkih prijelaza, a na ostalim mjestima gdje staza prolazi pješačkim površinama nastojalo se izbjeći moguću koliziju pješaka i biciklista na način da se jasno označi biciklistička staza i da ta dionica bude čim kraća. Širine staze gdje se odvija dvosmjerni promet kreću se 2,0-3,0 m, a na jednosmjernim dionicama širine iznose 1,5 m (Slika 16).



Slika 16. Predložak vođenja biciklističkih staza kroz kružno raskrižje – Raskrižje Ulica Tome Strižića i Dukićeve ulice

4. Zaključak

Niti prostorni plan razvoja Kampusu Sveučilišta u Rijeci niti planovi okolnih naselja (Trsat, gornja i Donja vežica) ne predviđaju razvoj mreže biciklističkih staza kojima bi se prostor Kampusu povezao s okolnim stambenim naseljima. Suvremene tendencije u razvoju gradskih prometnih sustava kao i one razvoja sveučilišnih kampusu upućuju na biciklistički promet kao vid prometa koji se zbog svojih pozitivnih efekata na okoliš i zdravlje nameće kao rješenje za prometne probleme koje generira motorni promet. U ovome je radu prikazano rješenje za mrežu biciklističkih staza koja bi, uz zadovoljavanje načela planiranja biciklističkih staza kao i respektiranje zahtjeva za njihovim geometrijskim oblikovanjem, povezivala zonu Kampusu Sveučilišta u Rijeci s okolnim naseljima na istočnom dijelu grada Rijeke. U postavljanju mreže nastojalo se omogućiti direktno povezivanje centara naselja, omogućavanje priključivanja na osnovnu mrežu iz stambenih naselja te povezivanje Kampusu, ali i svih drugih budućim korisnicima potencijalno zanimljivih sadržaja u zoni. Obzirom na postojeću infrastrukturu nije se u cijelosti uspjelo ispoštivati načelo prema kojem se u cilju formiranja biciklističkih staza prenamjenjuju površine namijenjene motornom prometu.

Na opisani način omogućilo bi se sigurno prometovanje biciklima prema Kampusu i time, potencijalno, smanjivanje udjela putovanja motornim vozilima u smjeru Kampusu Sveučilišta u Rijeci. Kada se postigne veći udio biciklističkog prometa bit će neophodno razmišljati o rješenjima u kojima se biciklistički promet u cijelosti razdvaja od pješačkog kao što nalažu načela postavljanja biciklističkih staza koja se u radu obrazlažu.

Literatura

- [1] Anderson, L.B., All-Cause Mortality Associated With Physical Activity During Leisure Time, Work, Sports and Cycling to Work. *Archives of Internal Medicine*, **160(11)**: , 2000.
- [2] Design manual for bicycle traffic -
- [3] CROW http://www2.hak.hr/media/124749/6_sig_mob_10.pdf:
- [4] Breukel, S., The bicycle capitals of the world: Amsterdam and Copenhagen Fietsberaad, *Fietsberaad: Publication number 7a*, Netherlands, 2010.
- [5] <http://www.kk.dk/sitecore>

-
- [6] Pucher, J., Dijkstra, L., Promoting safe walking and cycling to improve public health: Lessons from the Netherlands and Germany. *American Journal of Public Health*, **93(9)**: 1509-1516, 2003.
- [7] Urban Development and Urban Planning, Transport Planning and Regional Development Section: *Transport master plan Vienna 2003*, Stadtentwicklung Wien, 2006.
- [8] Baričević, I., Škunca, S., Deluka-Tibljaš, A., Prometno rješenje područja Kampus-Klinički bolnički centar na Trsatu u Rijeci. U: G. Jelenić, ur., *Zbornik radova Građevinskog fakulteta u Rijeci, Knjiga XIV*. Građevinski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2011.
- [9] Detaljni plan uređenja područja Sveučilišnog kampusa i Kliničkog bolničkog centra na Trsatu. Grad Rijeka, (Sl. N. 29/05)
- [10] Nelson, A., Scholar, V., *Livable Copenhagen: The Design of a bicycle City*, center for Public Space Research, Copenhagen, 2007.
- [11] Legac, I. i koautori, *Gradske prometnice*. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.
- [12] AASHO Guide for Development of Bicycle Facilities -
- [13] http://www.azmag.gov/Documents/pdf/cms.resource/PWB-RBTF_2008_Guide-for-Development-of-Bicycle-Facilities83606.pdf
- [14] Generalni urbanistički plan grada Rijeke. Grad Rijeka, 2007. (Sl. N. 07/07)
- [15] <http://www.bv.com.au>
- [16] <http://www.prometna-zona.com>
- [17] <http://www.international.fhwa.dot.gov>
- [18] Kovačić, N., *Analiza mogućnosti unaprjeđenja povezivanja zone Kampus na Trsatu sa okolnim naseljima biciklističkim stazama*, diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2011.
- [19] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rotor u Ulici Tome Strižića, Rijeka 2011.

UPRAVLJANJE GRAĐEVINSKOM UGOVORNOM DOKUMENTACIJOM – PROCESNI PRISTUP

CONSTRUCTION CONTRACT MANAGEMENT – PROCESS APPROACH

Ivona GUDAC*, Ivan MAROVIĆ*, Leo MAVRIĆ**

Sažetak

Globalni i integracijski procesi u građevinskoj praksi, uvođenje novih modela financiranja, rastući zahtjevi tržišta i tržišne dokumentacije kao i povećanje složenosti projekta samo su neki od elemenata koji bitno utječu na ugovornu praksu, pa tako i na hrvatsku nacionalnu ugovornu praksu. Nedostatak vlastitih sredstava i stalna potreba za zaduživanjem države kod međunarodnih financijskih institucija rezultirali su uporabom međunarodne ugovorne prakse i pravnih sustava, što dodatno vrlo snažno utječe na nacionalnu ugovornu praksu. Kod javnih projekata čija se sredstva osiguravaju iz međunarodnih fondova, a i zbog nepostojanja kvalitetne poželjne ugovorne prakse koja povlači za sobom razvoj autonomne regulative, široka je primjena FIDIC-ovih ugovornih formi. Razlozi stagnacije i nerazvijanja nacionalne autonomne regulative te naznake mogućih rješenja bit će obuhvaćeni ovim radom čiji je glavni cilj prikazati proces upravljanja građevinskom ugovornom dokumentacijom korištenjem procesnog pristupa.

Ključne riječi: *građevinska ugovorna dokumentacija, procesni pristup, upravljanje, ugovorna praksa, FIDIC*

* Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka
E-mail: {ivona.gudac, ivan.marovic}@gradri.hr

** Zanatska zadruga Gradin, Splitska 2/III, 51000 Rijeka
E-mail: mavricleo@gmail.com

Abstract

Globalization and integration processes, implementation of new financing models, growing market and documentation demands, as well as the project complexity increase are only some of the elements that greatly influence contract management practice and Croatian contract management practice likewise. Shortage of national assets and a constant need for government's borrowing from international financial institutions resulted in the use of international contract management and legal systems that significantly influence the national contract management. Due to lack of quality and eligible domestic contract practice, public projects financed by international finance funds often result in direct application of FIDIC forms of contract. The reasons for stagnation and non-development of national autonomous regulations and some possible solutions will be presented in this paper whose main intention was to show the construction contract management process through the process approach.

Key words: *construction contract management, process approach, management, contract practice, FIDIC*

1. Uvod

Pod utjecajem globalizacijskih i integracijskih procesa, hrvatska građevinska industrija posljednjih godina doživljava snažne promjene. Uvođenje novih modela financiranja, rastući zahtjevi tržišta i tržišne dokumentacije kao i povećanje složenosti i obima projekata samo su neki od elemenata koji utječu na građevinsku ugovornu praksu u Republici Hrvatskoj. Prilikom izvođenja velikih javnih projekata od 2000. godine do danas, nedostatak vlastitih financijskih sredstava i potreba za zaduživanjem države kod međunarodnih financijskih institucija rezultirale su pojavom međunarodne ugovorne prakse i pravnih sustava. Pojava takve „nove“ ugovorne prakse i pravnih sustava temeljenih na anglosaksonskom pravnom sustavu (engl. Common Law) vrlo je snažno utjecala na našu nacionalnu ugovornu praksu čiji se cijeli pravni sustav bazira na rimsko-germanskom pravnom sustavu (engl. Civil Law).

Kod javnih projekata čija se sredstva osiguravaju iz međunarodnih fondova, postojanje kvalitetne ugovorne prakse jedan je od glavnih uvjeta za odobravanje kreditnih aranžmana. U slučaju nepostojanja adekvatne ugovorne prakse, široka je primjena ugovornih formi propisanih od Međunarodne udruge inženjera građevine (Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils – FIDIC). Ugovorne forme FIDIC [1] prvi su puta izdane 1957. godine te se temelje na anglosaksonskom pravnom sustavu.

Kako je spomenuto, naša nacionalna građevinska ugovorna praksa temelji se na rimsko-germanskom pravnom sustavu. Uvođenje ugovornih

formi drugih pravnih sustava (poput anglosaksonskog) rezultira brojnim konfliktima između odredbi dvaju različitih pravnih sustava. Uzroci konflikta nacionalne građevinske ugovorne prakse i ugovorne forme FIDIC mogu biti jezične prirode, odnosno, mogu nastati zbog drukčijih pojmovnih tumačenja koji proizlaze iz različitosti navedenih pravnih sustava. Također, konflikti mogu nastati i kao posljedica nedovoljne razvijenosti ili, što je češći slučaj, nepostojanja nacionalnih ugovornih odredbi sukladnih onima u FIDIC-u. U svakom slučaju, jedan od većih problema predstavlja postojanje istih pravnih odredbi unutar navedenih pravnih sustava s drukčijim pravnim učinkom.

Kod javnih projekata nužno je dobro razumjeti i poznavati tečevinu ugovornih odredbi te proaktivno djelovati na građevinsku ugovornu dokumentaciju i njome aktivno upravljati. Konflikti koji se pojavljuju zbog različitosti pravnih sustava rezultiraju nizom okolnosti pri upravljanju građevinskom ugovornom dokumentacijom koje u praksi najčešće određuju konzultanti i izvođači radova [2, 3]. Prestankom svakog projekta, iskustvo i stečeno znanje koje bi se mogli prenijeti dalje i uobličiti kao „najbolja praksa“ (engl. „Best practice“) nestaju, a sustav upravljanja ugovornom dokumentacijom stagnira [2]. Kod javnih projekata, obveznici javne nabave glavni su čimbenik u oblikovanju tržišnih cijena i odnosa. Postignuća javnih radova se ne vrednuju, iz čega proizlazi nezainteresiranost obveznika za modeliranje poželjne ugovorne prakse i razvoj autonomne regulative.

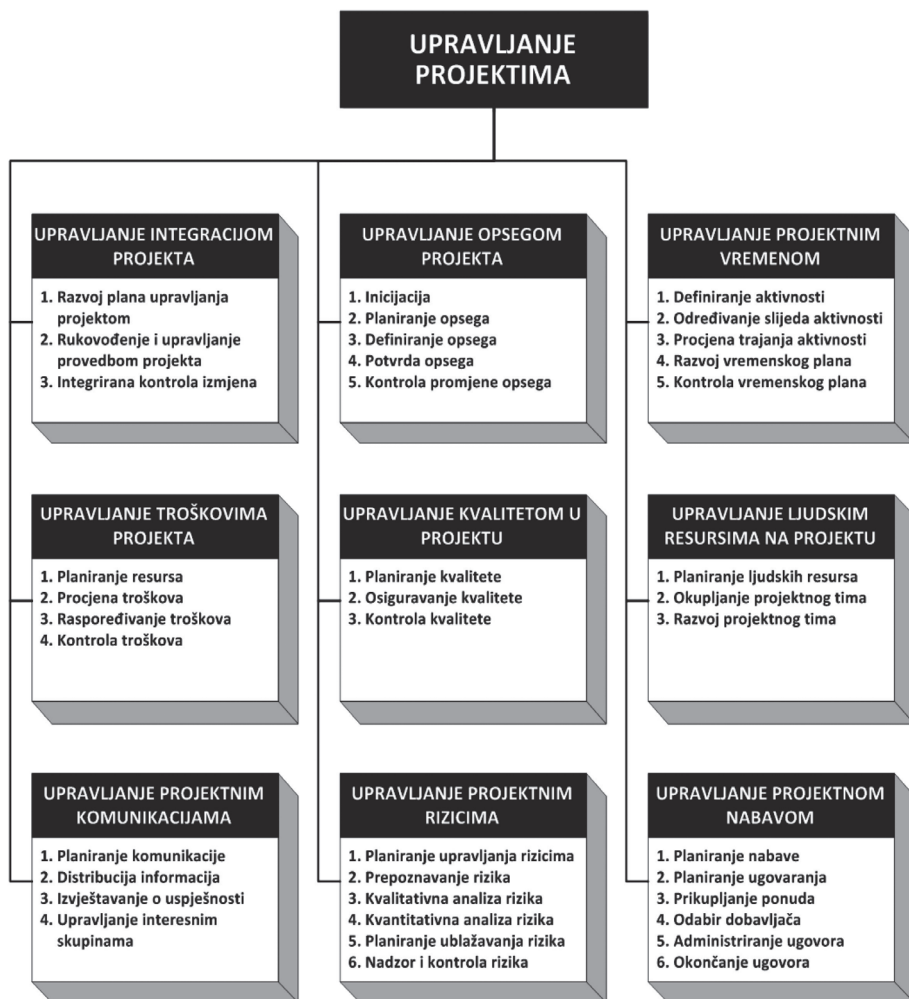
U radu se pod autonomnom regulativom misli na izradu općih ugovornih uvjeta za izvođenje građevinskih radova koji će biti poduprti općim i posebnim tehničkim ugovornim uvjetima za izvođenje radova. Nedovoljno izgrađeno tehničko zakonodavstvo i kasno nastajanje strukovnih organizacija koje su značajno doprinijele razvoju nacionalne legislative može se povezati sa socijalističkom praksom u prijeratnom razdoblju [2]. Hrvatska komora arhitekata i inženjera u graditeljstvu – HKAIG osnovana je tek 1998. godine [4], dok se 2009. razdvaja na Hrvatsku komoru arhitekata i Hrvatsku komoru inženjera u graditeljstvu te predstavlja mladu organizaciju koja mora aktivno dati odgovore na brojne zahtjeve tržišta.

Na početku rada autori smatraju nužnim napomenuti kako će se, zbog mogućnosti različitog tumačenja i nepostojanja „službenih“ izraza na hrvatskom jeziku, određena količina izraza ostaviti u njihovom izvornom obliku na engleskom jeziku.

Ovim radom će se predstaviti razlozi stagnacije i nerazvijanja nacionalne građevinske regulative te naznake mogućih rješenja kroz razlaganje složenog organizacijskog procesa upravljanja građevinskom ugovornom dokumentacijom na njegove generičke i ekstenzivne potprocese.

2. Ugovorna dokumentacija

Pojam „Upravljanje ugovorima“ (engl. Contract Management) pobliže se može objasniti kroz literaturu Instituta za projekt menadžment (engl. Project Management Institute - PMI) i Američke udruge za upravljanje ugovorima (engl. National Contract Management Association - NCMA). PMI u svojoj publikaciji „Vodič kroz znanje o upravljanju projektima“ (engl. „A Guide to the Project Management Body of Knowledge“) [5] dijeli cjelokupno Upravljanje projektima na područja znanja i pripadajuće procese.



Slika 1. Područja znanja Upravljanja projektima [5]

U skladu s tom idejom, NCMA izdaje „Vodič kroz znanje o upravljanju projektima“ (engl. „Guide to the Contract Management Body of Knowledge“) [6] u kojoj preuzima navedenu strukturu procesa PMI-a i dalje razvija koncept Upravljanja ugovornom dokumentacijom.

Na Slici 1 prikazana su PMI područja znanja prema kojima se Administriranje ugovorima (engl. Contract Administration) nalazi u području Upravljanja nabavom (engl. Project Procurement Management).

Proces Upravljanja nabavom (engl. Project Procurement Management) PMI opisuje 6 procesa s aspekta Naručitelja kao ugovorne strane: Planiranje nabave (engl. Procurement planning), Planiranje ugovaranja (engl. Solicitation planning), Prikupljanje ponuda (engl. Solicitation), Odabir dobavljača (engl. Source selection), Administriranje ugovora (engl. Contract administration) i Okončanje ugovora (engl. Contract closeout); te 6 procesa s aspekta Izvođača: Pripreme aktivnosti (engl. Presales activity), Odlučivanje o predaji ponude (engl. Bid/no bid decision making), Priprema ponude (engl. Bid or proposal preparation), Pregovaranje i formiranje ugovora (engl. Contract negotiation and formation), Administriranje ugovora (engl. Contract administration) i Okončanje ugovora (engl. Contract closeout).

Autori Garret i Rendon [7] područje Upravljanje ugovorima opisuju kao „sveobuhvatno upravljanje ugovornim procesom“, dok područje Administriranje ugovorima definiraju kao „proces za osiguravanje izvršavanja ugovornih obaveza svake ugovorne strane u skladu sa zahtjevima ugovora“. Gilbreath [8] područje Administriranje ugovorima prepoznaje kao ključni element odvijanja procesa upravljanja ugovorima i definira ga kao „neposredno upravljanje ugovornom dokumentacijom od trenutka kad je ugovor dodijeljen do trenutka kad je formalno završen“, dok Upravljanje građevinskim ugovorima (engl. Managing Construction Contracts) predstavlja sustavan zbir planova, aktivnosti i pristupa potrebnih za ispunjenje komercijalne svrhe ugovora.

Ugovor o građenju je strogo formalni, dogovoreni, dvostrano obavezan, novčano obvezujući ugovor sklopljen isključivo u pisanoj formi, gdje se najvažnijim dijelovima Ugovora smatraju predmet ugovora, rok izgradnje i ukupna cijena. Predmet Ugovora o izvođenju građevinskih radova strogo je definiran, dok se cijena i rok završetka radova mogu odrediti temeljem zakonskih odredbi ili samim ugovorom.

Zbog niza kompleksnih pravnih pitanja koja se pojavljuju tijekom građenja, Ugovor o građenju je složeni ugovor koji visokim investicijskim svotama dobiva bitno gospodarsko značenje. Svrha je upravljanje

građevinskom ugovornom dokumentacijom učiniti čimbenikom zaštite javnog interesa te prednosti nacionalne ekonomije.

Cjelokupni karakter građenja uključuje vrlo široku zakonsku zastupljenost. Odredbe Zakona o prostornom uređenju i građenju (ZOPUG) [9] odnose se na zaštitu javnog interesa, dok Zakon o obveznim odnosima (ZOO) [10] uređuje odnose među stranama obveznih odnosa. ZOO se primjenjuje i na inozemne osobe (fizičke i pravne) kada su u pitanju pravila međunarodnog privatnog prava na koja upućuju obveznopравни odnosi.

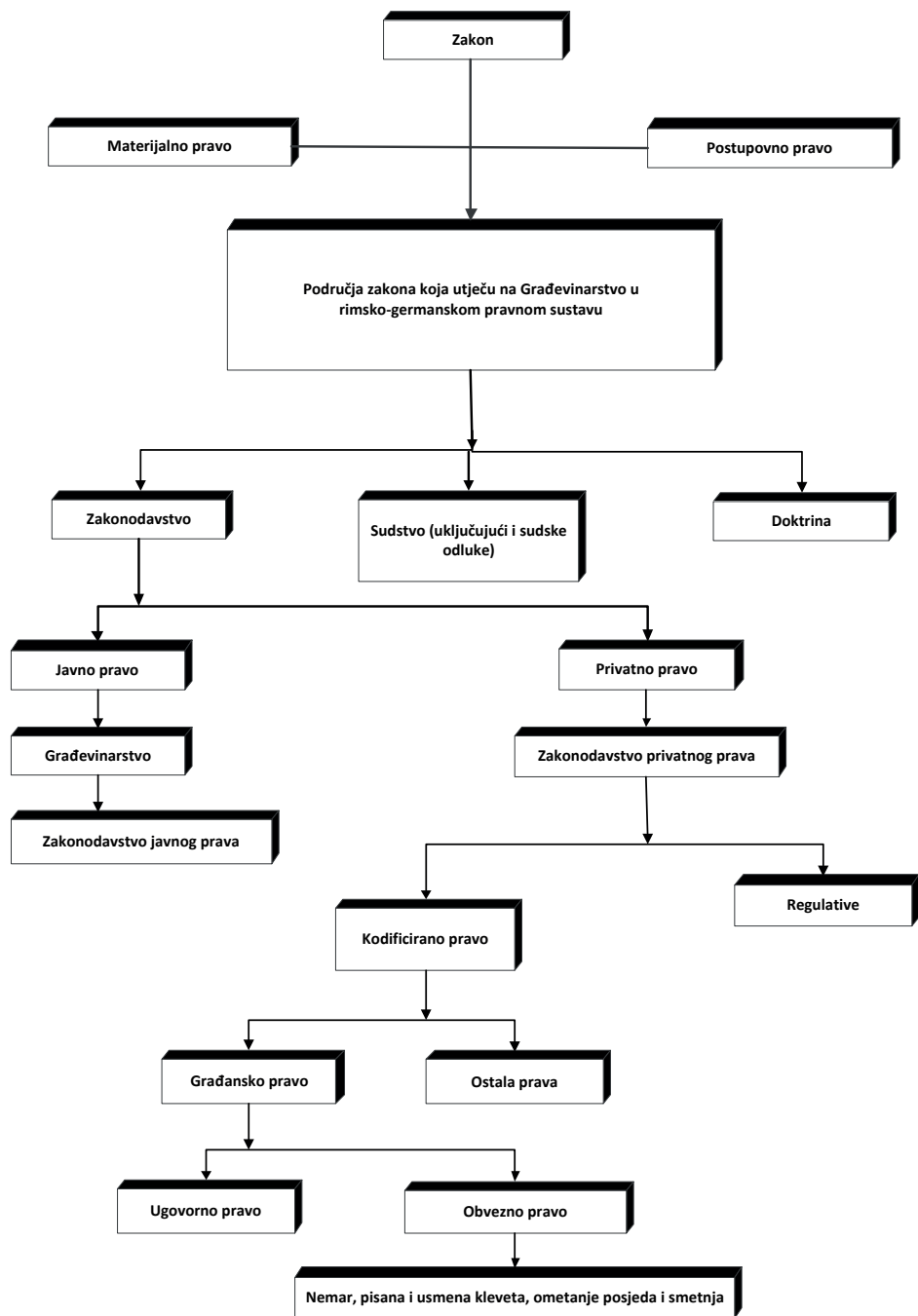
Izvori prava u hrvatskoj građevinskoj ugovornoj praksi temelje se na rimsko-germanskom pravnom sustavu (Slika 2) koje predstavljaju ugovori (ako su u skladu s prisilnim propisima), običaji, propisi ZOO-a te sudska i arbitražna praksa, odnosno posredno pravna znanost. Pravni izvor Ugovora o građenju je Zakon o obveznim odnosima. Na sam se Ugovor primjenjuju opće odredbe (odnose se na naknadu štete, jednostrani raskid ugovora voljom Naručitelja, obveze Izvođača, raskid ugovora zbog odstupanja Izvođača od odredbi ugovora) i odredbe ugovora o djelu. Primjena običaja i prakse regulirana je člankom 12 ZOO-a.

Princip razgraničavanja javnog i građanskog prava unutar anglosaksonskog pravnog sustava bitno je različit u odnosu na rimsko-germanski pravni sustav. Izvori prava anglosaksonskog sustava čine sudska praksa (presedani), principi pravičnosti (engl. equity), legislativa, međunarodne konvencije i ugovori te običaji. Pravna područja koja se odnose na građenje u anglosaksonskoj pravnoj skupini prikazana su na Slici 3.

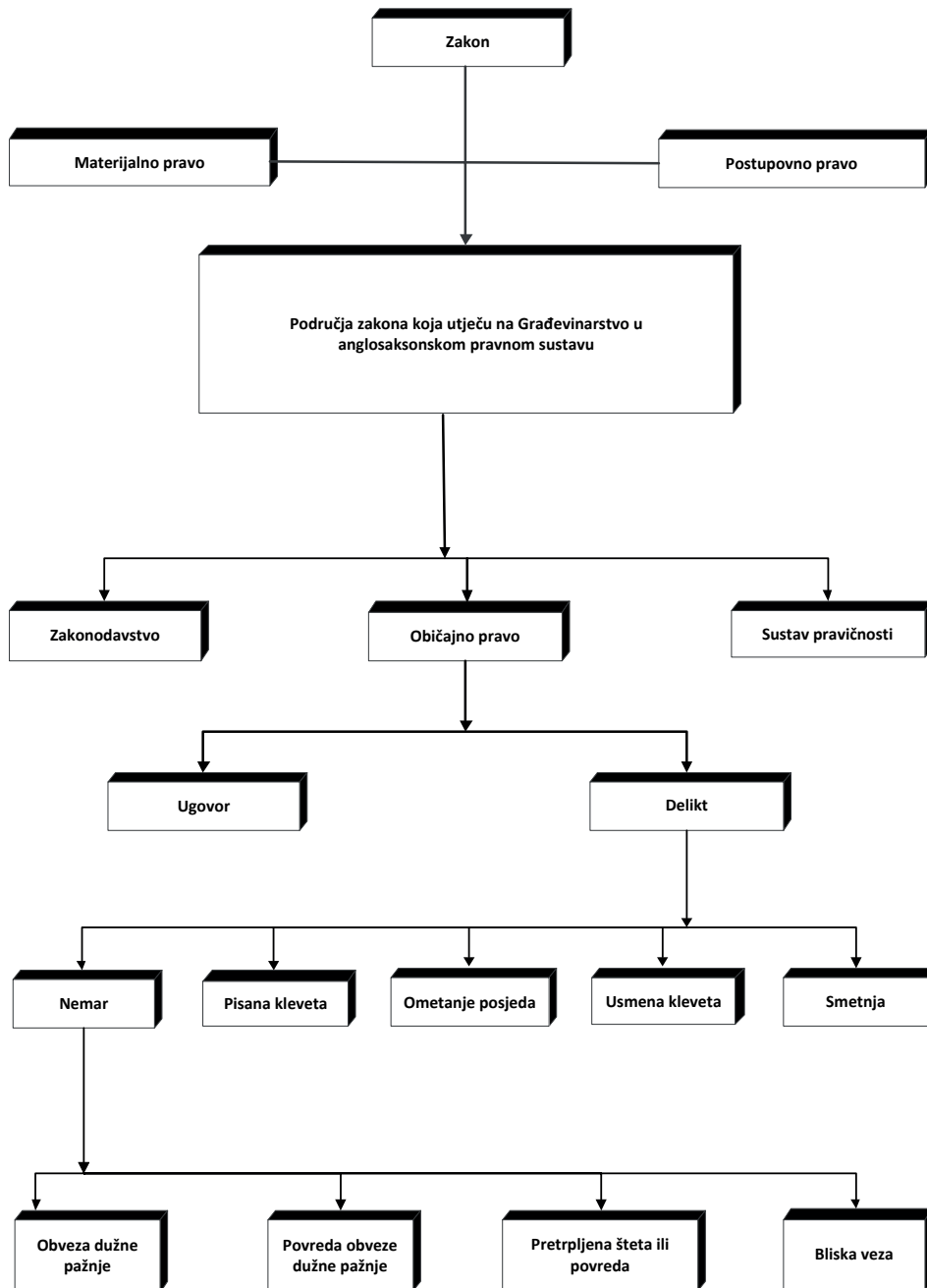
Općenito se može zaključiti da, bez obzira o kojem pravnom sustavu je riječ, u fazama životnog ciklusa Upravljanja ugovorom (engl. Contract Management) nastaju dvije vrste dokumentacije – ponudbena i ugovorna.

Ponudbena dokumentacija (engl. Bidding documents) se sastoji od poziva za davanje ponude i same ponude, dok Ugovornu dokumentaciju čine Ugovor i dokumentacija koja nastaje njegovom realizacijom. Tipična struktura ugovora koja se koristi u javnim radovima sastoji se od ugovornog sporazuma, posebnih i općih uvjeta ugovora, ponude, priloga, ugovornog troškovnika i nacрта.

Ugovorne strane također generiraju procese opskrbe resursima, procese promjene i kontrolne procese kao što su izvještavanje i nadziranje. Svi potprocesii upravljanja ugovornom dokumentacijom predstavljaju složeni organizacijski proces koji će detaljnije biti objašnjen u nastavku rada.



Slika 2. Područja rimsko-germanskog pravnog sustava koja utječu na građenje [1]



Slika 3. Područja anglosaksonskog pravnog sustava koja utječu na građenje [1]

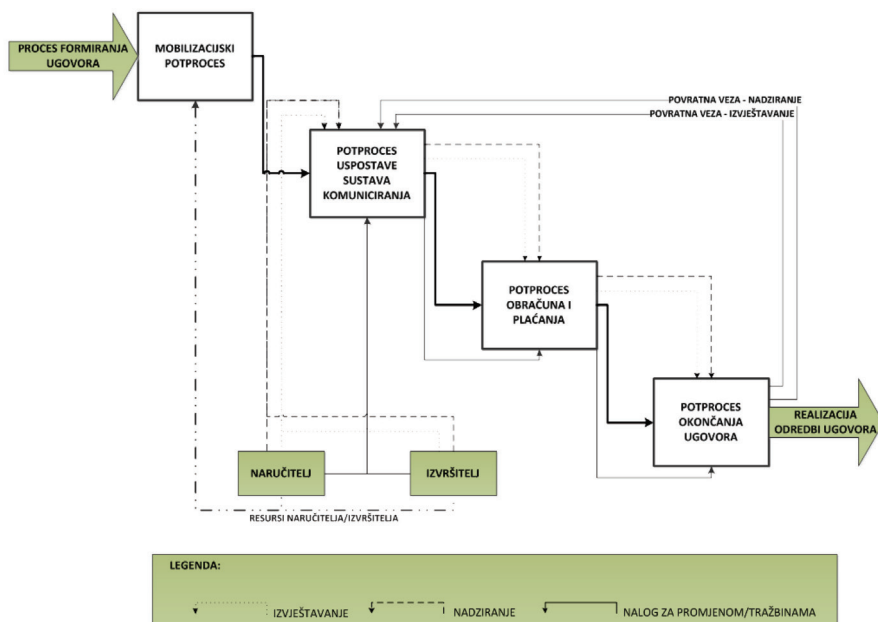
3. Procesna strukturiranost Upravljanja građevinskom ugovornom dokumentacijom

Prema definiciji [1, 2, 5, 6] koja glasi da je proces „skup povezanih aktivnosti koje, uz utrošak određenih resursa, pretvaraju ulazne parametre (engl. input) u izlazne (engl. output)“, upravljanje građevinskom ugovornom dokumentacijom možemo definirati kao proces. Proces se u praksi rijetko nalaze u svom pročišćenom obliku, već djeluju unutar složenih hijerarhijski organiziranih sustava. Na Slici 4 prikazan je proces upravljanja građevinskom ugovornom dokumentacijom.

Općeniti koncept procesa upravljanja ugovornom dokumentacijom (Slika 4) kao „input“ unosi procese proizašle iz faze formiranja Ugovora, dok „output“ predstavlja realizaciju odredbi samog Ugovora. Upravljanje građevinskom ugovornom dokumentacijom predstavlja složeni organizacijski proces koji se sastoji od niza potprocesa koji nisu organizirani u linearnom slijedu. Razlikujemo dva tipa potprocesa; generičke i ekstenzivne. Na proces aktivno djeluju ugovorne strane (Naručitelj i Izvođač) kao i kontrolni procesi koje potiče dijelom okolina, a dijelom Naručitelj i Izvođač.

3.1. Generički potproces

Potproces koji su stalni i pojavljuju se u svakom procesu upravljanja ugovornom se dokumentacijom nazivaju generičkim potprocesima te ih se može podijeliti na: mobilizacijski potproces (engl. Mobilization and Commencement), potproces uspostave sustava komuniciranja (engl. Communications and Correspondence), potproces obračuna i plaćanja (engl. Progress Billings and Payments) te potproces okončanja ugovora (engl. Contract Closeout).



Slika 4. Prikaz procesa upravljanja građevinskom ugovornom dokumentacijom

3.1.1. Mobilizacijski potproces

Mobilizacijski potproces započinje u trenutku izvjesnosti zaključenja ugovora. Ugovorne strane počinju s aktivnostima planiranja i organizacije realizacije poduhvata te sa mobilizacijom timova i resursa. Realizacija inicijalnih procedura povezana je sa stupanjem ugovora na snagu kao pravnom kategorijom koja se tumači u kontekstu mjerodavnog prava.

U hrvatskoj ugovornoj praksi ne postoje opći ugovorni uvjeti za izvođenje radova, kao ni dovoljno precizni uvjeti javne nabave. Ugovorna forma i elementi koji se odnose na započinjanje ugovora nisu standardizirani, pa se upravljanje ugovornom dokumentacijom kod osoba javnog prava razlikuje. Različita je i ugovorna praksa pri strukturiranju ugovora koje je posredno povezano s odredbama Zakona o javnoj nabavi. Te odredbe [11] definiraju sadržaj dokumentacije za nadmetanje iz koje se mogu razabrati opći i posebni uvjeti te prijedlog ugovora.

Takve zakonske odredbe nedostatne su za uspostavljanje stalne ugovorne prakse u uvjetima nepostojanja prikladne autonomne regulative, čime se u ranoj fazi stvara pravna nesigurnost i neučinkovitost upravljanja ugovornom dokumentacijom. O zadovoljavajućoj nacionalnoj ugovornoj praksi može se govoriti uglavnom tamo gdje se primjenjuju FIDIC-ove

ugovorne forme. Prema njima, ugovor se sastoji od ugovornog sporazuma, općih i posebnih uvjeta, dodatka ponudi, pisma ponude, priloga, ugovornih troškovnika i nacрта.

Inicijalne procedure započinju se odvijati na inicijalnim sastancima strogo formalnog karaktera. Njihova svrha je uvođenje Izvođača u posao, evidentiranje i usklađenje dokumentacije Ugovora, formalne razmjene imenovanja, utvrđivanje komunikacijskih kanala, razmjena inicijalnih podnesaka te uspostava inicijalnih procedura [2].

Inicijalni podnesci mogu biti vezani za komercijalno-administrativnu komponentu upravljanja ugovorom ili mogu imati tehnički karakter. Neki od podnesaka tehničkog karaktera su: programi osiguranja kvalitete izvedenih radova s odgovarajućom dokumentacijom o dokazu kvalitete i garancijama; tehnička dokumentacija, izvedbena dokumentacija, prikaz tehničkih rješenja, metoda i programa ispitivanja; prikaz mjera zaštite na radu, prikaz primjene mjera zaštite okoliša ili geodetskih izmjera. Neki od inicijalnih podnesaka vezanih uz komercijalni dio upravljanja ugovornom dokumentacijom su: obvezatna jamstvena i osiguravateljna dokumentacija, financijski i terminski plan izvršenja posla, građevinska dozvola i ostale dozvole i suglasnosti.

U sklopu jamstvene dokumentacije, važni inicijalni podnesak jest instrument osiguranja dobrog izvršenja posla. U hrvatskoj ugovornoj praksi obično se radi o bankarskoj garanciji za kvalitetno i pravovremeno izvršenje ugovorenih obveza. Međutim, uz taj inicijalni podnesak često se ne definira niti nadnevak do kojeg treba dostaviti garanciju, niti pripadajuće odredbe ukoliko se garancija ne dostavi.

Za razliku od FIDIC-a koji upravlja svim elementima garancije, Ugovori su strukturirani na način da se ne može jasno razabrati u kojim okolnostima se garancija može aktivirati. Inicijalni podnesci koji se odnose na osiguravateljnu dokumentaciju također su važan segment upravljanja ugovornom dokumentacijom, no u hrvatskoj ugovornoj praksi obično su nedovoljno definirani ugovornim stavkama. Naročito nedostaju opći zahtjevi za osiguranjem kojima se precizno utvrđuju obveze osiguravajuće stranke, uvjeti osiguranja i odobrenje Naručitelja, procedure plaćanja premija, postupci u slučaju da osiguravajuća stranka ne izvršava ili neuredno izvršava obvezu sklapanja i održavanja osiguranja, administriranje osiguravateljnom dokumentacijom te rokovi osiguranja [2, 3].

3.1.2. Potproces uspostave sustava komuniciranja

Potproces uspostave sustava komuniciranja započinje inicijalnim sastancima na kojima se utvrđuju procedure, oblici i standardi generiranja

i razmjene podataka, a traje koliko i cijeli proces upravljanja ugovornom dokumentacijom. Ovaj se potproces može razmatrati kao sastavni element sveobuhvatnijeg procesa upravljanja odnosima između ugovornih strana. Za razvoj i uspostavu sustava komuniciranja bitni su ugovorna odredba ugovornih strana; standardizacija procesa i potprocesa; obučenost komunikacijskih učesnika; generiranje i prijenos podataka baziran na informacijskim tehnologijama te zakonodavni okvir za elektronske transakcije.

Interakcija mnogobrojnih sudionika projekta odvija se najčešće u okolnostima komunikacije osoba koje se prvi put susreću i koje najčešće posjeduju vlastite komunikacijske navike i/ili procedure. Stoga je inzistiranje na komunikacijskoj kulturi temelj produktivnih odnosa među ugovornim stranama. Osim obimnosti i raznorodnosti dokumentacije razinu zahtjevnosti podiže činjenica da je većina dokumentacije i komunikacijskog materijala vremenski osjetljiva. To znači da dokumentacija ima smisao isključivo u vremenskom kontekstu, ali i reakcija ima smisao isključivo u odgovarajućem i/ili zahtijevanom vremenskom kontekstu [2].

Pravni smisao komuniciranja manifestira se kroz tri esencijalne postavke: pokazivanjem dostatnog stupnja komunikacije kojim se potvrđuje prihvaćanje ugovorne obveze, komuniciranjem koje mora zadovoljiti pravnu formu i pravnom formom komuniciranja cijelim tijekom trajanja ugovorne obveze. S tim u svezi treba istaknuti pravni karakter i značenje zapisnika sa sastanaka (engl. Minutes of Meeting). To je važan dokument u kojem se navodi sadržaj postignutog dogovora kojeg ugovorne stranke potpisuju [2, 3].

Kontrola i praćenje tijeka informacija zasnovana na informacijskim tehnologijama postaje važan element upravljanja ugovornom dokumentacijom. Stvaraju se takvi poslovni modeli koji pravodobno, brzo i troškovno učinkovito upravljaju tijekom informacija zato što je puno brže, lakše i jeftinije pratiti informacijske tokove, nego tokove fizičkih proizvoda (npr. dokumenata). Zbog toga se organizacijska struktura u današnje vrijeme gradi oko informacijskih tokova i na osnovi funkcioniranja informacijske tehnologije.

Već petnaestak godina razvijaju se „E-alati“ koji podupiru upravljanje i administriranje ugovornom dokumentacijom i koji su danas snažno integrirani specifičnom horizontalnom zakonskom regulativom [12]. Zahvaljujući učinkovitim komunikacijskim kanalima sudionici se povezuju tako da se stvara fenomen grupnog odlučivanja, što postaje neophodno za daljnje unapređenje i oblikovanje procesa komunikacije.

Poželjna praksa u upravljanju ugovornom dokumentacijom u potprocesu uspostave komunikacije je koncept „Document Tracking and Control System“ (DTCS). To je koncept sustava za praćenje i kontrolu dokumentacije koji se temelji na online komunikaciji i „E-alatima“ te, uz navedeno, zadovoljava i sve komunikacijske zahtjeve sudionika u građenju.

3.1.3. Potproces obračuna i plaćanja

Potproces obračuna i plaćanja dio je upravljanja ugovornom dokumentacijom kojemu se pridaje najviše pažnje. Postoje tri osnovna koncepta plaćanja (engl. Pricing methods): plaćanje temeljem ostvarenih troškova, plaćanje temeljem utrošenog vremena i plaćanje temeljem izvršenog djela. Oni su u pravilu funkcionalno povezani s nakanom praćenja dinamike i trendova izvedenih radova od strane Naručitelja. To dalje upućuje na način obračuna izvršenih radova, odnosno tehniku obračuna radova [2].

ZOO predviđa dva modela određivanja cijene građenja koja se zasnivaju na plaćanju temeljem izvršenog djela: „jedinичnu cijenu“ iz koje slijedi plaćanje temeljem „jedinice mjere ugovorenih radova“ odnosno „jedinичne cijene“ (u svjetskoj praksi nosi naziv „Unit price method“) i „ukupno ugovorenu cijenu“ (engl. Lump sum method). U praksi se pojavljuje i treći model - plaćanje temeljem ostvarenih troškova, što se može poistovjetiti s „Cost reimbursable pricing method“. Time nisu isključeni drugi cjenovni modeli, pa se može reći da se u hrvatskoj ugovornoj praksi oni utvrđuju ugovorom između Naručitelja i Izvođača.

Kod većih investicijskih projekata dominira model „Jedinичnih ugovornih cijena“. Rizik se načelno raspodjeljuje na način da rizik jedinичne cijene preuzima Izvođač, a rizik količina snosi Naručitelj (ukoliko je sam izradio projekte i troškovnike s dokaznicom mjera). Ti se rizici mogu dodatno moderirati (engl. adjustment). ZOO također predviđa primjenu ugovornih instrumenata kao što su klizna skala, indeksna klauzula te valutna klauzula, koja je vrlo popularna u hrvatskoj ugovornoj praksi.

Paušalna cijena (engl. Lump sum) ne može se poistovjetiti s nepromjenjivom cijenom iz ZOO-a. Paušalna cijena varira ovisno o primjeni ugovornih instrumenata, ali ne varira u ovisnosti o viškovima i manjkovima radova i ne isključuje primjenu ugovornih instrumenata kao što su klizna skala, indeksna klauzula te valutna klauzula.

Način pridržavanja plaćanja i način otplate predujma definira se Ugovorom. Procedure potprocesa mjesečnog obračuna i plaćanja provode se do kraja projekta. Središnju ulogu u potprocesu obračuna i plaćanja u nacionalnoj praksi ima Nadzorni inženjer. U praksi se vrši izmjera neto

stvarne količine svake stavke stalnih radova u skladu s troškovnikom ili odredbama iz tehničkih specifikacija, normativa i sl. Interesantno je da FIDIC predviđa da dokumentaciju na temelju koje se vrši izmjera svih stalnih radova izrađuje Nadzorni inženjer. Tada je obveza Izvođača izvršiti pregled i usuglasiti se s dokumentacijom. Hrvatska je građevinska praksa da Izvođač dokumentira radove u tzv. „građevinskoj knjizi“, a Nadzorni je inženjer pregledava i odobrava.

Nadzorni inženjer u pravilu rješava pitanje obračuna putem mjesečnih situacija čiji se minimalni iznosi limitiraju ugovorom (obično ne manje od 1% ugovornog iznosa). On će kontrolirati dokumentaciju i odobriti stalne obavljene radove, iznose koji se dodaju ili odbijaju temeljem varijacija cijene zbog promjena troškova, količina ili drugih okolnosti (korekcija zbog izmjene u zakonodavstvu), obračunat će avansirane i retencirane iznose, odobrene naknadne i nepredviđene radove te dodatke i odbitke koji dopijevaju temeljem potraživanja iz sporova. Na kraju će biti odbijen iznos obračunat u svim prethodnim situacijama. Proces obračuna i plaćanja senzibilan je i trpi od neadekvatne pripreme projekta te nepreciznih određenja ugovorne strategije u fazi planiranja ugovora (engl. Contract Planning) i fazi formiranja ugovora (engl. Contract Formation) [2, 3].

3.1.4. Potproces okončanja ugovora

Potproces okončanja ugovora pretpostavlja kulminaciju logističkih i organizacijskih napora ugovornih strana u izvršenju i dokumentiranju ugovornih obveza. Bitno je određen nekom od pravnih situacija. Kad su ugovorne strane prema obostranom uvjerenju ispunile svoje obveze, kažemo da je ugovor ispunjen, uspješno okončan ili uspješno završen. U hrvatskoj ugovornoj praksi raskid ugovora određen je ZOO-om. Raskid ugovora uobičajeno se smatra prestankom ugovora koji nije ispunjen. Načelno može biti na osnovi stranačke volje, što podrazumijeva sporazumni raskid i jednostrani raskid te raskid na temelju zakonom predviđenih okolnosti.

Hrvatsku ugovornu praksu karakterizira zakonska obveza u izvršenju ugovora. U anglosaksonskom pravnom sustavu koncept je drugačiji i usmjeren je u propisivanje onoga što se ne smije učiniti, a izvršenje obveze postiže se sankcijama kojima se nadoknađuje šteta za raskid ugovora. Posebno je interesantna situacija koja nema pandan u hrvatskoj ugovornoj praksi – „termination of the contract by frustration“. Do ove pravne situacije dolazi kad određeni događaj koji nije rezultat greške neke od ugovornih strana (npr. odredbe zakona ili druge okolnosti koje provedbu ugovora čine nemogućom) spriječi odvijanje ugovora. Tom se odredbom prekida odvijanje ugovora, ali ako izvođač svojevolumno nastavi s izvođenjem

radova nema pravo na naknadu. Naručitelj je dužan nadoknaditi troškove izvedenih radova do trenutka prekida te troškove demobilizacije, bez prava naknade za izgubljenu dobit.

Hrvatska praksa potprocesa okončanja ugovora nije jedinstvena i rješenja pojedinih Naručitelja javnog prava bitno se razlikuju. Cjelokupni potproces u osnovi se sastoji od potprocesa evidentiranja i prihvaćanja izvršene ugovorne obveze; potprocesa evaluacije tehničke izvedbe i prihvata tehničke dokumentacije te potprocesa evidentiranja ispunjenja ostalih obveza i prihvata odgovarajuće dokumentacije.

Potproces prihvaćanja izvršene ugovorne obveze počinje Izvođačevom pismenom izjavom (engl. Contractor's Notice) da je izvršio ugovornu obvezu, odnosno dovršio cjeline za koje je izdana građevna dozvola u skladu s građevnom dozvolom i projektnom dokumentacijom. Njome Izvođač od Nadzornog inženjera traži izdavanje „Potvrde o preuzimanju radova“ (u FIDIC-u to je „Taking over certificate“) uobičajeno 14 dana prije nego što će po njegovom mišljenju radovi biti završeni i spremni za preuzimanje. Nadzorni inženjer izjavu Izvođača kontrolira i prihvaća ili odbija uz obrazloženje (unutar 28, a prema FIDIC-u unutar 21 dan). Kad Izvođač po nalogu Nadzornog inženjera ispunji sve zahtjeve, Nadzorni inženjer izdaje „Potvrdu o preuzimanju radova“ navodeći dan kad su radovi dovršeni u skladu s ugovorom. To je i nadnevak ispunjenja ugovorne obveze, pa se od njega obračunava nadoknada štete ili nagrade za kašnjenje (engl. Liquidated damages for delay). Potom Nadzorni inženjer i ostali sudionici u građenju (izjavu daju i Projektant i Revident) sastavljaju završno izvješće koje ima isključivo tehnički karakter i predstavlja sastavni dio dokumentacije u procesu tehničkog pregleda i ishodovanja uporabne dozvole.

Prihvatljiva je praksa da se postupak tehničkog pregleda ne izdvaja iz ugovornog roka. Kad Izvođač napusti gradilište, Naručitelj preuzima brigu o građevini (engl. Care of Works) te sam preuzima rizik i osiguranje. Ukoliko Nadzorni inženjer ne izda Potvrdu o preuzimanju ili propusti odbiti zahtjev izvoditelja u roku od 28 dana, a radovi su u bitnom skladu s Ugovorom, smatrat će se da je potvrda izdana posljednjeg dana roka. Ukoliko Naručitelj počne koristiti dio radova, smatrat će se da je preuzet s nadnevkom početka korištenja. Tako u osnovi izgleda potproces prihvaćanja ugovorne obveze i proces evaluacije tehničke izvedbe.

Potproces prihvaćanja odgovarajuće dokumentacije odnosi se na upravljanje financijskom i jamstvenom dokumentacijom. Potproces okončanja upravljanja financijskom dokumentacijom započinje nakon što Izvođač primi „Potvrdu o preuzimanju radova“ te Nadzornom inženjeru ispostavi zahtjev za ovjerom privremene situacije. Nakon ovjere

ove privremene situacije Izvođač dostavlja nacrt Okončane situacije s vrijednošću svih obavljenih radova u skladu s Ugovorom te iznosa koji su dospjeli temeljem Ugovora ili drugim načinom. Nadzorni će inženjer zatražiti eventualna dodatna pojašnjenja i dopune te uskladiti nacrt Okončane situacije s Izvođačem. Ako do sporazuma Nadzornog inženjera i Izvođača ne može doći, nesporni dio tretirat će se kao privremena situacija do okončanja spora. Ako Naručitelj nije zatražio Okončanu situaciju te, usprkos traženju Nadzornog inženjera ne podnese zahtjev, Nadzorni će inženjer sam načiniti okončanu situaciju. Garancija banke za dobro izvršenje posla mora biti valjana kumulativno dok Izvođač ne dovrši radove i otkloni nedostatke, dok mu Nadzorni inženjer ne izda „Potvrdu o preuzimanju radova“ te dok se ne sačini okončana situacija kojom će se sankcionirati eventualna ugovorna kazna (penali).

Također postoji praksa hrvatskih javnih Naručitelja da se garancija vraća Izvođaču tek kad preda garanciju banke za otklanjanje nedostataka u garantnom roku za izvršene radove (engl. „Defects Liability Period“ ili engl. „Guarantee period“) koji u hrvatskoj ugovornoj praksi temeljenoj na ZOO-u iznosi 2 godine (engl. „Maintenance period“ u FIDIC-u, engl. „Maintenance certificate“ ili „Defect liability certificate“ po izdavanju kojeg u Common Law sustavu Naručitelj nema pravo daljnjih prigovora nedostacima građenja) [2].

Potproces okončanja ugovora generira obimnu i iznimno važnu dokumentaciju za obje ugovorne strane s visokim zahtjevima točnosti. Upravo okolnost pojačanog angažiranja resursa pri dovršetku projekta predstavlja dodatni izazov jer se pojačava i zahtjev za administriranjem i zahtjev za tehničkim nadgledanjem izvedbe.

U praksi se zbog takvog pritiska svjesno ili nesvjesno odstupa od procedura. Sustavno pripremana dokumentacija kojom se upravlja kroz konzistentne i provjerene standardne forme ugovora preduvjet je za upravljanje potprocesom okončanja ugovora. To je vjerojatno i razlog što se FIDIC-ove forme široko upotrebljavaju te se i u hrvatskoj građevinskoj praksi kod Naručitelja javnog prava uspješnim smatraju upravo one koje se temelje na FIDIC-ovim rješenjima, razumijevajući razlike koje proizlaze iz različitosti pravnih sustava [2, 3].

3.2. Ekstenzivni potproces

Uz stalne, generičke potprocese unutar procesa upravljanja ugovornom dokumentacijom prisutni su i potproces koji su vjerojatni u smislu pojavnosti, ali nepredvidljivi u smislu obima i učestalosti te stoga imaju ekstenzivni karakter otkuda i vuku ime. Ti potproces su potaknuti svjesnim djelovanjem ugovornih strana koji, uzrokujući posredne i

neposredne povratne veze, utječu na same potprocese i/ili predstavljaju reakciju na promjene koje nastaju tijekom odvijanja procesa. Ekstenzivni potprocesi su: potproces upravljanja promjenama ugovorne dokumentacije (engl. Change Management), potproces upravljanja tražbinama (engl. Claims Management), potproces izvještavanja (engl. Contract Reporting) i potproces nadziranja (engl. Contract Auditing).

3.2.1. Potproces upravljanja promjenama ugovorne dokumentacije

Promjena nije vanvremenski događaj već proces kojim se može i treba upravljati. Općenito je poznato da se ciljevi sustava postižu njegovim upravljanjem [13]. Time se ostvaruje nastojanje sustava za kontinuitetom funkcioniranja, povećanjem efikasnosti, ali i kontinuitetom povećanja efikasnosti. Upravo sposobnost sustava da zadrži stabilnost u promjenjivim, dinamičkim uvjetima, tj. prilikom utjecaja promjena, analogna je sposobnosti zadržavanja smisla i operativnosti ugovornog odnosa u uvjetima promjena.

Kao temeljni ugovorni odnos izdvaja se odnos Naručitelja i Izvođača te upravo njihovo obostrano prihvatanje načela uspostave implementacije promjena predstavlja osnovu održivog ugovornog odnosa [2, 3]. Prvo je načelo ono temeljem kojeg se dozvoljavaju promjene na radovima, a ne dozvoljavaju na odredbama ugovora, drugo se načelo odnosi na dodjeljivanje jasno utvrđenih ovlasti Agentu naručitelja u upravljanju varijacijama ugovora i razrješavanju tražbina i promjena, a treće se načelo odnosi na zahtjev za dokumentiranjem promjena [2]. U uvjetima promjena bitno je istaknuti zahtjeve prema stabilnosti i operativnosti ugovornog odnosa koji je uobličen Ugovorom, odnosno istovremenoj sposobnosti za fleksibilnošću prema promjenama uz sposobnost očuvanja ugovorne nakane.

Potproces upravljanja promjenama može se razložiti na dodatne potprocese, no bitno je naglasiti direktnu vezu s generičkim potprocesom obračuna i plaćanja.

3.2.2. Potproces upravljanja tražbinama

Okruženje u kojem se realiziraju projekti je izrazito dinamičko i složeno do te mjere da nije moguće predvidjeti i djelovati na sve okolnosti koje mogu izazvati tražbine. Nastojanje u tom smislu dovelo bi do neracionalnog i obimnog normiranja ili uspostave kompleksnog sustava prevencije čime se poslovni rizik i dalje ne bi mogao u potpunosti poništiti [2].

Uzroke tražbina ugovornih strana treba tražiti u složenoj strukturi međuodnosa i inkompatibilnosti interesa Naručitelja i Izvođača [2,

3]. Glavnina potprocesa upravljanja tražbinama sastoji se u prihvatu, razumijevanju i pravičnoj raspodjeli tražbinskih situacija nastalih u složenom okruženju.

U osnovi svake tražbine je zahtjev za nadoknadom štete u pravnom smislu. Posljedica tražbina su dodatni troškovi, bilo zahtjevi u vremenu i/ili novcu ili nekoj drugoj tražbini koji mogu biti posljedica promijenjene izvedbe radova, ali i posljedica djelovanja promijenjene izvedbe radova na ostale radove. Relativno je lako kvantificirati i opisati posljedicu promijenjenih radova.

Shodno zahtjevu Izvođača, Naručitelj ili njegovi agenti zaprimat će zahtjev za tražbinom, izvršit će provjeru navoda Izvođača, utvrditi ugovornu ili pravnu osnovu tražbine te pristupiti provjeri kalkulacije troška navedenog u tražbini.

3.2.3. Potproces izvještavanja

Izvjestavanje o statusu ugovora je proces koji kontinuirano djeluje kroz sve faze životnog ciklusa jednog projekta, a time i samog ugovora, naročito u fazi upravljanja ugovornom dokumentacijom. Ono predstavlja posebnu formu unutar velike skupine izvještavanja o projektu. Stoga je zbog potrebe izbjegavanja konfuzije prilikom izvještavanja nužno utvrditi mjerljive pokazatelje ključnih elemenata izvedbe (npr. prikaz odnosa planiranih i stvarno plaćenih radova, prikaz broja naloga za promjenom, prikaz troškovne komponente naloga za promjenom u odnosu na izvorno ugovorene iznose, prikaz vremenskih komponenti i dr.).

Izvjestavanje o statusu ugovora, u dijelu koji se odnosi na proces upravljanja ugovornom dokumentacijom, usmjereno je na identificiranje situacija koje mogu ugroziti odvijanje projekta i provedbu korektivnih akcija. Posebno je usmjereno na faktore koji utiču na komercijalne učinke procesa upravljanja ugovornom dokumentacijom [2].

Koncept izvještavanja o statusu ugovora je potpun i zaokružen ne samo kada se izvještava o učincima koje proizvodi Izvođač, već i o učincima koje proizvodi Naručitelj. Ti učinci se trebaju mjeriti i valorizirati, kako vremenski, tako i troškovno.

3.2.4. Potproces nadziranja

Nadziranje procesa upravljanja ugovornom dokumentacijom predstavlja zbir aktivnosti dodatne i neovisne kontrole te revizije ugovornog procesa organiziranog u formaliziranom potprocesu. Potproces nadziranja je

neovisan od odvijanja pojedinih potprocesa, a svrha mu je verifikacija i evaluacija učinaka upravljanja ugovorom [2, 3].

Sam potproces može imati tri aspekta: financijsko-računovodstveni, troškovni i nadzorni. Bitno je napomenuti kako potproces nadziranja nema za cilj pronalaženje grešaka i krivaca, već unapređenje sustava.

Nadziranje procesa trebalo bi biti usmjereno prema analizi rizika projektnog okruženja radi upravljanja rizikom, pa se u funkciji unapređenja procesa i sustava, može očekivati uzročno-posljedična analiza koja će rezultirati „profilom rizika pojedinog procesa“ i predstavljati osnovu za ocjenu efektivnosti procesa [2].

4. Zaključak

Upravljanje građevinskom ugovornom dokumentacijom predstavlja složeni organizacijski proces te integralni dio životnog ciklusa upravljanja ugovorom. Osiguranje izvršenja ugovornih obaveza svih ugovornih strana u skladu sa zahtjevima ugovora predstavlja osnovnu svrhu upravljanja građevinskom ugovornom dokumentacijom. Organizacijska složenost procesa je prikazana unutar ovog rada njegovim razlaganjem na generičke i ekstenzivne potprocese.

Uvođenje novih modela financiranja, rastući zahtjevi tržišta i tržišne dokumentacije kao i povećanje složenosti i obima projekata samo su neki od elemenata koji utječu na građevinsku ugovornu praksu u Republici Hrvatskoj. Prilikom izvođenja velikih javnih projekata financiranih od strane međunarodnih financijskih institucija mora se primijeniti međunarodna ugovorna praksa i pravni sustavi. Kod takvih projekata vrlo je bitno postojanje kvalitetne ugovorne prakse kao jednog od glavnih uvjeta za odobravanje kreditnih aranžmana. U slučaju nepostojanja adekvatne nacionalne ugovorne prakse, široka je primjena ugovornih formi FIDIC-a.

Prisustvovanje ugovornih formi temeljenih na pravnom sustavu koji ne odgovara nacionalnom uzrokuje brojne probleme i konflikte od kojih su neki od njih obrađeni unutar ovoga rada. Možda jedan od najizrazitijih problema leži u činjenici da se prestankom svakog javnog projekta projektni tim razbija te iskustvo i stečeno znanje, koje bi se moglo prenijeti na daljnje projekte i uobličiti kao „najbolja praksa“ (engl. „Best practice“), nestaje. Takav odnos prema projektima i stečenom projektnom znanju direktno utječe na stagnaciju upravljanja ugovornom praksom.

Iako se u radu nije govorilo o unapređenju samog procesa, vidljivo je da već samim djelovanjem na disipaciju navedenog znanja može doći

do razvoja autonomne regulative. Uzimajući u obzir činjenicu da država ne želi regulativu kao ulaznu prepreku kojom će si otežavati uspostavu kreditnih aranžmana kojima financira realizaciju javnih radova, očito je da će do uvjeta i spremnosti za razvoj autonomne regulative doći promjenom konstelacije širih političkih i ekonomskih odnosa, poput pristupanja Hrvatske Europskoj uniji i srednjoeuropskoj pravnoj tradiciji, kao i promjenom modela financiranja javnih radova. Zbog povećanja međunarodne investicijske aktivnosti, opći trend odmaka ugovorne prakse od nacionalnih zakonodavstava bit će još uočljiviji.

Literatura

- [1] Bunni, N.G., *The FIDIC Form of Contract – The Fourth Edition of the Red Book*. BSP Professional Books, Oxford, 1991.
- [2] Bošković, D., *Upravljanje građevinskom ugovornom dokumentacijom*. Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2006.
- [3] Bošković, D., Procesna analiza i metrika složenih organizacijskih procesa. *Građevinar*. 60: 327 – 335, 2008.
- [4] Zakon o Hrvatskoj komori arhitekata i inženjera u graditeljstvu. *Narodne novine*, br. 47/1998.
- [5] PMI. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*. 3rd Ed., Project Management Institute, Newtown square PA, 2004.
- [6] NCMA National Contract Management Association. 2012., <http://www.ncmahq.org>.
- [7] Garret, G.A., Rendon, R.G., *Contract Management*. National Contract Management Association, Greensboro Drive, 2005.
- [8] Gilbreath, R.D., *Managing Construction Contracts*. Construction Business and Management Library, Dulluth, 1992.
- [9] Zakon o prostornom uređenju i gradnji. *Narodne novine*, br. 76/2007.
- [10] Zakon o obveznim odnosima. *Narodne novine*, br. 35/2005.
- [11] Zakon o javnoj nabavi. *Narodne novine*, br. 90/2011.
- [12] Samellson, A., Bedwell-Coll, A., The E-Sign Law: What Does It Mean for Government Contracting Practice?. *Journal of Contract Management*, 43: 35 – 43. 2003
- [13] Bauman, N., *How to Deal With Complexity; Viable System Model*. Conference „Change Management“, Zagreb, 2006.

UPRAVLJANJE JAVNIM INFRASTRUKTURNIM PROJEKTIMA FINANCIRANIM IZ EU FONDOVA U JEDINICAMA LOKALNE SAMOUPRAVE

PUBLIC INFRASTRUCTURE PROJECT MANAGEMENT IN LOCAL GOVERNMENT UNITS FINANCED BY EU FUNDS

Dario MEDVEDEC, Dražen BOŠKOVIĆ, Ivan MAROVIĆ

Sažetak

Hrvatska će ulaskom u Europsku uniju imati na raspolaganju značajna sredstva iz strukturnih fondova. Time našim jedinicama lokalne samouprave (u daljnjem tekstu: JLS) postaju dostupna sredstva za financiranje vlastitih infrastrukturnih projekata. Dosadašnja je praksa pokazala da je priprema za realizaciju infrastrukturnih projekata kompleksna i dugotrajna (uobičajeno traje dvije do tri godine), uz značajne rizike odbacivanja projekata od strane Europske unije (u daljnjem tekstu: EU). U tom smislu, u radu se analizira postupak prijave na natječaje EU fondova namijenjenih financiranju infrastrukturnih projekata, ali i organizacijske pretpostavke koje JLS pri tome moraju zadovoljiti. U radu se ukazuje na realizaciju smjernica planiranja projekata kandidiranih za sredstva iz EU fondova te se detaljno navodi projektna procedura za realizaciju projekata komunalne infrastrukture JLS. Procedura i saznanja koja se razmatraju prikupljena su iz uspješne prijave na IPARD pretpristupni fond (čija će dobivena sredstva biti iskorištena za izgradnju četiri kilometra duge sanitarne kanalizacije na području Grada Kastva). Dokumentacija i obrasci provjereni su i potvrđeni od strane Agencije za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju koja je odgovorna za provedbu mjera IPARD programa (PRAG metodologija). WBS-om (Work Breakdown Structure) sa naznačenom vremenskom dispozicijom pojedinih projektnih procesa određuje se iskustveni

* Građevinski fakultet sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka

E-mail: dario.medvedec@ri.t-com.hr, drazen.boskovic@gradri.hr, ivan.marovic@gradri.hr

obrazac procedure prijave za sredstva EU. Koristeći metodologiju longitudinalne studije slučaja (Longitudinal Case Study), donose se zaključci o razini pripremljenosti projekta (Maturity) za nominaciju za dobivanje sredstava iz EU fondova. Također, posebno se razmatraju mjere restrukturiranja i menadžerizacije JLS kao oblik organizacijske prilagodbe nužan za realizaciju takvih projekata.

Ključne riječi: *IPARD, jedinice lokalne samouprave, PRAG - metodologija, Project Maturity*

Abstract

After entering the European Union Croatia will have significant resources from the structural funds at its disposal. Therefore these funds will be available to local governments (hereinafter referred to as LG's) to finance their own infrastructure projects. Previous practice has shown that the preparation for the implementation of infrastructure projects is a complex and lengthy procedure (usually taking two to three years), with a significant risk of project rejection by the European Union (hereinafter: EU). Therefore, this paper analyzes the application procedure for EU funds designated for financing infrastructure projects and also the organization conditions that an LG must meet. This paper presents the implementation guidelines for planning the projects nominated to obtain resources from the EU funds. Also, this paper specifies in detail the project procedure for the realization of LG municipal infrastructure projects. The procedure and cognitions that are presented were collected from the successful application to IPARD pre-accession fund (approved funds will be used for a four kilometer long sanitary sewer construction in the City of Kastav). Documentation and forms were checked and confirmed by the Paying Agency for Agriculture, Fisheries and Rural Development, which is responsible for the implementation of the IPARD program (PRAG methodology). The WBS (Work Breakdown Structure) with specified time disposition of some project processes determines the experiential pattern of the applying procedure for EU funding. Using the methodology of longitudinal case study (Longitudinal Case Study) conclusions have been drawn about the level of preparedness of the project (Maturity) for the nomination for receiving the resources from the EU funds. Also, measures of restructuring and managing the LG, as a form of organizational adjustments necessary for the realization of such projects, are taken into consideration.

Key words: *IPARD, local governments, PRAG - methodology, Project Maturity*

1. Uvod

Izgradnja komunalne infrastrukture predstavlja veliki izazov za svaku jedinicu lokalne samouprave. Standardi koje postavlja EU i koje je potpisala RH u pretpristupnom sporazumu traže od javne uprave dodatne financijske i intelektualne napore. Ulaskom Hrvatske u EU stvoreni su preduvjeti

za dobivanje značajnih sredstava iz raznih programa te strukturnih i kohezijskih fondova. Obzirom na trenutno stanje u kojem javnoj upravi nedostaju sredstva za pokretanje infrastrukturnih projekata, nameće se potreba za osiguranjem dodatnih sredstava ponuđenih u fondovima EU.

Sam rad ukazuje na složenost upravljanja javnim infrastrukturnim projektima te se upotrebom longitudinalne studije slučaja prikazuje faznost, međusobna uzročnost i povezanost pojedinih dijelova projekta. Većina procedura koja je obrađena predstavlja „*best practice*“ i rezultat je uspješne prijave za dobivanje sredstava iz IPARD programa – Mjera 301.

Posebna pažnja posvećena je implementaciji projekta kojom se razrađuje način pristupa upravljanju projektnim ciklusom te je osobito dan naglasak na organizacijski aspekt pripreme projekta. U tom smislu prikazana je projektna organizacijska struktura nužna za realizaciju jednostavnih manjih projekata koje mogu voditi same JLS i složenih projekata kod kojih je potrebno organizirati poseban projektni tim.

Također, u radu se prikazuje procedura prijave na IPARD program – Mjera 301, od postupka prijave na natječaj preko određivanja prava i obveza korisnika IPARD programa, detaljnog prikaza postupka javne nabave po PRAG proceduri, do ugovaranja i kontrole prije, tijekom i nakon izgradnje određenog objekta komunalne infrastrukture.

Upravljanje javnim infrastrukturnim projektima financiranim iz fondova EU zahtjeva puno truda, stručnog znanja i vremena, a dobar dio projekata koji su kandidirani za dobivanje sredstava iz programa i fondova EU nije uspjelo dobiti sredstva zbog niza većih ili manjih proceduralnih grešaka.

2. Infrastrukturni projekti financirani iz fondova Europske unije

2.1. Programi EU

Postoje mnogobrojni programi koji se financiraju iz proračuna EU: oni se međusobno razlikuju obzirom na svoj karakter, područje intervencije, veličinu i način provedbe. Programi se definiraju za višegodišnje razdoblje, a tijekom godina se nadograđuju, spajaju, razdvajaju i ukidaju. Kako su se razvijali odnosi Hrvatske s EU, tako su se mijenjali i programi.

Ulaskom u EU i otvaranjem pristupa strukturnim fondovima količina sredstava namijenjenih ulaganjima u javnu infrastrukturu znatno će porasti. Procjenjuje se da će Hrvatskoj biti na raspolaganju iznosi oko deset puta veći nego u pretpristupnom razdoblju, a administrativno

osposobljavanje za pristupanje EU izgubit će na važnosti i prepustiti prioritet investicijama u konkurentnost regija, prometnu, energetska infrastrukturu te infrastrukturu za zaštitu okoliša. Najveće investicije Europa predviđa kroz Kohezijski fond namijenjen zaštiti okoliša i prometu, ali javna infrastruktura značajno će se financirati i kroz Europski fond za regionalni razvoj (u daljnjem tekstu: ERDF) [1].

Također, važno je znati da sredstva iz EU u zemlju korisnicu dolaze s „rokom trajanja“. Za strukturne fondove važi pravilo n+2 ili n+3 po kojem država mora za 2 ili 3 godine utrošiti sredstva po svim procedurama (izabrati projekte, sklopiti ugovore s korisnicima, izvršiti plaćanja za provedbu projekata) jer se ona inače vraćaju u proračun EU. Za Hrvatsku kao novu članicu očekuje se vjerojatno fleksibilniji n+3 režim. Sredstva doznačena u 2013. morat će se potrošiti na zrele projekte do 2016. godine, što znači da već u prvoj godini korištenja fondova moramo imati niz kvalitetnih projekata spremnih za provođenje.

Zbog prilika koje se otvaraju mogućnošću korištenja sredstava iz fondova EU Hrvatska mora tretirati EU kao partnera koji će joj pomoći u podizanju kvalitete javne infrastrukture, ali i kao partnera koji će kroz sposobnosti administracije da projekte planira, priprema i provodi dodatno ojačati javnu upravu.

2.2. IPARD program

IPARD (*IPA Rural Development*) je pretpristupni program Europske unije za razdoblje od 2007. – 2013. godine. Sastavni je dio IPA-e i to 5. komponente programa IPA – ruralni razvoj. Odlukom Vlade RH, od 26. ožujka 2008. godine (NN 34/08), IPARD programom upravlja Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja (danas Ministarstvo poljoprivrede), Uprava za ruralni razvoj - Upravna direkcija SAPARD/IPARD programa, dok program (mjere) provodi Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR). Nacionalni fond u Ministarstvu financija je tijelo odgovorno za upravljanje financijskim sredstvima namijenjenim provedbi IPARD programa.

Unutar IPARD programa postavljena su tri prioriteta:

- poboljšanje tržišne učinkovitosti i provedbe standarda Europske unije;
- pripreme radnje za provedbu poljoprivredno - okolišnih mjera i lokalnih strategija ruralnog razvoja;
- razvoj ruralne ekonomije.

Odlukom Europske komisije (EK) (2011/C 85/04), 17. ožujka 2011. godine dobiven je prijenos ovlasti za mjere:

Mjera 301 - „Poboljšanje i razvoj ruralne infrastrukture“ i

Mjera 302 - „Diversifikacija i razvoj ruralnih gospodarskih aktivnosti“

Predmet interesa ovog rada je Mjera 301 - „Poboljšanje i razvoj ruralne infrastrukture“ koja omogućuje ulaganja u sljedećim sektorima:

- sustav kanalizacije i pročišćavanja otpadnih voda;
- lokalne nerazvrstane ceste;
- toplane;
- protupožarne prosjeke s elementima šumskih cesta.

Korisnici za ulaganja unutar mjere 301 su gradovi i općine u RH s manje od 10.000 stanovnika prema popisu iz 2001. godine.

3. Upravljanje projektnim ciklusom

3.1. Definicija projekta i faze provedbe

Upravljanje projektnim ciklusom pojam je koji se koristi za opisivanje aktivnosti upravljanja i postupaka odlučivanja koji se primjenjuju tijekom trajanja projekta (uključujući glavne zadatke, uloge i odgovornosti, glavne dokumente i opcije odluka).

Upravljanje projektnim ciklusom (u daljnjem tekstu: UPC) pomaže osigurati da:

- projekti podržavaju opće ciljeve politike EK i razvojnih partnera;
- su projekti relevantni za dogovorenu strategiju i za stvarne probleme ciljnih skupina/korisnika;
- su projekti izvedivi, što znači da se pojedinačni ciljevi mogu realno postići u okviru ograničenja koje postavlja okruženje u kojem djeluju i sposobnosti agencija za provedbu projekata; te
- da će se izvedbom projekta ostvariti korist.

Prema smjernicama za upravljanje projektnim ciklusom Europske komisije i Europe Aid-a „Projekt je niz aktivnosti kojima se nastoje ostvariti jasno određeni ciljevi u utvrđenom roku i s utvrđenim sredstvima“ [2].

U provedbi projekta potrebno je razlikovati dvije glavne faze:

- I. Faza - izrada projekta;
- II. Faza - upravljanje projektom koje počinje nakon prihvaćanja projekta i potpisivanja ugovora.

Projekti koji se financiraju iz fondova i programa EU mogu se baviti isključivo prioritetom i mjerom iz Operativnog programa. Mjera se navodi u pozivu na podnošenje prijedloga, a ako se planirani projekt ne bavi nekim od prioriteta ili mjera iz Operativnog programa, on će se smatrati neprihvatljivim [3]. Za realizaciju projekta potrebno je dobro upravljati projektnim ciklusom (UPC) te dobro definirati ciklusne aktivnosti [4].

3.2. Planiranje projekta financiranog iz fondova Europske unije

Prije podnošenja zahtjeva, molbe ili ponude za financiranje pojedinog projekta valja razmisliti o ključnim prednostima projekta i pobrinuti se da se oni slažu s prioritetima Europske komisije.

Kako bismo projektu osigurali veće šanse za dobivanje sredstava iz fondova EU isti mora:

- biti dobro planiran;
- odlično prezentiran;
- zadovoljavati osnovne ciljeve i strategije EK;
- biti koncipiran na način da osigurava dobit na uložena financijska sredstva;
- osigurati trenutnu korist po svom dovršetku;
- imati osiguran tim za provedbu projekta;
- poželjno je da je nastavak na projekte koji su već financirani iz fondova EU.

3.3. Koraci u izradi projekta

3.3.1. Identificiranje problema koji će se riješiti projektom

Svaki projekt se provodi sa ciljem rješavanja određenog problema. Kada projekt provodi JLS, prva je zadaća utvrditi javno značenje projekta. U ovoj fazi vrlo je važno identificirati problem koji se želi riješiti projektom, izraditi SWOT analizu snaga, slabosti, prilika i prijetnji, utvrditi razloge pokretanja projekta, jasno definirati što se projektom namjerava poboljšati te povezati projekt sa širom zajednicom. Da bi se dobro identificirali problemi, važno je prikupljanje svih informacija i podataka koji su relevantni i dostupni (poput studija, raznih analiza, zakonske regulative, provjere rezultata prijašnjih projekata, statističkih podataka, itd.). Odmah na početku, potrebno je provjeriti je li projekt relevantan obzirom na željeni Program i je li potencijalno prihvatljiv u kontekstu određenog Programa.

Prilikom identificiranja problema važno je pažljivo odrediti veličinu projekta i utvrditi je li projekt jednostavan ili polivalentan s više ciljeva. Veličina projekta kasnije će definirati projektnu organizacijsku strukturu,

a ovisno o organizacijskoj strukturi ovisit će i koliko ljudi će biti uključeno u projekt. Vrlo je važno dobro procijeniti vlastite organizacijske potencijale kako bismo projektom lakše upravljali i uspješno ostvarili njegove ciljeve.

3.3.2. Definiranje ciljne skupine

Ciljna skupina je skupina kojoj je projekt namijenjen i na koju je stavljen naglasak u Smjernicama za podnositelje prijave za bespovratna sredstva. Ciljna skupina mora imati izravne koristi od projekta čak i ako im nikakva sredstva ne budu izravno isplaćena. Ciljnu skupinu treba pažljivo definirati jer je NEĆETE MOĆI promijeniti čak i ako budete imali poteškoća s pridobivanjem tih osoba za sudjelovanjem u projektu.

3.3.3. Utvrđivanje ciljeva

Ciljevima projekta (*Project objectives*) utvrđujemo što želimo napraviti i utvrđujemo kratkoročni ili dugoročni mjerljivi korak u određenom vremenskom roku. Ciljevi nam pomažu razjasniti svrhu koju želimo ostvariti te strategiju kojom ćemo pridonijeti njezinome ostvarenju te predstavljaju okvir za osmišljavanje projektnoga procesa.

Glavne vrste ciljeva:

- opći cilj (ponekad se naziva i ukupni cilj);
- posebni ciljevi.

Opći cilj opisuje širi i dugoročni cilj projekta u širem kontekstu politike. Njime se daje odgovor na pitanje: „Zašto je projekt važan?“. Kroz opći cilj se ukazuje na općenitu potrebu u pogledu razvoja, a njegovom ispunjenju bi trebala pridonijeti specifična svrha projekta.

Posebni cilj predstavlja ono što bi se projektom trebalo ostvariti u zadanom roku.

3.3.4. Utvrđivanje pokazatelja

Pokazatelji se koriste radi mjerenja, i to je zapravo način da izrazite „koliko“, „u kojem opsegu“ ili „koje veličine“ će se projekt provoditi. Pokazatelji pružaju osnovu za mjerenje uspješnosti projekta, pa je potrebno posvetiti posebnu pozornost izradi pokazatelja. Oni bi trebali biti mjerljivi (uz prihvatljivi trošak) i u okviru kapaciteta organizacije koja provodi projekt. Pokazatelji se također utvrđuju kako bi se pružile informacije provoditeljima projekta i Ugovaratelju i predstavljaju ključni element za evaluaciju projekta. Kod utvrđivanja pokazatelja važno je ne obećavati nemoguće zbog toga što ste precijenili vještine i sposobnosti svoje organizacije!

3.3.5. *Određivanje aktivnosti*

Aktivnost opisuje ono što će se u projektu raditi kako bi se predviđeni ciljevi ostvarili. Poželjno je opisati samo one aktivnosti koje dovode do konkretnih rezultata. Neke od njih su studije i istraživanja, seminari, studijski posjeti, izobrazba, priručnici i dr.

Opis aktivnosti mora biti dovoljno iscrpan kako bi ocjenjivači i službenici zaduženi za nadzor mogli točno shvatiti što namjeravamo učiniti te kako bi mogli procijeniti troškove koje se planira za svaku od aktivnosti.

3.3.6. *Utvrđivanje metodologije*

Metodologijom se nastoji odgovoriti na pitanje: Kako ćemo raditi na projektu? Kojim ćemo metodama ostvariti ciljeve projekta?

Utvrđivanje metodologije sadrži: utvrđivanje tko što radi u timu koji je predložen za provedbu projekta, trajanje i plan projekta, izgradnja projektnog partnerstva, pitanje relevantnosti i unutarnje povezanosti projekta. Projekt je cjelina i svi njegovi dijelovi su međusobno povezani. Zato je od presudne važnosti da svaki element bude u smisljenoj vezi s ostalima.

3.3.7. *Prihvatljivost projekta*

Prihvatljivost je ključno pitanje za svaki projekt, posebno za projekte financirane iz fondova i programa EU. U tom smislu moraju se poštovati sva pravila u pogledu prihvatljivosti (*acceptable*), jer će u suprotnome projekt biti odbačen.

Kriteriji za ocjenu prihvatljivosti (*suitable*) jesu:

- prihvatljivost/prikladnost podnositelja prijave;
- prihvatljivost/prikladnost Projekta/aktivnosti;
- prihvatljivost/prikladnost ciljne skupine;
- prihvatljivost/prikladnost izdataka/troškova;
- obveza sufinanciranja iz domaćih izvora (npr. sredstva koja se dodjeljuju na temelju programa IPA iznositi će najviše 85% ukupnih prihvatljivih troškova).

4. Procedura za prijavu na IPARD program – Mjera 301

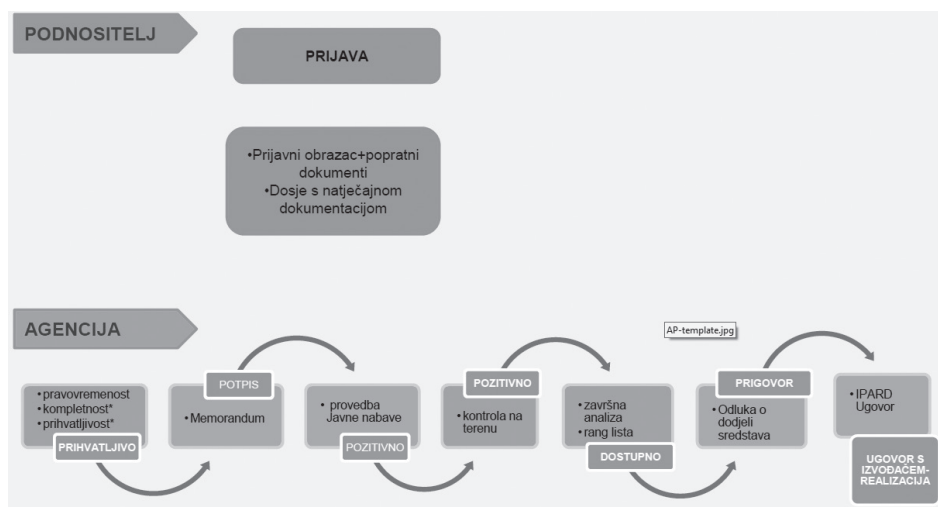
4.1. *Postupak dobivanja sredstava*

Proces dobivanja IPARD sredstava odvija se u nekoliko faza. Neke od tih faza obavlja sam podnositelj prijave/korisnik, neke djelatnici Agencije za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (u daljnjem tekstu:

APPRRR) unutar pojedinih odjela APPRRR-a, a neki se odvijaju u uskoj suradnji korisnika sredstava i djelatnika APPRRR-a.

Sredstva IPARD programa dodjeljuju se putem javnog natječaja kojeg raspisuje APPRRR, a objavljuje se u „Narodnim novinama“ i na službenim mrežnim stranicama APPRRR-a (www.apprrr.hr).

Prijava na IPARD natječaj se sastoji od prijavnog obrasca za mjeru i dokumenata koji se uz njega prilažu, a sve zajedno naziva se „DOSJE PRIJAVE“.



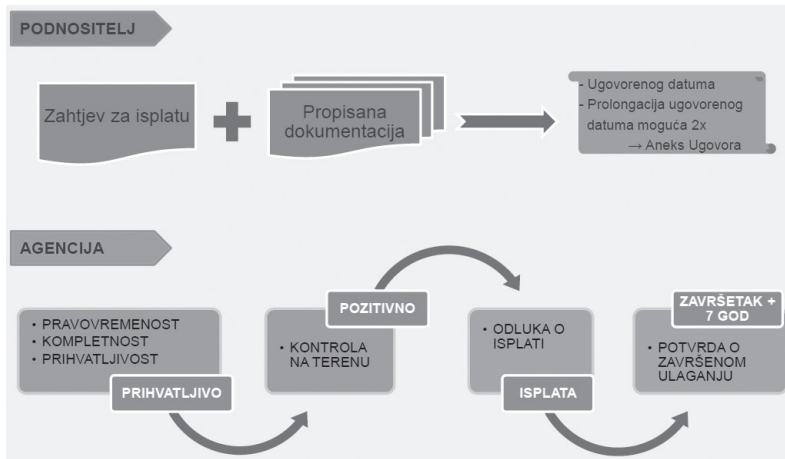
Slika 1. Procedura za prijavu na IPARD PROGRAM – Mjera 301 [5]

4.2. Provedba ulaganja

Provedba ulaganja može započeti tek kada je IPARD Ugovor stupio na snagu. Danom stupanja na snagu IPARD Ugovora smatra se datum kada je korisnik potpisao i pečatom ovjerio IPARD Ugovor. Kada IPARD Ugovor stupa na snagu korisniku nije dozvoljeno vršiti nikakve promjene na namjeni i vrsti ulaganja u projektu.

4.3. Isplata sredstava i dokumentacija koja se prilaže Zahtjevu za isplatu

Po završetku ulaganja, korisnik predaje APPRRR-u Zahtjev za isplatu sa svom potrebnom dokumentacijom do datuma navedenog u IPARD Ugovoru/Aneksu IPARD Ugovora.



Slika 2. Procedura Zahtjeva za isplatu IPARD program [5]

4.4. Kontrola na terenu

Kontrolu na terenu provode djelatnici APPRRR-a (u daljnjem tekstu: kontrolori) najmanje tri puta: prije ugovaranja, prije plaćanja i tijekom petogodišnjeg razdoblja nakon izvršenog konačnog plaćanja (navedeno je u Potvrdi o završetku ulaganja). Osim redovnih kontrola, kontrole na terenu mogu se obavljati i u bilo kojem trenutku za vrijeme trajanja investicije.

4.5. Upravljanje dokumentacijom

Korisnik je dužan čuvati cjelokupnu dokumentaciju koja se odnosi na projekt od dana sklapanja IPARD Ugovora i još tijekom pet (5) godina od datuma konačne isplate sredstava iz IPARD programa (datum koji se nalazi u Potvrdi o završetku ulaganja). Sva potrebna dokumentacija bit će dostupna cijelo vrijeme za potrebe kontrole na terenu, zaposlenicima APPRRR-a, revizorima iz Nacionalnog fonda/Ministarstva financija (Agencija za reviziju sustava provedbe programa Europske unije), predstavnicima EK, djelatnicima Europskog revizorskog suda, te predstavnicima Europskog ureda za borbu protiv prijevara (OLAF).

4.6. Promjena vlasništva nad predmetom ulaganja

Korisnik koji je primio IPARD sredstva ne smije promijeniti vlasništvo nad predmetom ulaganja, dati u najam ili zakup predmet ulaganja ili premjestiti sufinanciranu proizvodnu aktivnost od dana sklapanja IPARD Ugovora i još tijekom pet (5) godina od datuma konačne isplate potpore navedenog u Potvrdi o završetku ulaganja. Predmet ulaganja mora ostati u vlasništvu korisnika za vrijeme trajanja ugovornih obveza.

4.7. Označavanje ulaganja u IPARD programu

Ulaganja unutar IPARD programa trebaju biti vidljivo označena informativnom pločom (dimenzija 2,94 x 2,08 m) na kojoj se nalazi opis ulaganja te slogan i znak EU i RH. Korisnik je obavezan vlastitim sredstvima nabaviti odgovarajuću informativnu ploču i postaviti je uz prilazne pravce mjestu gdje se projekt odvija. Informativna ploča mora ostati na lokaciji od početka izvođenja ulaganja pa do sedam (7) godina nakon izdavanja Potvrde o završenom ulaganju.

4.8. Prava korisnika

Potpisujući IPARD Ugovor korisnik se obvezuje ispuniti određene obveze da bi zadržao prava na ugovorena sredstva. Te su obveze definirane i detaljno određene Pravilnikom te IPARD Ugovorom koji korisnik sklapa sa APPRRR-om. Osim obveza svaki korisnik ima i svoja prava koja se očituju u slijedećem:

- isplata sredstava nakon uspješno završenog procesa;
- mogućnost određene promjene u projektu IPARD Ugovora;
- zaštitu svojih prava sudskim putem;
- povrata sredstava u obrocima u slučaju povrata duga;
- potpisivanje Izvansudske nagodbe s APPRRR-om u kojoj će biti dogovoren povrat sredstava;
- mogućnost plaćanja unaprijed do 20% od ukupnih troškova ulaganja odobrenog od APPRRR-a u slučaju izvanredne prirodne katastrofe koja je zahvatila Hrvatsku.

5. Javna nabava po PRAG proceduri

5.1. Opća načela

Praktični vodič kroz procedure ugovaranja pomoći EU trećim zemljama (*Practical Guide to Contract Procedures for EU External Actions* - u daljnjem tekstu: PRAG) pojašnjava postupke ugovaranja i koristi za sve pomoći EU trećim zemljama koje se financiraju iz zajedničkog proračuna EU i Europskog fonda za regionalni razvoj (ERDF) [6].

Provedba projekta, uz potporu sredstava Zajednice u okviru IPARD programa, zahtijeva provedbu postupka javne nabave od strane Podnositelja. Javna nabava mora se provesti u skladu s procedurama i standardnim dokumentima koje je objavila Europska komisija, objedinjenih u PRAG-u.

Kako bi se osiguralo da se procedure nabave za projekte koji se financiraju u okviru IPARD programa vrše u skladu s PRAG-om i Pravilnikom o provedbi

mjere 301 „Poboljšanje i razvoj ruralne infrastrukture“ unutar IPARD programa, Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (nadalje: APPRRR) vrši prethodnu (ex-ante) kontrolu natječajnih dokumenata.

Prethodna (ex-ante) kontrola podrazumijeva kontrolu slijedeće dokumentacije:

- Najave natječaja;
- Obavijesti o nabavi;
- Dosjea natječaja;
- Izmjena/pojašnjenja Dosjea natječaja;
- Izvještaja o kandidatima u užem izboru;
- Izvještaja o otvaranju ponuda i ocjenjivanju ponuda;
- Izvještaja o pregovaranju;
- Dosjea Ugovora;
- Obavijesti o dodjeli ugovora, žalbe u postupku javne nabave izjavljene od gospodarskih subjekata;
- Dodatka ugovoru;
- Obavijesti o poništavanju.

APPRRR (Odjel za javnu nabavu) također potvrđuje sastav Ocjenjivačkog odbora. Nakon izvršene prethodne (ex-ante) kontrole APPRRR će poslati podnositelju, tj. korisniku Pismo odobrenja ako su natječajna procedura i natječajna dokumentacija u skladu s PRAG – om.

Natječajna dokumentacija koju je pripremio podnositelj/korisnik mora biti napisana na engleskom jeziku.

APPRRR nema ugovornu obvezu prema ugovarateljima ili podugovarateljima korisnika. Samo je korisnik odgovoran APPRRR za provedbu aktivnosti. Osim toga, Europska Komisija će vršiti naknadnu (ex post) provjeru korisnikove usklađenosti s propisima. Ugovor o dodjeli sredstava iz IPARD programa će odmah omogućiti Europskoj Komisiji, uključujući Europski ured za borbu protiv prijevara (OLAF) te Revizorskom sudu vršenje kontrole dokumenata i kontrole na terenu svih ugovaratelja i podugovaratelja koji su primili sredstva Europske unije.

5.2. Osnovna pravila javne nabave

Osnovno načelo kojim je uređena dodjela ugovora je kompetitivno nadmetanje.

Ono ima dvostruku svrhu:

- Osigurati transparentnost radnji; te
- Dobiti traženu kvalitetu usluga, robe ili radova po najboljoj mogućoj cijeni.

Podnositelj je obvezan koristiti verziju dokumenata valjanu u vrijeme objave natječaja. Vrijeme početka natječajne procedure je vrijeme objave Obavijesti o nabavi u slučaju otvorene procedure; u slučaju ograničene procedure kad je Dosje natječaja dostupan ponuditeljima, u slučaju pregovaračke procedure s najmanje tri ponuditelja i kod izravne pogodbe, kad je ponuditeljima poslan poziv na dostavu ponude zajedno s Dosjeom natječaja.

Bez obzira na to koja se procedura koristi, korisnik mora osigurati uvjete koji omogućavaju pošteno nadmetanje. Gdje god postoji očito i bitno neslaganje između predloženih cijena i ponuđenih usluga koje je dao ponuditelj ili bitnog neslaganja između predloženih cijena koje su dali različiti ponuditelji, korisnik će izvršiti provjere i tražiti sve potrebne dodatne informacije. Korisnik će te informacije čuvati u tajnosti.

5.3. Pragovi vrijednosti

Pragovi vrijednosti predloženih ugovora temelje se na maksimalnom proračunu dotičnog ugovora, a u slučaju kad je ugovor podijeljen na grupe (*lotove*), pri izračunu sveukupnog praga treba uzeti u obzir vrijednost svake grupe. Podnositelj je obvezan primijeniti natječajnu proceduru ovisno o maksimalnoj vrijednosti ugovora, kako je prikazano u Tablici 1:

Tablica 1. Tablica 1. EU Pragovi vrijednosti za odabir natječajne procedure [7]

USLUGE	≥ €200,000 Međunarodna ograničena natječajna procedura	< €200,000 > €10,000 1.Pregovarački postupak s najmanje tri ponuditelja		≤ €10,000 Izravna pogodba
ROBA	≥ €150,000 Međunarodna ograničena natječajna procedura	< €150,000 but ≥ €60,000 Lokalna otvorena natječajna procedura	< €60,000 but > €10,000 Pregovarački postupak s najmanje tri ponuditelja	≤ €10,000 Izravna pogodba
RADOVI	≥ €5,000,000 Međunarodna otvorena natječajna procedura	< €5,000,000 but ≥ €300,000 Lokalna otvorena natječajna procedura	< €300,000 but > €10,000 Pregovarački postupak s najmanje tri ponuditelja	≤ €10,000 Izravna pogodba

6. Studija slučaja: upravljanje projektom izgradnje sanitarnog kolektora BELIĆI – KASTAV

Studija slučaja (*Case study*) kao istraživačka strategija podobna je za:

1. odgovaranje na pitanja tipa „kako“ ili „zašto“;
2. u situacijama kada istraživač ima vrlo malo kontrole nad proučavanim zbivanjima;
3. kada je riječ o naglasku na suvremenim pojavama u nekom „životnome kontekstu“;
4. kada se relevantnim ponašanjima ne može manipulirati.

Komponente dizajna istraživanja studije slučaja:

1. Pitanja studije;
 - ZAŠTO? – je potrebno javne infrastrukturne objekte financirati putem fondova EU;
 - je potrebna projektna organizacijska struktura;
 - je potrebno imati educirane djelatnike u JLS.
 - KAKO? – prikazati sadržaj dokumentacije za prijavu na fondove EU;
 - odraditi postupak javne nabave za odabir izvođača radova.
2. Eventualne pretpostavke studije - svaka pretpostavka usmjerava pozornost na ono što treba ispitati unutar studije;
3. Jedinica studije ili jedinica analize - definiranje slučaja koji se može odnositi na osobu, neki događaj ili entitet, program, odluku, provedbeni proces;
4. Logika koja povezuje podatke s pretpostavkama (npr. strogo poštivanje zadanih procedura prijave, javne nabave, kontrole projekta, izvještavanja o projektu i drugo u cilju dobivanja sredstava iz fondova EU). Svaki odmak od poštivanja ove logike ujedno znači neuspjeh projekta;
5. Kriteriji za interpretiranje nalaza - moguće je nadati se da su različiti obrasci dovoljno oprečni da bi se nalazi mogli interpretirati pomoću usporedbe barem dviju konkurentskih pretpostavki [8].

Longitudinalna studija slučaja vrlo je prikladna za prikaz upravljanja projektom izgradnje javne infrastrukture financirane iz fondova EU. Pomoću longitudinalne studije slučaja mogli smo proučavati faznost projekta, međusobnu uzročnost i povezanost pojedinih faza projekta.

7. Mjere restrukturiranja i menadžerizacije JLS

7.1. Kratki prikaz trenutnog stanja

Formiranjem RH kao samostalne države izvršena je nova teritorijalna podjela te su osnovane nove jedinice lokalne samouprave (u daljnjem tekstu: JLS). Prenošenjem ovlasti za donošenje odluka u pitanjima lokalnog karaktera na JLS otvorile su se nove mogućnosti za razvoj efikasne i učinkovite lokalne samouprave. Da bi se to postiglo, JLS odnosno njihovi dužnosnici i službenici, morali su preuzeti odgovornost za kvalitetu usluge koju pružaju kao i spremnost na učenje i djelovanje u novim političkim, socijalnim i ekonomskim okruženjima.

Budući da se danas većini javnih uprava u Hrvatskoj upućuje prigovor na prevelik broj zaposlenih u odnosu na kvalitetu usluga, jedan od najvažnijih ciljeva koji se treba postići jest stvaranje uprave s onolikim brojem službenika koji će na kvalitetan način moći izvršavati funkcije. Njihovo stručno znanje pokazano u obavljanju poslova, učinkovitost, kvaliteta rada i poštivanje službene dužnosti su parametri na osnovu kojih će se ocjenjivati njihov rad [9].

U postizanju ovog cilja treba jačati upravni kapacitet prema kriterijima EU. To podrazumijeva sposobnost javnih uprava da provode europske javne politike. Jedna od zadaća koja je bila prisutna posljednjih godina, a ulaskom Hrvatske u EU biti će još dodatno izražena, je i prijava projekata komunalne infrastrukture za dobivanje sredstava iz fondova i programa EU.

U tu svrhu nužno je izvršiti određene organizacijske prilagodbe JLS koje posebno obuhvaćaju zakonsku regulaciju statusa službenika, uvođenje sustava zapošljavanja, nagrađivanja i napredovanja prema sposobnostima (*merit system*), depolitizaciju, osiguranje platnog sustava koji omogućuje poticajne plaće te omogućavanje službenicima trajno stručno osposobljavanje i usavršavanje.

Hrvatska lokalna samouprava u procesu europeizacije zahtjeva nov profil osoblja, naročito rukovodećeg. Potrebni su službenici i rukovoditelji koji se iznimno dobro služe stranim jezicima, poznaju pregovaračke procese i prihvaćaju potrebu strateškog promišljanja [9].

Dosadašnja je praksa pokazala da je priprema za realizaciju infrastrukturnih projekata kompleksna i dugotrajna. Faza pripreme projekta koja sadrži aktivnosti od izrade i usvajanja prostorno planske dokumentacije, definiranja projektnog zadatka, projektiranja, rješavanja imovinsko-pravnih odnosa, procedure dobivanja dozvole za gradnju i provedbe javne nabave u pravilu traje minimalno 2-3 godine. Ova faza

projekta zahtjeva dobro ekipirano i stručno osoblje koje se može nositi sa problemima iz različitih struka.

7.2. Prijedlog načina organiziranja JLS za realizaciju projekata financiranih iz fondova EU

Obzirom na raznovrsnost i složenost obveza koje danas moraju obaviti zaposlenici u JLS, možemo konstatirati da je formiranjem upravnih odjela, odsjeka i ureda organizacijska struktura JLS (primjer Grada Kastva - vidi sliku 3) dostigla takav nivo da se u većini JLS mogu formirati timovi koji mogu zadovoljiti sve potrebe za upravljanjem projektima gradnje.

Međutim, funkcionalna organizacijska struktura je formirana na način da svaki zaposlenik obavlja specifičan posao unutar pojedinih gradskih odjela, odsjeka i ureda obavljajući posao striktno unutar svoje struke i zadanih radnih zadataka. U takvoj situaciji, čest je slučaj nedovoljno kvalitetne suradnje između pojedinih gradskih odjela i ureda, ali ponekad i između samih kolega, pa time projekti često zapadnu u nepremostive probleme te dolazi do neuspjeha u realizaciji istih.

Za postizanje uspjeha u prijavi projekata financiranih iz EU fondova te kasnije uspješno upravljanje projektom gradnje bilo bi važno promijeniti postojeću organizacijsku strukturu uvođenjem jednog od načina projektne organizacijske strukture.

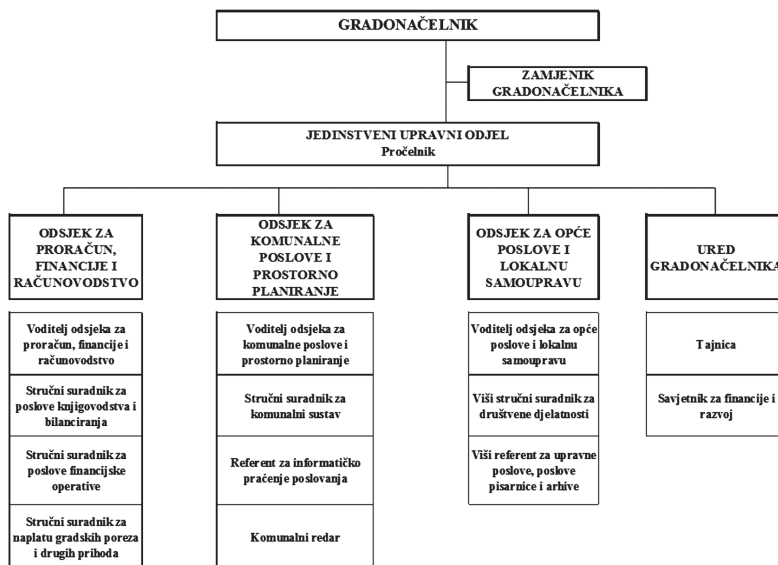
Projektna organizacijska struktura predstavlja privremenu organizacijsku tvorevinu čiji je cilj realizacija određenog zadatka – projekta. To je „dodatna“ organizacijska struktura koja se umeće u postojeću klasičnu funkcionalnu (po odjelima gradske uprave, odsjecima, uredima itd.). Njezine karakteristike su fleksibilnost organizacije i sposobnost brzom prilagođavanju promjenama. Polazi od ideje kako je potrebno sakupiti na jednom mjestu najsposobnije ljude da bi se riješio neki složeni zadatak u određenom vremenu uz određene troškove i uz traženu kvalitetu obavljenog rada. Za upravljanje jednostavnijim projektima kao što je izgradnja sanitarnog kolektora BELIĆI –KASTAV bila je dovoljna individualna projektna organizacijska struktura.

7.2.1. Individualna projektna organizacijska struktura

Individualna projektna organizacija ima određenog voditelja projekta koji je odgovoran gradonačelniku, načelniku općine ili direktoru firme. U ovom slučaju nije formiran poseban tim za realizaciju projekta. Voditelj projekta obavlja posao koordinatora i organizatora projekta koristeći postojeće organizacijske jedinice gdje se projekt izvršava u dijelovima. Individualna projektna organizacija ne mijenja bitno funkcionalnu

strukturu JLS ili gospodarskog subjekta, ali traži reorganizaciju unutrašnjeg rasporeda poslova unutar odjela ili ureda, tj. postojećih organizacijskih jedinica.

U Gradu Kastvu za voditelja projekta postavljen je jedan viši stručni suradnik, zaposlenik gradske uprave, koji je pripremao prijavu sukladno traženju iz Natječaja za dobivanje sredstava prema IPARD programu – Mjera 301. Ostale kolege uključivali su se u projekt po potrebi, svako u svom djelokrugu rada, i pripremali dokumente koje je trebalo priložiti u PRIJAVI za natječaj (sadrži: Prijavni obrazac s popratnim dokumentima i Dosje s natječajnom dokumentacijom). Osim toga, ugovorena je i uspostavljena vrlo dobra suradnja s vanjskim konzultantom koji je izradio dokumente za koje trebaju posebne ovlasti (izrada investicijskih studija, izrada elaborata zaštite okoliša te dosje natječajne dokumentacije na engleskom jeziku).

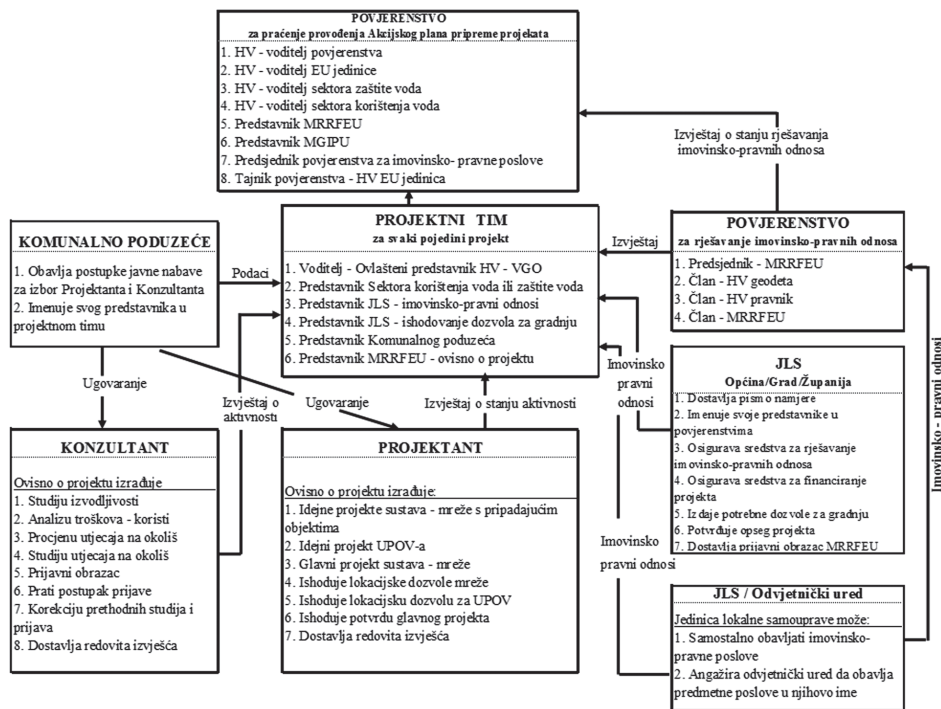


Slika 3. Organizacijska struktura Grada Kastva [10]

7.2.2. Čista projektna organizacijska struktura

Kod čiste projektne organizacijske strukture, organizacijsku cjelinu čine članovi koji rade na određenom projektu. U ovom slučaju formira se Projektni tim kojim rukovodi projektni menadžer. Svi djelatnici ili vanjski suradnici koji su uključeni u projektni tim su stručno i disciplinski odgovorni projektom menadžeru dokle god projekt traje.

Čista projektna organizacijska struktura se koristi kao model za realizaciju velikih i složenih projekata i bitno utječe na postojeću organizacijsku strukturu. Projekti su samostalni i nezavisni od linijske organizacijske strukture, kao i svi sudionici u projektu. Kada projekt završi, projektni tim se raspušta, a pojedinci se vraćaju u funkcionalne jedinice iz kojih su došli.



Slika 4. Projektna organizacijska struktura za velike i složene projekte [11]

8. Zaključak

Umijeće dobivanja sredstava iz fondova EU zahtjeva posebno znanje koje se stječe postepeno i dugogodišnjim iskustvom. IPA programom koji je do sada provoden u pretprijetnom razdoblju dobivena su značajna sredstva iz EU, ali se pokazalo da postoji još puno prostora za napredak. Od ukupne sume sredstava koju je EU ponudila Hrvatskoj kroz pretprijetne programe uspješno je realizirano tek 37%. Ulaskom Hrvatske u EU otvara se mogućnost dobivanja i do deset puta više novaca iz raznih fondova, ali se za to moramo dodatno dobro pripremiti.

Za uspješnu prijavu projekta potrebno prije svega obaviti pažljiv odabir projekta, procijeniti njegovu složenost, izraditi dobru projektnu dokumentaciju, formirati projektnu organizacijsku strukturu te poštivati natječajne procedure i rokove.

Pažljiv odabir projekta važan je zbog složenosti procedure za financiranje projekta iz fondova EU. U tom smislu poželjno je odabrati veće i složenije projekte jer se manji zbog svih dodatnih troškova koje moramo sami snositi neće značajno isplatiti.

Važnost izrade dobre projektne dokumentacije očituje se u tome da se tijekom realizacije projekta ne mogu mijenjati bitne postavke projekta, a bilo kakva izmjena ili dopuna zahtjeva poštivanje posebne procedure odobravanja izmjena koja može usporiti projekt i dovesti ga u problem realizacije. Dobrom projektnom dokumentacijom možemo doprinijeti racionalnosti i isplativosti projekta, olakšavamo provedbu, sprječavamo iznenađenja, omogućavamo dobro planiranje i osiguravamo poštivanje zadane dinamike.

Ovisno o veličini projekta izuzetno je važno odabrati odgovarajuću projektnu organizacijsku strukturu. Organizacijska struktura će prije svega ovisiti o složenosti projekta i bit će značajno različita ukoliko projekt samostalno provodi JLS ili je nužno organizirati poseban projektни tim. Dobro odabrana organizacijska struktura doprinosi uspješnosti realizacije projekta. Prilikom odabira projektног tima moramo voditi računa da su uključeni predstavnici svih zainteresiranih strana te da članove tima čine educirani i motivirani stručnjaci.

Zbog slabe uspješnosti u povlačenju sredstava u pretpristupnom razdoblju u narednom periodu treba dati poseban naglasak na dodatnu edukaciju i osposobljavanje službenika JLS i ostalih javnih ustanova i poduzeća. Nakon edukacije treba osnovati posebne projektne timove koji su u stanju u kratkom roku pripremiti projekt za dobivanje sredstava koja su planirana za Hrvatsku nakon ulaska u EU. Potreba za stručnjacima može biti dobra prilika za zapošljavanje mladih i obrazovanih kadrova, ali pritom se mora voditi računa da u timove budu uključeni i iskusni stručnjaci koji svojim posebnim znanjem i dugogodišnjim iskustvom mogu sigurno i uspješno upravljati projektima.

Prilika koja nam se pruža da sredstvima EU značajno unaprijedimo komunalnu infrastrukturu vjerojatno će se teško ponoviti. Izrada portfelja projekata koji se mogu prijaviti za dobivanje sredstava postaje nužnost i mora se pripremiti u što kraćem roku.

Literatura

- [1] Novoselec, I., EU kao partner u izgradnji javne infrastrukture. *Banka, svibanj* 2011. <http://www.razbor.hr/strucne-teme/eu-kao-partner-u-izgradnji-javne-infrastrukture>
- [2] Europska komisija, Koordinacijski ured EuropeAid-a. *Upravljanje projektnim ciklusom*, ožujak 2004. www.europa.eu.int/comm/europeaid.
- [3] Beaumelou Fabienne – Prijelom, Guy Le Faucheur. *IPA Guidelines*. RD Digital d.o.o., Zagreb, 2009.
- [4] Europska komisija, Ured za suradnju EuropeAid-a, Opća uprava za razvoj. *Smjernice za upravljanje projektnim ciklusom*. Središnji državni ured za razvojnu strategiju i koordinaciju fondova EU, listopad 2008. <http://www.ogi.hr/files/publikacije/drugi/Smjernice%20za%20UPC.pdf>
- [5] Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju. *Javna nabava za Mjeru 301*, ožujak, 2012. <http://www.aprrr.hr>
- [6] PRAG - Practical Guide to Contract procedures for EU external actions published on the EuropeAid web site, siječanj, 2012. <http://www.aprrr.hr>
- [7] Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju. *Vodič za postupke javne nabave 2.1*, ožujak, 2012. <http://www.aprrr.hr/mjera-301-108.aspx>
- [8] Yin, R.K.. *Studija slučaja – dizajn i metode*. Biblioteka Politička misao, Zagreb, 2007.
- [9] Mikulić, S., Uloga upravljanja ljudskim potencijalima u procesu decentralizacije. *Hrvatska javna uprava*, 4: 1091 – 1126, 2009.
- [10] Grad Kastav. *Pravilnik o unutarnjem redu gradske uprave*. Kastav, prosinac 2011.
- [11] Hrvatske vode. *Akcijski plan pripreme i provođenja EU projekata*. 2010.

UPRAVLJANJE PROJEKTOM GRADNJE ENERGETSKI UČINKOVITIH STANOVA ZA IZNAJMLJIVANJE

ENERGY EFFICIENT RENTAL HOUSING PROJECT MANAGEMENT

Andrej POLIĆ, Dražen BOŠKOVIĆ, Ivan MAROVIĆ

Sažetak

U vrijeme sveprisutne energetske krize koja se manifestira povećanjem cijena svih energenata, aktualizira se potreba racionalnijeg korištenja energije u svim aspektima života, pa tako i u stanovanju. Upravo je stanovanje jedan od energetski najzahtjevnijih segmenata. U tom smislu Europska unija (u daljnjem tekstu EU) već dvadesetak godina aktivno provodi mjere povećanja energetske učinkovitosti i racionalizacije potrošnje energije gradnjom energetski učinkovitijih sustava, što uključuje i sustave stanovanja. Time ne samo da se djeluje na očuvanje okoliša, već se utječe i na konkurentnost ekonomija europskih zemalja u globalnoj tržišnoj utakmici. Za razliku od EU, Republika Hrvatska tek oblikuje pojedine mjere iz područja energetske učinkovitosti u stanogradnji. Skorim ulaskom u EU povećat će se zahtjevi za slijeđenjem smjernica i standarda EU u segmentu energetske održivosti. U ovom se radu razmatra problematika gradnje energetski učinkovitih stanova za iznajmljivanje kao jedan od modela kojim se nacionalna kultura stanovanja i građenja približava smjernicama i standardima EU. U radu se analizira hrvatsko tržište stanova za unajmljivanje, karakteristike i segmentacija tržišta. Posebno se analizira problem izbora optimalnog tehnološkog rješenja energetski učinkovitih stanova u nacionalnom zakonodavno–regulatornom, političkom i ekonomskom okruženju. U radu je obrađena longitudinalna studija slučaja upravljanja projektom gradnje zgrade s energetski učinkovitim stanovima namijenjenim iznajmljivanju. Projekt se razmatra od konceptualne faze do faze neposredne realizacije. U

* Građevinski fakultet sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka
E-mail: andrejpolic@email.t-com.hr, drazen.boskovic@gradri.hr,ivan.marovic@gradri.hr

prikazu projekta korištena je WBS (Work Breakdown Structure) dekompozicija koja obuhvaća vremensku i troškovnu komponentu. Struktura rizika prikazana je RBS (Risk Breakdown Structure) dekompozicijom. Zaključna analiza odnosi se na procjenu rizičnosti i održivosti ovakve vrste projekata.

Ključne riječi: niskoenergetski stanovi, energetska učinkovitost, stanovi za najam, RBS (Risk breakdown structure), WBS (Work breakdown structure)

Abstract

In the time of ubiquitous energy crisis that is reflected in the constant increase of energy prices, there is a need for a more rational use of energy in all aspects of life, including housing, as one of the most energy-demanding segments. For the last twenty years, the European Union (hereinafter EU) actively pursues measures to increase energy efficiency and rational use of energy by developing energy-efficient systems, including housing. This affects not only the environment, but also competitiveness of European economies in the global market. Unlike EU, the Republic of Croatia has merely started to shape individual measures in this area. Imminent accession to the EU will increase requirements for adopting EU guidelines and standards in the area of energy sustainability. This paper examines issues concerning the construction of energy-efficient apartments for rent as a model for bringing national housing culture and construction techniques closer to EU standards and guidelines. It analyses the Croatian rental housing market, its properties and market segmentation. It deals especially with selecting the optimal technological solutions for energy-efficient housing in the national regulatory, political and economic environment. This paper conducts longitudinal case study of project management for building energy efficient apartments for rent. The project is examined from the conceptual stage to the stage of realization. In presenting the project, the WBS (Work Breakdown Structure) decomposition is used, which includes the time and cost component. The risks are examined by RBS (Risk Breakdown Structure) decomposition. Final analysis relates to the estimation of risk and sustainability of these types of projects.

Key words: low-energy housing, energy efficiency, rental housing, RBS (Risk Breakdown Structure), WBS (Work Breakdown Structure)

1. Uvod

U vrijeme sveprisutne energetske krize koja se manifestira povećanjem cijena svih energenata, aktualizira se potreba racionalnijeg korištenja energije u svim aspektima života, pa tako i u stanovanju, obzirom da je stanovanje jedan od energetski najzahtjevnijih segmenata. U tom smislu Europska unija već dvadesetak godina aktivno provodi mjere povećanja energetske učinkovitosti i racionalizacije potrošnje energije gradnjom energetski učinkovitijih sustava, što uključuje i sustave stanovanja. Time

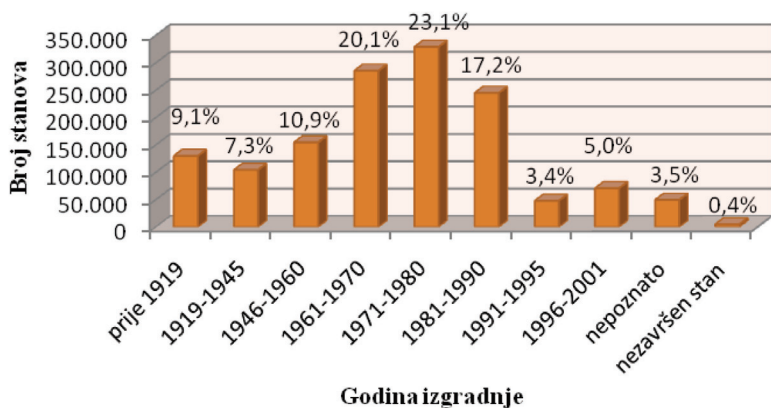
ne samo da se djeluje na očuvanje okoliša, već se utječe i na konkurentnost ekonomija europskih zemalja u globalnoj tržišnoj utakmici. Cilj ovog rada je ispitati i pokazati na koji način je moguće podići razinu energetske učinkovitosti stanovanja u našoj zemlji i na koji je način moguće osmisliti neke nove mogućnosti za sustavno rješavanje stambenog pitanja u našim prilikama te kako spojiti ova dva područja u jednu funkcionalnu cjelinu. Upravljanje projektom ovoga tipa zahtijeva multidisciplinarnost u najširem smislu obzirom da se ovakvim projektima dotiču pitanja kojima se bave i društvene znanosti sa aspekta uloge stanovanja u čovjekovu životu i prirodne znanosti iz aspekta tehnoloških mogućnosti za postizanje veće energetske učinkovitosti, a sve to je uokvireno ekološkim zahtjevima i zahtjevima održivog razvoja te financijskim mogućnostima i resursima kojima društvo raspolaže. Na kraju, da bi jedan ovakav projekt funkcionirao, važna je i financijska isplativost za samog investitora. Obzirom da se na vrijednost projekta najviše može utjecati u fazi koncipiranja projekta, ovaj rad posebice se temelji na osmišljavanju koncepcije koja bi mogla funkcionirati u postojećem projektom okruženju i u tom smislu proučava opcije pri rješavanju stambenog pitanja, postojeću razinu energetske učinkovitosti u stanogradnji, tehnološke mogućnosti za povećanje energetske učinkovitosti i financijsku isplativost primjene pojedinih tehnoloških rješenja. Pri tome se promatra projektom okruženje iz perspektive privatnog investitora koji, osim ekološke svijesti i želje za primjenom novih tehnologija i principa održivog razvoja, teži i ka financijskoj isplativosti i zaradi od investicije.

Krajnja svrha pisanja ovoga rada bila bi poticanje daljnjih istraživanja ove teme, posebice u svjetlu primjene novih Direktiva Europske unije koje nalažu gradnju s vrlo visokim zahtjevima u pogledu potrošnje energije od 2019. godine, a za čiju je primjenu potrebno izvesti mnoge pripreme i steći neka prethodna iskustva na vrijeme kako bi kao zemlja bili spremni ispuniti ono na što se obvezujemo ulaskom u EU.

2. Projektom okruženje projekta gradnje energetski učinkovitih stanova za iznajmljivanje

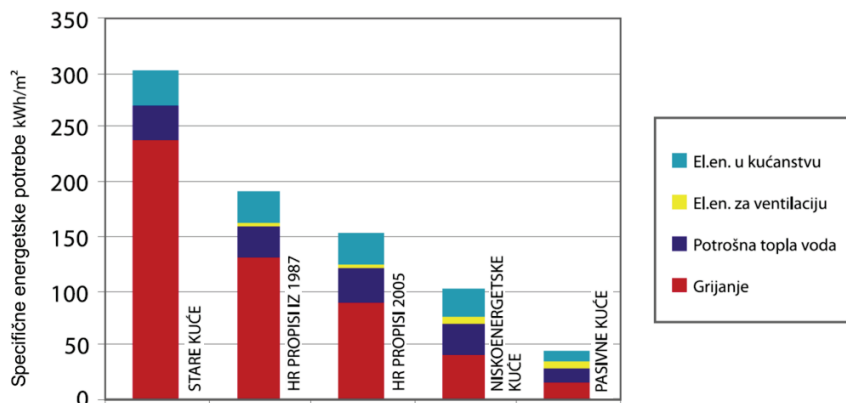
2.1. Analiza stambenih navika stanovništva i tržišta stanova za najam

Struktura postojećeg stambenog fonda u Republici Hrvatskoj (u daljnjem tekstu: RH), prema godini izgradnje, ilustrirat će se podacima iz popisa stanovništva 2001. godine [1], obzirom da obrada podataka zadnjeg popisa stanovništva iz 2011. još uvijek nije dovršena, a uz pretpostavku da se situacija u međuvremenu ipak nije mogla značajno promijeniti. Na Slici 1 prikazan je broj i relativni udio nastanjenih stanova obzirom na godinu njihove izgradnje.



Slika 1. Broj nastanjenih stanova i njihov relativni udio prema godini izgradnje - izrađeno na temelju podataka iz [1]

Na Slici 1 lako je uočiti da je najveći dio stambenog fonda RH izgrađen prije 25 ili više godina. Pri tome je dominantan broj stambenih jedinica izgrađenih u razdoblju od 1961. godine do 1990. godine, a nemali je i broj onih starijih od 70 godina. Obzirom na godinu izgradnje, stanovi imaju i različite energetske potrebe, posebice u pogledu grijanja i hlađenja. Usporedba specifičnih energetskih potreba stanova, ovisno o standardu prema kojima su građeni, s energetskim potrebama niskoenergetskih i pasivnih stanova, kakve je danas moguće graditi, prikazana je na Slici 2.



Slika 2. Energetske potrebe stanova ovisno o standardu prema kojem su građeni, preuzeto iz [2] i doručeno

Pogledom na Sliku 2, a uzevši u obzir činjenicu da je većina stambenog fonda RH starija od 25 godina, lako je zaključiti da situacija u pogledu energetske učinkovitosti stanovanja na državnoj razini nije previše dobra. Trenutno stanje je da 83% građevina ne zadovoljava propise o toplinskoj zaštiti i uštedi energije koji su u Hrvatskoj vrijedili 1987. godine [3]. To za posljedicu ima znatno veću potrošnju energije za grijanje i hlađenje od optimalne, a samim time i velike troškove režija u takvim stanovima.

Promatrajući stambene navike stanovništva možemo reći da se u RH uglavnom preferira vlasništvo nekretnina u usporedbi sa najmom. U tom smislu, u zadnjih dvadesetak godina većina ljudi koji nisu imali riješeno stambeno pitanje, a imali su koliko-toliko dostatna primanja za osnivanje vlastitog kućanstva, odlučivala bi se za kupnju stana, ili eventualno gradnju obiteljske kuće, financirane uglavnom putem hipotekarnog kredita. Glavna prednost takvog pristupa je da nakon dugogodišnje otplate kredita, taj stan (ili izgrađena kuća) ostaje u vlasništvu kupca za razliku od situacije gdje nakon dugogodišnjeg najma stana pojedinac i dalje nema nikakva vlasnička prava nad tim stanom. Postoji percepcija da se ne prolazi skuplje ako se investira u vlasništvo stana u odnosu na cijenu koja se dugoročno plaća samo za najam. U ovim razmišljanjima često se zanemaruje činjenica da je u vlastitu nekretninu potrebno ulagati, a te se troškove ulaganja onda ne uključuje u izračun isplativosti kupnje nekretnine. Česta posljedica toga jest činjenica da dosta vlasnika nekretnina, pod teretom kreditnog zaduženja, nema dostatna sredstva za održavanje kupljene nekretnine. Općenito, kupnja nekretnine na kredit sa sobom nosi i mnoge druge negativne efekte. Da bi se stan kupio na kredit prvo je potrebno biti kreditno sposoban, što mnogi ljudi nisu, a što ne znači da nemaju dostatna primanja. Zatim se obično zahtijeva da pojedinac već posjeduje dio novca za kupnju, u protivnom kredit postaje još skuplji. Jednom dobiveni kredit neisplativo je vratiti prije ugovorenog vremenskog roka otplate kredita, osim ako se to čini u prvim godinama otplate, zbog troškova kamata i naknade za prijevremenu otplatu kredita. Stan kupljen na kredit zatim je dosta skupo zamijeniti za neki veći ili manji zbog već navedenih troškova oko kredita. Na taj način otežano je prilagoditi se eventualnim novim stambenim potrebama zbog promjena veličine kućanstva i slično. Poseban problem je mobilnost stanovništva. U slučaju kupnje stana na kredit, jasno je da pojedinac ima smanjene mogućnosti preseljenja u neki drugi grad u potrazi za novim poslom, u usporedbi sa situacijom kada se koriste stanovi u najmu. Jedna od važnih mana kupnje stana na kredit je i to da time pojedinac u pravilu gotovo u cijelosti iskorištava svoju kreditnu sposobnost te se otežano može zadužiti u slučaju nekih drugih potreba (ili prilika). Također rate kredita teško se mijenjaju te je gotovo nemoguće prilagoditi ratu kredita promijeni materijalne situacije pojedinca, što pak može dovesti

do situacije u kojoj je više nemoguće otplaćivati rate kredita te se u tom slučaju banka naplaćuje prodajom stana. Obzirom na vremensku duljinu otplate kredita to i nije tako nevjerojatna situacija u vremenima kada radna mjesta nisu sigurna, pogotovo ne za cijeli život.

S druge strane, ako promatramo opciju najma stana, prvo što možemo primijetiti je da u RH trenutno ne postoji organizirani sustav stanova za najam. Sama ponuda stanova sastoji se od široke lepeze stambenih jedinica u zgradama i obiteljskim kućama, a što se tiče njihove energetske učinkovitosti, može se pretpostaviti da je ona slična prosjeku stambenog fonda, čije je stanje već opisano. Točne, a ni približne podatke o broju stanova za najam nije lako sakupiti obzirom da se uglavnom radi o neprijavljenom najmu. Jasno je samo da je riječ o jednom ogromnom crnom tržištu koje je potpuno neregulirano i izvan institucionalnog nadzora. To dovodi do velikog broja rizika kojima je najmoprimac izložen, a zbog kojih mnogi preferiraju kupnju stana u usporedbi sa najmom. Neki od značajnijih negativnih aspekata najma stana, u trenutnim okolnostima nepostojanja organiziranog sustava stanova za najam, su nesigurnost u pogledu moguće duljine najma, odnosno iznenadnog prekida najma od strane najmodavca, neizvjesnost vezana uz cijenu najma u budućnosti, neizvjesnost u pogledu energetske troškova stana u najmu i neisplativost ulaganja u poboljšanja od strane najmoprimca te nepostojanje garancija o održavanju razine uslužnosti stana od strane najmodavca. Uvođenjem sustava stanova za najam koji bi se temeljio na tržišnim pretpostavkama bilo bi moguće izbjeći sve ove negativne aspekte. Takav sustav omogućio bi unajmljivanje na praktično neograničeno razdoblje, s mogućnošću jednostavne zamjene stana nekim drugim stanom iz sustava u slučaju proširenja ili suženja obitelji ili promjene materijalnih prilika pojedinca. Pri tome bi cijena stana bila transparentna, jednako kao i razina uslužnosti koju takav stan pruža, odnosno koju sustav garantira. Buduće kretanje cijene najma bilo bi moguće vezati uz pojedine ekonomske pokazatelje na razini države. Bilo bi dobro kad bi takvi stanovi bili građeni po principima energetske učinkovitosti jer je to dugoročno isplativo te bi time donosili uštedu, kako najmoprimcu, tako i široj zajednici obzirom da se energenti u RH uglavnom uvoze. Sve ovo danas ne postoji, pa se za najam stanova uglavnom odlučuju samo oni koji su na to prisiljeni.

2.2. Energetska učinkovitost i održivi razvoj

Općenito govoreći, energetska učinkovitost možemo definirati kao sumu isplaniranih i provedenih mjera čiji je cilj korištenje minimalno moguće količine energije tako da razina udobnosti ostane sačuvana. Pri tome je važno istaknuti da se energetska učinkovitost nikako ne smije

promatrati kao štednja energije (iako ona dovodi do ušteda). Naime, štednja uvijek podrazumijeva određena odricanja, dok učinkovita uporaba energije nikada ne narušava uvjete rada i življenja [3].

Danas proizvodnja energije i njezina uporaba značajno utječu na okoliš, uzrokujući lokalna zagađenja (smog, kisele kiše i sl.), ali i globalne probleme poput globalnog zatopljenja i rezultirajućih klimatskih promjena obzirom da se energija u najvećem dijelu proizvodi iz fosilnih goriva (Slika 3).



Slika 3. Udio pojedinih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije na globalnoj razini 2009. godine – izrađeno na temelju podataka iz [4]

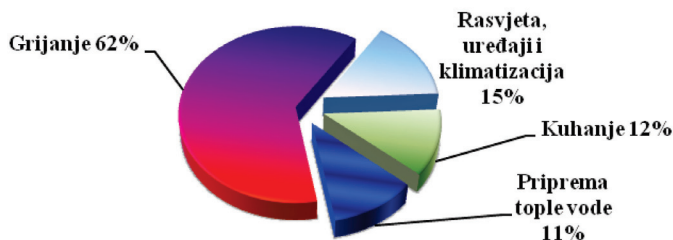
Prema definiciji Brundtlandske komisije Ujedinjenih naroda, održivi razvoj je razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolji vlastite potrebe. U tom smislu energetska učinkovitost, uz korištenje obnovljivih izvora energije, jedan je od ključnih aspekata održivog razvoja.

Smatra se da upravo u sektoru zgradarstva leži i najveći potencijal energetske uštede u budućnosti. Razlog tome je što se u zgradarstvu troše relativno velike količine energije (Slika 4).



Slika 4. Udio pojedinih sektora u ukupnoj potrošnji energije u Hrvatskoj u 2005. godini – izrađeno na temelju podataka iz [2]

Ako se podatak s prethodne slike o 41% ukupne količine energije koja se koristi u zgradarstvu dalje razloži, dolazi se do podatka da kućanstva ustvari troše oko 30,6% ukupno proizvedene energije u RH. Struktura potrošnje energije prosječnog kućanstva prikazana je na Slici 5.



Slika 5. Struktura potrošnje energije u kućanstvima u Republici Hrvatskoj – izrađeno na temelju podataka iz [3]

Iz navedenih podataka jasno je da je energetska učinkovitost sustava stanovanja jedna od važnih komponenti održivog razvoja obzirom na količinu energije koju kućanstva troše, posebice za grijanje i hlađenje prostorija i pripremu tople vode. No, osim tih segmenata potrošnje energije, ne treba zanemariti niti ostale kućanske aparate koji također imaju svoje energetske potrebe, poput rasvjete, koji jesu nešto manji, ali to ne znači da su zanemarivi. Jedna energetske učinkovita stambena jedinica, osim učinkovitog sustava grijanja i hlađenja, opremljena je i ostalim uređajima koji energiju troše na učinkovit način, što sve skupa čini stanovanje energetske učinkovitim. Značaj energetske učinkovitosti sustava stanovanja u sklopu održivog razvoja treba promatrati i s aspekta dugotrajnosti uporabe stambenih jedinica. Iz tog razloga energetske učinkovitosti u stanogradnji treba posvetiti i dodatnu pažnju jer se takvi sustavi teško mijenjaju, dugo traju, a njihova isplativost ili neisplativost dolazi do izražaja tek kroz dugo razdoblje njihove uporabe.

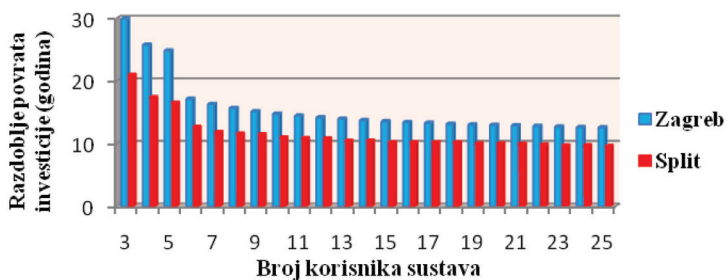
2.3. Obnovljivi izvori energije u zgradarstvu

Obzirom na stalni rast cijena energije dobivene iz fosilnih goriva te neizvjesnosti vezane uz buduće kretanje cijena i raspoloživost takvih izvora energije, u suvremenom se zgradarstvu teži što većoj uporabi obnovljivih izvora energije općenito. Takav trend dodatno je potaknut i zbog sve izraženijeg negativnog utjecaja korištenja fosilnih goriva na okoliš. Obnovljivi izvori energije imaju vrlo važnu ulogu u smanjenju emisije ugljičnog dioksida (CO_2) u atmosferu. Smanjenje emisije CO_2 politika je Europske unije koju i RH prihvaća u svojoj energetske strategiji, a na koju se obvezala i kao potpisnica protokola iz Kyota. Povećanje udjela obnovljivih izvora energije povećava energetske održivost sustava i pomaže u poboljšavanju sigurnosti opskrbe energijom na način da se smanjuje ovisnost o uvozu energetske sirovina, kojima kao zemlja oskudijevamo, te o uvozu električne energije uslijed premalih domaćih proizvodnih

kapaciteta. Najčešće korišteni obnovljivi izvori energije u zgradarstvu su sunčeva energija i energija drvene biomase te eventualno energija vjetra i geotermalna energija.

Sunčevo zračenje predstavlja daleko najveći izvor energije na Zemlji, pri čemu je godišnje dozračena količina energije oko 15 000 puta veća od ukupnih svjetskih energetskih potreba. Na količinu dozračene sunčeve energije (insolaciju) pojedinog mjesta na Zemlji ponajviše utječu njegova zemljopisna širina i lokalne klimatske prilike. U RH godišnja insolacija na horizontalnu plohu iznosi 1200 do 1600 kWh/m² ovisno o tome radi li se o kontinentalnom ili primorskom dijelu. Od toga se 75% energije dozrači u toplijoj polovici godine, dok je u hladnijem dijelu godine, kada su potrebe za energijom najveće, insolacija osjetno niža, što je ujedno i glavni nedostatak sustava koji direktno iskorištavaju Sunčevo zračenje. Energija Sunca se danas direktno iskorištava uz pomoć sunčevih kolektora za zagrijavanje potrošne tople vode i grijanje prostora te uz pomoć fotonaponskih ćelija za proizvodnju električne energije. Sunčevo zračenje također se pasivno koristi i pomoću arhitektonskih mjera u svrhu grijanja i osvjetljavanja prostora.

Sunčevi kolektori apsorbiraju sunčevo zračenje i pretvaraju ga u toplinu, a zatim se ta toplina predaje tekućem nosiocu topline koji cirkulira između kolektora i akumulacijskog spremnika tople vode. Isplativost ugradnje solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode u usporedbi sa sustavom koji koristi plin, prema simulaciji izrađenoj 2004. godine [5], prikazana je na Slici 6. Iz Slike 6 vidljivo je da rok povrata investicije, osim o geografskoj lokaciji, značajno ovisi i o broju korisnika sustava.



Slika 6. Razdoblje povrata investicije u sustav solarnog grijanja potrošne tople vode u usporedbi sa sustavom na plin – izrađeno na temelju podataka iz [5]

Razdoblje povrata investicije u slučaju 25 korisnika je nešto ispod 10 godina za Split, a nešto ispod 13 godina za Zagreb. Obzirom da je simulacija rađena na osnovu cijene plina od 0,23 kn/kWh, a danas ta cijena iznosi

0,42 kn/kWh (podatak za Rijeku), zasigurno je vrijeme povrata investicije u današnjim uvjetima značajno kraće.

Fotonaponske ćelije pretvaraju energiju Sunčevog zračenja u električnu energiju. Ova pretvorba energije oslanja se na fotonaponski efekt, a na izlazu iz fotonaponske ćelije javlja se istosmjerna struja. Ovakvi sustavi danas su isplativi jedino uz korištenje dodatnih poticaja. U Hrvatskoj takvi poticaji postoje u vidu povlaštenih cijena otkupa ovako proizvedene električne energije. U tu svrhu moguće je sklopiti ugovor na 12 godina sa Hrvatskim operatorom tržišta energije (HROTE). Prema izračunima temeljenim na podacima sa internet stranice tvrtke S.I.P. d.o.o. iz Zagreba, inače ovlaštenog savjetnika Europske banke za obnovu i razvoj, za elektrane snage između 10 i 30 kW (što je elektrana površine između 65 i 220 m², odnosno ona koja stane na krov jedne zgrade), prihodi od prosječne mjesečne proizvodnje po instaliranom kW za Rijeku iznose oko 330 kn. U isto vrijeme, ukupna cijena solarne elektrane te veličine iznosi oko 22 000 kn po instaliranom kW, što znači da mjesečna rata kredita na 12 godina kojim bi se otplaćivao takav sustav, uz kamatu od 6%, iznosi 214 kn. Isplativost je neupitna, posebice obzirom da je uporabni vijek ovakve elektrane minimalno 25 do 30 godina, koliko obično iznosi i garancija na fotonaponske ćelije te da se predviđaju relativno niski troškovi održavanja i osiguranja sustava od oko 1% godišnje. Uvođenje ovakvog fotonaponskog sustava na krov zgrade svakako je i ekonomski i ekološki isplativ potez.

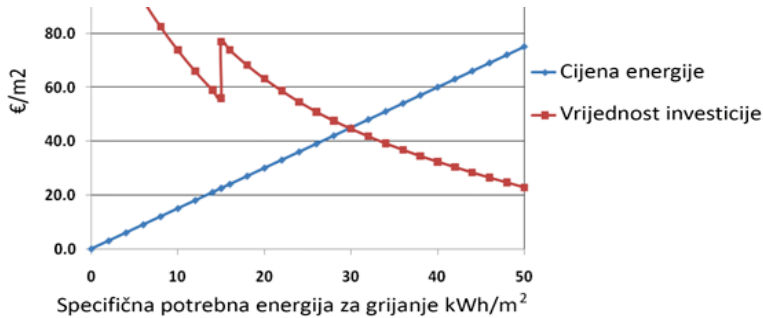
Sljedeći obnovljivi izvor energije sa potencijalom korištenja u zgradarstvu je energija biomase, konkretno drvene biomase, i to za pripremu potrošne tople vode i za grijanje. Posebno pogodni su ostaci iz drvene industrije. Indikativan je podatak da 35 do 40% drvene mase stabla namijenjenog za daljnju preradu ostaje kao otpad. Za neke specifične proizvode (parketi) ta se količina penje i do 65% [6]. Sav taj otpadni materijal veliki je energetski potencijal. Otpad iz drvene industrije obično se prerađuje u drvene pelete i brikete. Peleti i briketi su po sastavu isti, tj. u oba slučaja radi se o prešanoj piljevini i drvnim ostacima sa maksimalno 10% vlage. Razlika je jedino u veličini - briketi su nešto većih dimenzija i pogodni su za ručno loženje, dok su peleti valjčići promjera cca 6-15mm, duljine 1 do 5 cm i pogodniji su za automatsko loženje kotlova. Prema podacima iz [7], kotlovi na pelete većih snaga (240 kW) imaju neznatno višu cijenu od kotlova na plin, dok je kod srednjih snaga (70 kW) cijena kotlova na pelete manja za nekih 27%. Obzirom da je cijena energije iz drvenih peleta oko 25% niža od cijene energije iz prirodnog plina, pri projektiranju sustava grijanja i pripreme tople vode svakako treba razmotriti korištenje ovog energenta zbog njegove financijske i ekološke isplativosti.

2.4. Tehnološke alternative unutar energetski učinkovite gradnje

Energetska učinkovitost u zgradarstvu obično se ocjenjuje prema energetskim potrebama za grijanje zgrade po m^2 korisne površine. U literaturi se energetska učinkovitost zgrada obično dijeli u četiri ili pet skupina. Prva skupina bi bila standardna gradnja, druga skupina je niskoenergetska gradnja, treća skupina je pasivna gradnja i četvrta skupina je tzv. gradnja nulte energije (*zero-energy buildings*). U razvijenijim zemljama sve se više govori i o petoj skupini, tzv. zgradama sa viškom energije (*energy-plus buildings*). Prema trenutno važećim propisima RH, standardna gradnja zahtjeva između 51 i 95 kWh/m^2 energije za grijanje godišnje, ovisno o faktoru oblika zgrade. Niskoenergetska gradnja obično podrazumijeva potrošnju energije od 30 do 40 kWh/m^2 , dok pasivna gradnja podrazumijeva potrošnju od tek 15 kWh/m^2 .

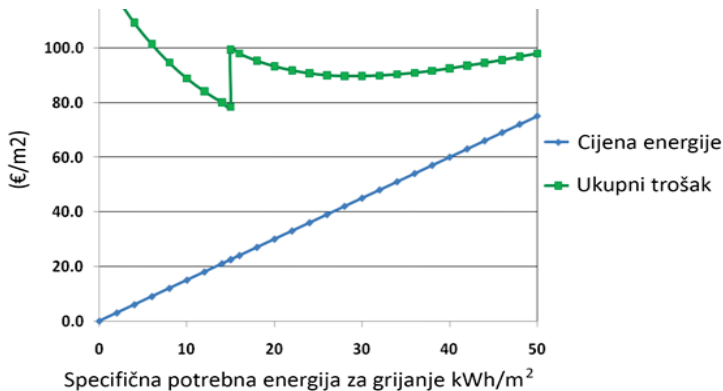
Pasivna gradnja slijedi standard Pasivne kuće koji je definiran u Njemačkoj još 1988. godine [8]. Prema tom standardu takva kuća mora zadovoljiti sljedeće uvjete: potrošnja energije za grijanje mora biti 15 kWh/m^2 ili manje, potrebna snaga izvora topline ne smije biti veća od 10 W/m^2 korisne površine, pri razlici unutarnjeg i vanjskog tlaka od 50 Pa broj promjena zraka u kući mora biti manji ili jednak 0,6 i ukupna potrošnja primarne energije za grijanje, potrošnu toplu vodu i električnu energiju ne smije biti veća od 120 kWh/m^2 korisne površine. U praksi to znači da je koeficijent prolaska topline kroz vanjsku ovojnicu oko 0,1 do $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, toplinski mostovi ne postoje, kuća je orijentirana i projektirana na način da se maksimiziraju dobici od sunčevog zračenja, a stakla su trostruka izo stakla sa višeslojnim low-e premazom tako da je koeficijent prolaska topline za prozor oko 0,7 do $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$. Čitava kuća je izraženo zrakonepropusna, na što se posebno obratila pažnja, i opremljena je visokoučinkovitom mehaničkom ventilacijom koja izmjenjuje zrak 0,4 puta na sat. Pri tome, sustav za ventilaciju obavezno koristi rekuperator topline otpadnog zraka te se temperatura kuće kontrolira isključivo preko sustava za ventilaciju [8]. Za potrebe grijanja se na ulazu zraka u ventilacijski sustav ugrađuje grijaći element snage 800-1500 W (radi se o snazi potrebnoj za obiteljsku kuću) koji obično radi na principu toplinske crpke te onda može ujedno služiti i za hlađenje ulaznog zraka. Ovaj grijaći element obično je u uporabi samo za najhladnijih dana.

Koncept isplativosti Pasivne kuće polazi od činjenice da što su toplinski gubici jedne zgrade manji, to je njihovo daljnje smanjivanje skuplje. Kada se dođe do razine toplinskih potreba za grijanje od 15 kWh/m^2 godišnje, svu potrebnu toplinu moguće je prikupiti dobitcima od sunčevog zračenja i unutarnjim dobitcima od kućanskih uređaja i od osoba koje borave u prostoru te se u tom trenutku gubi potreba za klasičnim sustavom grijanja. To dovodi do značajnog smanjenja ukupne investicije, što je lako uočljivo na Slici 7.



Slika 7. Investicija u smanjenje toplinskih gubitaka i troškovi energije kroz 30 godina prema ciljanim specifičnim toplinskim potrebama kuće – preuzeto iz [8] i doručeno

Ako sada zbrojimo cijenu energije potrošene kroz 30 godina uporabe ovakve kuće s početnom investicijom u smanjenje toplinskih gubitaka (Slika 8), vidi se da je najmanji ukupni trošak upravo pri toplinskim potrebama od 15 kWh/m². Na taj se način došlo do standarda za Pasivnu kuću [8]. Iz ovih izračuna možemo zaključiti kako je pasivna gradnja dugoročno gledano financijski (a i ekološki) najprihvatljivije rješenje u odnosu na standardnu i niskoenergetsku gradnju.



Slika 8. Ukupni troškovi investicije i troškovi energije za razdoblje od 30 godina prema ciljanim specifičnim toplinskim potrebama kuće – preuzeto iz [8] i doručeno

Na Slici 8 također je korisno primijetiti da su ukupni troškovi nakon 30 godina uporabe jednaki za kuću sa toplinskim potrebama od 50 kWh/m² kao i za onu sa 7 kWh/m² te je naš izbor želimo li uložiti u energetsku

učinkovitost ili u energiju. Iz toga slijedi zaključak da su održivi razvoj i energetska učinkovitost samo stvar izbora i, gledano s razine čitavog društva, ne traže povećane troškove, već povećanu svijest. Iz Slike 7 vidljiva je i procjena povećanja troškova gradnje kako bi se postigao standard pasivne kuće u odnosu na standardnu gradnju. Slike 7 i 8 izrađene su prema procjenama rađenim na Institutu za pasivne kuće u Darmstadtu i temelje se na cijenama u Njemačkoj. Cijena energije prema slikama 7 i 8 iznosi 0,38 kn/kWh, što je niže od današnje cijene plina koja u Rijeci iznosi 0,42 kn/kWh, a za koju se tvrdi da je još uvijek premalena. Prema Slici 7, poskupljenje cijene gradnje za dostizanje standarda pasivne kuće u Njemačkoj iznosi oko 55€/m². Prema nekim drugim izvorima, također za Njemačku, cijena ovakve gradnje 14% je veća u odnosu na standardnu, dok postoje podaci i o tome da je pasivnu kuću moguće napraviti i po cijeni standardne gradnje [9]. Prema istraživanjima provedenim u sklopu projekta CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards) 2001. godine, u sklopu kojeg je izgrađena 221 pasivna kuća u pet Europskih zemalja (Austrija, Njemačka, Francuska, Švedska i Švicarska), ustanovljeno je da je, jednostavnim izračunom, vrijeme povrata ulaganja u Pasivnu kuću od 20 do 21 godinu, a ako se uzmu u obzir kamate na kredit, onda je rok isplativosti 25 godina [8]. U našoj literaturi teško je pronaći argumentirani podatak o tome koliko je niskoenergetska ili pasivna gradnja skuplja od standardne, pa ćemo se stoga poslužiti primjerom iz prakse. Za primjer ćemo uzeti nedavno dovršenu POS-ovu stambenu zgradu u Koprivnici. Zgrada je građena po sistemu Po+P+3 i ima 28 stanova površine 36 do 66 m² te zadovoljava energetske razred A+. Specifične toplinske potrebe za grijanje iznose 14,91 kWh/m². Cijena građenja iznosila je oko 1.446.666 €, tj. 837 €/m² [10]. U usporedbi s etalonskom cijenom građenja, što predstavlja prosječnu cijenu građenja po m² korisne površine stana u RH, koja iznosi 770 €/m², to je oko 9% više. Zgrada je građena s 20 cm izolacije ($U_{\text{ovojnice}}=0,1-0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$), a prozori su od trostrukog izo stakla ($U_{\text{prozor}}=1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Posjeduje mehaničku ventilaciju s rekuperacijom zraka i visokoučinkovitom dizalicom topline zrak-voda učina grijanja 79,1 kW i učina hlađenja 88,4 kW (COP 3). Na krovu zgrade smješteno je 80 m² sunčanih kolektora. Pričuvni sustav za grijanje su 2 kondenzacijska plinska kotla nazivne snage 90 kW. U stanovima se koristi i podno grijanje i hlađenje [10]. Obzirom na spomenute karakteristike, povećanje cijene od samo 9% u odnosu na etalonsku cijenu gradnje vjerojatno je dijelom i posljedica trenutnog stanja u graditeljstvu. Za primijetiti je da ova zgrada, iako je projektirana kao pasivna, svejedno posjeduje i klasični sustav grijanja i hlađenja (podno grijanje i hlađenje) te se izostavljanjem ovog sustava mogla ostvari još i niža cijena gradnje obzirom da samo sustav grijanja u cijeni klasične gradnje obično iznosi oko 6-8% (prema podacima

iz Standardne kalkulacije radova u visokogradnji). U svakom slučaju, povećanjem cijene gradnje od 67 €/m² jednostavnom metodom izračuna (ne uzimajući u obzir cijenu kapitala, uz pretpostavku da će ona biti pokrivena daljnjim poskupljenjem cijena energenata) te uz pretpostavku korištenja prirodnog plina sa cijenom od 0,42 kn/kWh kao energenta za grijanje i plinskog kotla sa učinkovitošću od 90% i uz pretpostavku da je potrošnja energije smanjena za 51,7 kWh u odnosu na standardnu gradnju (obzirom na faktor oblika standardna gradnja bi zahtijevala oko 66,7 kWh toplinske energije za grijanje godišnje), dolazi se do podatka da se dodatna investicija u energetska učinkovitost ove zgrade isplati u razdoblju od 21 godine, uopće ne računajući na **uštede** na hlađenju.

Ostali oblici energetska učinkovite gradnje kao što su zgrade nulte energije i zgrade sa viškom energije ustvari slijede principe Pasivne kuće, a razlika je u tome što se u takvim izvedbama još unutar zgrade dodatno proizvodi energija iz obnovljivih izvora u količini koja odgovara ukupnim energetska potrebama zgrade kod zgrada nulte energije ili u količinama većim od tih potreba kod zgrada sa viškom energije.

3. Studija slučaja: Upravljanje projektom gradnje energetska učinkovitih stanova za iznajmljivanje

3.1. Konceptcija ekonomski isplative i energetska učinkovite zgrade kakva bi se prema dosadašnjim analizama mogla graditi u Hrvatskoj

Prema dosada napravljenoj analizi dolazi se do zaključka da je, u usporedbi sa standardnom ili niskoenergetskom gradnjom, dugoročno isplativo graditi zgradu po principu pasivne gradnje. Isplativa i energetska učinkovita zgrada bi u hrvatskim prilikama trebala biti koncipirana na sljedeći način:

- zgrada treba biti orijentirana prema jugu, po mogućnosti zaštićena od vjetrova, i biti projektirana na način da nisko zimsko sunce ulazi u prostor, dok bi prozori, ili arhitektonskim mjerama ili sustavima zaštite od sunca, u najvećoj mogućoj mjeri trebali biti zaštićeni od ljetnog sunca, a sve ovo kako bi se povećali toplinski dobici od sunčevog zračenja u zimskom periodu, a smanjili u ljetnom;
- zgrada treba biti kompaktnog volumena te bi općenito trebala imati najmanju moguću površinu vanjske ovojnice obzirom na korisnu površinu, a što između ostalog znači da treba biti višekatna;

- toplinska izolacija vanjske ovojnice zgrade i vanjska stolarija trebaju biti takvi da godišnje toplinske potrebe za grijanje ne prelaze 15 kWh/m^2 korisne površine kako se ne bi morao koristiti klasični sustav grijanja, već bi bila dovoljna uporaba mehaničkog sustava ventilacije s rekuperacijom topline otpadnog zraka koji bi koristio toplinsku crpku za grijanje ili za hlađenje stanova, ovisno o klimatskim prilikama;
- zgrada treba biti opremljena inteligentnim sustavima za uštedu energije poput senzora za otvaranje prozora koji isključuju sustav ventilacije, vremenski tempiranog grijanja te inteligentnim sustavom rasvjete zajedničkih prostora;
- pripremu potrošne tople vode bazirati na sustavu sunčanih kolektora na krovu zgrade dimenzioniranih da samostalno zadovoljavaju potrebe za potrošnom toplom vodom u ljetnim mjesecima. U hladnijim mjesecima za dogrijavanje potrošne tople vode koristiti kotao na drvene pelete;
- na krovu zgrade osim sunčanih kolektora instalirati i fotonaponsku elektranu snage do 30 kW. Proizvedenu električnu energiju prodavati u elektroenergetski sustav po povlaštenim cijenama.

Na osnovu ranije iznesenih procjena iz literature i podataka o cijeni gradnje jedne takve zgrade iz prakse, pretpostavljena cijena gradnje ovakve zgrade ne bi trebala biti veća od 840 €/m^2 korisne površine zgrade + 2900 €/kW instalirane snage fotonaponskih ćelija.

3.2. Koncipiranje sustava stanova za najam

Na temelju već iznesene analize stanja na tržištu stanova za najam te analize isplativosti energetski učinkovite gradnje, projekt gradnje energetski učinkovitih stanova za iznajmljivanje moguće bi bilo koncipirati na sljedećim postavkama: trebalo bi sagraditi lanac energetski učinkovitih zgrada (prema već predloženoj koncepciji zgrada) sa stanovima za iznajmljivanje u tri najveća grada u Hrvatskoj (Zagreb, Split i Rijeka) te ga po potrebama tržišta eventualno širiti i na druge gradove; pri tome iskoristiti nedostatak organiziranog sustava najma na tržištu te i dalje relativno visoke cijene stanova koji bi u kombinaciji sa prihvatljivom cijenom stanarine i niskim troškovima režija trebali biti prihvatljivi osobama u potrazi za rješavanjem stambenog pitanja; u ponudi imati stanove različitih veličina prilagođenih potrebama tržišta koji bi se u slučaju potrebe mogli zamijeniti za neki drugi stan iz sustava u istom ili nekom drugom gradu; imati veći udio manjih stanova u ponudi obzirom da na tržištu postižu bolje cijene; troškove održavanja smanjiti na račun održavanja velikog broja stanova ugovarajući održavanje, kao i sve ostale

usluge, za čitav sustav; korisnicima stanova ugovorom garantirati razinu uslužnosti i energetske učinkovitosti redovitim održavanjem zgrade; izgraditi određeni status na tržištu koji korisnicima ulijeva povjerenje posebnošću ponude i konkurentnim cijenama; pripremiti pakete za nabavku namještaja kojim se stanarima olakšava i pojeftinjuje opremanje stana kao i mogućnost da stan prilikom ulaska stanara već bude opremljen namještajem i kućanskim aparatima, što bi se posebno naplaćivalo. Obzirom na relativno veliko tržište najma stanova, popunjenost stanova u slučaju prihvatljive cijene najma ne bi trebala biti problem. Jedan od aspekata isplativosti projekta temeljio bi se na relativno sigurnoj i redovitoj naplati stanarine, što bi predstavljalo dugogodišnji stabilan prihod za vrijeme cijelog eksploatacijskog vijeka zgrade i minimalno iznosilo pedesetak godina. Pri tome bi pojedina zgrada unutar sustava u cijelosti bila otplaćena nakon 30 godina te bi nakon razdoblja otplate kredita prihodi investitora značajno porasli. Cijene najamnine bile bi formirane prema lokalnim uvjetima cijena zemljišta i cijene najma stanova i bile bi dugoročno stabilne, odnosno moglo bi ih se vezati za određene ekonomske pokazatelje poput npr. stope inflacije ili promjene cijene energenata. Lanac bi se gradio u fazama, s tim da bi se na početku napravila samo jedna zgrada kako bi se prikupila potrebna iskustva, a zatim bi u drugoj fazi bilo moguće sagraditi i više zgrada odjednom. Prva u lancu zgrada bila bi zgrada u Rijeci obzirom da su klimatski uvjeti za Rijeku negdje između onih za Split i Zagreb, tako da bi zgrada u Rijeci bila dobar pokazatelj za eventualne potrebne korekcije u sustavu grijanja i hlađenja te bi na njoj bilo najlakše procijeniti potencijalne dobiti od uporabe sustava za korištenje energije sunca koji bi bili instalirani na krovu zgrade. Obzirom na trenutnu cijenu najma stana u Rijeci koja prema podacima iz [11] iznosi uglavnom između 5 i 10 €/m², a prosječno 7 €/m² (na temelju 1725 nekretnina oglašanih za iznajmljivanje) te obzirom na činjenicu da se ovdje radi o novim stanovima sa niskim troškovima režija, za pretpostaviti je da bi bilo moguće postići prosječnu cijenu najma od barem 9 €/m². Pri tome je važno naglasiti da se prema Zakonu o porezu na dodanu vrijednost [12] taj porez ne obračunava na najam stanova, pa je porezno opterećenje na cijenu najma jednako, neovisno o tome je li iznajmljivač u sustavu PDV-a ili nije. U marketinškom smislu bilo bi potrebno maksimalno naglašavati činjenicu da se radi o ekološki prihvatljivome projektu obzirom da postoji dovoljan broj ljudi koji bi samo iz tog razloga izabrali život u ovakvoj zgradi, čak i ako cijena najma ne bi bila osobito konkurentna. Uz pretpostavku cijene građevinskog zemljišta od 170 €/m² (što je prosječna cijena za Rijeku prema [11]), cijene komunalnog i vodnog doprinosa od oko 40 €/m² (što je cijena koja vrijedi za III. zonu u Rijeci), koeficijenta izgrađenosti građevinske čestice oko 0,25 i koeficijenta iskorištenosti 1 (zgrada sa 5 stambenih etaža) te uz cijenu

gradnje od 840 €/m², ukupna investicija iznosi oko 1050 €/m² korisne površine zgrade. Sigurnosti radi, predvidjet ćemo vrijednost investicije od 1100€/m². Za pretpostaviti je da potencijalni investitor treba imati početni kapital dovoljan za kupnju građevinskog zemljišta (oko 170 €/m²), izradu projektne dokumentacije (oko 20 do 25 €/m²) i ishođenje akta o građenju (oko 40 €/m² za komunalni i vodni doprinos), a da će se daljnje financiranje projekta vršiti kreditom komercijalne banke. Dakle, potrebni početni kapital iznosio bi oko 235 €/m², a zbog sigurnosti zaokružiti ćemo ga na 250 €/m², dok bi ostatak procijenjene vrijednosti investicije, koji bi trebalo financirati kreditom, bio oko 850 €/m². Uvidom u kreditnu ponudu komercijalnih banaka izgledno je da bi bilo moguće ishoditi kredit s efektivnom godišnjom kamatnom stopom od maksimalno 6% ili manje (npr. Splitska banka nudi kredit za izgradnju sa kamatnom stopom 5,65%). Iznos mjesečne rate kredita, u slučaju kamate od 6%, na kredit od 30 godina, iznosio bi 5,1 €/m² izgrađenih stanova. Obzirom na spomenutu prosječnu cijenu najma od 7 €/m² koju je sigurno moguće dostići te procjenu da je moguće postići i 9 €/m², isplativost projekta postoji. Uz pretpostavku godišnjih troškova održavanja u visini 1% od cijene gradnje, dolazimo do rezultata da je za cijenu najma od 7 €/m² svakog mjeseca prihod veći od rashoda za 1,2 €/m², što daje godišnju stopu povrata od 4,8% na uloženi kapital od 250 €/m². Za cijenu najma od 9 €/m² razlika između prihoda i rashoda je 3,2 €/m², odnosno stopa povrata je 15,4% u odnosu na uloženi kapital. Na ovo treba još dodati mjesečnu zaradu od fotonaponskog sustava na krovu zgrade od oko 100 kn po instaliranom kW koja je sigurna za prvih 12 godina eksploatacije, a kasniji prihodi su neizvjesni (12 godina je razdoblje za koje se garantira povlaštena otkupna cijena električne energije). Ova mjesečna zarada na fotonaponskim ćelijama temeljena je na korištenju 12-godišnjeg kredita uz efektivnu kamatnu stopu od 6% godišnje i troškove održavanja od 1% godišnje. Za preciznije izračune financijske isplativosti ovoga projekta potrebno je provesti detaljniju ekonomsku analizu, no financijska isplativost postoji, dok je ekološka isplativost ovakvog projekta potpuno neupitna.

3.3. Upravljanje projektom gradnje pasivne zgrade u Rijeci

U nastavku ovoga rada bit će obrađeno upravljanje projektom gradnje jedne zgrade koja bi se gradila kao dio sustava energetski učinkovitih stanova za iznajmljivanje. Iz već ranije navedenih razloga, prva zgrada u sustavu bila bi građena u Rijeci. Zgrada bi slijedila već ranije opisani koncept te bi se svrstavala u kategoriju pasivnih zgrada i spadala u energetski razred A+. Na krovu zgrade bila bi instalirana i mala sunčana elektrana sa fotonaponskim sustavom snage 30 kW. Pretpostavljena

tlocrtna površina zgrade iznosi oko 600 m² i bila bi građena na čestici veličine oko 2400 m². Zgrada bi imala podrum ili suteran, prizemlje i 4 nadzemne etaže, što bi ukupno davalo oko 2400 m² neto korisne površine u 50 stanova prosječne veličine 48 m². Energetska učinkovitost zgrade zasnivala bi se na posebnoj izolaciji vanjske ovojnice zgrade, uporabi vanjske stolarije sa niskim koeficijentom prolaska topline, kao i na sustavu za grijanje i hlađenje sa mehaničkom ventilacijom i rekuperacijom topline otpadnog zraka te korištenjem sunčevih kolektora u kombinaciji sa kotlom na drvene pelete za zagrijavanje potrošne tople vode.

3.3.1. Upravljanje integracijom projekta

3.3.1.1. Naziv projekta

Naziv projekta je „Projekt gradnje pasivne stambene zgrade za iznajmljivanje u Rijeci“. Zgrada se gradi kao prva zgrada unutar ranije opisanog sustava stanova namijenjenih iznajmljivanju.

3.3.1.2. Investitor i vođenje projekta

Projekt se izvodi kao privatna investicija. U svrhu ostvarenja projekta potrebno je osnovati novo trgovačko društvo, najbolje u formi društva sa ograničenom odgovornošću, registrirati ga za poslove gradnje, održavanja i iznajmljivanja stanova te za energetske djelatnosti. Novoosnovana tvrtka također treba od Hrvatske energetske regulatorne agencije ishoditi dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti.

Vođenje projekta povjerava se osobi prema izboru investitora koja ima neki od međunarodnih certifikata za vođenje projekata (PMI ili IPMA razinu C ili veću). Voditelj projekta vodio bi sve poslove vezane uz realizaciju projekta gradnje pasivne zgrade te bi pritom bio ovlašten koristiti savjetodavne usluge drugih stručnjaka različitih struka. Odgovornost voditelja projekta bila bi ostvariti ciljeve projekta u zadanom vremenskom roku i u okviru predviđenih sredstava te bi se na temelju uspješnosti u ovim aspektima formirala i nagrada za pružene usluge. O trenutnoj situaciji vezanoj uz realizaciju projekta voditelj bi jednom mjesečno podnosio detaljni izvještaj investitoru.

Obzirom da privatni investitor nije obveznik Zakona o javnoj nabavi, izbor izvođača radova proveo bi se na temelju osobne procjene voditelja projekta temeljene na prikupljenim ponudama od nekoliko zainteresiranih izvođača te na temelju referenci koje izvođač ima, a sve u dogovoru sa investitorom. Za ostale usluge voditelj projekta angažirat će ponuđače prema subjektivnoj ocjeni prihvatljivosti ponuda.

3.3.2. Obim i sadržaj projekta

3.3.2.1. Granice projekta

Projekt sadržava sve projektne aktivnosti, od izbora lokacije za gradnju, kupnje građevinskog zemljišta, projektiranja, ishođenja potrebnih dozvola, izvođenja radova, do ishođenja uporabne dozvole za zgradu i za solarnu elektranu, uknjižbe zgrade u katastarski operat i zemljišne knjige i predaje objekta na daljnje upravljanje. Projekt ne obuhvaća poslove vezane uz ugovaranje financiranja investicije i poslove samog iznajmljivanja stanova.

3.3.2.2. Ciljevi projekta

Cilj projekta je u razdoblju od dvije i pol godine dovršiti gradnju zgrade sa 50 stanova za iznajmljivanje ukupne korisne površine 2400 m², građenih prema standardu pasivne gradnje, kao i pustiti u pogon fotonaponsku elektranu snage 30 kW smještenu na krovu zgrade. Planirani budžet iznosi 20.725.000,00 kuna što bi značilo da je ukupna cijena gradnje po kvadratu stana negdje oko 8.635,00 kuna, što pokriva i fotonaponsku elektranu.

3.3.2.3. Definiranje WBS strukture

WBS (Work Breakdown Structure) je dekompozicija projektnih aktivnosti prema tehnološkim, organizacijskim, ugovornim ili drugim cjelinama koje se mogu isporučiti. U ovom projektu WBS struktura definirana je kako slijedi:

- razrada projektne ideje
- izbor lokacije za građevinu i kupnja zemljišta
- izbor projektanta i izrada projekata
- ishođenje potrebnih dozvola za gradnju
- izbor izvođača radova i potpisivanje ugovora o gradnji
- izvođenje građevinskih radova
- procedure vezane uz ishođenje statusa povlaštenog proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora energije
- ishođenje uporabnih dozvola za zgradu i fotonaponsku elektranu
- predaja objekta na daljnje upravljanje.

3.3.3. Upravljanje vremenom - Terminski plan projekta

Terminski plan projekta izrađen je pomoću aplikacije Microsoft Project i prikazan je na Slici 9. Terminskim planom predviđeno je da je početak projektnih aktivnosti rujan 2012. godine. Uz predviđeno vrijeme za realizaciju projekta od dvije i pol godine, projekt bi trebao biti dovršen do kraja veljače 2015. godine.

3.3.4. Upravljanje troškovima projekta

Procjena troškova pojedinih projektnih aktivnosti prikazana je u Tablici 1. Procjena se temelji na dostupnim cijenama pojedinih usluga, ranije pretpostavljenoj cijeni gradnje i procjeni pojedinih manjih troškova.

Tablica 1. procjena troškova projektnih aktivnosti

Procjena troškova pojedinih projektnih aktivnosti		
1.	razrada projektne ideje	10.000,00 kn
2.	izbor lokacije za građevinu	6.000,00 kn
3.	kupnja građevinskog zemljišta	3.100.800,00 kn
4.	infrastrukturu (struja, voda, kanalizacija, telekomunikacije, fotonaponski sustav)	1.000,00 kn
5.	izrada posebne geodetske podloge	5.000,00 kn
6.	izrada idejnog projekta	80.000,00 kn
7.	ishođenje lokacijske dozvole	1.500,00 kn
8.	ishođenje energetskog odobrenja	100,00 kn
9.	izrada parcelacijskog elaborata	7.000,00 kn
10.	ishođenje potvrde parcelacijskog elaborata	100,00 kn
11.	izrada glavnog projekta	160.000,00 kn
12.	ishođenje potvrde glavnog projekta	730.000,00 kn
13.	izrada elaborata iskolčenja građevine	15.000,00 kn
14.	izrada izvedbenog projekta	160.000,00 kn
15.	prikupljanje ponuda za izbor izvođača	1.000,00 kn
16.	potpisivanje ugovora o gradnji sa izvođačem	5.000,00 kn
17.	prijava početka građenja	100,00 kn
18.	gradnja	15.950.000,00 kn
19.	stručni nadzor	270.000,00 kn
20.	ishođenje prethodnog rješenja o statusu povlaštenog proizvođača električne energije	1.000,00 kn
21.	potpisivanje ugovora o priključenju na elektroenergetsku mrežu za fotonaponski sustav	100,00 kn
22.	potpisivanje ugovora o otkupu električne energije	100,00 kn
23.	ishođenje elektroenergetske suglasnosti za fotonaponski sustav i sklapanje ugovora o vođenju pogona i korištenju mreže	500,00 kn
24.	ishođenje elektroenergetske suglasnosti, ugovora o priključenju i priključenje zgrade na elektroenergetsku mrežu	180.000,00 kn
25.	ugovor o priključenju i priključenje na vodovod i kanalizaciju	10.000,00 kn
26.	priključenje na fiksnu telekomunikacijsku mrežu	10.000,00 kn
27.	pokusni rad fotonaponskog sustava	2.000,00 kn
28.	određivanje kućnog broja	100,00 kn
29.	izrada geodetskog situacijskog nacrtu stvarnog stanja	6.000,00 kn
30.	izrada energetskog certifikata zgrade	5.000,00 kn
31.	tehnički pregled i ishodovanje uporabne dozvole	1.000,00 kn
32.	ishođenje rješenja o statusu povlaštenog proizvođača el.energije	1.500,00 kn
33.	upis građevine u katastarski operat i zemljišne knjige	5.000,00 kn
34.	predaja objekta na daljnje upravljanje	100,00 kn
Ukupno:		20.725.000,00 kn

3.3.5. Upravljanje rizicima projekta

3.3.5.1. Definiranje RBS strukture

RBS (Risk Breakdown Structure) je dekompozicija projektnih rizikaradi lakšeg prepoznavanja i upravljanja istima. Rizike ovog projekta podijelit ćemo na tehničke, vanjske, organizacijske i rizike projektnog menadžmenta.

Tehnički rizici vezani su uz primjenu fotonaponskog sustava, sunčanih kolektora i sustava za ventilaciju i rekuperaciju zraka te općenito primjenu principa pasivne gradnje obzirom da njihova primjena nije suviše raširena u praksi. U tom smislu posebno je izražen rizik pravilnog dimenzioniranja sustava za ventilaciju i za pripremu potrošne tople vode obzirom na skromna iskustva u pogledu njihovog stvarnog učinka i pouzdanosti u radu. Iz istih razloga postoji i rizik kašnjenja u izradi projekata i u izvođenju radova.

Vanjski rizici su uglavnom vezani uz probleme s nabavkom materijala i opremeobzirom da se radi o tehnologiji gradnje koja nije uobičajena, pa bi stoga nabavka pojedinih stavki mogla biti problematična, posebice u pogledu rokova isporuke. Također su mogući problemi sa cijenama opreme uzrokovani relativno slabom potražnjom na tržištu. Postoji i rizik zbog mogućih promjena regulative, odnosno smanjivanja otkupnih cijena proizvedene električne energije. U jedan od vanjskih rizika mogao bi se ubrojiti i rizik izdavanja potrebnih dozvola u predviđenim rokovima. Jedan od manjih rizika je i utjecaj vremenskih prilika na dinamiku izvođenja radova.

Organizacijski rizici vezani su uz eventualne probleme u financiranju projekta te uz situaciju da se administrativna strana projekta dodatno komplicira relativno složenom administrativnom procedurom vezanom uz fotonaponsku elektranu, što bi moglo utjecati i na ostale projektne aktivnosti, dođe li na ovom području do nekih zastoja.

Rizici projektnog menadžmenta najviše su vezani uz krivu procjenu troškova gradnje i dinamike ostvarivanja projektnih aktivnosti te uz probleme koji mogu proizaći iz loše komunikacije sudionika u projektu, posebice glede koordinacije pojedinih struka, a koja je iznimno važna za ovaj projekt.

3.3.5.2. Metodologija izbjegavanja rizika

Jedan dio projektnih rizika će se prenijeti na druge sudionike u projektu, dio rizika će se pokušati umanjiti, a ostali projektni rizici će se prihvatiti.

Tehničke rizike vezane uz funkcioniranje sustava za pripremu tople vodei sustava ventilacije i rekuperacije zraka u najvećoj bi mogućoj

mjeri trebalo podijeliti između investitora i projektanta jer je izvjesno da će projektant težiti ka predimenzioniranju sustava ukoliko on sam snosi kompletan rizik, što bi moglo dovesti do poskupljenja gradnje. Rizik prekoračenja ugovorenog roka izrade i kvalitete projekta trebalo bi regulirati na način da se u ugovor o projektiranju ugradi novčano osiguranje, odnosno odšteta investitoru u slučaju ovakvog događaja. Rizik izvođenja radova u predviđenom roku trebao bi biti prebačen na izvođača radova na način da se ugovorom o građenju regulira novčana odšteta investitoru u postotku vrijednosti ugovorenih radova za slučaj eventualnog kašnjenja dovršetka radova. Rizik kvalitete izvedenih radova isto tako treba prenijeti na izvođača na način da će za izvedene radove biti ugovorom regulirana garancija u trajanju od minimalno dvije godine za građevinske radove, a duže garancije, ovisno o uobičajenoj praksi, za ostale sustave zgrade - posebice solarne sustave i sustav ventilacije.

Vanjski rizici vezani uz probleme sa nabavkom materijala i opreme prenijet će se na izvođača radova na način da će biti ugovoreno da je izvođač dužan nabaviti sav potreban materijal i opremu (i završiti gradnju u predviđenom roku). Rizike vezane uz prekoračenje rokova za izdavanje dozvola kao i rizike kašnjenja radova zbog vremenskih uvjeta na sebe će preuzeti investitor. Rizik zbog promjene regulative, odnosno smanjenja otkupnih cijena proizvedene električne energije trebao bi biti minimalan obzirom da se sa HROTE-om potpisuje 12 godišnji ugovor o otkupu. Rizik koji realno postoji vezan je uz to da se regulativa promijeni prije potpisivanja ugovora o otkupu električne energije i taj rizik na sebe preuzima investitor.

Investitor na sebe preuzima također i sve organizacijske rizike, a iste će pokušati smanjiti kvalitetnom pripremom, posebice vezano uz procedure za stjecanje statusa povlaštenog proizvođača električne energije. U tu proceduru treba ući čim je prije moguće, a u međuvremenu provesti konzultacije sa drugim proizvođačima energije koji su tu proceduru već prošli.

Rizike projektnog menadžmenta na sebe preuzimaju u najvećem dijelu investitor, a djelom i voditelj projekta obzirom da je predviđeno da nagrada za vođenje projekta ovisi o ostvarenju predviđenih ciljeva projekta, posebice u smislu utrošenog vremena i financijskih sredstava.

4. Zaključak

Ovim radom pokazano je da, osim ekološke isplativosti i nužnosti daljnjeg razvoja graditeljstva po principima održivog razvoja, energetski učinkovita gradnja u postojećem projektnom okruženju ima i svoju

financijsku isplativost. Stalnim poskupljenjem energenata ovakvi će projekti vremenom postajati sve isplativiji i nužniji. Rizičnost ovakvih projekata u današnjem projektnom okruženju uglavnom je posljedica malog broja ostvarenih projekata ovoga tipa i u većoj se mjeri svodi na nesigurnost u procjeni cijene građevinskih radova te kvaliteti projektiranja i izvedbe radova. Povećanjem broja ovakvih projekata njihova bi se rizičnost značajno smanjila. Bilo bi dobro da se u ovakve projekte aktivnije uključi i država obzirom da su oni od državnog interesa, kakozbog potpisanih ugovora o emisiji stakleničkih plinova i obveza RH u pogledu energetske učinkovitosti koje nameće EU, tako i zbog pitanja sustavnog stambenog zbrinjavanja stanovništva. Jedan od modela mogli bi biti direktni novčani poticaji investitorima koji ulažu u energetske učinkovite gradnje, što je slučaj u nekim državama EU, npr. Francuskoj. Pravi put bio bi otvaranje instituta koji bi se bavio energetske učinkovite gradnje i razradio najbolju koncepciju energetske učinkovite zgrade za naše uvjete. Takve bi se zgrade onda mogle graditi u sklopu javno-privatnog partnerstva, u što bi država mogla ugraditi veliki broj svojih interesa, a privatnom investitoru bi se jamčila stabilnost projektnog okruženja. Ulaganje u energetske učinkovite također bi trebalo promatrati i iz aspekta resursa koje kao zemlja posjedujemo. U slučaju niske energetske učinkovitosti, velika financijska sredstva troše se na energiju koju uglavnom uvozimo. Ulaganjem u energetske učinkovite možemo ulagati u sebe i vlastiti razvoj te otvaranje novih radnih mjesta. Kao zemlja relativno smo dobro zemljopisno pozicionirani za iskorištavanje energije sunca, a s druge strane posjedujemo dovoljno educiranih ljudi koji su u stanju razvijati i proizvoditi sustave koji se baziraju na energetske učinkovitosti i obnovljivim izvorima energije. Šteta bi bilo ne iskoristiti ova dva resursa na pravi način.

Literatura

- [1] Podaci Državnog zavoda za statistiku temeljeni na Popisu stanovništva, kućanstava i stanova iz 2001., <http://www.dzs.hr>
- [2] Hrs Borković, Ž., *Vodič kroz energetske efikasne gradnje*. Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2005.
- [3] Grupa autora. *Priručnik za energetske savjetnike*. UNDP, Zagreb, 2008.
- [4] Renewables 2011 - global status report, REN21, Pariz, 2011.
- [5] Dović, D., Švaić, S., *Solarni sustavi-simulacija: Sunčeva energija za grijanje i pripremu potrošne tople vode*. Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, 2005.

- [6] Suša, M., *Biomasa kao izvor energije*. Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Zagreb, 2010.
- [7] Švaić, S., *Proizvodnja toplinske energije iz drvne biomase*. Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Zagreb, 2005.
- [8] Laustsen, J., *Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings*. IEA, Pariz, 2008.
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_house, svibanj 2012.
- [10] Hrs Borković, Ž.: *Energetska certifikacija zgrada i potencijal energetske obnove zgrada*, prezentacija, Koprivnica, 2011.
- [11] <http://www.gohome.hr>, specijalizirana internet tražilica nekretnina
- [12] Zakon o porez na dodanu vrijednost (NN 47/95, 106/96, 164/98, 105/99, 54/00, 73/00, 48/04, 82/04, 90/05, 76/07, 87/09, 94/09, 22/12)

RIJEČKI SAMOSTAN BENEDIKTINKI – POVIJEST, STANJE I PRIJEDLOG ADAPTACIJE*

BENEDICTINE MONASTERY OF RIJEKA – HISTORY, PRESENT STATE AND ADAPTATION PROPOSAL

Nana PALINIĆ, Luka CRNJAK****

Sažetak

Prvi benediktinski ženski samostan u Rijeci podignut je u 17. st. u Starom gradu uz postojeću crkvu sv. Roka koja je ušla u njegov sastav. Barokna dvokatna zgrada izgrađena je uz sjeveroistočne zidine grada i bila organizirana oko prostranog klaustura. U drugoj polovini stoljeća unutar samostana otvorena je i prva škola za žensku djecu. Premda velikih dimenzija, samostanski kompleks je zbog lošeg građevinskog stanja početkom 20. st. napušten i srušen.

Novi benediktinski samostan izgrađen je 1914. na Podmurvicama prema projektu austrijskog arhitekta Theodora Träxlera i riječkog graditelja Eugenia Celligoia i jedina je realizirana sakralna građevina secesijskog razdoblja u Rijeci. Građen je prema najsuverenijim principima prostorne organizacije i jedna je od najranijih armiranobetonskih građevina u Rijeci. Od projektiranog sklopa, samostana, škole, odgojnog zavoda i crkve, zbog izbijanja Prvog svjetskog rata neizgrađena je ostala reprezentativna crkva. Na njenom je mjestu prema projektu arhitekta Eduarda Stipanovića 1931. u stilu moderne podignuta crkva Sv. Josipa. U poslijeratnom razdoblju prostori samostana se kontinuirano koriste za smještaj učenika srednjih i osnovnih škola te povremeno i studenata, a danas je u zgradi smješten Učenički dom Podmurvice. Zbog namjena koje su bile vrlo bliske izvornoj, sama je zgrada tijekom gotovo stoljeća postojanja doživjela vrlo male promjene.

U radu je prezentirana i analizirana mogućnost adaptacije postojećeg učeničkog

* Članak je nastao temeljem ranije objavljenih radova i novih arhivskih istraživanja prvog autora te diplomskog rada drugog autora u sklopu kojeg je izrađen snimak postojećeg stanja i prijedlog adaptacije.

** Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka
E-mail: nana.palinic@gradri.hr, lukacrnjak@gmail.com

doma u studentski, kroz Idejni i Izvedbeni projekt te Arhitektonski snimak postojećeg stanja, koji je, obzirom na oskudnu arhivsku dokumentaciju, bio nužan preduvjet za izradu projekata. Uz optimalna konstruktivna i prostorna obilježja postojeće građevine, prijedlog adaptacije opravdava i povoljna lokacija u neposrednoj blizini postojećeg studentskog doma i nekoliko fakulteta, razmatrajući mogućnost realizacije studentskog smještaja i izvan prostora Sveučilišnog kampusa.

Ključne riječi: *Rijeka, benediktinski samostan, arhitektonsko projektiranje, učenički dom, studentski dom, adaptacija*

Abstract

The first Female Benedictine Monastery in Rijeka was erected in the Old Town in the 17th century and the existing church of St. Roko became its part. Two-storied Baroque building was built near the north-eastern part of city walls around the spatial courtyard. In the second half of the 17th century the first school for female children is opened inside the monastery. In spite of its large dimensions and due to a poor building condition the monastery complex was abandoned and destructed at the beginning of 20th century.

The new Benedictine Monastery was built 1914 in Podmurvice according to the project of the Austrian architect Theodor Träxler and Eugenio Celligoi, a constructor from Rijeka, and is the only sacral building constructed during the secession period in Rijeka. The monastery was constructed according to the most contemporary spatial organization principles and it is one of the earliest reinforced concrete buildings in Rijeka. Within the entire designed complex which embraced the monastery, consisting of a school, an educational institute for girls and a church, the representative church had not been built because of the beginning of the First World War. According to the project of the architect Eduardo Stipanović, a modern St. Joseph Church filled its place in 1931. After the Second World War the monastery was continuously used as a Dorm for secondary and elementary scholars and temporarily for student accommodation. Today it is used as the Dorm Podmurvice. As the new purpose was very similar to the original one, during the decades of existence the building itself endured minimal changes.

In text presents and analyzes a possibility of adaptation of the existing dorm into a student dormitory through the Preliminary design and the Implementation design of the adaptation. Since the preserved Archival material about the building is incomplete, the Present state documentation had to be prepared. Apart from optimal constructive and spatial characteristics of the existing building, the adaptation proposal is justified by the vicinity of several faculties and the existing student dormitory, considering possibility of student accommodation realization apart from the University campus.

Key words: *Rijeka, Benedictine monastery, architectural design, dorm, student dormitory, adaptation*

1. Stari samostan benediktinki

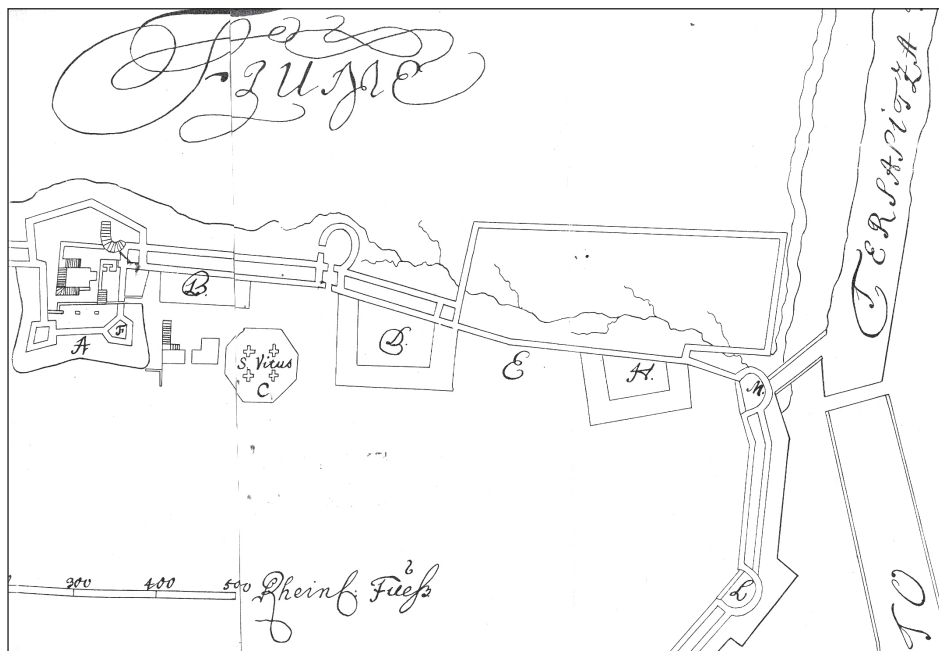
Prvi benediktinski samostan, ujedno i prvi ženski samostan u Rijeci, osnovan je u prvoj polovini 17. stoljeća. Izvori spominju kako se 1605. godine riječki trgovac Francesco Brunetti obvezao donirati 500 srebrnih talira za gradnju jednog ženskog samostana, a općina je dvije godine kasnije za otvorenje samostana zatražila i dozvolu od pape. Trsatski kapetan Franjo Knežić u istu je svrhu 1640. oporučno ostavio Gospoštiju Mune i veliko bogatstvo nad kojim je upravljanje preuzela općina [1]. Za gradnju samostana određen je teren u Starom gradu, neposredno uz sjeveroistočne gradske zidine, na kojem se već nalazila zavjetna crkva Sv. Roka. Kada je točno izgrađena nije pouzdano poznato. Kandler navodi godinu 1291., ali je nadnevak zacijelo pogrešan, jer je Sv. Roko, zaštitnik od kuge, rođen tek 1295. U riječkim javnim dokumentima ova se crkva prvi puta spominje 1599., iste godine kad je u obližnjoj tvornici kože izbila epidemija kuge i usmrtila preko 300 ljudi, što je neke autore navelo na pomisao da je crkva sagrađena te godine [1, 2]. Crkva je, međutim, morala biti sagrađena ranije, o čemu svjedoči i najstariji grafički prikaz grada, Rijeka s utvrdoma oko 1550. godine, na kojem je sjeverozapadno od Zborne crkve (*Duomo*) prikazana crkvice s zvonikom uz koju stoji natpis S. Roccho [3].

Crkva je pripadala Kaptolu ali je između 1627. i 1635. kao i 1638. i 1659. bila ustupljena isusovcima, a jedno se vrijeme u njoj čuvalo i čudotvorno Raspeće.

Izvori također navode kako je, nakon što je pulski biskup odobrio gradnju, između 1645. i 1656. godine izgrađen i samostan. Papinska je dozvola dobivena 1660., vladareva 1663., a iste su godine u Rijeku stigle i tri redovnice iz Trsta i jedna s Raba. Uskoro je u samostan ušlo i prvih osam pitomkinja, djevojaka iz uglednih riječkih obitelji [1]. Dva dokumenta, međutim, dovode ove godine u pitanje. Prvog navodi Kobler: „*Potom je, 1607. godine, općinska uprava zatražila dozvolu od pape za otvaranje samostana, naglasivši kako je Brunetti obećao onaj prilog i već izgradio zdanje za samostan*“ (potcrtala N.P.) [1]. Drugi je Plan (*No. 22*) Rijeke iz 1625.g. (Slika 1) koji se čuva u bečkom Kriegsarchivu a prikazuje uglavnom riječke utvrde i nekoliko većih građevina, a na kojem je u sjeveroistočnom dijelu starog grada ucrtana zgrada u obliku slova U i označena slovom H: *Closter frauen* (ženski samostan) [4]. Ako su ovi dokumenti dobro datirani, znači da je samostan morao biti izgrađen ranije, između 1607. i 1625. godine.

Samostanski sklop bio je organiziran oko trapeznog dvorišta – klaustra čije su tri strane zatvarala krila samostana, a četvrtu, sjeveroistočnu, gradske zidine. Neposredno iza zidina tekao je potok Lešnjak koji je još u doba antike utjecao na položaj gradskog zida na ovome mjestu, a unutar

samog sklopa bila su još dva manja dvorišta. Tlocrtni oblik samostana bio je nepravilno slovo „U“, zapadno je krilo bilo dugo oko 40, južno oko 70, a istočno oko 22 m dok je širina zgrada bila također različita: 23 m u zapadnom, 15 m u istočnom i svega 9 m u južnom dijelu. U jugozapadnom dijelu nalazila se crkva Sv. Roka.

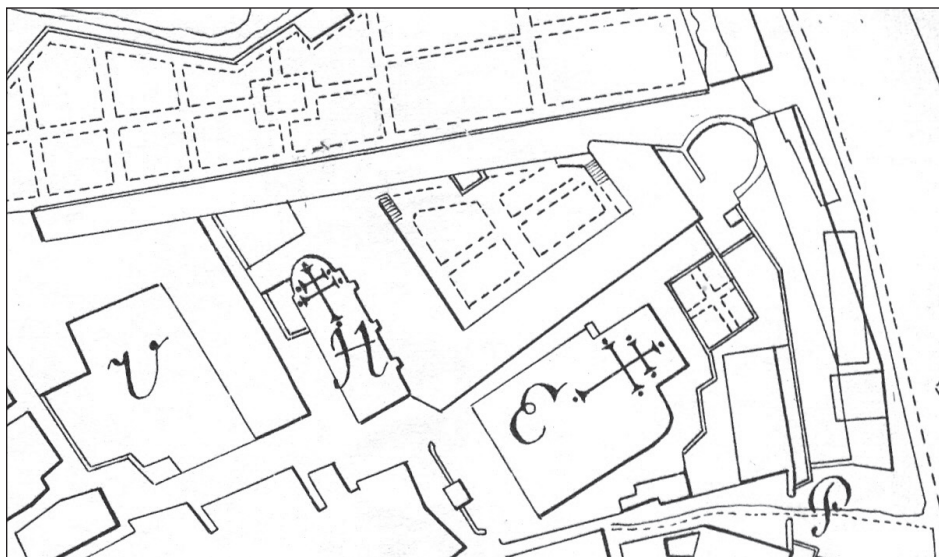


Slika 1. Plan Rijeke iz 1625., detalj, Benediktinski samostan označen je slovom H [4]

Izgled crkve Sv. Roka i samostana prikazan je na nekoliko planova i grafika, a zabilježen je i u pisanim dokumentima. Ranije spomenuta grafika, kao i one kasnije iz 1670. i 1671. godine prikazuju crkvu pravokutnog tlocrta s dvostrešnim krovom i zvonikom pokrivenim četverostrešnim krovom. Prvi plan na kojem je ucrtana i crkva je nacrt Grivice s početka 17. st. [3] i na njemu je crkva prikazana kao pravokutna građevina s kvadratnim svetištem u sjevernom dijelu. Dosta jasan prikaz daje obojeni crtež iz 1728. koji prikazuje dolazak cara i kralja Karla VI u Rijeku. Vidljiv je gornji dio crkve, južno pročelje s tri visoka polukružno završena prozora i jednim manjim kružnim iznad njih, zvonik na preslicu s polukružnim otvorima za dva zvona¹ te križem na vrhu. Krov je dvostrešan, a na bočnom pročelju vidljiv je jedan plitki polukružni prozor.

¹ Kobler, međutim, navodi kako je na pročelju bila preslica s otvorima za tri zvona. [1]

Godine 1743. podignut je u jugozapadnom uglu klaustura zvonik, no zbog nekvalitetne građe i slabog pokrova ubrzo je propao. Crkva je bila teško oštećena i u potresu 1750. godine. Je li bilo oštećenja i na samostanu, izvori ne spominju. Prema planovima inženjera Giovannija Antonia de Vernede crkva je 1754. obnovljena, a 1762. obnovljen je krov zvonika i pokriven olovom.²



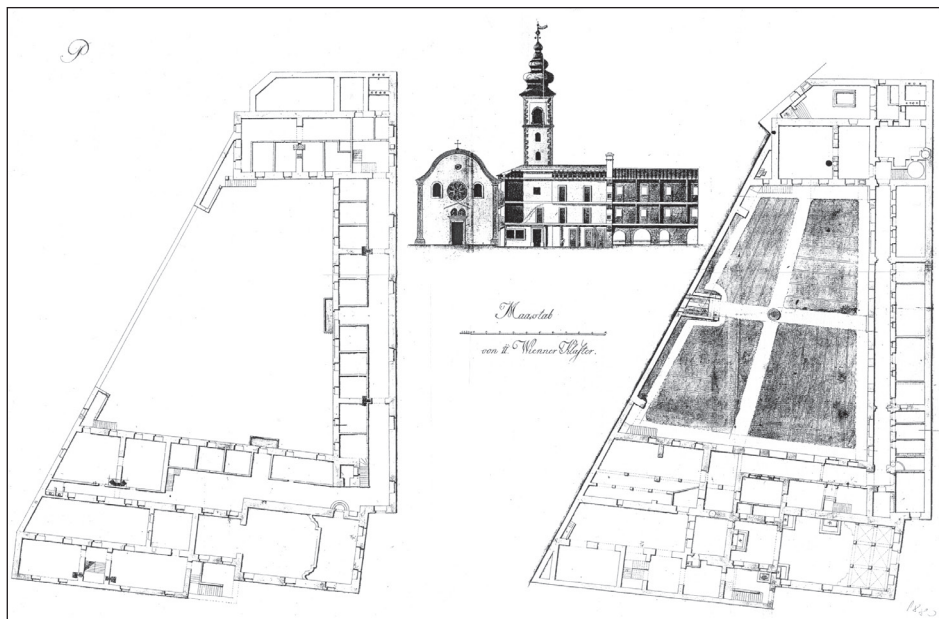
Slika 2. Plan Rijeke iz 1776-1795., autor satnik von Benko, detalj. Crkva sv. Roka i Benediktinski samostan označeni su slovom H [4]

Isprva su u sklopu kompleksa bili samo samostan i crkva, ali od 1777. ugarska je vlada samostanu povjerila i vođenje škole za djevojke. Stoga su zgrada samostana i crkva ponovno obnovljene, a 1822. zgrada djevojačke škole i proširena.

Izgled samostana i crkve najbolje, međutim, ilustrira nacrt koji nije datiran ni potpisan, a prikazuje stanje nakon navedenih rekonstrukcija, tj. stanje iz 19. stoljeća (Slika 3). Plan prikazuje tlocrt prizemlja i prvoga kata te dio presjeka samostana i barokizirano pročelje crkve sv. Roka i zvonik [5].

² Moguće je da je s ovom obnovom došlo do još nekih promjena. Naime, na planu grada i luke satnika von Benka iz 1776. i 1795.g. (Slika 2) tlocrt crkve je drugačiji, tj. svetište je polukružno a jednako je prikazano i na planu iz 1814. Moguće je da je u to vrijeme došlo do promjene u tom dijelu crkve a moguće je i da planovi nisu precizni budući je na svim planovima koji nastaju kasnije, iza 1850. svetište ponovno kvadratnog tlocrta.

Iz nacrtu je vidljiv raspored osnovnih sadržaja - prostori škole nalazili su se u sjeverozapadnom dijelu samostana, u blizini crkve, u južnom dijelu bili su boravišni prostori za redovnice i pitomke a u krajnjem istočnom krilu uglavnom gospodarski sadržaji. S trga se ulazilo u jednobrodni prostor crkve čiji je južni dio bio raščlanjen stupovima koji su nosili svod podijeljen u šest križnih traveja, ujedno i pod pjevališta u koje se pristupalo iz samostana. S lijeve i desne strane portala svetišta bila su dva oltara, a jedan se nalazio i na istočnom zidu dok je u krajnjem dijelu povišenog svetišta bio glavni oltar. Iza svetišta nalazila se sakristija.



Slika 3. Nacrt crkve sv. Roka i benediktinskog samostana u Starom gradu, tlocrti 1. kata i prizemlja, pogled i presjek [5]

Iz istog trga ulazilo se u samostan. Veći je dio prizemlja bio organiziran po koridornom sistemu: hodnik je smješten s unutarnje strane, okružujući klaustar, a iz njega se pristupalo u veći dio prostorija. U južnom dijelu bila je riječ vjerojatno o pomoćnim i gospodarskim prostorima jer su bili bez prozora, a u istočnom dijelu sklopa nalazile su se očito kuhinja i blagovaonica te manje dvorište s perilom u koje je dotjecala voda iz Lešnjaka. Za pristup gornjoj etaži postojala su dva stubišta – jedno u istočnom dijelu uz kuhinju i drugo u zapadnom dijelu uz crkvu. Gornja je etaža (a zasigurno i ona iznad nje) organizirana također koridorno, ali se hodnik nalazio obodno, dok su sve prostorije bile orijentirane prema

klausturu. U južnom dijelu bilo je deset manjih sobica a sa zapadne tri manje i jedna veća, a u središtima hodnika bili su izlazi na balkone. Istočni dio bio je odvojen, a do ovih se prostora stizalo zasebnim stubištem iz klaustura. Jedno zasebno stubište povezivalo je i školu s klaustrom.

Ulaz u školu bio je nešto uvučen u odnosu na trg, u prizemnom je dijelu bilo nekoliko prostorija nanizanih oko izduljenog trapeznog dvorišta te dva stubišta za pristup na gornje etaže. Na katu su bile četiri veće prostorije, očito učionice, a vjerojatno je ista tlocrtna dispozicija bila i na katu iznad [5].

Može se zaključiti kako je iz sačuvanih nacрта, ali još više iz grafika i fotografija sklopa razvidno kako je bila riječ o imponantnom kompleksu, osobito u kontekstu mjerila Staroga grada (Slika 4).

Početak 20. st. prostori samostana, premda prostrani, zbog lošeg građevinskog stanja postaju neadekvatni za daljnji boravak te se redovnice odlučuju preseliti u kuću i posjed u riječkom predgrađu Podmurvice. Ta kuća nije, međutim, bila dovoljno prostrana za smještaj samostana i djevojačke škole te se donosi odluka da se u blizini izgradi novi samostan, a stara samostanska zgrada definitivno napusti.³



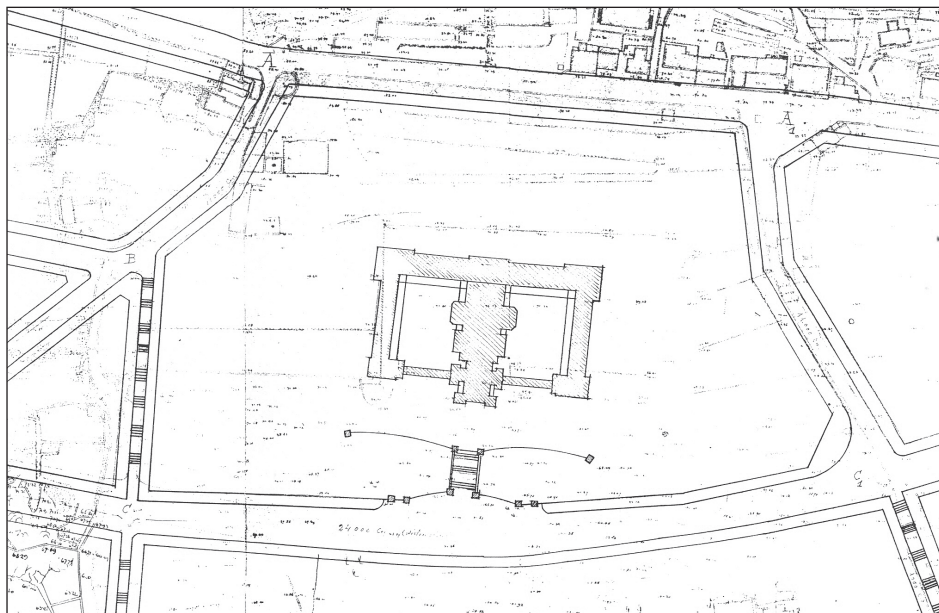
Slika 4. Benediktinski samostan i Crkva Sv. Roka na fotografiji s kraja 19. st. [6]

³ Matejčić navodi kako su ovu odluku benediktinke donijele 1908. godine, međutim, Paolo Grassi već u tekstu Regulacijskog plana objavljenog 1904. predviđa na Podmurvicama novi benediktinski samostan.; [2], str. 398; [7], str. 34-35.

2. Novi samostan benediktinki

Budući za izgradnju novog samostana sestre benediktinke nisu imale dovoljno sredstava, Dobrotvorno društvo Maria na čelu s msgr. Mateom Balasom organiziralo je skupljanje dobrotvornih priloga. Osnovan je Odbor za gradnju samostana na čijem je čelu bila supruga tadašnjeg guvernera, grofica Sofija Wickenburg. Zahvaljujući brojnim donacijama pojedinaca i društava, odbor je tijekom nekoliko godina uspio sakupiti dovoljno sredstava za otkup prostranog terena, kao i za izradu projekta i gradnju. Otkupljen je teren koji se nalazio sjeverno od nove ceste – Via Trieste (danas Ulica Franje Čandeka) a prethodno je bio u vlasništvu obitelji Poglayen.

Projekt samostana naručen je od poznatog riječkog arhitekta, graditelja i poduzetnika Vjenceslava Celligoia. On, međutim, u to doba prestaje s aktivnim radom i svoj ured prepušta sinu Eugeniju koji se s austrijskim arhitektom Theodorom Träxlerom udružuje u zajedničko poduzeće pod nazivom „Eugenio Celligoi et Co“.⁴ Istovremeno su Celligoi i Träxler radili i na projektu riječkog Teatra Fenice. Projekt je krajem srpnja 1912. bio gotov i zatražena je građevinska dozvola, a molbi je pridruženo i 16 planova.



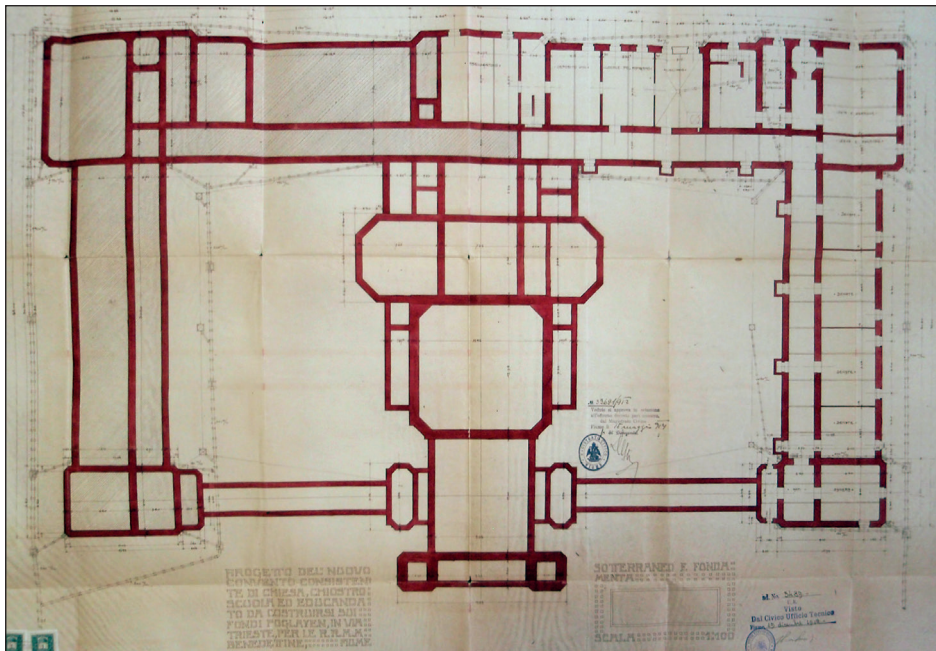
Slika 5. Regulacija ulica oko novog Benediktinskog samostana na Podmurvicama, detalj plana, 1913. [8]

⁴ E. Celligoi e Compagno – E. Celligoi i drug

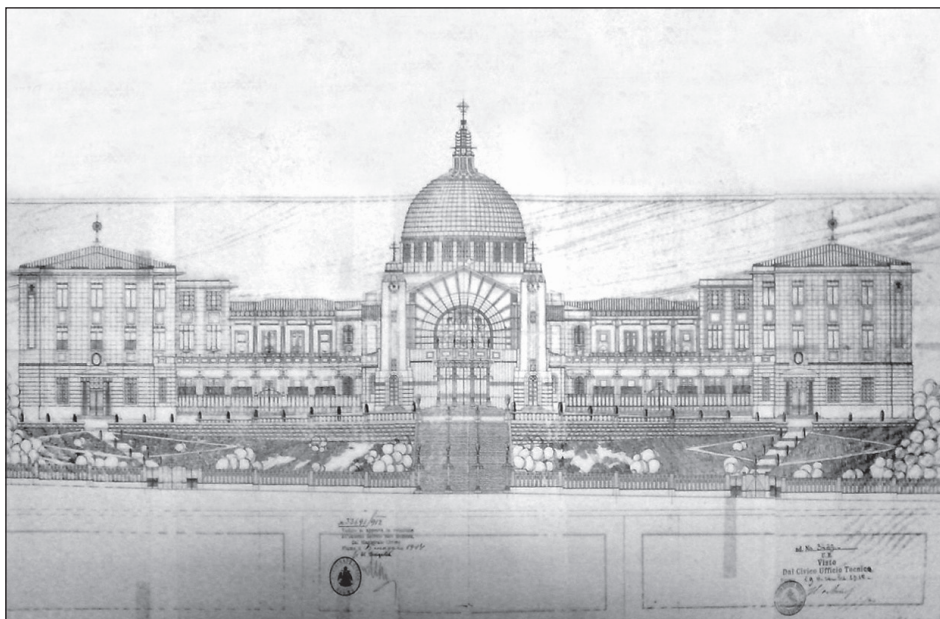
Kako je točno izgledao izvorni projekt samostanskog sklopa ne može se sa sigurnošću utvrditi budući su od svih nacрта sačuvana samo tri: tlocrt temelja i suterena, nacrt glavnog pročelja i poprečni presjek. Uz ove postoji i nekoliko nacрта situacije kompleksa (Slika 5) [8,9]. Bila je riječ o monumentalnoj građevini velikih dimenzija, organiziranoj po klasičnoj tripartitnoj shemi naglašenog središnjeg dijela s istaknutim krajnjim krilima gdje se nalaze i ulazi u crkvu, samostan i školu. Ipak, klasična samostanska klauzura nije izostala, s južne su strane između crkve i bočnih krila predviđeni također hodnici a prostor je, umjesto oko jednog, organiziran oko dva dvorišta. Sjeverno je krilo bilo dugo preko 90, a bočna oko 50 metara, dok je prosječna širina sklopa iznosila oko 12 metara. U zapadnom krilu smješten je samostan a u istočnom škola i odgojni zavod. Zbog pada terena istočno je krilo imalo i podrumsku etažu koja je na zapadnoj strani izostala, a podrumljen je bio i veći dio sjeverne strane. Središnji dio sjevernog krila bio je za etažu niži. Centralno je bila postavljena crkva koja je istovremeno i povezivala i razdvajala sklop i ona je i po svojim gabaritima i po oblikovanju središnji element kompozicije (Slika 6).

Zgrada je postavljena na uzvišenom platou, a akropolni dojam pojačan je centralnim širokim stubištem koje vodi do ulaza u crkvu, dok su ulazi u samostan i školu predviđeni bočno, čime je dodatno naglašena aksijalnost kompozicije. Ulaz u crkvu nešto je povišen u odnosu na ulaze u školu i samostan. Nad trodijelnim ulazom dominira velika luneta s prizorom samostanskog sklopa, obrubljena nizom koncentričnih profilacija, a s obje strane ulaza su tornjevi sa satom. Središnje postavljena kupola podignuta je na visok tambur a dodatno je izdužena lanternom i križem na vrhu, dok se isti motiv križa pojavljuje i nad tornjevima i vrhovima krova bočnih krila. Skulpture svetaca nad portalom te anđela na dnu i vrhu ulaznog stubišta dodatni su elementi koji pridonose dramatičnosti prizora (Slika 7).

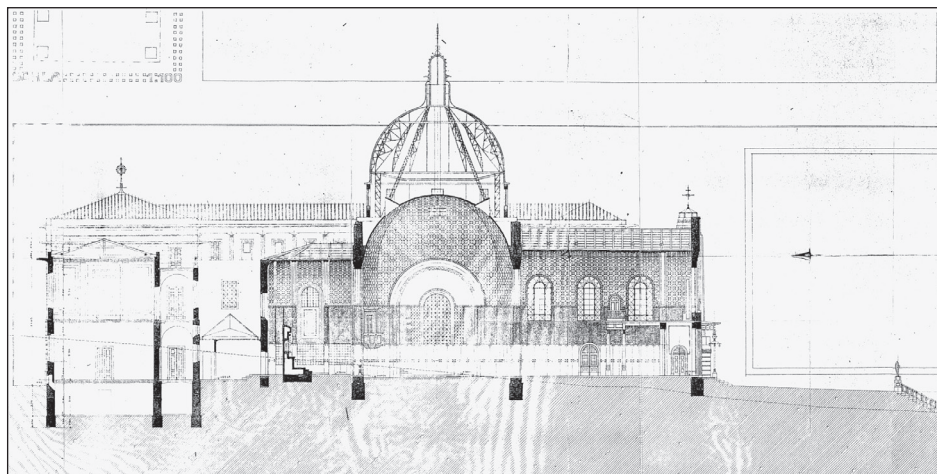
Tlocrtni oblik crkve diktirala su pravila benediktinskog reda: jednobrodni prostor podijeljen je poprečno u četiri prostora različitih širina: ulaz, stražnji dio dvorane, centralni dio, povišeno svetište s oltarom postavljenim slobodno u prostoru iza kojeg je otvoreni deambulatorij. Transept presijeca glavni brod u razini svetišta ali je pregrađen i ne sudjeluje u prostoru crkve. Iznad ulaza je pjevalište do kojeg se dolazi s prvog kata samostana, a veze sa samostanom i školom postoje i u stražnjem dijelu crkvene dvorane. Dominantni element crkve je kupola postavljena nad centralnim dijelom čiji je tlocrtni gabarit kvadrat odrezanih uglova. Konstruktivno je riječ o dvije kupole, nižoj unutarnoj izvedenoj kao armiranobetonska ljuskasta konstrukcija, i višoj vanjskoj poduprtoj laganom čeličnom rešetkastom konstrukcijom (Slika 8).



Slika 6. Glavni projekt, tlocrt temelja i suterena, 1912. [9]



Slika 7. Glavni projekt, južno pročelje samostana i crkve, 1912. [9]

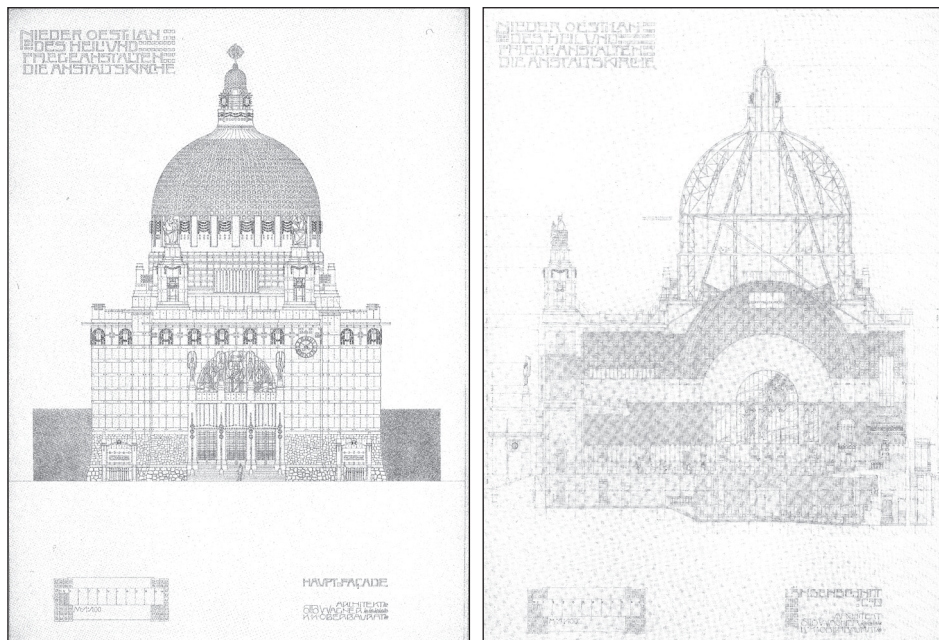


Slika 8. Glavni projekt, presjek kroz središnji dio samostana i crkve, 1912. [9]

Unutarnji je prostor horizontalno podijeljen u tri zone – bazu, središnji i gornji dio u kojem je i koncentracija geometrijskog dekora. Veza između crkve i ostatka kompleksa postoji i iz same crkve, preko prostora natkrivenog laganom metalnom ostakljenom konstrukcijom.

Pri projektiranju crkve autori su nesumnjivo bili pod utjecajem crkve Sv. Leopolda Otta Wagnera na bečkom Steinhofu (Slika 9) budući je sličnost u konceptu, proporcijama, oblikovanju i konstrukciji očita a neki su elementi doslovno preuzeti. Bilo je to očekivano, jer je utjecaj koji je ova građevina izvršila na arhitekta i projektanta bio vrlo velik, a Traxler je upravo u doba gradnje bečke crkve bio Wagnerov učenik. Ipak, razlike postoje. Riječka je crkva duža, manje osvijetljena, postoji jače izražena unutarnja raščlamba prostora, otvori nemaju isti oblik ni dimenzije kao ni kupole, dok bečka crkva ima i kriptu koje u riječkoj nema [10].

U drugoj polovini 1912. započela je izgradnja samostana, premda suglasnost za gradnju još nije bila dobivena. Građevinska dozvola izdana je tek 20. lipnja 1914. godine kada je zgrada već bila gotovo dovršena, i to nakon intervencije Sofije Wickenburg, a kolaudacija je potpisana 4. srpnja iste godine. Razlog za ovakvo kašnjenje bila je potreba za izgradnjom novih cesta u neposrednoj blizini samostana na što je potrošeno gotovo dvije godine u intenzivnoj prepisci između Samostana, Odbora za gradnju i riječke općine dok konačan dogovor nije postignut [8].



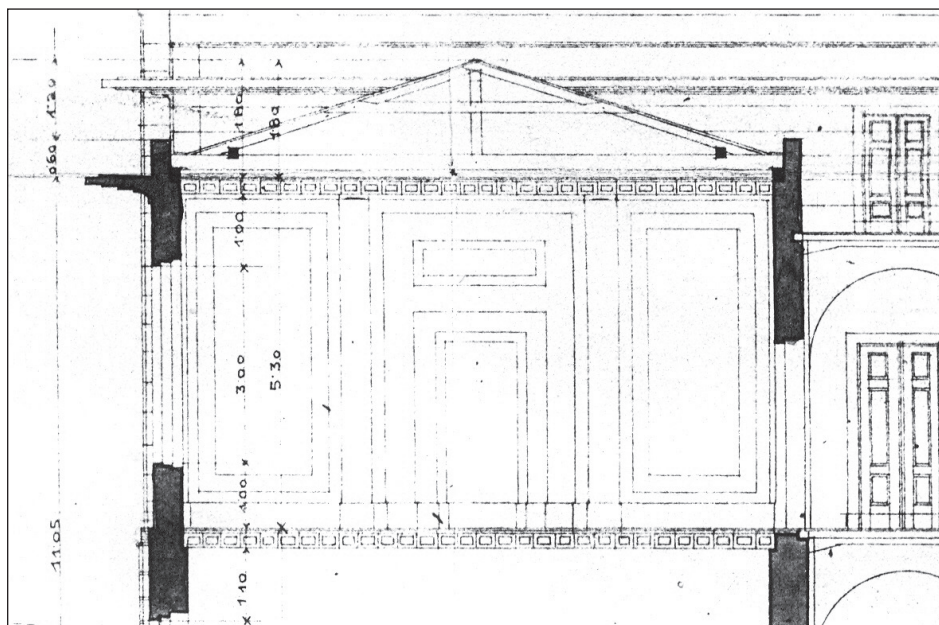
Slika 9. Crkva sv. Leopolda, Steinhof, Beč, glavno pročelje i presjek, 1904. [10]

Građevina je ipak, sudeći prema pisanoj dokumentaciji, u dijelu koji je obuhvaćao samostan i školu izgrađena bez većih odstupanja od projekta [11]. Istovremeno, zbog nedostatka financijskih sredstava i krize koja je nastupila izbijanjem 1. Svjetskog rata, reprezentativna crkva, kao ni dva zatvorena koridora koji povezuju crkvu s ostatkom sklopa na južnoj strani u ovoj prvoj fazi nisu izgrađeni. Bez obzira na to, riječki je samostan po završetku gradnje bio jedan od najmodernijih benediktinskih samostana u Monarhiji.

Prostorni je raspored izvedenog samostana logičan i jednostavan, primijenjen je koridorni princip, ali, suprotno od starog samostana, hodnik se na svim etažama nalazi s unutarnje strane, prema dvorištu, dok su sve prostorije obodno. Obzirom da tlocrti većinom nisu sačuvani, raspored prostora može se samo nagađati. Iz pisanih izvora poznato je da su u središnjem dijelu, najbliže crkvi, bile smještene redovnice, a u krilima učenice. U donjim su se etažama po svojoj prilici nalazili opći i gospodarski sadržaji, a na gornjim sobe i učionice. Sobe su izvorno bile veće nego danas. Sudeći prema sačuvanom tlocrtu suterena na kojem se vidi da su prostorije uglavnom imale po dva prozora ili više, vjerojatno je tako bilo i na ostalim etažama.

Opći je dojam prostora bio je potpuno moderan. U prizemlju je, umjesto klasičnog samostanskog arkadnog hodnika, uveden ostakljeni trijem koji s tri strane okružuje dvorište, dok su na gornjim etažama brojni gusto

raspoređeni prozori u prostor unijeli zrak i svjetlo. Tavan se nalazio samo iznad dijela tlocrtnog gabarita, dok je iznad hodnika bio izveden prohodan ravni krov odnosno krovna terasa. Primijenjen je konstruktivni sustav uzdužnih nosivih stijena dijelom kombiniran sa skeletnim. Stijene su zidane od opeke, ali su neki elementi – poput stupova i greda u prizemlju, ravnih krovova, vijenaca i istaka rađeni kao armiranobetonska konstrukcija i to je bila jedna od najranijih primjena armiranog betona u Rijeci. Poseban element su, međutim, stropne konstrukcije, izvedene od montažnih armiranobetonskih elemenata - greda trapeznog sandučastog presjeka visine 20 cm, slične stropu tipa „Siegwart“ i to je za sada najranija zabilježena primjena ove vrste stropova u Rijeci (Slika 10).



Slika 10. Detalj montažne stropne konstrukcije [9]

Premda je samostan projektiran u razdoblju secesije, secesijski je ornament reduciran i primijenjen minimalno. Riječ je, naime, o kasnoj secesiji, kad i njena geometrijska inačica potpada pod sve veći utjecaj klasicizma, kako u Wagnerovoj školi, tako i kod njegovih učenika i sljedbenika. Vanjski izgled sklopa je klasičan: visoka baza koja zauzima najnižu etažu/etaže, jednostavan središnji dvoetažni dio, uski ornamentalni friz koji se stapa sa završnim vijencem. Baza je obodno odvojena na visoki glatki sokl i gornji rustični dio razdijeljen pojasnicama, dok su okosnica ornamenta u središnjem dijelu blago skošene međuprozorske

plohe koje daju posebnu reljefnost pročeljima, a budući se protežu kroz dvije etaže daleka su reminiscencija na gigantski red. Zanimljiv je i jedan detalj – parapetne su zone na vanjskim pročeljima izbočene a u dvorišnoj zoni uvučene. U trijemu prizemlja prisutan je i minimalan geometrijski ornament u vidu nekoliko užljebljenja koje tvore kapitule stupova. Najdekorativniji su portali ulaza u samostan i školu kod kojih su kapituli izvedeni kao kombinacija meandra i figura sestara benediktinki i djevojčica. Koncentrični pravokutnici, karakteristični odrezani uglovi, naglašeni vijenci i minimalistički geometrijski ornament, elementi su koji su prisutni na svim građevinama koje autori u to doba grade u Rijeci i prisutni su i ovdje. Ipak, jedino je na ovoj zgradi izveden potpis autora, na sjevernom pročelju urezana su u plitkom reljefu imena arhitekata i godina izgradnje [12,13].

3. Intervencije nakon izvedbe

Nakon što se u međuratnom razdoblju političko i gospodarsko stanje u Rijeci uravnotežilo, stvoreni su uvjeti za kompletiranje samostanskog kompleksa. Godine 1929. riječki arhitekt Eduardo Stipanovich izradio je novi projekt crkve koja je 1931. izgrađena i posvećena Sv. Josipu [14]. Bez svake sumnje, originalni projekt iz 1912. poslužio je kao predložak, ali su neki elementi izostali i opći je dojam potpuno drugačiji od izvorno projektirane crkve. Kao prvo, izvedena crkva manjih je tlocrtnih i visinskih gabarita od prvotno projektirane. Sličnost postoji u osnovnim proporcijama glavnoga broda, položaju i dimenzijama transepta, pjevališta, svetišta, dva tornja ulaza kao i kod elemenata vanjskog oblikovanja: otvora polukružnog završetka, pojasnica, glatke žbuke na pročeljima. Razlike ipak dominiraju: umjesto širokog trodijelnog ulaza izvedena su trokrilna vrata, nisu izvedeni frontalni ulazi u tornjeve ni satovi, ulazna luneta izvedena je manja, bočni tornjevi dodatno su ostakljeni uskim visokim prozorima, dok je dekoracija gotovo potpuno ukinuta. Ipak, najveća promjena bio je izostanak kupole na čijem je mjestu izvedeno konvencionalno krovništvo dok je u krajnjem stražnjem dijelu, na spoju crkve i samostana izgrađen klasičan zvonik pokriven šiljastim četverostrešnim krovom. Time je crkva puno izgubila na svojoj monumentalnosti i značajno odstupila od temeljnog koncepta izvornog projekta.

Središnji dio sjevernog krila 1937. godine nadograđen je prema projektu Luigia Parmeggianija čime je uklonjena terasa i dokinut moderan detalj originalnog projekta. Krajem 2. svjetskog rata, 1944. godine, u podrumu samostana uređeno je protuavionsko sklonište [2].

**Slika 11.****Slika 12.**

Učenički dom Podmurvice i Crkva sv. Josipa [12, 15]

Od izgradnje samostana u njegovom sklopu djeluje ženski internat. Tijekom 2. svjetskog rata zapadno krilo samostana oštećeno je u bombardiranju, a nakon rata benediktinke napuštaju samostan. Od 1947. u ovim prostorima djeluje učenički dom mješovitog tipa⁵. Godine 1950. obnovljeno je zapadno krilo u čemu sudjeluje riječka Rafinerija nafte koja nakon obnove tu nastanjuje djecu koja pohađaju Školu učenika u privredi. Uz njih se nastanjuju i učenici Učiteljske škole, gimnazije te i učenici osmogodišnjih škola. Od 1961. dom dobiva ime „Đački dom Podmurvice“. Odlukom tadašnjih vlasti spajaju se dom industrijskih škola i dom ženske omladine ali se 1965. ukida muški odjel doma i na njegovo mjesto dolaze učenice Škole za odgajateljice iz Kastva. Godine 1966. u dom se smještaju učenici s poteškoćama u razvoju, a taj odjel dobiva naziv Specijalni odjel, međutim, polovicom sedamdesetih godina 20. st. ovaj se odjel premješta u drugi dom.

Tijekom osamdesetih godina 20. st. riječka Rafinerija ponovno sudjeluje u adaptaciji zgrade i u obnovljene prostore smješta svoje stipendiste. Devedesetih godina, tijekom Domovinskog rata, u dom se smještaju prognani učenici i druge osobe koje nisu bile u mogućnosti živjeti u svojim domovima zbog ratnog stanja. Završetkom Domovinskog rata prognanici napuštaju dom koji se ponovno vraća u funkciju mješovitog doma. Od tada do danas ova funkcija mu je nepromijenjena, s time što danas nosi naziv „Učenički dom Podmurvice“ (Slike 11 i 12).

⁵ Dječji, đački i studentski domovi u to doba spadali su u građevine socijalne namjene. Danas su u toj kategoriji samo dječji domovi, dok su đački i studentski dio školske tj. visokoškolske namjene. O tome usporedi: Knežević, G., Kordiš, I.: [16], str. 194-197.

Kolike su bile intervencije u izvorno izvedeno stanje teško je odrediti jer nisu dokumentirane, ali vjerojatno nisu bile previše obimne budući je nova namjena bila bliska izvornoj i nove su se funkcije mogle relativno lako prilagoditi prethodnima. Zabilježeno je, međutim, da su tijekom obnove osamdesetih godina 20. st. velike sobe pregrađivane [15, 17].

4. Postojeće stanje

O zgradi samostana nije samo oskudno sačuvano grafičko arhivsko gradivo vezano uz izvorni projekt, već su i sve kasnije razvojne faze nedovoljno dokumentirane. Također, i pisani dokumenti su sačuvani samo djelomično. Stoga je izrada arhitektonskog snimka postojećeg stanja bila neophodna faza prije izrade bilo kakvog projekta. Temeljem postojeće dokumentacije, parcijalnog mjerenja na terenu i fotografija izrađen je aproksimativni snimak postojećeg stanja koji je obuhvatio situaciju, tlocrte svih etaža, poprečni i uzdužni presjek te pročelja⁶ (Slike 13, 14, 15) [15].

Zgrada se nalazi u središnjem dijelu parcele nepravilnog oblika omeđenoj Vukovarskom ulicom sa sjeverne i Ulicom Franje Čandeka s južne strane. Duža os zgrade uglavnom je usporedna s ovim ulicama. Usporedi li se današnja situacija s onom iz doba izgradnje, vidi se da je okoliš koji okružuje zgradu danas znatno smanjen. Dijelovi terena uz jugoistočni i zapadni rub vremenom su isparcelirani i na njima su izgrađene stambene zgrade. Istočno od parcele nalazi se Studentski centar „Ivan Goran Kovačić“ u okviru kojeg je i pet paviljona za smještaj studenata.⁷

Kolni i glavni pješački prilaz je s istoka, iz Ulice Branka Blečića. Od ulaza račvaju se prilazni putevi koji vode do sjevernog, istočnog i zapadnog krila te jugozapadnog dijela parcele. Veći dio parcele uređen je kao park-vrt s visokim i niskim zelenilom, a u sjevernom dijelu je i mjesto za okupljanje učenika sa sjenicom. U blizini zgrade, uz jugozapadnu granicu parcele, nalazi se manja prizemna zgrada koja također služi za smještaj učenika Doma. Uz istočno krilo je parkiralište, a ispred zapadnog krila nogometno igralište. Istočno unutarnje dvorište koristi Dom i u njemu se nalazi malo igralište, park s mediteranskim biljem i roštilj, dok zapadno dvorište pripada crkvi sv. Josipa i u njemu je maslinik. Glavni ulaz u zgradu je sa sjeverne strane, a još su dva sporedna ulaza s južne strane istočnog i zapadnog krila.

⁶ Snimkom je obuhvaćen samo prostor samostana, ne i crkva sv. Josipa. Na snimku je ucrtan njen aproksimativni tlocrtni gabarit.

⁷ Centar ima 294 dvokrevetnih, 61 jednokrevetnu sobu te 8 apartmana i 10 soba za gostujuće profesore i studente te ukupan kapacitet 648 kreveta.

Suteren zauzima istočno krilo i središnji dio sjevernog, a do ovog dijela vodi samo istočno trokrako stubište. Tu se nalaze pomoćne prostorije, nanizane uz dva hodnika koji se križaju: sa sjeverne strane kotlovnica i skladište kotlovnice, stubište i alatnica a s istočne četiri skladišta različitih veličina i jedan pretprostor.

U prizemlje se preko pretprostora smještenih na početku istočnog i zapadnog krila ulazi u koridor koji povezuje cijelu etažu⁸, a veza s gornjim katovima ostvarena je parom trokrakih stubišta smještenih u sjevernom krilu.

U istočnom krilu, uz glavni ulaz smješteni su prostori uprave: zbornica, tajništvo, ured ravnatelja, recepcija, prostorija osoblja te nekoliko zajedničkih i pomoćnih prostorija. U središtu sjevernog krila su kuhinja, blagovaonica i radionice, dok je u zapadnom krilu teretana i jedna veća pedagoška jedinica koja se sastoji od sedam soba, apartmana, dnevnog boravka i zajedničkih sanitarija (Slika 13).

Na 1. su katu isključivo prostorije za smještaj učenika, od toga 39 soba i jedan apartman. Sanitarne prostorije nešto su veće nego u prizemlju, a smještene su u sjeverozapadnom i sjeveroistočnom uglu, dok su dnevna boravka samo dva – jedan u sredini zapadnog krila a drugi, s pretprostorom, na kraju istočnog krila (Slika 14).

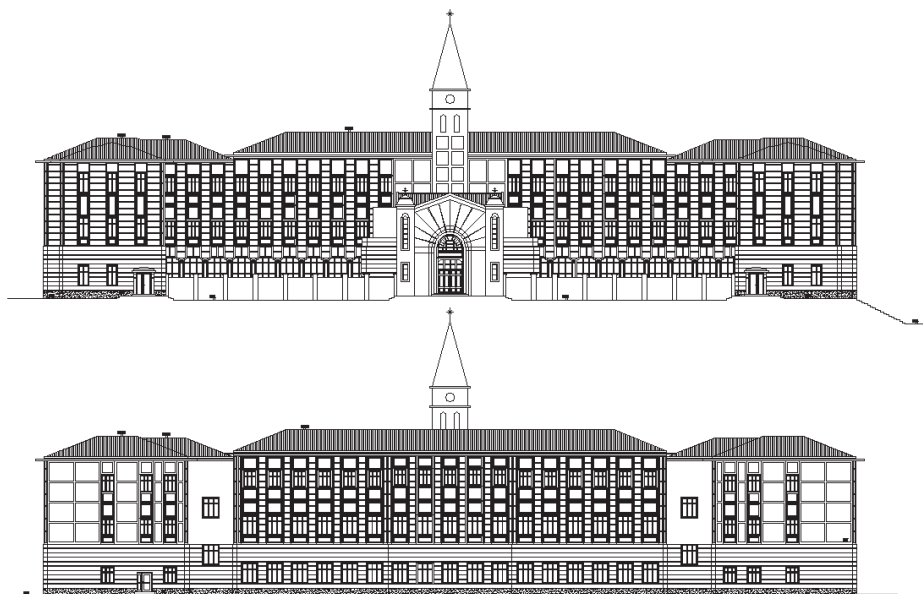
Na 2. katu je raspored prostora potpuno isti kao i na 1. katu s tim što postoji denivelacija središnjeg (kasnije nadograđenog) dijela sjevernog pročelja te se do soba koje se nalaze u ovom dijelu dolazi stubama s hodnika⁹ [15].

Sobe unutar doma različitih su veličina, od dvokrevetnih do peterokrevetnih, ali prevladavaju trokrevetne i četverokrevetne. U domu ima 75 soba čiji je ukupni kapacitet 270 mjesta.¹⁰ Pedagoške jedinice nisu jasno određene, već je cijeli prostor zonski odijeljen na sobe, dnevne boravke, sanitarije. Obzirom na način kako je danas organiziran učenički dom, broj soba odnosno učenika u jednoj pedagoškoj jedinici iznad je optimalnog standarda prema kojem bi pedagošku jedinicu trebalo sačinjavati najviše deset soba, a u sobama ne bi trebalo biti više od troje učenika [16].

⁸ Tu je vidljivo odstupanje od izvornog projekta kod kojeg je ulaz u samostan bio smješten centralno, međutim, ovaj je detalj promijenjen zasigurno već tijekom izvedbe građevine.

⁹ Izvorno su na ovom mjestu bili tavan i terasa koja je bila spuštena u odnosu na razinu tavana, a budući da je nadogradnja izvedena na postojećoj stropnoj konstrukciji, ova je denivelacija riješena zasebnim stubama za svaku pojedinu prostoriju.

¹⁰ Manja zgradi sa zapadne strane ima kapacitet 30 mjesta, a u tu se zgradu smještaju isključivo studenti koji nisu u mogućnosti ostvariti pravo na smještaj u studentskom domu Ivan Goran Kovačić.



Slika 15. Arhitektonski snimak postojećeg stanja, južno i sjeverno pročelje [15]

5. Projekt adaptacije i rekonstrukcije

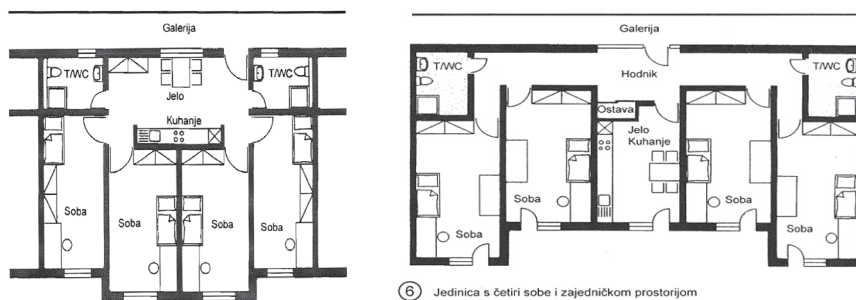
Adaptacija zgrade bivšeg samostana benediktinki, današnjeg učeničkog doma, u studentski razmatrana je zbog blizine nekoliko fakulteta ali, prije svega, blizine postojećeg studentskog centra Ivan Goran Kovačić. Postojeći studentski dom niti kapacitetom niti standardom ne zadovoljava potrebe riječkih studenata zbog čega Učenički dom Podmurvice preuzima dio studenata koji ne mogu ostvariti pravo na smještaj u studentskom domu. Premda je strategijom riječkog Sveučilišta predviđeno osiguranje studentskog smještaja u okviru prostora Kampusa, dok se sve faze u potpunosti ne realiziraju, potrebe studentskog smještaja bit će vezane uz lokaciju postojećeg studentskog doma. U tom kontekstu mogućnost proširenja studentskog centra na prostor postojećeg učeničkog doma ima funkcionalno i ekonomsko opravdanje. Kako zgrada kroz gotovo stoljeće postojanja nije doživljavala veće promjene zbog namjene koja je vrlo bliska izvornoj, adaptacija bivšeg samostana u studentski dom predstavljala bi dosad najveći zahvat. Idejnim rješenjem predviđeno je da se katnost i vanjski oblik građevine ne mijenjaju, već da se rekonstruiraju ili restauriraju samo oni elementi koji nedostaju kako bi građevina bila što sličnija stanju u kojem je bila kad je izgrađena.

Funkcionalna organizacija učeničkih i studentskih domova bitno se razlikuje, što je vezano uz uzrast korisnika. Učenički su domovi ustanove za smještaj učenika koji pohađaju školu ili uče zanat van mjesta stalnog boravka, učenika bez roditelja i učenika nad kojima se provode odgojne mjere. Predviđeni su za populaciju od 7 do 18 godina, a organizirani po principu pedagoških jedinica. Svaka pedagoška jedinica ima spavaonice, dnevni boravak, prostor za učenje, odgojitelja, sanitarnu grupu. Uz pedagoške jedinice postoje i drugi zajednički prostori a većina organiziranog života mora biti osigurana putem stalne pedagoške službe [16]. S druge strane, studentski su domovi organizirani po principu apartmana (apartmanskih jedinica), budući su namijenjeni starijim korisnicima koji više navedenih funkcija mogu obavljati samostalno. Apartmani - jedinice u okviru studentskih domova sastoje se od soba, kupaonica, kuhinja, ponekad degažmana, lođa, balkona. Mogući su razni tipovi, različitog standarda, a broj korisnika kreće se od jednog do osam. Optimalan i ekonomičan standard postiže se s apartmanima za četiri osobe. Noviji se domovi najčešće grade s apartmanima s parom dvokrevetnih ili nekoliko jednokrevetnih soba koje dijele kupaonicu i kuhinju. Sobe za hendikepirane osobe obvezno su jednokrevetne. Kuhinje se projektiraju u rasponu od radnih do stambenih, tj. od kuhinjskih niša-baterija do kuhinja s blagovanjem [18, 19].

Zanimljivo je da je standard studentskih domova koji se sada grade niži od onih koji su građeni prije pedesetak i više godina, što se može vidjeti uspoređujući literaturu i izvedene građevine. Od pedesetih godina 20. st. jednokrevetna studentska soba koristi se kao osnovni element apartmanske jedinice, zbog svojih nesumnjivih prednosti izolacije, koncentriranog učenja, privatnosti [18] (Slika 16). U recentnoj literaturi, međutim, prevladavaju dvokrevetne sobe unutar apartmanskih jedinica, a objašnjenje za ovaj odabir, osim u ekonomičnosti, nalazi se u boljoj socijalizaciji, komunikaciji i suradnji korisnika¹¹ [19].

Bez obzira na postojanje kuhinja i kupaonica u sklopu studentskih apartmana, uobičajeno je da se osiguraju i zajednički prostori prehrane, održavanja higijene, dnevnog boravka, uprave, tehnike. Tako domovi često imaju blagovaonice i kuhinje, zajedničke praonice, zajedničke prostore za dnevni odmor i rekreaciju, biblioteke. Takav tip smještaja preferira se i kod prenamjene postojećih objekata, a odabran je i u ovom slučaju.

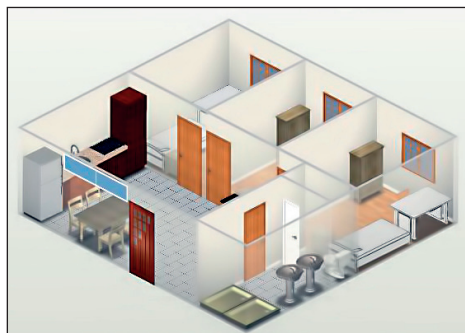
¹¹ Neufert u svim izdanjima Elemenata arhitektonskog projektiranja od 1959. do danas uglavnom niti ne razmatra drugi oblik studentskog smještaja osim jednokrevetnih soba. Prostorni program Campusa Sveučilišta u Rijeci iz 2003., međutim, predviđa u većem dijelu apartmanske jedinice s po dvije dvokrevetne sobe, a manji broj jednokrevetnih.



Slika 16. Dvije varijante organizacije apartmana u studentskom domu, s po četiri jednokrevetne sobe, dvije kupaonice i zajedničkom kuhinjom i blagovaonicom [18]

Studentski su domovi prvenstveno namijenjeni smještaju studenata. Ipak, neki se domovi u vrijeme kad studenti nisu u domu koriste kao hosteli budući se to vrijeme uglavnom poklapa i sa sezonskim potrebama, a korisnici, koji su često također studenti, mogu dobiti posebno niske cijene smještaja. Ove se povremene namjene koriste i s ciljem ostvarivanja dodatnih prihoda za studente u domu [15].

Projektni program adaptacije definiran je na način se studentima omogućiti što kvalitetniji i samostalniji život i rad. Sve su sobe jednokrevetne, tlocrtnih površina od 8,0 do 10,6 m², najmanje širine 2 m, najmanje svijetle visine 2,4 m, sve imaju osigurano prirodno osvjetljenje i zračenje pomoću prozora (zidarski otvor prozora od 1/10 do 1/8 tlocrtna površine). Veličina kupaonica kreće se od 4,2 kod dvosobnih do 6,9 m² kod peterosobnih apartmana. Svi apartmani imaju po jednu kupaonicu, iznimka je četverosobni apartman V koji ima dvije manje kupaonice. Veličina stambenih kuhinja je od 12,50 m² kod dvosobnih apartmana do 24,25 m² kod peterosobnih.



Slika 17.



Slika 18.

Idejno rješenje apartmana I i IX[15]

S ciljem što ekonomičnijeg rješenja obzirom na oblik i površinu zgrade projektirano je deset različitih tipova apartmana koja omogućuju smještaj od dva do pet studenata po apartmanu.

Dvosobni apartmani zastupljeni su s tri različita tipa (III, VII, IX), tlocrtne površine od 38,0 do 41,85 m² i ima ih ukupno 8.

Trosobni apartmani zastupljeni su s četiri tipa (I, II, VI, VIII), tlocrtne su površine od 46,05 do 57,70 m² i ima ih ukupno 17.

Prostorni raspored studentskog doma				Jedinična površina (m ²)	Broj prostorija/jedinica	Ukupna površina (m ²)
1	Zajednički prostori	1.1.	teretana	71,40	1	71,40
		1.2.	wc	18,85	2	37,70
		1.3.	prostor za pripremu zabava	84,00	1	84,00
		1.4.	studentska praonica	24,00	1	24,00
		1.5.	učionica	99,35	1	99,35
		1.6.	računalni kabinet	119,50	1	119,50
		1.7.	blagovaonica	128,00	1	128,00
		1.8.	kantina	52,50	1	52,50
		UKUPNO 1				
2	Prostori za stanovanje	1.1.	apartman I	57,25	5	286,25
		1.2.	apartman II	57,70	5	288,50
		1.3.	apartman III	41,85	5	209,25
		1.4.	apartman IV	80,75	5	403,75
		1.5.	apartman V	62,85	10	628,50
		1.6.	apartman VI	46,05	5	230,25
		1.7.	apartman VII	38,20	1	38,20
		1.8.	apartman VIII	57,60	2	115,20
		1.9.	apartman IX	38,00	2	76,00
		1.10.	apartman X	57,25	4	229,00
UKUPNO 2						2504,90
3	Tehnički pogon i uprava	1.1.	kotlovnica	118,80	1	118,80
		1.2.	skladište kotlovnice	78,75	1	78,75
		1.3.	centralna praonica rublja	36,00	1	36,00
		1.4.	kuhinja	50,00	1	50,00
		1.5.	skladište praonice	48,00	1	48,00
		1.6.	skladište kuhinje	63,50	1	63,50
		1.7.	kuhinjski wc	13,50	1	13,50
		1.8.	prostorije uprave	84,00	1	84,00
UKUPNO 3						492,55
UKUPNO Studentski dom (netto)						3613,90
Dodatak za horizontalne i vertikalne komunikacije i zidove						6662,16
Sveukupna površina Studentskog doma						10276,06

Slika 19. Prostorni raspored Studentskog doma [15]

Četverosobni apartmani zastupljeni su s dva tipa (V, X), tlocrtne površine od 57,25 i 62,85 m² i ima ih ukupno 14.

Peterosobni apartmani zastupljeni su s jednim tipom (IV), tlocrtne površine 80,75 m², i ima ih ukupno 5.

Ukupno su predviđena 44 studentska apartmana u kojima se može smjestiti 148 korisnika. Uspoređujemo li projektirane apartmane s apartmanima za četiri osobe predviđenim Prostornim programom Sveučilišnog kampusa (apartman za četiri osobe ima 44,5 m², za jednu osobu 16,75 m², za osobe s tjelesnim oštećenjima 29,75 m²) [19], vidimo da su ovdje projektirani apartmani veći (najmanji – apartman za dvije osobe je veličine 38,0 a najveći za pet osoba 80,75 m²). Rezultat je to programskog opredjeljenja da se predvide isključivo jednokrevetne sobe te stambene umjesto čajnih kuhinja. Drugi su razlog, svakako, ograničene mogućnosti projektiranja unutar zadanih gabarita postojeće građevine i tehničkih uvjeta koje se moralo poštivati (Slika 19).

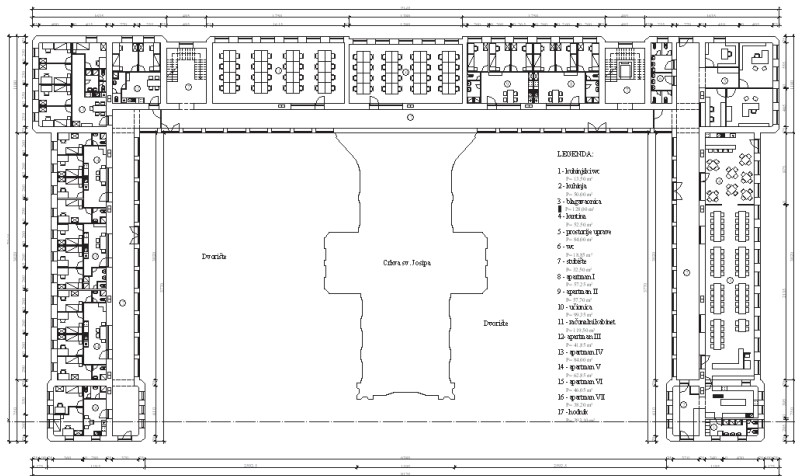
Na svakoj etaži predviđene su dvije međusobno neovisne komunikacije za izlaz u nuždi. Kako bi se ostvarila što bolja povezanost etaža unutar jednog od postojećih stubišta (zapadnog) predviđena je ugradnja dizala. U suterenu i prizemlju su uglavnom zajednički i opći sadržaji koje mogu koristiti ne samo studenti ovog, već i studenti susjednog doma Ivan Goran Kovačić.

Dio prizemlja namijenjen je za studentski smještaj. U zapadnom i dijelu sjevernog krila smješteno je ukupno 8 apartmana namijenjenih studentima sa smanjenom fizičkom pokretljivošću. U zapadnom krilu su dva dvosobna apartmana, jedan trosobni, dva četverosobna i jedan peterosobni apartman, a u sjevernom još dva trosobna (Slika 20).

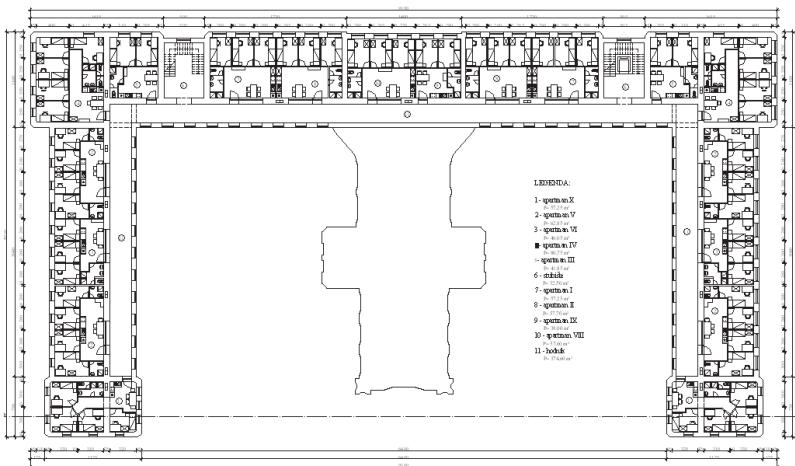
Katovi su namijenjeni isključivo stanovanju studenata te su na njima predviđeni samo studentski apartmani bez drugih sadržaja.

U suterenu (nekadašnjem skloništu) se zadržavaju kotlovnica i pripadajuće skladište, dok se postojeća skladišta u istočnom krilu adaptiraju za nove gospodarske i rekreativne sadržaje: praonice, skladište kuhinje, teretanu i prostor za zabave.

U većem dijelu prizemlja su zajednički sadržaji, u istočnom krilu je gospodarski blok: kuhinja s pomoćnim prostorijama, blagovaonica i kantina te prostori uprave – prijam/recepcija, tri kancelarije i pomoćne prostorije. U sjevernom krilu predviđeni su računalni kabinet i studentske učionice te sanitarna grupa.



Slika 20. Idejni projekt, tlocrt prizemlja [15]



Slika 21. Idejni projekt, tlocrt 1. kata [15]

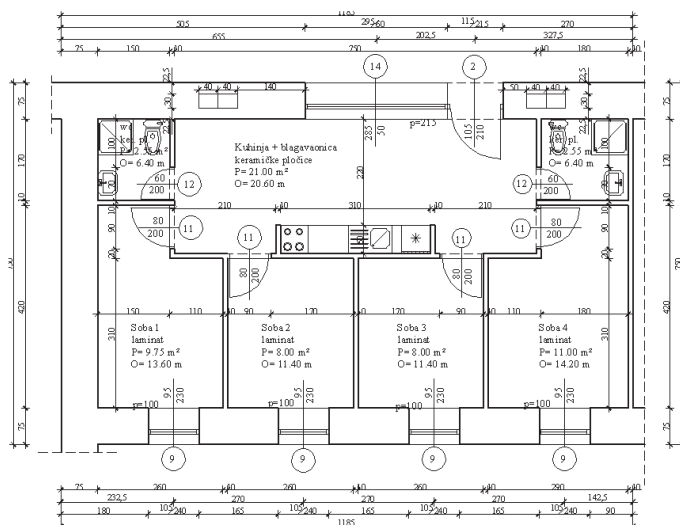
Na prvom i drugom katu je po 18 apartmana organiziranih uglavnom simetrično, apartmani s istočne zrcalni su onima sa zapadne strane a jedini apartmani koji se iz ovog izdvajaju su dva apartmana u središtu sjevernog krila.

U istočnom i zapadnom krilu nalazi se po jedan dvosobni, jedan trosobni, tri četverosobna i jedan peterosobni apartman dok se u sjevernom krilu nalaze pet trosobnih i jedan dvosobni apartman (Slika 21).

Broj i raspored prostora na drugom katu identičan je onom na prvom, jedina je razlika u pristupu apartmanima u sjevernom krilu kod kojih su zadržane odvojene stube koje postoje i danas.

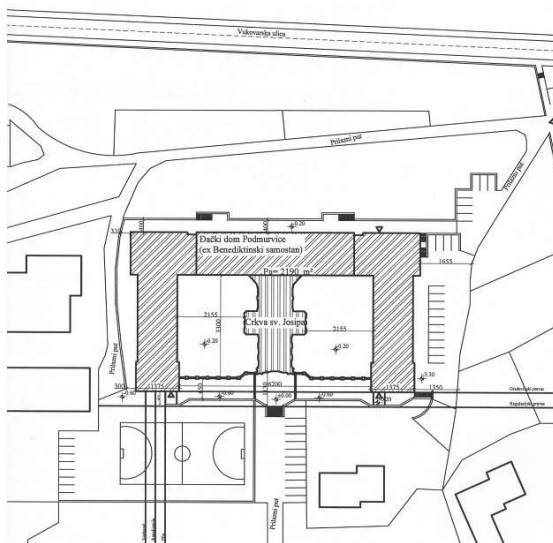
Izvedbenim projektom razrađeni su dijelovi idejnog projekta i definirani građevinski i obrtnički zahvati koje bi bilo potrebno izvesti da se projekt realizira. Kako bi se zahvat izveo uz prihvatljive troškove a da zadovolji sve konstruktivne, funkcionalne i oblikovne kriterije, predviđeno je zadržavanje postojeće konstrukcije u cijelosti. Obzirom da na zgradi nisu primijećena oštećenja od vlage, nije predviđen ni zahvat vezan uz izolaciju zgrade od podzemne vode i vlage. Nužno je, međutim, uklanjanje svih elemenata koji ne zadovoljavaju u arhitektonskom i građevinskom smislu. Tako je predviđeno uklanjanje većeg dijela postojećih pregradnih zidova te svih slojeva podova iznad nosivih konstrukcija budući postojeći ne zadovoljavaju zvučnu zaštitu.

Svi pregradni zidovi izvode se od blok opeke debljine 10 cm i žbukaju. Potrebno je ukloniti sve slojeve podova do konstrukcije i postaviti nove uz izvedbu plivajućeg poda, tj. postavu sloja toplinsko-zvučne izolacije. Završne obloge su laminati, tekstilni podovi, keramičke pločice a u kotlovnici cementna glazura. Zbog toplinske zaštite i stabilnosti vanjski zidovi oblažu se toplinskom izolacijom s unutarnje strane, uz postavu parne brane i obloga od gipskartonskih ploča. Pojedini zidovi se oblažu keramičkim pločicama. Predviđeno je zadržavanje i restauriranje postojeće stolarije i bravarije, uz zamjenu običnog izolacijskim staklom [15] (Slika 22).



Slika 22. Izvedbeni projekt, tlocrt karakterističnog apartmana V [15]

S obzirom da je okoliš građevine redovito održavan i u dobrom stanju, predviđeni su samo manji zahvati. Najveće su promjene na istočnoj strani zbog aktiviranja funkcija u suterenu koje bi, osim za studente smještene u ovom, mogli koristiti i studenti iz drugih jedinica studentskog centra. Projektirano je proširenje parkirališta i prilaza te izgradnja stubišta koji bi bolje povezali sjeverni prilazni put s južnim dijelom parcele. Također je predviđeno proširenje postojećeg nogometnog igrališta kako bi se moglo odvijati i više sportova istovremeno. Odnos prema crkvi Sv. Josipa se ne mijenja obzirom da su ova dva sadržaja harmonično funkcionirala tijekom više desetljeća (Slika 23). Sakralne građevine tijekom povijesti i danas nalazile su se u susjedstvu stambenih i javnih građevina. Uobičajene su i unutar sveučilišnih kampusa, a predviđene su i prostornim programom Kampusu u Rijeci¹² [19].



Slika 23. Idejni projekt adaptacije, situacija [15]

6. Zaključak

Riječki samostan benediktinki značajan je dio ne samo riječke sakralne povijesti već i povijesti riječkog školstva, arhitekture i umjetnosti. U sklopu staroga samostana osnovana je prva škola za odgoj i obrazovanje ženske mladeži u Rijeci, a kontinuitet ove djelatnosti nastavljen je i u novoj zgradi, na novoj lokaciji i u određenom obliku postoji i danas. Premda su odnosi

¹² U drugoj fazi Kampusu Sveučilišta u Rijeci predviđena je izgradnja Kapelice.

sakralnog i edukacijskog danas drugačiji nego u prošlosti, građevni sklop i stare i nove zgrade jedinstven je spoj dva sadržaja koji kontinuirano i harmonično postoje i djeluju kroz više stoljeća.

Blizina postojećeg studentskog centra, kao i prostorne mogućnosti bivšeg samostana, a danas učeničkog doma, inicirali su projekt adaptacije izrađen s ciljem očuvanja arhitektonskog naslijeđa koje predstavlja vrijedan resurs za prenamjenu i korištenje. Riječ je o građevini koja je u doba gradnje bila vrlo moderna, po nekim elementima i avangardna a, projektom se pokazalo, i lako adaptabilna za novu funkciju koja u drugom obliku nastavlja ovaj specifični kontinuitet naslijeđenog. U okviru diplomskoga rada, ovaj je prijedlog uglavnom ostao ograničen na arhitekturu i užu lokaciju, dok bi mogućnost realizacije ovakvog programa zahtijevala i kompleksnu urbanističku studiju užeg i šireg područja.

Zahvala. *Na pomoći pri istraživanju i izradi rada zahvaljujemo djelatnicima Učeničkog doma Podmurvice, posebno ravnateljici Ljiljani Kencel Drandić te djelatnicima Državnog arhiva u Rijeci, posebno voditelju knjižnice Mladenu Uremu i arhivskom tehničaru Ivanu Peraniću.*

Literatura i izvori

- [1] Kobler, G., *Povijest Rijeke, knjiga druga* (prijevod izvornika), Preluk, Opatija, 1996.
- [2] Matejčić, R., *Kako čitati grad*. ICR, Rijeka, 1990.
- [3] *Rijeka-Zbornik*, više autora, Matica Hrvatska, Rijeka, 1953.
- [4] Državni arhiv u Rijeci (DARI), JU 51, kut. 106
- [5] DARI, JU 51, kut. 85, br. 4-6/2
- [6] Smokvina, M., *Rijeka na povijesnim fotografijama*, Dušević & Kršovnik, Rijeka, 1997.
- [7] Grassi, P., *Relazione intorno al Progetto di regolazione ed ampliamento della Città di Fiume*, Rijeka, 1904.
- [8] DARI, JU 2, D 13a/1914.
- [9] DARI, JU 51, kut. 163, br. 213/1913.
- [10] Horvat-Pintarić, V., *Vienna 1900 – The architecture of Otto Wagner*, Studio Editions, London, 1989.
- [11] DARI, JU 2, D 13/1914.
- [12] Palinić, N., *Sakralni objekti. Arhitektura secesije u Rijeci*, Moderna galerija Rijeka, Rijeka, 1998.

- [13] Palinić, N., Javna arhitektura secesijskog razdoblja u Rijeci, *Secesija u Hrvatskoj*, Zbornik radova znanstvenog skupa, HAZU, Osijek, 1997.
- [14] DARI, JU 51, kut. 171, br. 52/1929.
- [15] Crnjak, L., *Rekonstrukcija i adaptacija zgrade bivšeg Benediktinskog samostana (Đački dom Podmurvice) u studentski dom*, diplomski rad (mentor Palinić, N.), Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2011.
- [16] Knežević, G., Kordiš, I., *Stambene i javne zgrade*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1987.
- [17] *Učenički dom Podmurvice*, Povijest doma, www.ucenicki-dom-podmurvice.hr/index.
- [18] Neufert, E., *Elementi arhitektonskog projektiranja*, Golden Marketing, Zagreb, 2002.
- [19] Auf-Franić, H. i suradnici, *Prostorni program Campusa Sveučilišta u Rijeci*, Acta Architectonica i Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2003.

KOMPLEKS GUVERNEROVE PALAČE U RIJECI – POVIJEST, STANJE I PRIJEDLOG REVITALIZACIJE ANEKSA

GOVERNOR'S PALACE COMPLEX IN RIJEKA – HISTORY, PRESENT STATE AND ANNEX REVITALIZATION PROPOSAL

Nana PALINIĆ* , Jasna KVATERNIK*

Sažetak

Prva Guvernerova palača, izgrađena 1779. godine prema projektu Antona Gnamba krajem 19. stoljeća morala se zamijeniti novom zgradom. Nova palača predstavlja najvažniji upravni kompleks izgrađen u Rijeci i smatra se remek djelom mađarskog historicističkog arhitekta Alajosa Hauszmana. Kompleks je projektiran od 1892. - 1893., a izveden 1897. godine u visokorenesansnom stilu koji je dostojno prezentirao ovaj simbol moći, vlasti i raskoši vremena u kojem je Rijeka doživjela najveću privrednu i urbanu ekspanziju u svojoj povijesti. Smješten na akropolnoj poziciji i okružen ograđenim perivojem, godinama je dominirao Riječkim urbanim krajolikom. Središnji dio kompleksa zauzima palača, prostorno koncipirana kao tipično renesansna kod koje je uobičajeno otvoreno dvorište zamijenjeno središnjim natkrivenim atrijem. Bočna arkadno rastvorena prizemna krila povezuju palaču s krajnjim gospodarsko-stambenim dijelovima. Nakon 2. svjetskog rata, kompleks gubi svoju upravnu, i većim se dijelom koristi za kulturnu namjenu – centralna zgrada postaje sjedište Pomorskog i povijesnog muzeja Hrvatskog primorja, krajnji zapadni dio prenamjenjuje se za stanovanje, a istočni uglavnom koristi za razne vidove ugostiteljstva, dok sjeverna zgrada postaje Glazbena škola. Integritet cjeline drastično je, međutim, narušen 1973. kada je srušen krajnji zapadni dio kompleksa i na njegovom mjestu izgrađen Muzej revolucije (danas Muzej grada Rijeke). U radu

* Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka
E-mail: nana.palinic@gradri.hr, jasna.kvaternik@gmail.com

se dokumentira postojeće stanje kompleksa, prije svega središnje palače, aneksa i perivoja te prezentira prijedlog revitalizacije kroz Idejni i Izvedbeni projekt adaptacije istočnog aneksa za kulturno - pedagošku namjenu.

Ključne riječi: *Rijeka, Guvernerova palača, Alajos Hauszmann, javne zgrade, revitalizacija, adaptacija*

Abstract

The First Governor's Palace, built in 1779 according to the project of Anton Gnamb at the end of 19th century had to be replaced with the new building. The new Governor's Palace complex is the most important administrative building assembly built in Rijeka and is considered the masterpiece of Hungarian neo-style-architect Alajos Hauszmann. The Palace was designed from 1892 to 1893 and constructed 1897 in the late renaissance style that worthily presented this symbol of power, dominion and luxury of the period of time in which Rijeka experienced the largest economic and urban expansion in its history. Located on the acropolis position and surrounded with an enclosed garden, the complex has been dominating the urban landscape of Rijeka for years.

The central part of the complex is occupied by the Palace, spatially composed as typically renaissance, at which the usual courtyard was replaced with the central covered atrium. Side arched ground wings link the palace with lateral housekeeping and housing parts of the complex. After the Second World War the complex has lost its administrative function and is mostly used for cultural purposes – the central building has become the Maritime and History Museum of the Croatian Littoral, the western housekeeping building was transformed into housing facility, the eastern annex is mostly used for different kinds of catering and the north building has become Music school. Integrity of the complex was drastically disturbed in 1973 when the western part of the complex was demolished and the Museum of Revolution (today City Museum of Rijeka) built on its site. This paper documents the present state of the complex, especially of the Palace, the annex and the park and presents the Annex revitalization proposal of the Conceptual and Implementation Design dealing with the eastern annex adaptation for cultural and pedagogical purpose.

Key words: *Rijeka, Governor's Palace, Alajos Hauszmann, public buildings, revitalization, adaptation*

1. Uvod

Tijekom povijesti Rijeka je bila u sastavu različitih država i uprava za čije su se potrebe koristile i gradile razne zgrade. Za razliku od upravnih zgrada poduzeća, banaka i sudstva koje su se gradile uglavnom namjenski, većina zgrada državne, regionalne i gradske uprave u Rijeci nastala je adaptacijom zgrada drugih namjena. Tako se u 16. st., kad grad stječe autonomiju i formira

gradska uprava s velikim i malim vijećem, nekadašnja privatna kuća gradskog kapetana na Koblerovom trgu adaptira za Komunalnu palaču. Sedamdesetih godina 18. st., u doba uspostave prve gubernijalne vlasti, dogradnjom i adaptacijom postojeće građevine nastaje u zapadnom predgrađu prva Guvernerova palača, a tridesetih godina 19. st. gradska se vijećnica seli u adaptiranu zgradu nekadašnjeg augustinskog samostana u Starom gradu. U poslijeratnom se razdoblju za naraslu gradsku i regionalnu administraciju adaptira više zgrada, bivših hotela, banaka i stambenih palača, a tijekom povijesti samo se dvije zgrade uprave grade namjenski. Jedna je bio riječki Kaštel u kojem je stolovao gradski kapetan, namjesnik koji je upravljao gradom u ime feudalnog gospodara. Kaštel je, osim upravne i stambene, imao i funkciju suda i zatvora. Nastao je u srednjem vijeku i srušen početkom 20. stoljeća. Druga je nova Guvernerova palača, sagrađena krajem 19. st., u kojoj su nakon ukidanja Gubernija sjedište imali i drugi vlastodršci, a bila je svjedokom brojnih povijesnih događaja te se upravo ona smatra najreprezentativnijom i najkvalitetnijom upravnom građevinom u povijesti Rijeke.

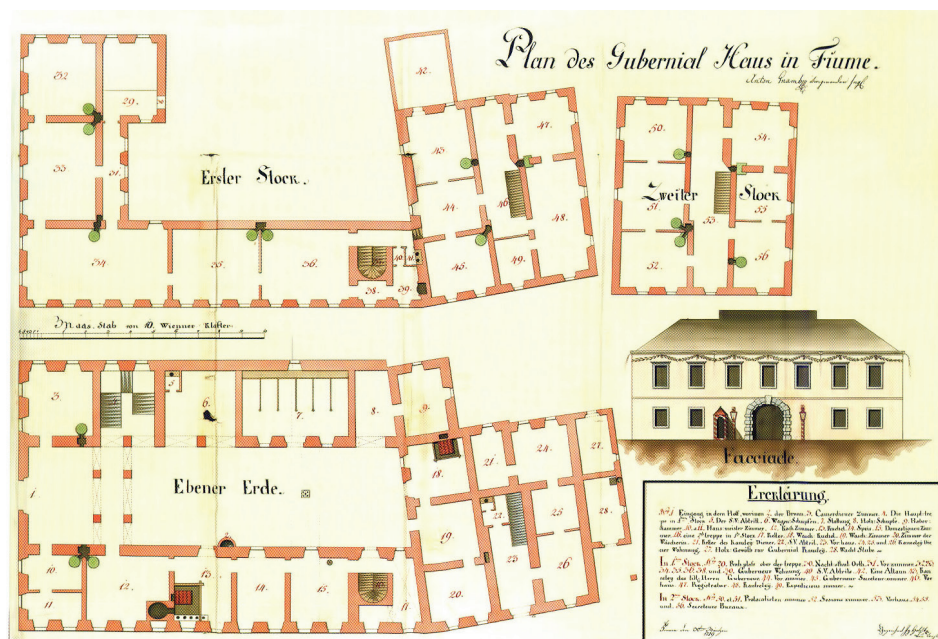
2. Prva Guvernerova palača

Riječki Gubernij utemeljila je 1776. carica Marija Terezija koja je za prvog guvernera postavila grofa Jozsefa Maylatha de Szekehelyja, ranijeg savjetnika i izvjestitelja Carske i kraljevske komore. Kako bi guverner svoju dužnost mogao obavljati na način primjeren svojoj funkciji, bilo je nužno sagraditi reprezentativnu palaču, što je i učinjeno 1779. – 1780. prema projektu riječkog arhitekta i urbanista, gradskog edila Antuna Gnamba¹ koji je u to doba glavni graditelj u gradu. Palača je tada bila jedno od najvrjednijih graditeljskih ostvarenja baroka u Rijeci [1, 2].

Guvernerova palača izgrađena je jugozapadno od Starog grada, uz samu morsku obalu, u predjelu Andrejšćica, iznad nadsvođenog potoka istoimenog imena, na mjestu današnjeg Jadranskog trga. Prvi put je ucrtana na planu grada Hauptmanna von Benka iz 1766. – 1795. godine (Slika 2) kao dogradnja postojeće građevine, na planu označene slovom *f.*: *Comercial Haus* (Trgovačka kuća). Originalni Gnambov projekt nije sačuvan, već postoji samo kasniji nacrt iz 1789. godine koji prikazuje tlocrte i ulazno pročelje (Slika 1) [3]. Iz tlocrta je vidljivo da je postojeća građevina, položena pod blagim kutom u odnosu na dogradnju, postala sastavnim dijelom palače.

¹ Po nalogu Tršćanske intendance, inženjer Anton Gnambo u Rijeku dolazi 1773. i tu ostaje sve do svoje smrti 1806. Kako navodi Lentić-Kugli, „*bio je glavna pokretačka snaga svih većih građevinskih radova u tome gradu, a pripadao je generaciji arhitekata koji su u isto vrijeme bili geometri, građevinari, urbanisti i nadzornici radova*“.

S trga se ulazilo u predvorje koje je u stražnjem dijelu imalo trijem prema prostranom unutarnjem dvorištu u čijem se sjevernome dijelu nalazio zdenac. U prizemlju su bili uglavnom gospodarski sadržaji. Iz predvorja se pristupalo u sobu sobara i glavno trokrako stubište za 1. kat na južnoj strani te sobe kućepazitelja i kuhara na sjevernoj. Iz sobe kuhara ulazilo se u niz međusobno povezanih prostorija vezanih uz pripremu hrane: kuhinju, izbu, sobu posluge, podrum te pomoćno stubište za kat. Većini ostalih prostora prilazilo se iz dvorišta: s južne su strane bili spremište kočija, konjušnice, spremište zobi i drvarnica, a sa zapadne strane tri prostora vezana uz održavanje rublja: prostor za iskuhavanje, pranje te soba pralje. U službene prostorije Gubernija, smještene u krajnjem zapadnom dijelu palače, pristupalo se iz sjeverne ulice: iz ulaznog predvorja vodilo je jednokrako stubište za gornje dvije etaže, dok se u prizemlju nalazio stan poslužitelja gubernijske pisarnice te soba stražara i drvarnica.



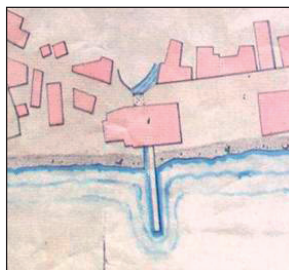
Slika 1. Stara Guvernerova palača, projekt iz 1789. [3]

Prvi kat zauzimao je samo istočni, sjeverni i zapadni dio gabarita. Istočno krilo i veći dio sjevernog zauzimao je stan guvernera. U dvije od pet većih prostorija ulazilo se iz predsoblja, dok su ostale bile prolazne. Uz pomoćno stubište bilo je nekoliko manjih, očito pomoćnih prostorija, a postojala je i direktna veza s uredom Gubernija kod kojeg su na ovoj etaži

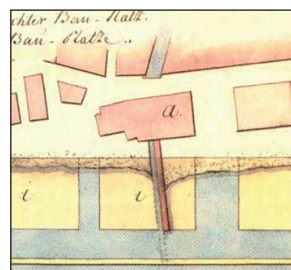
bile glavne službene prostorije: ured guvernera i soba tajnika, predsoblje, registratura i ured osoblja. Na drugom katu koji je zauzimao samo krajnji zapadni dio palače bili su uredi protokola i tajnika te sala za sastanke.



Slika 2.



Slika 3.

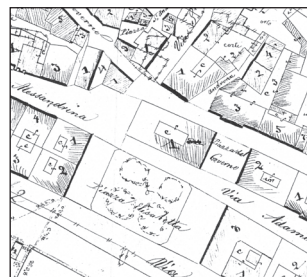


Slika 4.

Prva Guvernerova palača na planovima iz 1766. – 1795. (2), 1785. (3) i 1792. godine (4) [4]

Obzirom na današnju situaciju može nam se činiti da je Gnamb palaču neobično orijentirao, tj. ulaz postavio s istočne strane, međutim, pogledamo li mikrourbanističku situaciju u doba izgradnje, jasno je da je to tada bila najbolja orijentacija, budući je sa svih strana oko palače bilo vrlo malo slobodnog prostora – sa zapada je u neposrednoj blizini zgrada, sa sjevera potok, s juga žalo dok je na istoku velik slobodan prostor – trg (Slika 3). U narednim se godinama, međutim, dogradio blok istočno od palače, a prostor trga je prepolovljen (Slika 4) [4].

Prva Guvernerova palača nije u potpunosti odgovarala potrebama Gubernija. Već desetak godina nakon gradnje, 1789., Gnamb u tu svrhu izrađuje projekt prenamjene augustinskog samostana u Starom gradu i unutar sklopa predviđa i gubernijski i trgovački sud te razne blagajne [3]. Prijedlog se nije realizirao te se nekoliko godina kasnije problem rješava temeljitom rekonstrukcijom postojeće zgrade. Projekt nije sačuvan, već samo nekoliko grafika i fotografija koje ilustriraju novi izgled palače, ali se usporedbom situacijskih planova može zaključiti kako je rekonstrukcija provedena između 1830. i 1840. godine. Plan iz 1830. posljednji je plan na kojem još imamo staru situaciju (Slika 5), a plan iz 1840. prvi je plan na kojem palača ima novi gabarit, tlocrtno pravilan pravokutnik s unutarnjim pravokutnim dvorištem (Slika 6). Najveća je promjena u zapadnom i južnom krilu, što znači da je dio zgrade očito morao biti srušen (vjerojatno stariji dio, nekadašnja Trgovačka kuća), dok je istočno i sjeverno krilo po svoj prilici uklopljeno u novi gabarit [4].

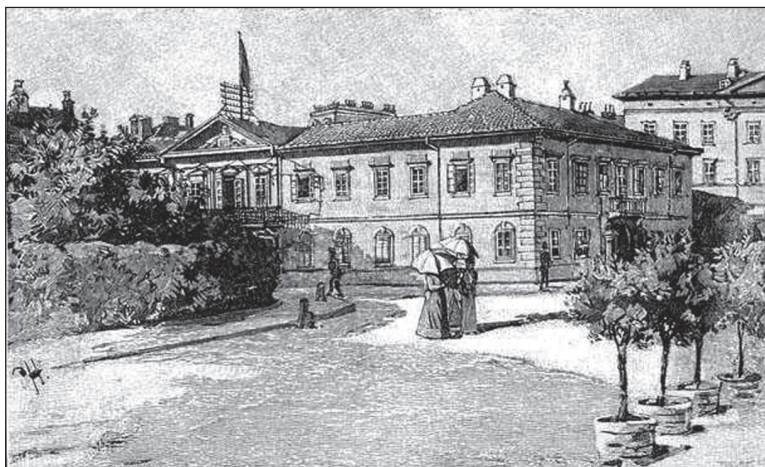
**Slika 5.****Slika 6.****Slika 7.**

Prva Guvernerova palača na planovima iz 1830. (5), 1840. (6) i 1889. godine (7) [4]

Premda je južna strana dobila reprezentativno klasicističko pročelje naglašenih krajeva i središnjeg rizalita nad kojim je izveden timpanon (Slika 8), orijentacija zgrade nije se promijenila, već je ulaz ostao na istoku. To potvrđuje i Gruntovni plan iz 1889. godine koji za sve kuće ima označenu liniju glavnog, tj. ulaznog pročelja (Slika 7).

U vrijeme ove rekonstrukcije prostor južno od palače bio je samo djelomično nasut (Slike 5 i 6), međutim 1849. godine Adam Olf izrađuje projekt uređenja ovog dijela grada i obale na kojem se po prvi put ispred palače predviđa park. Na planu iz 1852. vidimo da parka još nema, ali je obala formirana a prostor s južne strane naziva se *Piazza del Governo* (Trg Gubernija). Na planu iz 1854., međutim, park je po prvi puta ucrtan, no označen kao trg - *Elizabeth platz* (Elizabetin trg) [4].

Palača je bila sjedište guvernera sve do 1896. godine kada je, nažalost, srušena [5].

**Slika 8.** Prva Guvernerova palača nakon rekonstrukcije

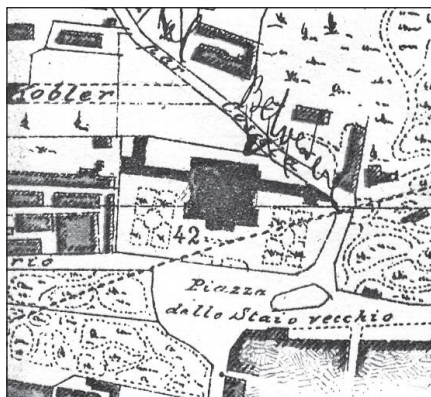
3. Druga Guvernerova palača

3.1. Odabir lokacije i gradnja

Nakon 1870. proširene su ovlasti guvernera koji od tada obavlja nadzor nad javnom upravom grada i okolnog kotara te nad pomorskim poslovima Translantanije, područja od Karlovca do mora. Zdanje palače više nije bilo ni dovoljno veliko ni reprezentativno za kraljevog namjesnika te je postalo očito kako je potrebno tražiti novo rješenje, bilo temeljitom rekonstrukcijom ili gradnjom nove zgrade. Još sedamdesetih godina 19. st. predlaže se da se zamijene lokacije Palače i trga Elisabetta te da se nova palača napravi na mjestu trga, a na mjestu palače formira trg [6]. Osamdesetih, u vrijeme guvernera Ágostona Zichyja, planira se proširenje Guvernerove palače nadogradnjom kata, no izračunom omjera troškova i rezultata nadogradnje na neadekvatnu zgradu zaključeno je da bi efekti bili mali i kratkotrajni te se odustaje od tog projekta i zaključuje da treba planirati izgradnju nove palače. U rujnu 1884. guverner je osobno položio i kamen temeljac za novu zgradu Pomorskog gubernija, koja je iduće godine i izgrađena [7]. Grad se širio, svugdje su nicali nove, reprezentativne zgrade, u odnosu na koje je sjedište guvernera postajalo sve neuglednije. Ilustrativan je članak objavljen u dnevnom listu *La Bilancia* 1890. godine koji komentira namjeru obnove palače: „Zove se pompozno „palača“ a riječ je o kući koja nije nimalo reprezentativna. Ružna fasada, premaleni prostori, ako se uskoro misli graditi nova zgrada, bolje je ovu ne obnavljati.“² [8, 9].

Konkretnija zbivanja po tom pitanju počinju, međutim, tek kad je za guvernera postavljen grof Lajos (Ljudevit) Batthyány. Za teren na kojem se nalazila palača i park Elisabetta zainteresiralo se parobrodarsko društvo *Adria* te je u konačnici postignut dogovor između Gubernija, Grada i spomenutog društva. Odlučeno je da se stara palača sruši, da se zemljište na kojem se nalazila ustupi gradu, a park Elisabetta koji je bio u gradskom vlasništvu proda parobrodarskom društvu za gradnju poslovne palače (danas *Jadrolinija*) te da se prihodom od prodaje kupi teren za gradnju nove Guvernerove palače.

² Palača je ipak obnovljena tijekom ljeta 1890., o čemu svjedoče napisi u dnevnom tisku.

**Slika 9.****Slika 10.**

Zagrad na planovima iz 1885. (9) i 1898. godine (10), prije i nakon izgradnje druge Guvernerove palače [4]

Uskoro je za 90 000 forinti kupljena parcela iza Starog grada, zapadno uz park vile Giuseppe (danas zgrada Državnog arhiva) čiji je vlasnik bio nadvojvoda Josip, bratić cara i kralja Franje Josipa. Nova je parcela površinom od 1925 m² bila znatno veća od parcele stare palače ali se, kako bi se onemogućila potencijalna gradnja pred palačom koja bi zaklonila pogled na more, za 52 275 forinti okupljuje i zemljište Durbešić od 2 025 m². Nakon što su srušene zgrade koje su se nalazile na tom području, ovo potonje pretvoreno je u prostrani plato – trg (Slike 9, 10) [4].

Za projekt i nadzor nad gradnjom nove Guvernerove palače mađarska je vlada angažirala Alajosa Hauszmanna, jednog od najuglednijih mađarskih arhitekata, profesora na Tehničkom sveučilištu u Budimpešti, autora značajnih javnih zgrada u Mađarskoj i Monarhiji – Kraljevskog dvora, bolnice Sv. Stjepana, hotela New York Palace, projekta za Palaču Parlamenta i brojnih drugih. Usporedno s riječkom Guvernerovom palačom u Budimpešti je projektirao Palaču Mađarskog kraljevskog suda (Slika 11) [10].

U studenom 1892. Hauszmann je posjetio Rijeku i zajedno s guvernerom, gradonačelnikom Giovannijem Ciottom i šefom gradskog građevnog ureda Isidorom Wauchnigom obišao lokaciju. Prvi idejni nacrti bili su gotovi već u veljači, a glavni projekt u srpnju 1893. godine. Nakon što ga je pregledao Tehnički ured, Gradski magistrat izdao je dozvolu za gradnju. Još u lipnju iste godine raspisan je natječaj za gradnju na koji se javilo devet izvoditelja iz Rijeke, Budimpešte i Siska. Za iskop, građevinske i klesarske radove odabrana je riječka tvrtka Burger & Conighi, za radove bušenja riječki obrtnik Antonio Buseti, za arhitektonske i dekorativne

klesarske radove Antal Szabo iz Budimpešte, a lijevaonica N. Schlick iz Budimpešte za sve elemente iz željeza. Gradnju je nadzirao Hauszmannov suradnik iz ateljea, arhitekt Ferenc Jablonszky.

Kamen temeljac postavljen je u srpnju 1893. a u kolovozu iste godine u živoj su stijeni iskopani temelji. Unatoč problemima kod temeljenja zbog čvrste stijene na kojoj se građevina gradila, izgradnja palače tekla je brzo i bez većih poteškoća, pa je pod krov stavljena već 5. studenoga 1894. Glavni radovi na Palači bili su gotovi u rujnu 1895.; u lipnju 1896. su dovršeni svi građevinski radovi, a tijekom 1897. privedeno je kraju i uređenje interijera i zgrada je namještena.



Slika 11. Palača Mađarskog kraljevskog suda (Kúria) u Budimpešti, 1991.-96. [10]

Glavni radovi završili su 15. rujna 1895. god. nakon čega je uslijedilo uređenje okoliša. Budući je palača smještena u izvanrednom hortikulturnom ambijentu, u blizini parka vile nadvojvode Josipa (danas Park Nikole Hosta) i parka oko vile Meyner (danas područje između Dežmanove ulice i Pomeria), projektant je posebno vodio računa o parku ispred palače koji nikako nije smio zaostajati za navedenima. Park, zapravo vrt, nastao je 1896., koncipiran je u francuskom baroknom stilu s dvjema simetričnim četverolisnim fontanama (koje je kasnije Hauszmann zamijenio s dvije kružne) i bordurama od šimšira, a po istom principu zasnovan je i vrt iznad arkadnih krila. Cijeli prostor oko palače ograđen je

visokim kamenim zidom raščlanjenim stupovima, a jedino je u zoni ispred glavnog pročelja izveden niski kameni zid s kovano-željeznom ogradom i dvostrukim vratima od kovanog željeza s lijeve i desne strane³ [11, 12, 13].

3.2. Arhitektura kompleksa

Kako je palača izgrađena na strmom terenu, Hauszmann se prilagodio padu terena i prostor Palače riješio terasasto, pa tako glavno pročelje okrenuto moru ima visinu od dva a stražnje sjeverno samo jednog kata, dok u središnjem dijelu ima još jednu etažu. Prizemlje funkcionira i kao suteran i podrum budući je stražnjim dijelom ukopano u teren. Središnji dio kompleksa zauzima zgrada palače koja je u stražnjem dijelu prizemnim arkadnim krilima povezana s dvije jednokatne gospodarske zgrade – većom na zapadu i manjom na istoku.

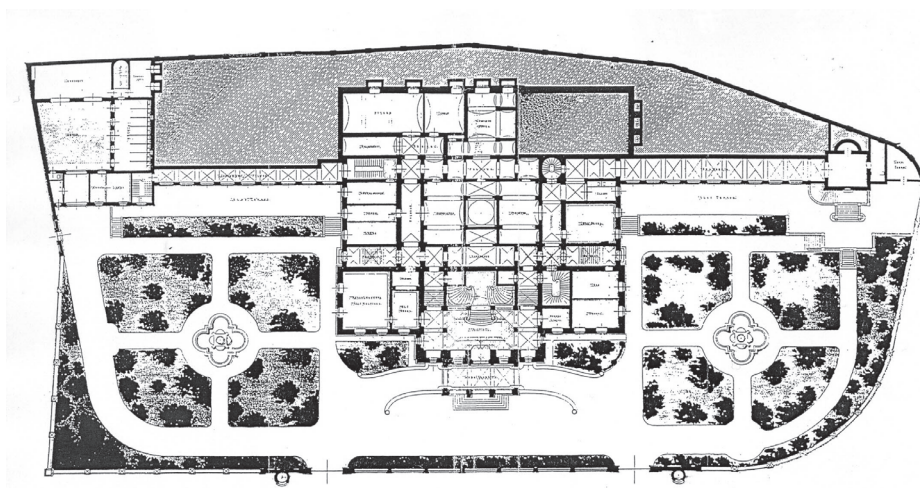
Preko centralnog trostranog stubišta i dvaju bočnih zavojitih rampi dolazi se do trijema pod altanom iza kojeg je centralni ulaz u vjetrobranom odvojeno predvorje. Iz predvorja odijeljenog masivnim kvadratnim stupovima centralno stubište vodi na kat, a lijevo i desno su portirnica i garderoba. Uz bočna pročelja su stanovi posluge u koje se pristupa zasebnim stubištima s bočnih strana zgrade, a u produžetku, sa stražnje strane, nižu se gospodarske prostorije, radionice, podrumi, kotlovnica. Središnji i stražnji dio prizemlja podignuti su za visinu jednog stubišnog kraka i za toliko su manje svijetle visine. Uz centralno i dva simetrična stubišta kojima se savladava ova visinska razlika te simetričnog para jednokrakih stubišta, u središnjem dijelu postoje još tri stubišta – dva zavojita u istočnom i jedno dvokrako u zapadnom dijelu zgrade.

Preko polupodesta ovih stubišta glavna je zgrada povezana s arkadnim trjemovima koji vode prema gospodarskoj zgradi i paviljonu. Pored svoje primarne komunikacijske funkcije ostakljeni trjemovi služili su i kao oranžerije – vrtni staklenici za biljke. Trijem sa zapadne strane je manje dubine i podijeljen u devet križno nadsvodjenih traveja, a s gospodarskom se zgradom spaja preko ugaonog stubišta. Ova je zgrada organizirana tlocrtno u obliku slova „U“, oko trapeznog dvorišta u koje se ulazilo kroz veliki portal trijema. S istočne strane dvorišta bila je konjušnica za osam konja, sa sjeverne kolnica, alatnica i stubište za kat, a uz ulaz stan kočijaša i njegovih pomoćnika.

³ Ukupni troškovi izgradnje iznosili su 656 000 ft; za izgradnju je potrošeno 516 000 ft, za unutarnje uređenje 80 000 ft, te 60 000 ft za dodatne troškove.

Trijem s istočne strane nešto je dublje ukopan u teren, podijeljen u deset križno nadsvodjenih traveja i direktno vodi u paviljon koji je kvadratičnog tlocrta s polukružnom nišom na sjevernoj strani (Slika 12) [14].

Prvi kat glavne zgrade služi kao *piano nobile* i u njemu su svi reprezentativni javni prostori. Organiziran je oko velikog središnjeg atrija kvadratnog tlocrta i impresivnih dimenzija (17x17m). Glavni pristup u atrij je na južnoj strani, preko dva razdvojena zavojita kraka centralnog stubišta, dok su u središtu ostalih triju strana s po dva para stupova bez interkolumnija odijeljeni trjemovi iz kojih se ulazi u ostale prostore. U četiri ugla uz trjemove pomoćne su i komunikacijske prostorije. Uz zapadno, južno i istočno pročelje niže se amfilada većih i manjih salona od kojih su neki odvojeni pretprostorima. Središnji je prijemni salon (dim. cca 17x6m) uz južno pročelje raščlanjen s četiri stupa u tri dijela i ima izlaz na balkon ulazne altane, a četiri veća (dim. cca 9x7m) simetrično su raspoređena s istočne i zapadne strane. Na istočnoj su strani čekaonica, soba tajnika, radna soba guvernera i priručna biblioteka, a na zapadnoj ženski salon i blagovaonica. Najveći salon, zapravo plesna dvorana (dim. 16,5x10m), smješten je u sjeveroistočnom uglu. U stražnjem dijelu ima s dva stupa odvojen pretprostor uz koji su sanitarne prostorije i stubište za galeriju. U sjeverozapadnom dijelu još su tri veće prostorije namijenjene gostima i komunikacija s kuhinjom.

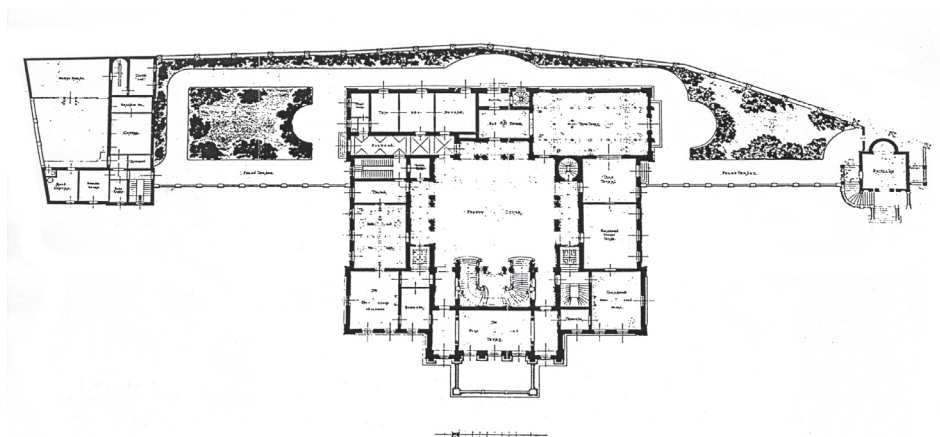


Slika 12. Situacija i tlocrt prizemlja kompleksa, projekt iz 1893. [14]

Iz triju prostora u stražnjem dijelu prvog kata bilo je moguće izaći na parkovno uređenu terasu koja je s južne strane bila poduprijeta konstrukcijom trjemova, a u većem dijelu bila na terenu koji je sa sjeverne

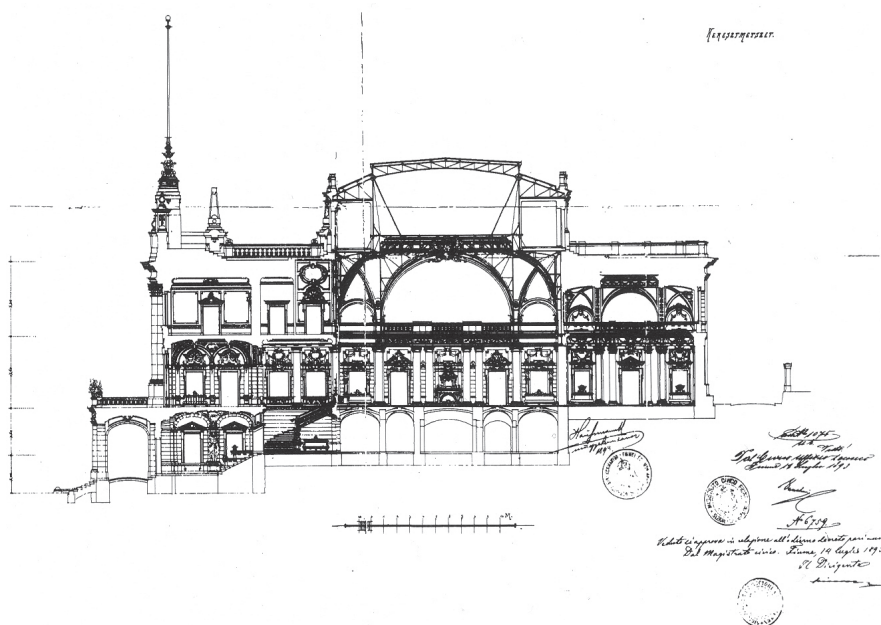
strane završavao ogradnim zidom. Preko terase je postojala i direktna veza sa zapadnom gospodarskom zgradom koja je u ovoj etaži imala kuhinju, izbu, stan kuhara, praonicu i stan za služinčad. S istočne strane preko terase bio je pristup u gornju etažu vrtnog paviljona uz koji se zavojito stubište spuštalo u park (Slika 13) [14].

Drugi je kat uglavnom služio kao privatna rezidencija guvernera. Spavaonice guvernera i supruge bile su orijentirane na istok, dok su na ostalim stranama bile dječje sobe, sobe za odgojiteljice, garderobe i radne prostorije posluge. Svi su prostori bili međusobno povezani obodnim hodnicima, a na nekim mjestima i prolaznim sobama, dok je jedini prekid bio kod plesne dvorane koja je zbog velike visine zauzimala i zračni prostor ove etaže.



Slika 13. Tlocrt 1. kata kompleksa, projekt iz 1893. [14]

Premda su sadržaji i dijelovi tlocrta u pojedinim etažama bili različiti, autor je konstrukciju zgrade uspio prilagoditi tako da bude jasna i simetrična. Masivni nosivi zidovi od opeke i kamena postavljeni su u uzdužnom i poprečnom smjeru, a tanji nosivi zidovi u dijelu zgrade koji nije bio javan kao i kod gospodarske zgrade, paviljona i arkadnih krila, pokazuju kako se i kroz projekt štedjelo. Međukatna konstrukcija između prizemlja i kata je svodena uglavnom bačvastim i križnim svodovima – kod reprezentativnih prostora oni su polukružni ili ovalni, a kod gospodarskih segmentni. Na ostalim etažama izvedeni su stropovi za koje su korišteni i metalni profili, što nije bila novost u Rijeci, budući da se željezo kao novi materijal i konstrukcija predlagalo još sredinom 19. st. kod starog Adamićevog kazališta, nakon 1870. se koristi u gotovo svim industrijskim zgradama, a kombinirano s čelikom i 1883. kod gradnje Općinskog



Slika 14. Poprečni presjek kroz Guvernerovu palaču, projekt iz 1893. [14]

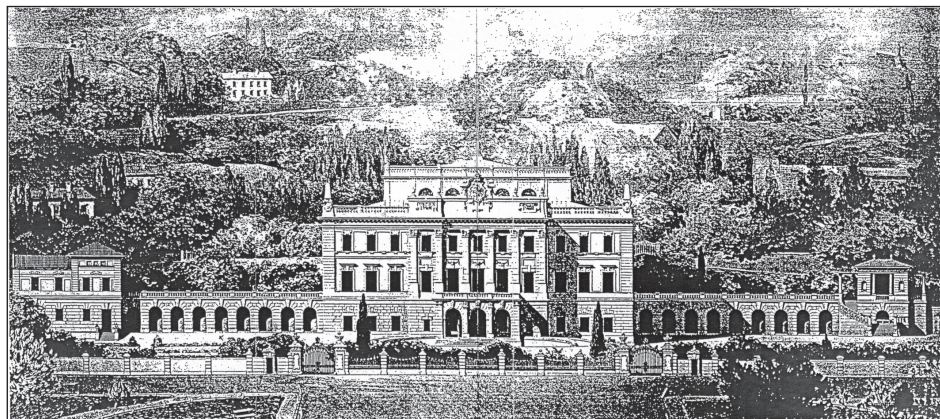
kazališta. Metalna konstrukcija nad centralnim atrijem značajnog je raspona i jedna je od najvećih izvedenih u to doba na nekoj javnoj zgradi. Na stupove je oslonjena centralna rešetkasta konstrukcija, dok su bočne rešetke dijelom oslonjene na zidove, a metalna konstrukcija ostakljenog nadsvjetla ovješena je zategama (Slika 14). Premda se do sad spominjalo kako je riječ o željeznoj konstrukciji, vjerojatno su neki elementi bili od željeza (stupovi), a neki od čelika (rešetke, zatege), što je bila već uobičajena kombinacija za metalne konstrukcije onoga doba⁴ [15]. Ostala krovništa imala su klasičnu drvenu konstrukciju.

3.3. Vanjski izgled kompleksa

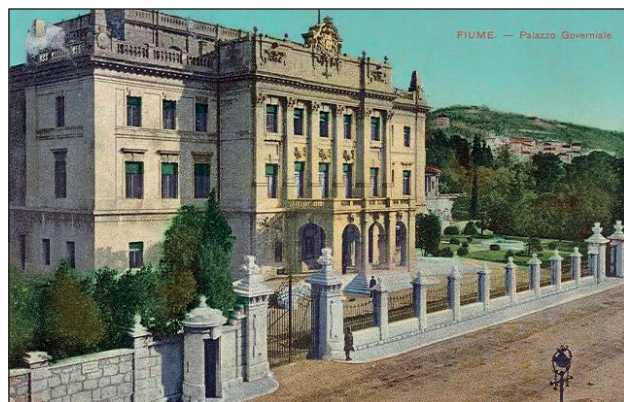
Autor je iskoristio prednosti lokacije na uzvisini i zgradu postavio prema baroknoj matrici, u os strme ulice koja se uz zapadne gradske zidine spušta do glavnog trga i produžuje do Adamićevog gata sve do luke. Palača je pružala najatraktivniju vizuru na grad i zaljev, ali su i svi oni koji su uplovljavali u luku zapažali pročelje zgrade koja je prezentirala snagu i bogatstvo Monarhije i novog sredozemnog emporija.

⁴ Zagrebačko kazalište koje se u isto doba gradi ima kompletnu konstrukciju iz čelika.

Kompleks je komponiran klasično; u prvom je planu središnja zgrada palače, dok su bočne strane – trjemovi i gospodarske zgrade povučeni u stražnji plan (Slika 15). Premda ima elemenata klasicizma, opći je dojam renesansni, prije svega zbog odmjerenih proporcija, arhitektonskih i dekorativnih elemenata te materijala. Razlog je tome dijelom i ekonomski, jer se, očito, moralo štedjeti, kombinirajući žbukana pročelja s onima od kamena koji je bio rezerviran samo za najreprezentativnije dijelove – glavno pročelje i arkadna krila. Glavno je pročelje vertikalno raščlanjeno na tri dijela - istaknuti središnji rizalit s pet i s bočne strane po tri prozorske osi. Horizontalna je raščlamba provedena na klasičan način: baza prizemlja, središnji dio prvog i drugog kata te završni friz i vijenac koji iznad središnjeg rizalita završava povišenom atikom, a iznad bočnih strana balustradom s piramidalnim završetcima akroterija (Slika 16).



Slika 15. Glavno (južno) pročelje kompleksa, projekt iz 1893. [14]



Slika 16. Guvernerova palača i park na razglednici s početka 20. stoljeća

Ulaz je u širini tri osi dodatno naglašen i altanom koja završava balkonom s kamenom balustradnom ogradom. Dorski polustupovi između polukružnih lukova s južne strane tipičan su renesansni element, ali kvadratični stupci između ovalnih lukova s bočnih strana ukazuju na utjecaj baroka. U središnjoj gornjoj zoni korintski su pilastri velikog reda, a dodatna je tripartitna raščlamba provedena naatici iznad čijeg se središnjeg uvučenog dijela izdizao štiti s državnim grbom. Prozori prvog i drugog kata naglašeni su zaglavnicim kamenom, a obrubljeni kamenim prozorskim okvirima, dok su kod prizemnih otvora nad nadvojima izvedeni segmentni rasteretni lukovi. Za razliku od jednostavnog razdjelnog vijenca između prizemlja i prvog kata, završni vijenac je posebno istaknut i bogato profiliran. Veći i reprezentativniji otvori su lučno nadsvođeni, što je i konstrukcijski logično, ali i ukazuje na to da je konstrukcija nad otvorima izvedena klasično, bez korištenja novih materijala. Polukružni se lukovi pojavljuju kod plesne dvorane, prozora trećeg kata, trjemova, vrtnog paviljona i portala gospodarske zgrade. I kod ovih se dijelova kompleksa pojavljuju elementi prisutni na palači – naglašeni klinasti elementi luka, pogotovo zaglavni kamen, pojasnice, balustradne ograde, vijenci, okviri otvora [14]. Za naglašavanje rubnih dijelova kamenih pročelja koristi se gusti vapnenac srednje tvrdoće, dijelom ozrnjeni, a dijelom klesani kamen, dok je kod ostalih pročelja za obradu upotrijebljena zaglađena bijeljena žbuka. Za žbuku se, umjesto rimskog cementa, koristi santorinska zemlja [2, 16].

3.4. Unutarnje uređenje

Isti stilski i oblikovni principi provedeni su i u unutrašnjosti – velike su dimenzije, osobito visine u javnim prostorima, dok su kod privatnih racionalno reducirane. Jedini prostor koji odstupa od mjerila renesanse monumentalni je atrij koji se proteže kroz dvije (konstruktivno tri) etaže. Njegovoj ljepoti doprinose i stupovi obloženi žućkastom žbukom visokog sjaja koja nalikuje na mramor te balkoni – lože ograđeni balustradama kao i zidne plohe raščlanjene pilastrima i nišama. Svečani dojam povećava i prirodna stropna rasvjeta te gipsane štukature koje je izradio poznati mađarski kipar Antal Szabo. Atrij je opločen istim materijalom kao i vestibul, običnim granitnim terazzom, dok se za stube, odmorišta, baze stupova, balustrade i dr. koristi mramor s Brijunskog otočja u brušenom i poliranom obliku.

Mramorna (plesna) dvorana, površine 180 m², proteže se u visini dvije etaže i ima izuzetna akustična svojstva. Njeni zidovi su u visini od 3,60 m obloženi mramorom iz Carrare, pa je zato i dobila taj naziv. Mramornu dvoranu krasi i bogata svodna štukatura te viseći i zidni lusteri, a nekada

su prostor ukrašavali i izloženi portreti riječkih guvernera (danas se u tim okvirima nalaze ogledala) koji su se nalazili iznad mramornih oplata.

Unutarnje uređenje ostalih službenih prostorija bilo je također raskošno, a ove prostorije danas nose nazive prema uređenju zidova koji su prekriveni svilenim tapetama u nijansama bijele, žute, zelene i crvene boje. Tako se prijamna dvorana naziva Bijelim salonom. Zidovi ovog salona su, kao i u ostalim dvoranama, presvučeni svilenim tapetama, a u salonu prevladavaju garniture za sjedenje presvučene svilenim tkaninama s pozlaćenim rezbarenim dekorom u stilu Louisa XV. Najznačajniji detalj u salonu je svakako veliki venecijanski barokni luster iz Murana koji je, bez obzira na dobru osvjetljenost prostorije, uz kamin od bijelog mramora nadstvođen polukružnim zrcalom, uistinu ovaj prostor učinio najreprezentativnijim, ali isto tako i najposjećenijim od strane pripadnika visokih društvenih slojeva. Do Bijelog salona nalazi se budoar (danas tzv. Vražja soba) iz kojeg se ulazi u kutnu sobu ili ženski mali salon do kojeg je smještena blagovaonica. Blagovaonicu krase namještaj od hrastovine (stol za razvlačenje za trideset i šest osoba, dvadeset i šest stolica, dva kuhinjska ormara za posuđe i kuhinjski pribor, dva stola za serviranje i paravan), a na nju se nadovezuje soba za serviranje.

Za ličenje Bijelog salona kao i za ličenje ostalih prostorija bio je zadužen vodeći riječki dekorater Giovanni Fumi. Fumijev slikarski rad u Guvernerovoj palači bio je prije svega usredotočen u blagovaonici, velikoj prostoriji na zapadnom dijelu prvog kata. Pretpostavlja se da je oslikao i grbove u cijeloj zgradi na mjestima gdje je to bilo predviđeno. Od dekoracija nije ništa sačuvano, a stradao je i veći broj njegovih dekoracija po reprezentativnim gradskim prostorima, pa danas nažalost nije moguće vidjeti njegov rad.

Arhitekt Hauszmann nije samo projektirao građevinu, već je bio zadužen i za projektiranje namještaja za reprezentativni prvi kat. Kod projektiranja namještaja opet se koristio renesansom i njenim bogatim rezbarenim motivima (lovor, maskeroni, ljudske figure, lavlje glave...) što je vidljivo u velikom nizu škrinja-klupa, ali isto tako i rezbarenih stolica. Stol namijenjen guverneru također je izrađen u renesansnom stilu, dok se za salone birao namještaj u rokoko stilu i rokoko ogledala, a dekoracija je upotpunjena i plavo-bijelim baroknim staklenim Murano lusterom te baroknim i klasicističkim ogledalima koja su u novu palaču prenesena iz stare.

Guvernerova palača gradila se u stoljeću velikih tehnoloških izuma, pa tako imponantna vanjšina i elegantna unutrašnjost nisu bile njene jedine odlike. Njezina opremljenost omogućavala je visoki standard življenja u

svim segmentima. Palača se zagrijavala putem radijatora niskotlačnim plinskim grijanjem s ubacivanjem toplog zraka, imala je vodovod, sustav za prozračivanje, pa čak i protupožarni sustav. Budući se kuhinja nalazila u zasebnoj zgradi (kako bi se spriječilo širenje mirisa), hrana se donosila u prijemni dio, odnosno sobu za serviranje gdje se pripremala za iznošenje u blagovaonicu, dok su za dostavu hrane u guvernerov stan na drugom katu postojala mala teretna dizala [13, 16].

4. Promjene nakon gradnje

Stanare palače uglavnom je određivala politika, a obzirom na prilike koje su je zadesile i njene namjene može se promatrati kao palača u političkom razdoblju i palača u kulturnom razdoblju.

Guverner Ljudevit Batthyany, najzaslužniji za realizaciju ove monumentalne zgrade, zbog političkih prilika u Rijeci i Monarhiji povukao se sa svoje funkcije krajem 1896., pa nije imao prilike boraviti u novoizgrađenoj palači koja je rezultat upravo njegove ambicije⁵. Zbog potrebe za većim prostorom za urede, Gubernij 1912. godine otkupljuje zgradu na susjednoj sjevernoj parceli, nekadašnju Vilu Corrosacz, koju arhitekti Theodor Träxler i Eugenio Celligoi adaptiraju, dograđuju krilo s istočne strane te izvode spoj s palačom.

Zbog svoje funkcionalnosti, udobnosti i raskošnog izgleda palača je nastavila biti poželjno mjesto boravka velikom broju vlastodržaca koji su se tijekom povijesti u njoj izmjenjivali. Nakon sloma Austro-ugarske i odlaska posljednjeg guvernera Zoltana Jakelfalussyja, vlast u Rijeci preuzima Gradsko narodno vijeće SHS, a upravu nad gradom u, sada već bivšoj Guvernerovoj palači, preuzima župan dr. Rikard Lenac. Time borba za Rijeku ne prestaje, a 1919. u Rijeku dolazi Gabriele D'Annunzio, poznati talijanski pjesnik koji odlučuje preuzeti vlast s namjerom da grad priključi Kraljevini Italiji. Jedini prihvatljivi smještaj za njega bila je upravo Guvernerova palača koju D'Annunzio pretvara u vojarnu, njene salone u vojničke spavaonice, a stilski namještaj, sofe i naslonjače presvučene finom kožom i svilom u krevete na preklop. Na "Krvavi Božić", za vrijeme D'Annunzijeve sukoba s regularnom vojskom, palača biva i pogođena granatom ispaljenom s bojnog broda "Andrea Doria" koja ruši dio glavnog pročelja. Nakon što je poraženi D'Annunzio u siječnju 1921. napustio grad odvozeći kamionima opljačkane dragocjenosti u svoju rezidenciju u Gardone, u palaču se useljava Rikardo Zanella, predsjednik autonomaške privremene vlade, ali fašisti na čelu s

⁵ U kolovozu 1896. godine Batthyany je podnio ostavku, a nikada nije otkriven pravi razlog njegove smjene.

Francescom Giuntom napadaju Zanellu tijekom čega je palača pogođena s dvadeset i osam topovskih hitaca. Popravci na Palači započinju kada je guverner Gaetano Giardin naredio rekonstrukciju zida i dovođenje vanjskog izgleda Palače u prvotno stanje, što je trebalo biti završeno na dan aneksije Rijeke Italiji 1924. Spomenuti događaji, kao i kasnije neodržavanje, ostavili su traga na Palači te su 1938. izvedeni radovi na uređenju unutrašnjosti i vanjštine, obnavljanju instalacije grijanja te kompletiranju i restauriranju namještaja, a projektom iz 1939. bilo je planirano i uređenje parka.

Nakon Drugog svjetskog rata u palači je smješten Okružni NOO za Hrvatsko primorje, a 1948. palača je pretvorena u Dom kulture "Vladimir Švalba Vid" u kojem djeluju razna kulturno-umjetnička društva: Galerija, Koncertna dvorana, Novi list te Gradski muzej koji 1953. mijenja naziv u Narodni muzej Rijeka. Godine 1955. ukida se Dom kulture i upravu nad palačom dobiva Narodni muzej Rijeka, a od 1961. ona postaje sjedište novoosnovanog Pomorskog i povijesnog muzeja Hrvatskog primorja a tom se prilikom dio postava muzeja uređuje i na otvorenom, u parku [16, 17].

Šezdesetih godina rekonstruirana je gospodarska zgrada u zapadnom krilu, nadograđuje se njen sjeverni i istočni dio i tu uređuju stanovi za djelatnike Građevnog poduzeća Jadran. Kako bi se osigurao pristup stanovima, iznad dvorišta izgrađena je konzolna galerija, postavljeno drveno stubište za vezu s prizemljem i probijen novi ulaz uz zapadni ogradni zid kompleksa (danas Stube Alberta Anđelovića). Kolnica u prizemlju se preuređuje za praonicu rublja, a konjušnice za drvarnice. Ovaj zahvat dogodio se uglavnom u unutrašnjem dijelu gospodarske zgrade pa nije značajno poremetio cjelovitost kompleksa. Gradnja stambenog nebodera krajem šezdesetih u neposrednoj blizini, s druge strane stuba, koji svojim gabaritima postaje dominantna u prostoru, zapravo je znatno više poremetila urbanističku vrijednost kompleksa. Najveća promjena dogodila se, međutim, 1973. kad se gospodarska zgrada na kraju zapadnog arkadnog krila ruši i na njenom mjestu prema projektu arhitekta Nevena Šegvića gradi Muzej narodne revolucije (danas Muzej grada Rijeke) [18].

5. Postojeće stanje kompleksa

Kompleks Guvernerove palače danas uglavnom ima kulturnu namjenu. Glavna zgrada, trjemovi i paviljon s istočne strane pripadaju Pomorskom i povijesnom muzeju Hrvatskog primorja u Rijeci, dok se na mjestu nekadašnje gospodarske zgrade, a kasnije Muzeja narodne revolucije, danas nalazi Muzej grada Rijeke.



Slika 17. Atrij Palače [19]

Za potrebe nove, muzejske namjene zgrada se vrlo malo promijenila u konstruktivnom smislu, ali je sadržaj prostora drugačiji. U prizemlju je ostalo predvorje, uz njega su prodaja muzejskih izdanja i blagajna, sa zapadne strane prostori uprave i kancelarije djelatnika, a kancelarije i radni prostori su i s istočne strane. Oba bočna ulaza služe kao službeni ulazi za djelatnike. Ukopani dio prizemlja danas se koristi za restauraciju i čuvanje muzejskih eksponata, dok se središnji dio prizemlja koristi za povremene izložbe.

Veći dio prvoga kata koristi se kao stalni izložbeni postav u koji su uključeni svi saloni sa zapadne, južne i istočne strane izuzev onog uz Mramornu dvoranu kojeg koristi Matični ured za potrebe vjenčanja. Mramorna dvorana i Atrij povremeno se koriste u protokolarne svrhe Grada i Županije te za izložbe, predavanja, koncerte i skupove. U sjeverozapadnom hodniku uređen je prostor za studijske izložbe i predstavljanje zbirke, a uz njega su knjižnica, spremište knjižnične građe i pedagoški kabinet.

Stalni postav muzeja zauzima i veći dio drugog kata: cijelo zapadno, istočno i južno krilo te središnji dio sjevernog – bivšu galeriju Plesne (Mramorne) dvorane, dok su u sjeverozapadnom dijelu četiri spremišta

muzejske građe. Cjelokupna korisna površina tavana i 3. kata, do kojeg vode dva stubišta, koristi se za spremišta muzejskih eksponata.

Dio stalnog postava muzeja nalazi se i u zapadnom arkadnom krilu gdje je uređen Lapidarij, dok istočno arkadno krilo i vrtni paviljon danas nemaju namjenu. Park je u prilično zapuštenom stanju; dio parka koristi se kao parkiralište osobnih vozila djelatnika, fontane nisu u funkciji već desetljećima, a na svakom su koraku prisutni brojni tragovi gradskih vandala. Oba muzeja povremeno koriste dio parka kao izložbeni prostor za izlaganje eksponata velikog mjerila koji mogu biti izloženi na otvorenom [19].

6. Projekt adaptacije aneksa

6.1. Postojeće arhitektonsko i građevinsko stanje aneksa

Istočni aneks Guvernerove palače sastoji se od vrtnog paviljona i arkadnog trijema koji je služio kao veza između paviljona i palače. Izgrađen je u vrijeme kad je izgrađena i sama palača i sve do 1945. bio je u izvornoj namjeni. U razdoblju nakon Drugog svjetskog rata uglavnom se koristi za smještaj raznih ugostiteljskih sadržaja, premda se povremeno koristio i za kulturne svrhe. Danas se u aneksu ne odvijaju nikakve aktivnosti i šteta je da je bez namjene, pogotovo u situaciji kad postojeći muzej nema dovoljno prostora za sve svoje potrebe i aktivnosti.

U razdoblju kad je imao ugostiteljsku namjenu, unutar postojećih gabarita izvršene su određene pregradnje, promjene instalacija i interijera, ali i manji zahvati na pročelju, uglavnom vezani uz probijanje otvora za instalacije. Obzirom da je od izgradnje prošlo 115 godina, aneksu je danas potrebna rekonstrukcija koja se, međutim, uglavnom odnosi na unutrašnjost, budući da su osnovna konstrukcija i pročelja u dobrom stanju. Krovna terasa također zahtijeva sanaciju zbog loše izvedenog pada.

Jednoetažni trijem pravokutnog je tlocrta, dug 28,5 a širok svega 3,0 m, dok je paviljon kvadratičnog tlocrta (5,45x6,20m) s polukružnom nišom na sjevernoj strani. Između ovih prostora postoji direktna veza, dok je krajnji zapadni dio trijema pregrađen i time je veći dio prostora odvojen od prostora preko kojeg se ostvaruje veza s palačom. Paviljon ima još jednu etažu, istovjetnu onoj u prizemlju, dok se iznad trijema nalazi ravni krov – terasa do koje je moguće doći stubištem s vanjske strane trijema (vodi iz prizemlja na krov trijema, odnosno terasu), a veza s palačom moguća je i iz Žutog salona i Mramorne dvorane.

**Slika 18.****Slika 19.**

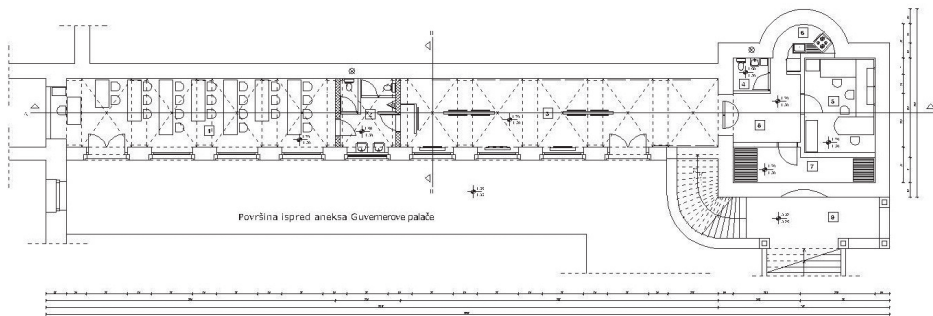
Postojeće stanje aneksa: pročelje trijema (18) i unutrašnjost (19) [19]

Za izgradnju aneksa koristio se isti materijal koji se koristio kod izgradnje Guvernerove palače. Vanjski zidovi građeni su kao mješoviti zidovi od klesanog kamena i opeke normalnog formata i ukupne su širine 58 cm, dok su unutarnji zidovi prema terenu građeni od kamena (pretpostavljene širine 65 cm). Svod trijema podijeljen je u devet križnih segmentnih traveja odijeljenih segmentnim lukovima koji se upiru u bočne lezene. Svodovi su konstruirani od opeke normalnog formata. Međukatna konstrukcija paviljona je drvena, a drvena je i konstrukcija krovišta (četverostrešno prazno krovište).

Na glavnom pročelju trijema devet je polukružnih lučnih otvora. Horizontalna je raščlamba minimalna: rustični sokl, glatko kameno pročelje i završni vijenac na koji se nastavlja balustradna ograda, a jedini su dekorativni elementi naglašeni zaglavni kameni. Pročelja paviljona su složenija: prizemni je dio također zidan od klesanog kamena, dok se kod prvog kata koristila i dekorativna žbuka. Paviljon nema otvora u prizemlju jer je većim dijelom ukopan, a u ravnini podesta prilaznog stubišta nalazi se slijepa konkavna niša. Na katu je na južnom pročelju široki prozor stupovima podijeljen u tri zone, dok su bočno još dvije dekorativne niše polukružnog oblika. Ostala su pročelja jednostavna, horizontalno raščlanjena pojasnicama i vijencima, a uz stražnje su pročelje još dva stupa – preostali nosači nekadašnje pergole [19].

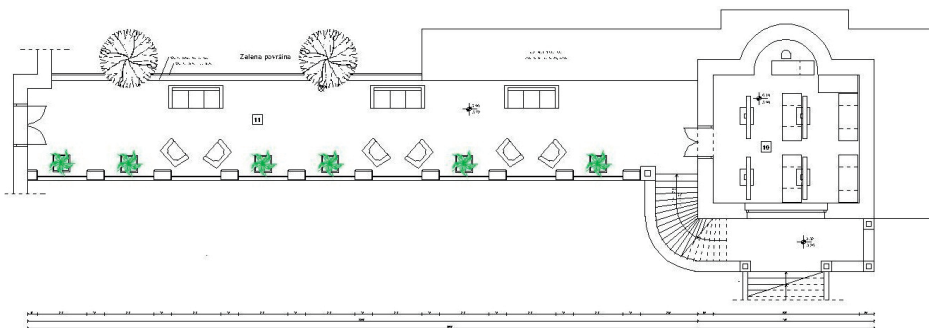
6.2. Idejni projekt

Idejni projekt predviđa da se aneks koristi u kulturno – edukativne svrhe, a da buduća namjena bude i u službi postojećeg muzeja i za vanjske korisnike, uglavnom studente. U zapadnom dijelu trijema smještena je manja predavaonica (za seminare, predavanja, prezentacije) za dvadesetak korisnika, a u istočnom galerija za stalne i povremene izložbe. Između ova dva prostora nalazi se sanitarni čvor u koji je pristup moguć s obje strane. Prizemlje paviljona pregrađeno je u nekoliko prostora: ured, arhivu, kuhinju, sanitarni čvor i komunikacije. Uprava je od galerije odvojena pomičnom pregradom pa nije u izravnom kontaktu s posjetiteljima galerije (Slika 20).



Slika 20. Idejni projekt, tlocrt prizemlja [19]

Na katu je jednoprostorna radionica namijenjena studentskim projektima. Za potrebe nove namjene predviđeno je aktiviranje i uređenje krovne terase te opremanje vrtnim namještajem kako bi se edukacijske i kulturne aktivnosti mogle odvijati i na otvorenome. Radi lakšeg transporta opreme iz radionice na terasu ugrađena je rampa (nagiba 8%). Ukupno je u prizemlju uređeno oko 125 m² korisne površine, na 1. katu paviljona 37 m², a na terasi 113 m² (Slika 21).



Slika 21. Idejni projekt, tlocrt kata i terase [19]

Premda je riječ o povijesnoj građevini, zbog prilagodbe novoj namjeni projektom adaptacije predviđene su i neke promjene koje su nužne kako bi se prostor mogao koristiti. Vanjski se izgled zadržava u potpunosti, a jedino je zbog smještaja sanitarnog čvora u prizemlju jedan otvor pregrađen kako bi se osigurala netransparentnost. Svi zahvati koji se izvode su reverzibilni te se može ponovno uspostaviti postojeće stanje bez oštećenja povijesnih elemenata [19].

6.3. Izvedbeni projekt

Izvedbenim projektom predviđeno je uklanjanje postojeće pregrade u zapadnome dijelu trijema te skidanje svih slojeva poda do nosive podloge, kao i skidanje svih slojeva krovne terase. Predviđena je zamjena svih podnih slojeva, postava hidroizolacije, toplinsko-zvučne izolacije te slojeva plivajućeg poda.

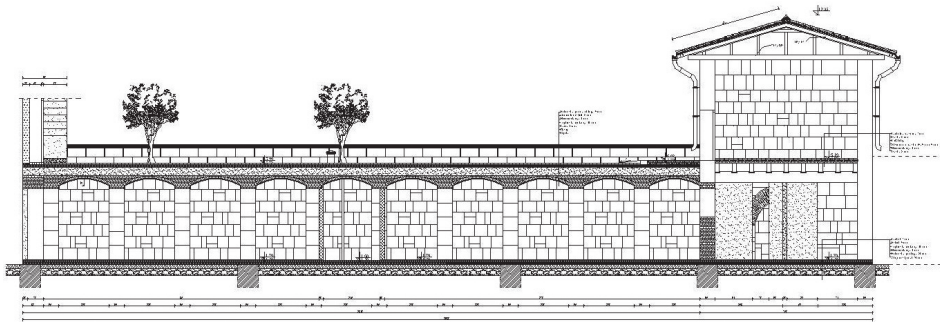
Vanjski i unutarnji nosivi zidovi ostaju nepromijenjeni. Pregrade se izvode kao metalne stijene ispunjene toplinsko-zvučnom izolacijom i obostrano obložene gips-kartonskim pločama debljine 20 cm i 10 cm. Predviđena je zamjena dotrajalih elemenata stropne i krovne konstrukcije paviljona, zamjena pokrova te limarije - horizontalnih i vertikalnih oluka, opšava kao i opšava slivnika ravnog krova.

Stolarski radovi obuhvaćaju izradu vrata i prozora u zgradi koji se izvode od hrastovine I. klase, a predviđena je zamjena običnih stakala visoko vrijednim višeslojnim izolacijskim staklenim stijenama minimalnog kontinuiranog koeficijenta $U_g 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ s unutarnjim sun blok zavjesama za zaštitu eksponata od sunčeve radijacije i UV zraka. Srednji otvor je zbog svoje nove namjene dobio novi izgled; on više nije transparentan, iza ostakljenja je pregrada izvedena od gips-kartona. U sanitarnim prostorijama i čajnoj kuhinji zidovi i podovi oblažu se keramičkim pločicama. U svim ostalim zatvorenim prostorima postavlja se parketni pod. Kamenom je obrađeno vanjsko stubište, zidovi i ostali elementi ove zgrade, a budući da je kamen uglavnom u dobrom građevinskom stanju, sanirat će se samo oni elementi koji su oštećeni. Na krovnoj terasi planira se uklanjanje podnih slojeva i podloge, postava toplinsko-zvučne izolacije i slojeva plivajućeg poda s betonskim pločama kao završnim slojem.

Projektom je predviđeno etažno centralno grijanje, sustav s kombi bojlerom na kruto i tekuće gorivo. Priprema tople vode vršit će se zasebno u električnim bojlerima odgovarajućeg kapaciteta. Većina prostora ima prirodnu ventilaciju, a kod prostora koji nemaju tu mogućnost – poput prizemlja paviljona, ugrađena je umjetna ventilacija. Na mjestima prolaza ventilacijskih kanala kroz vatrootporne pregrade postaviti će

se protupožarne zaklopke, a prodori ostalih cjevovoda zabrtvit će se odgovarajućim vatrootpornim materijalom (Slika 22).

Obzirom da je park u zapuštenom stanju, predviđeno je njegovo odgovarajuće hortikulturno i arhitektonsko uređenje te ponovno stavljanje fontana u funkciju [19].



Slika 22. Izvedbeni projekt, Uzdužni presjek kroz aneks [19]

7. Zaključak

Guvernerova palača u Rijeci predstavlja najreprezentativniji upravni kompleks koji je napravljen na ovim prostorima. Uspješni projekt uspostavio je harmoničan odnos između građevina u sklopu, sklopa i neposrednog okoliša – parka, te sveukupnog kompleksa i grada. Tijekom povijesti vrijednosti ovog sklopa samo su se djelomično prepoznale i poštivale. Nova, kulturna namjena dobro se, gotovo bezbolno uklopila u izvornu arhitekturu, a i intervencije u pomoćnim građevinama tijekom prenamjene u stambenu ili ugostiteljsku funkcija nisu bitno narušavale integritet sklopa. U ovom je prostoru, međutim, donesena jedna od najlošijih odluka za gradski urbanizam, kad se zgrada koja je bila integralni dio sklopa uklonila kako bi na njeno mjesto došao novi muzej. Bez obzira na moguće izolirane vrijednosti nove arhitekture, novi muzej nikad se nije uspio uklopiti u zatečeni prostor, a hijerarhija i mjerilo drastično su poremećeni.

Zbog toga je kod odabira novih funkcija za povijesne građevine i njihove revitalizacije nužno iscrpno analizirati prostorne odnose, prepoznati *duh mjesta*, odabirući rješenja koja uključuju suzdržanost, poštivanje zatečenog te pravu mjeru u odnosu između postojećeg i novog.

Zahvala. Na pomoći pri istraživanju i izradi rada zahvaljujemo djelatnicima Pomorskog i povijesnog muzeja Hrvatskog primorja i Državnog arhiva u Rijeci, posebno povjesničaru Igoru Žicu, voditelju knjižnice Mladenu Uremu i arhivskom tehničaru Ivanu Peraniću.

Literatura i izvori

- [1] Lentić-Kugli, I., Nekoliko planova i projekata zgrada javne namjene u Rijeci u drugoj polovici XVIII. stoljeća, *Godišnjak zaštite spomenika kulture Hrvatske*, br. 14/1988.-15/1989., Zagreb, 1989.
- [2] Matejčić, R., *Kako čitati grad*. ICR, Rijeka, 1990.
- [3] Dubrović, E., Izgradnja Rijeke, Adamićevo kazalište i inženjerske ambicije, *Adamićevo doba 1780.-1830.*, Muzej grada Rijeke, Rijeka, 2005.
- [4] Državni arhiv u Rijeci (DARI), JU 51, kut. 106
- [5] *Demolizione*, La Bilancia, 11.09.1896.
- [6] *Un' idea*, La Bilancia, 12.12.1873.
- [7] *Solennità edilizia*, La Bilancia, 3.09.1884.
- [8] *Il palazzo governiale*, La Bilancia, 17.06. 1890.
- [9] *Lavori edilizii*, La Bilancia, 17.07.1890.
- [10] Sisa, J., *Historizmus, Magyarország Építészetének Története*, Vince Kiadó, Budapest, 1998.
- [11] Matejčić, R., Mađarski arhitekti u izgradnji Rijeke, *Izleti u prošlost*, Adamić, Rijeka, 2000.
- [12] Glavočić, D., Poslovne palače, *Arhitektura historicizma u Rijeci*, Muzej moderne i suvremene umjetnosti Rijeka, Rijeka, 2001.
- [13] Žic, I., *Guvernerova palača, Riječki orao, venecijanski lav i rimska vučica*, Adamić, Rijeka, 2003.
- [14] DARI, JU 51, br. 63/1893.
- [15] Palinić, N., *Riječka kazališta - nastanak, kontinuitet i značenje kazališnih zgrada i scenskih prostora u razvitku urbane strukture grada*, doktorska disertacija, Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2008.
- [16] Balabanić Fačini, M., *Svjedočanstva jednog zdanja: prigodom 100 obljetnice izgradnje palače Pomorskog i povijesnog muzeja Hrvatskog primorja - Rijeka*, Pomorski i povijesni muzej Hrvatskog primorja Rijeka, Rijeka, 2004.

- [17] *Kulturno povijesna baština Primorsko – goranske županije*, Graditeljska baština: Primorsko – goranska županija, Županijski zavod za državni razvoj i prostorno planiranje, Adamić, Rijeka, 2006.
- [18] Šegvić, N., *O muzeju narodne revoluciju u Rijeci*, Dometi, br. 5, Rijeka, 1975.
- [19] Kvaternik, J., *Guvernerova palača – Pomorsko povijesni muzej Hrvatskog primorja u Rijeci – arhitektonska i građevinska analiza i prijedlog adaptacije aneksa Guvernerove palače*, diplomski rad (mentor Palinić, N.), Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2011.

PRIMJENA INSTITUTA URBANISTIČKO- ARHITEKTONSKOG NATJEČAJA U PLANIRANJU GRADA RIJEKE OD 1993.-2012. GODINE

URBAN AND ARCHITECTURAL INVITATION FOR TENDERS MODEL APPLICATION IN URBAN PLANNING OF CITY OF RIJEKA FROM 1993 TO 2012

Srđan ŠKUNCA

Sažetak

Teritorijalnim preustrojem Republike Hrvatske provedenim 1993. godine tadašnja Općina Rijeka podijeljena je u više novih jedinica lokalne samouprave te je tako utemeljen i Grad Rijeka u novim, bitno smanjenim administrativnim granicama. Opisane promjene odrazile su se i na opseg, prioritete, organizaciju i proces urbanističkog planiranja koji se u obradi brojnih tema važnih za urbanistički razvoj grada sve više koristio javnim urbanističko-arhitektonskim ili arhitektonskim natjecajem. Od 1995. do danas provedeno je 25 javnih natječaja raznovrsne tematike koje je raspisivao Grad Rijeka ili je na raspis poticao druge nositelje razvojnih procesa, pa je tako Rijeka, nakon Zagreba, postala izuzetno zanimljiva širokom interesu struke. Rad se bavi kronološkom, tematskom i kvalitativnom sistematizacijom natječaja u proteklom razdoblju kako bi bila vidljiva povezanost natječaja s postupkom urbanističkog planiranja i razvojem grada uopće te načinom primjene natječajnih rješenja u daljnjem tijeku planiranja, odnosno realizacije.

Ključne riječi: *urbanističko-arhitektonski natječaj, urbanističko planiranje, arhitektura, grad Rijeka*

* Odjel gradske uprave za razvoj, urbanizam, ekologiju i gospodarenje zemljištem, Titov trg 3, 51000 Rijeka
E-mail: srdjan.skunca@rijeka.hr

Abstract

Following the administrative reorganization of the Republic of Croatia in 1993, the municipality area of Rijeka of that time was divided into several new local government units. The City of Rijeka was established within new, significantly smaller administrative area. These changes have reflected to the scope, priorities, organization and process of urban planning within which public invitations for tenders, both of urban planning and architectural nature, have been frequently used in the treatment of numerous topics of the urban development importance for the City. In the period from 1994 25 invitations for tenders of different nature have been launched by the City of Rijeka and other developers following the City initiative as well. Regarding such practice, after the capital Zagreb, Rijeka has become extremely interesting to the professionals of the urban planning and architecture field.

This paper offers a systematization of invitations for tenders in terms of chronology, themes and achieved quality in order to show how they were related to urban planning and development process in general and how the awarded proposals were applied in the urban planning procedure and/or realization

Key words: *Urban planning and architectural invitations for tenders, urban planning, architecture, city of Rijeka*

1. Stvaranje Republike Hrvatske, uvod u novu planersku praksu

Nakon nešto više od godinu dana od osamostaljenja, u prosincu 1992., Hrvatski sabor usvojio je *Zakon o područjima županija, gradova i općina u Republici Hrvatskoj*¹ koji je postavio temelj nove i drugačije organizacije područne (regionalne) i lokalne samouprave. Njegovom provedbom tijekom 1993. godine utemeljene su *Primorsko-goranska županija* i *Istarska županija* kao jedinice područne/regionalne samouprave i dominantni teritorijalno-upravni supstitut dotadašnje Zajednice općina Rijeka. Na razini lokalne samouprave proveden je i preustroj tadašnje Općine Rijeka kojim je upravno, gospodarsko, infrastrukturno i planersko područje površine 515 km² podijeljeno između *devet* novih upravnih jedinica razine grada i općina². Tako je na dvanaestini nekadašnjeg područja osnovan Grad Rijeka površine 43,5 km², a izvan njegovih novih granica ostala su izgrađena i/ili za izgradnju planirana gospodarska područja, dijelovi infrastrukturnih sustava kao i drugi pojedinačno značajni objekti za daljnji razvoj.

¹ Narodne novine broj 90/92.

² *Odluka o privremenom ustrojstvu i načinu rada Županijske skupštine i drugih tijela Županije*, Službene novine broj 5/93.

Budući da je svaka novostvorena jedinica područne i lokalne samouprave istovremeno postala i jedinicom prostornog/urbanističkog planiranja na kojoj (ovisno o rangu) završava vertikalna prostornog planiranja, stvorena je nova planerska (i društveno-politička) praksa koja se očituje u atomizaciji kreiranja razvojne paradigme te separatnom pristupu bez obveze koordinacije između više (susjednih) jedinica područne/lokalne samouprave. U njezinu stvaranju bitnu ulogu i utjecaj imao je zakonodavni okvir koji je oscilirao u rasponu od vrlo liberalnog pristupa sadržanog u prvom *Zakonu o prostornom uređenju* iz 1994.³, kohezivnog pristupa ugrađenog u izmjenu istog Zakona najprije 1998. godine⁴, a potom i u podzakonske akte i u njihove novele sve do donošenja *Zakona o prostornom uređenju i gradnji*⁵ kojim je jednoznačno propisan i normiran sustav prostornog planiranja i dokumenata prostornog uređenja.

Primjenom istih zakonskih odredbi, *Gradsko vijeće Grada Rijeke* u srpnju 1993. godine donosi *Odluku o ustrojstvu gradske uprave Grada Rijeke* kojom se, između ostalih, formira *Odjel gradske uprave za urbanizam i ekologiju* u kojem se imaju obavljati "... poslovi osiguranja uvjeta za utvrđivanje politike gospodarenja prostorom Grada Rijeke kroz urbanističko planiranje, uređenje prostora (zemljišta) i zaštitu okoliša."⁶ Opisanim organizacijskim rješenjima Grad Rijeka se opredijelio za kompleksno prostorno i urbanističko planiranje kojim će štiti vitalne interese daljnjeg funkcioniranja, isprva na zatečenim planskim i razvojnim osnovama, a potom, radi ograničenja proizašlih iz redukcije vlastite prostorno-gospodarske osnove, osmišljavanjem i promocijom nove razvojne paradigme izradom i donošenjem *Prostornog plana uređenja grada Rijeke* 2003. godine.⁷ [1] Nova organizacija potpuno je zaživjela kada je u veljači 1994. godine Primorsko-goranska županija preuzela dotadašnji općinski *Zavod za razvoj, prostorno planiranje i zaštitu čovjekova okoliša* te time njegov daljnji rad usmjerila na *regionalno planiranje*. [2]

³ Narodne novine broj 30/94. Zakon omogućuje jedinicama lokalne samouprave izradu i donošenje dokumenata prostornog uređenja koji nisu utvrđeni zakonom, a u kojem slučaju vrsta, sadržaj i način donošenja trebaju biti propisani Programom za unaprjeđenje stanja u prostoru koji se donosi za dvogodišnje razdoblje.

⁴ Narodne novine broj 68/98.

⁵ Narodne novine broj 76/07.

⁶ Službene novine Primorsko-goranske županije 5/93. Odluka se počela primjenjivati od 15. listopada 1994.

⁷ *Odluka o donošenju Prostornog plana uređenja grada Rijeke*, Službene novine Primorsko-goranske županije broj 31/03.

2. Osnove pristupa provedbi natječaja u području urbanističkog planiranja i arhitekture

Iako se u Izvorišnim osnovama [3] *Pravilnika o natječajima s područja arhitekture i urbanizma* Udruženja hrvatskih arhitekata⁸ naglašava kako je „*Natječaj... potvrđen kao pouzdana poredbena metoda dobivanja kvalitetnih idejnih rješenja značajnih javnih i privatnih građevina, uređenja i proširenja gradova i naselja ili stvaranja novih naselja i dijelova naselja.*” radi ispravnog vrednovanja uloge, značaja i korištenja instituta natječaja (urbanističkog, arhitektonskog ili urbanističko-arhitektonskog) potrebno je naglasiti kako ovaj institut *nije oblatoran* već je opredjeljenje za provedbom natječaja rezultat *procjene (o korisnosti), svijesti (o učinkovitosti) i ambicije (prema kvaliteti interpretacije postavljenog zadatka)* nositelja projekta. Štoviše, s iznimkom odredbe članka 80. *Zakona o prostornom uređenju i gradnji* kojom se natječaj dozvoljava kao način dobivanja najkvalitetnijeg urbanističkog rješenja koje će se koristiti kao podloga za izradu prostornog plana, ne postoji niti jedna druga zakonska odredba koja bi određivala korištenje instituta natječaja, čak niti na razini preporuke.

Nažalost, čak i površna analiza riječke prakse u razdoblju uoči opisanih promjena ukazuje na oskudno prakticiranje instituta natječaja. Tako je natječaj za izradu *urbanističko-arhitektonskog idejnog rješenja dijelova Delte i Brajdice* proveden od rujna 1985. do ožujka 1986., a natječaj za izradu *idejnog urbanističko-arhitektonskog rješenja zone Korza*, raspisan je 1987. godine. Iako je u međuvremenu, do preustroja upravnog i sustava planiranja 1993. godine, potonji natječaj realiziran, neprijeporno je da u istom razdoblju nije bilo javnih natječaja.

Temeljem opisanih razloga, Odjel gradske uprave za urbanizam i ekologiju od početka se u svom radu usmjerio prema *korištenju i promociji* natječaja kao instituta koji proizlazi iz programa urbanističkog planiranja, ali ga i podržava. U tom smislu, primjena natječaja proizlazi s jedne strane iz *prioriteta* koji se deriviraju iz planerske prakse, ali i iz *komunalnih* programa, radi čega se kao predmet natječaja profilira općeprepoznat problem, rješenje kojeg će dati stvaran doprinos i pomak u oblikovanju grada, bilo putem daljnjeg urbanističkog planiranja, bilo materijalizacijom projektnog rješenja te tako ujedno senzibilizirati i stručnu i opću javnost oko rješenja postavljenog zadatka.

Ovakvo poimanje instituta natječaja otkriva i analiza sadržaja *Izvjješća o stanju u prostoru*, tj. dokumenata praćenja stanja u prostoru koje tijekom 1997.-2007. godine, po isteku dvogodišnje primjene pojedinačnog

⁸ Narodne novine broj 112/06.

Programa mjera za unaprjeđenje stanja u prostoru, redovito izrađuje Odjel, a donosi Gradsko vijeće [4]. Tako se u *Izvješću o stanju u prostoru za razdoblje 1997. -1999.* naglašava važnost „*personalizacije grada*“ koja se definira kao „*sposobnost lociranja i izgrađivanja na svojim najvažnijim mjestima upravo onih djelatnosti i ustanova koje su - najmanje pragmatične*“, dakle one na kojima se ne zasniva izravna ekonomska slika grada, ali i kao izravna podloga na kojoj se priprema i gradi tematski sklop dotadašnjih natječaja.

Odlukom o donošenju Prostornog plana uređenja grada Rijeke učinjen je bitan normativni iskorak jer je odredbama članka 229. utvrđena primjena natječaja u postupcima urbanističkog planiranja i projektiranja kako slijedi:

- **obveza provedbe urbanističko-arhitektonskog natječaja** za područja *Delte i luke Baroš, Brajdice i Sekundarnog gradskog središta Rujevica*, kao najvažnije reprezentante skupine „*Gradskih projekata*“ (u koje su još uvršteni *Sportsko područje Rujevica, Sveučilišni kampus na Trsatu, Ugostiteljsko-turističko područje Preluk te projekt, Waterfronta*), tj. zahvata u prostoru od *posebnog značaja i interesa za razvoj grada u cjelini*;
- **mogućnost provedbe arhitektonsko-urban. i arhitektonskog natječaja** za *lokacije i građevine javne i društvene namjene te građevine od važnosti za Republiku Hrvatsku, Primorsko-goransku županiju i Grad Rijeku*, što se prepušta utvrditi Programom mjera za unaprjeđenje stanja u prostoru.

Upravo temeljem sadržaja i odredbi *Prostornog plana uređenja, Programom mjera za unaprjeđenje stanja u prostoru za razdoblje 2004.-2006. godine*,⁹ utvrđena je provedba urbanističko-arhitektonskih natječaja za rješenje autobusnog terminala Zapadna Žabica i Gradske knjižnice Rijeke.

Odredbama *Odluke o donošenju Generalnog urbanističkog plana grada Rijeke iz 2007. godine*¹⁰, osim za gradske projekte, provedba natječaja nije postavljena kao *obligatorna*, a utvrđen je povećani tematski opseg predmeta natječaja:

- *područje Gradskog projekta* (članak 312.);
- *niskokonsolidirano područje i javni park veći od 2 ha* (članak 313.);
- *interpolacija i gradnja građevine na području mješovite namjene, građevina javne i društvene namjene i građevina unutar zona urbaniteta i mikrocentara* (članak 314.).

Člankom 315. utvrđeno je kako će se predmet provedbe urbanističko-arhitektonskog i arhitektonskog natječaja utvrditi Programom mjera

⁹ Službene novine Primorsko-goranske županije broj 7/04.

¹⁰ Službene novine Primorsko-goranske županije broj 7/07.

za unapređenje stanja u prostoru ili drugim aktom Grada Rijeke. Ove će odredbe, kako pokazuje sadržaj *Programa mjera za unaprjeđenje stanja u prostoru za razdoblje 2007.-2011. godine*¹¹, biti osnovom za provedbu brojnih natječajna raznovrsne tematike.

3. Praksa provedbe natječaja u razdoblju 1994.-2012. i njezini dosezi

Kako je vidljivo iz uvodnog poglavlja, 2013. godine navršit će se dvadeset godina od osnutka novih jedinica područne (regionalne) i lokalne samouprave u okviru samostalne Republike Hrvatske, a time i gotovo jednako dugo razdoblje prakse prostornog/urbanističkog planiranja u uvjetima novih polazišta i prioriteta.

Uoči nastupa ove „obljetnice“ važno je analizirati praksu provedbe javnih urbanističko-arhitektonskih i arhitektonskih natječaja u Gradu Rijeci. Između brojnih potencijalnih kriterija, u ovom su radu korišteni sljedeći: zastupljenost natječaja prema vrsti i raspisivačima, brojnost i frekventnost natječaja, tematska i lokacijska usmjerenost i način i uspješnost provedbe nagrađenih radova. Rezultati analize prema ovako postavljenim kriterijima mogu u dovoljnoj mjeri pokazati učinkovitost primjene instituta natječaja u kontekstu nove prakse urbanističkog planiranja.

Podaci sistematizirani u Tablicama 1. i 2., pokazuju kako je u razdoblju od 1994.-2012. raspisano 25 natječaja kroz dva temeljna tipa provedbe:

- *javni i otvoreni natječaj te*
- *pozivni natječaj.*

U odnosu na promatrano razdoblje proizlazi da se prosječno raspisivao više od jedan natječaj godišnje. Među provedenim natječajima u cijelosti dominira model javnog i otvorenog natječaja (u osam raspisa kombiniran s pozivnim), njih dvadeset.

Isključivo *pozivni natječaji* koristili su se samo u razdoblju od 1994.-99., što do određene mjere koincidira s razdobljem do i neposredno nakon donošenja *Pravilnika o organizaciji i provođenju natječaja s područja arhitekture i urbanizma* krajem 1997. Otvoreni natječaji bili su provedeni u organizaciji *Društva arhitekata Rijeka*, što nije bio slučaj s pozivnim natječajima koje su provodili isključivo njihovi raspisivači.

Svakako je važno uočiti da je Grad Rijeka bio raspisivač 70% javnih i otvorenih natječaja (uključujući i suraspis s Riječkom nadbiskupijom)

¹¹ Službene novine Primorsko-goranske županije broj 17/07.

te 40% pozivnih natječaja (i to, kako je naglašeno, samo u razdoblju od 1994.-99.). Iako ovakav omjer ukazuje na odgovoran angažman Grada, on je ujedno pokazatelj kako institut natječaja još uvijek ostaje neprihvaćen izvan strukture uprave.

Sistematizacija podataka o natječajima u Tabelama 1 – 3 provedena je temeljem dostupnih podataka iz natječajnih kataloga, radnih materijala *Odjela gradske uprave za razvoj, urbanizam, ekologiju i gospodarenje zemljištem* te arhitektonskih monografija i publikacija.¹²

Tablica 1. Javni, otvoreni natječaji provedeni u razdoblju 1995.-2012.

Provedba	Natječaj za (izradu):*	Nositelj/Vrsta	Status
1995.	idejnog urb.-arh. rješenja uređenja Sušačkog mosta na Rječini**	Grad Rijeka, pozivni i javni	Izvedeno
1.			
2.	idejnog urb.-arh. rješenja Centra Podvežice u Rijeci	Grad Rijeka, pozivni i javni	Izrađen DPU, na snazi
1996./97.	idejnog rješenja Memorijalnog mosta hrvatskih branitelja u Rijeci	Grad Rijeka, javni i opći	Izvedeno
3.			
1998.	programskog rješenja bloka Rikard Benčić u Rijeci	Grad Rijeka, anketni	Izrađen DPU, na snazi
4.			
2001.	idejno urb.-arh. rješenje Islamskog centra u Rijeci	Islam. zajednica, javni i pozivni	Izvedeno mimo prihvaćenog rješenja
5.			
2001./02.	arh. rješenja prenamjene T-građevine u Muzej moderne i suvremene umjetnosti te trga i javne garaže unutar kompleksa Rikard Benčić	Grad Rijeka, otvoreni, u dva stupnja	Izrađena projektna dokumentacija
6.			
2003.	idejnog urb.-arh. rješenja područja kampusa Sveučilišta u Rijeci	Sveuč. u Rijeci, opći i pozivni	Izrađen DPU, na snazi
7.			
8.	arh.- urb. i hortikulturnog rješenja uređenja Kazališnog parka u Rijeci	Grad Rijeka, opći i pozivni	Izvedeno

¹² Nažalost, za sve pozivne natječaje nije bilo moguće prikupiti cjelovite podatke o sudionicima, plasmanima i sastavu ocjenjivačkog suda te su stoga u Tablici 3 dani podaci samo za javne (i pozivne) natječaje.

2003./04. 9.	rezidencijalno područje Sveta Katarina	EUROPAN 7, međunarodni	U pripremi
2004. 10.	idejnog arh. rješenja studentskog smještaja i prehrane unutar kampusa Sveučilišta u Rijeci	Sveučilište u Rijeci, opći	Djelomično izvedeno
2005. 11.	idejnog urb.-arh. rješenja područja autobusnog kolodvora Zapadna Žabica u Rijeci	Grad Rijeka, opći i pozivni	Izrađen DPU, na snazi i proj. dokumentacija
12.	idejnog arh. rješenja Gradske knjižnice Rijeka	Grad Rijeka, opći i pozivni	Izrađen projekt
2006. 13.	arh. rješenja društveno-kulturnog centra Sveučilišnog kampusa u Rijeci	Sveuč. u Rijeci, opći	Izrađen projekt
2008. 14.	idejno arh. rješenje višestambenih građevina po programu POS-a na Škurinjskom plasu	Grad Rijeka, opći	U pripremi
15.	idejno urb.-arh. rješenje višestamb. građevina po programu POS-a na Donjoj Drenovi	Grad Rijeka, opći	U izvedbi
16.	izradu arh. rješenja uređenja Arheološkog parka i okolnih javnih prostora u Starom gradu u Rijeci	Grad Rijeka, javni i pozivni	Izrađena projektna dokumentacija
2009./10. 17.	revitalizaciju lokacije Lipa uz Osječku ulicu	EUROPAN 10, međunarodni	U pripremi
2010. 18.	urb.-arh. rješenje stamb. područja Rujevica u Rijeci	Grad Rijeka, opći, anketni	DPU u izradi
2011. 19.	idejnog arh.-urb. rješenja uređenja trga Pul Vele crikve u Starom gradu u Rijeci	Grad Rijeka, pozivni i otvoreni	Projekt u izradi
2012. 20.	idejnog urb.-arh. rješenja sakralnog i društveno-kulturnog centra na Gornjoj Vežici u Rijeci	Grad Rijeka, Riječka nadbiskupija, opći	Natječaj dovršen

* Naziv natječaja naveden je u punom obliku, pri čemu se riječ (izradu) izostavlja ovisno o padežnom obliku naziva natječaja.

** Radi dužine naziva, korištene su skraćenice: urb.-arh.= urbanističko-arhitektonsko, arh.=arhitektonsko i dr.

Tablica 2. Pozivni natječaji provedeni u razdoblju 1994.- 2012.

Provedba	Natječaj za (izradu):	Nositelj	Status
1994.	idejno arh. rješenje župne crkve Svetog Franje Asiškog sa samostanom, na Pehlinu u Rijeci [5]	Samostan	Neizvedeno
1.		Sv. Franje, Pehlin	
2.	idejno urb.-arh. rješenje kompleksa WTC-a na Pećinama u Rijeci*	WTC Rijeka - CET, pozivni	Izvedeno mimo prihvaćenog rješenja
1995.	arh.-urb. rješenje Poslovno-stambenog kompleksa "Nikola Tesla" u Starom gradu	Grad Rijeka	Neizvedeno
3.			
1998.	idejnog rješenja uređenja dijela povijesno definiranih prostora u Starom gradu	Grad Rijeka	Izvedeno/u izvedbi
4.			
1999.	idejno arh. rješenje župne crkve sv. Ivana Krstitelja s pastoralnim i centrom Caritasa na Škurinjama	Riječka nadbiskupija	Izvedeno
5.			

Tablica 3. Osnovni podaci o općim natječajima provedenim 1995.-2012.

R.br.	Natječaj za (izradu):*			radova
	1. nagrada	2. nagrada	3. nagrada	
	Otkup(i)			
	Ocjenjivački sud			
	(P) = predsjednik Ocjenjivačkog suda, (Z) = zamjenik člana			
1.	idejnog urb.- arh. rješenja uređenja Sušačkog mosta na Rječini			15
	Branko Siladin, sa sur.	-	Bojan Radonić, Goran Rako Studio 3LHD, Saša Begović, Marko Dabrović, Tanja Grozdanić, Silvije Novak, sa sur.	
	Miloš Goran, Branko Trifunović			
	Vladimir Margitić (P), Mirjana Jakovljević, Srđan Škunca, Hrvoje Giacconi, Nenad Kocijan, Saša Randić, Veljko Olujić, Sandra Rugani-Kukuljan (Z)			
2.	idejnog urb.- arh. rješenja Centra Podvežice u Rijeci			9
	Tri jednakovrijedne nagrade			
	Zoran Bodrožić Ivan Marić, sa sur.	Nikola Bašić, sa sur.	Maja Matulja, Saša Randić, Lada Lozić Turato, Idis Turato	
	Vladimir Margitić (P), Dinko Popović, Srđan Škunca, Hrvoje Giacconi, Nenad Kocijan, Abel Šlosar, Vladimir Mattioni, Hrvoje Njirić, Marijan Hržić, Branka Andrić (Z)			

3.	idejnog rješenja Memorijalnog mosta hrvatskih branitelja u Rijeci			23
Studio 3LHD Saša Begović, Marko Dabrović, Silvije Novak		Eugen Širola, Bruno Nefat	Dario Gabrić, sa sur. Vladimir Grubešić, sa sur. Ivan Juretić	
<i>Teodor Antić (P), Branka Renko-Silov, Vladimir Margitić, Tomislav Tomečić, Željko Kranjčević, Darinko Munić, Srđan Škunca, Olga Magaš, Davor Lončarić, Igor Pedišić, Maja Matulja</i>				
4.	programskog rješenja bloka Rikard Benčić u Rijeci			18
Dario Gabrić		<i>Randić-Turato, doo, llbau, Gmbh, Saša Randić, Idis Turato, Igor Rožić, Marija Kolar, Maja Matulja, Lada Lozić Turato, Dean Pavlak</i>	<i>Njirić+Njirić arhitekti Hrvoje Njirić, Helena Njirić, sa sur.</i>	
<i>Ante Marinović-Uzelac (P), Milivoj Benigar, Vladimir Bizjak, Hrvoje Giaconi, Vladimir Mattioni, Milorad Milošević, Vedran Mimica, Ivan Rogić, Valerija Stuck, Zdenko Novosel (Z), Srđan Škunca (Z)</i>				
5.	idejno urb.- arh. rješenje Islamskog centra u Rijeci			18
Daniela Antolinc, Vesna Mravinac, Ajla Hrelja, sa sur.		Branko Orlić, sa sur.	Darko Latin, Marko D. Milas, Maroje Mrduljaš, Ante Periša	
<i>Ante Marinović Uzelac (P), Ferhad Mulabegović, Mirza Goleš, Emina Kolonić, Milorad Milošević, Srđan Škunca, Saša Randić, Ekrem Budimlić (Z), Miroslav Gudelj (Z)</i>				
6.	arh. rješenja prenamjene T- građevine u Muzej moderne i suvremene umjetnosti te trga i javne garaže unutar kompleksa Rikard Benčić			11
Saša Randić, Idis Turato, Leora Dražul, sa sur., 1. nagrada u drugom krugu natječaja				
Saša Randić, Idis Turato, Leora Dražul, sa sur.		Vladimir Grubešić	Krešimir Brnetić	Damir Gamulin, Luka Jelušić, Marko Sančanin
<i>Ivo Maroević (P), Ljubica Dujmović-Kosovac, Igor Franić, Hrvoje Giaconi, Dražen Juračić, Srđan Škunca, Jolanda Todorović, Nenad Kocijan (Z)</i>				
7.	idejnog urb.- arh. rješenja područja kampusa Sveučilišta u Rijeci			6
Dario Gabrić, sa sur.		-	<i>Njirić+Njirić arhitekti Hrvoje Njirić, sa sur.</i>	
Luciano Basauri, Dafne Berc, Damir Blažević, Ana Kunst				
<i>Daniel Rukavina (P), Boris Magaš, Željka Antunović, Gvozden Flego, Zlatko Komadina, Hildegard Auf-Franić, Nenad Fabijanić, Hrvoje Giaconi, Milorad Milošević, Ivica Kožar (Z), Olga Magaš (Z), Jasenka Rechner (Z), Nana Palinić (Z), Srđan Škunca (Z)</i>				
8.	arh.- urb. i hortikulturnog rješenja uređenja Kazališnog parka u Rijeci			11
Dragutin Kiš, Alan Oslaković, Tomislav Kontić, s konzultantom		Branka Aničić, Dušan Ogrin, sa sur.	Mladen Obad Šćitaroci, Bojana Bojanić Obad Šćitaroci, Vedran Ivanković, Damir Krajnik, Nikša Božić	
			Mirjana Miškić-Domislić, Bia Gec, Nana Savić	
<i>Nana Palinić (P), Mira Đeldum, Hrvoje Giaconi, Ivana Parac, Tatjana Rakovac, Elizabet Stipčić Bašić (Z), Lucija Bačić (Z)</i>				

9.	rezidencijalno područje Sveta Katarina		
Saša Bradić, Ines Nižić, sa sur.		Stefan Pfefferle, sa sur.	Roberto Bianchi, sa sur.
Jorg Heiler, sa sur.			
<i>Velimir Neidhardt, Gojko Berlengi, Saša Begović, Nenad Kocijan, Zdravko Krasić, Branimir Medić, Florian Migsch, Damir Rako, Zdravko Švigir</i>			
10.	idejnog arh. rješenja studentskog smještaja i prehrane unutar kampusa Sveučilišta u Rijeci		12
Mirela Bošnjak, Koralka Brebrić, Mirko Buvinić, Maja Furlan Zimmermann, Ivan Galić		Saša Randić, Idis Turato, sa sur.	Edvin Šmit, Jasmina Ivezić, sa sur.
<i>Dario Gabrić (P), Želimir Albrecht, Hrvoje Giaconi, Ivica Kožar, Goran Rako, Srđan Škunca, Željko Vukušić, Serđo Capelletti (Z), Dinko Jurjević (Z)</i>			
11.	idejnog urb.- arh. rješenja područja autobusnog kolodvora Zapadna Žabica u Rijeci		11
Studio 3LHD; Saša Begović, Marko Dabrović, Tanja Grozdanić, Silvije Novak, Josipa Knez, Margareta Spajić, sa sur.		-	Studio Remik, doo, Ira Rechner Šustar, Jasenka Rechner, Jadranka Mikuličić, sa sur. Zoran Hebar, sa sur.
<i>Vojko Obersnel (P), Sonja Jurković, Danijel Frka, Hrvoje Giaconi, Helena Paver Njirić, Goran Rako, Srđan Škunca, Branimir Tomljanović, Brankica Vlačić, Lorella Mekić, Tomica Štivić</i>			
12.	idejnog arh. rješenja Gradske knjižnice Rijeka		18
Njirić arhitekti, doo Hrvoje Njirić, sa sur.		Leo Modrićin, Aaron White, sa sur.	Andrej Radman
Ivica Brnić, sa sur.		de Architecten Cie, Branimir Medić, Pero Puljiz sa sur.	
<i>Vojko Obersnel (P), Nikola Bašić, Neno Kezić, Nenad Kocijan, Milorad Milošević, Silvije Novak, Nikolina Radić-Štivić, Marija Šegota Novak, Idis Turato, Tanja Rakovac (Z), Srđan Škunca (Z)</i>			
13.	arh. rješenja društveno-kulturnog centra Sveučilišnog kampusa u Rijeci		9
Zvonimir Kralj, Ivan Ljubić, Boško Opalić		Randić-Turato, doo Saša Randić, Idis Turato, Ida Polzer, Daniela Škarica, Ivana Žalac	-
<i>Hildegard Auf-Franić (P), Ivana Blažeković, Serđo Capeletti, Dario Gabrić, Igor Rožić, Hrvoje Giaconi (Z)</i>			
14.	idejno arh. rješenje višestambenih građevina po programu POS-a na Škurinjskom plasu		5
Leora Dražul, Siniša Zdjelar, Siniša Glušica, sa sur.		Rajka Zeman Bunjevac, Boris Petrović, sa sur.	GD Arh, doo Dario Gabrić, Dragana Marinić, Emil Moguš
<i>Jasenka Rechner (P), Srđan Škunca, Miroslav Gudelj, Željko Hlača, Igor Rožić, Hrvoje Giaconi (Z), Želimir Vasilj (Z)</i>			

15.	idejno urb.- arh. rješenje višestamb. građevina po programu POS-a na Donjoj Drenovi		13
Zoka Skorup, Zoka Zola Architecture+Urban Design	Jure Bešlić, Ivan Jurić	Projectura, doo, Leora Dražul, Siniša Zdjelar, Siniša Glušica, sa sur. Dva plus doo, Zrinka Fain, Ask Atelier, doo, Azra Suljić, sa sur.	
Hrvoje Njirić (P), Ante Nikša Bilić, Thea Karlavaris, Leo Modrčin, Tomica Štivić, Alan Kostrenčić (Z), Željko Hlača (Z), Želimir Vasilj (Z)			
16.	izradu arh. rješenja uređenja Arheološkog parka i okolnih javnih prostora u Starom gradu u Rijeci		3
Nenad Fabijanić, Sonja Tadej, sa sur.	Ante Uglešić, Marijana Rančić, sa sur.	-	
Nikola Bašić (P), Vojko Obersnel, Alan Braun, Thea Karlavaris, Nikolina Radić Štivić, Igor Rožić, Karin Šerman, Vladi Bralić (Z), Ira Rechner Šuster (Z)			
17.	revitalizaciju lokacije Lipa uz Osječku ulicu		30
Andrea Vescovini, Annamaria Prandi, Mia Zanni, sa sur.	Rosa Maria Escudero, Octavio Tarancon Burg	-	
Boris Magaš, Lovorka Prpić, Ira Rechner Šuster, Helena Paver Njirić, Olivier Bastin, Rob Docter, Thomas Pucher, Tihomir Milovac, Toma Plejić, Branimir Pofuk (Z), Branimir Rajčić (Z)			
18.	urb.- arh. rješenje stamb. područja Rujevica u Rijeci		24
Vesna Gojak, Andrea Crnčić, Vesna Draksler, Anna Kravcova, sa sur.	Ivona Jerković, Josip Jerković, Marta Lozo, Iva Peručić, Damir Petric, Igor Sladoljev, Hrvoje Vidović, Andrej Vuk	Njirić+arhitekti, doo Hrvoje Njirić, Jure Bešlić, Ivan Jurić, sa sur.	
Helena Paver Njirić, Jelena Botteri, Yosuke Ozaki, Hrvoje Sedić, Miro Roman	Davorin Senečić, Aida Botonjić Jagoda Škoton, Martina Paun, sa sur.		
Tihomir Jukić (P), Janez Koželj, Ante Kuzmanić, Anka Mišetić, Igor Rožić, Srđan Škunca, Jadranka Vranek, Vladimir Benac (Z), Maja Furlan Zimmermann (Z)			
19.	idejnog urb.- urb. rješenja uređenja trga Pul Vele crikve u Starom gradu u Rijeci		15
Igor Franić, sa sur.	Nikola Bašić, sa sur.	Vesna Milutin, Zorislav Petrić, Jurica Sinković, s konzult.	
Nenad Fabijanić (P), Dragan Blažević, Nikolina Radić-Štivić, Vladimir Kasun, Maruša Zorec, Josip Višnjić, Leo Modrčin, Alan Braun (Z), Luka Korlaet (Z)			
20.	idejnog urb.- arh. rješenja sakralnog i društveno-kulturnog centra na Gornjoj Vežici u Rijeci		28
Urbis 72, d.d. Dino Krizmanić, Saša Putinja, Leonid Zuban	Njirić+arhitekti, doo Hrvoje Njirić, sa sur.	Branko Orlić, sa sur.	
Olga Magaš (P), Eligio Legović, Piotr Modrzejewski, Krešimir Rogina, Silvije Novak, Srđan Škunca (Z)			

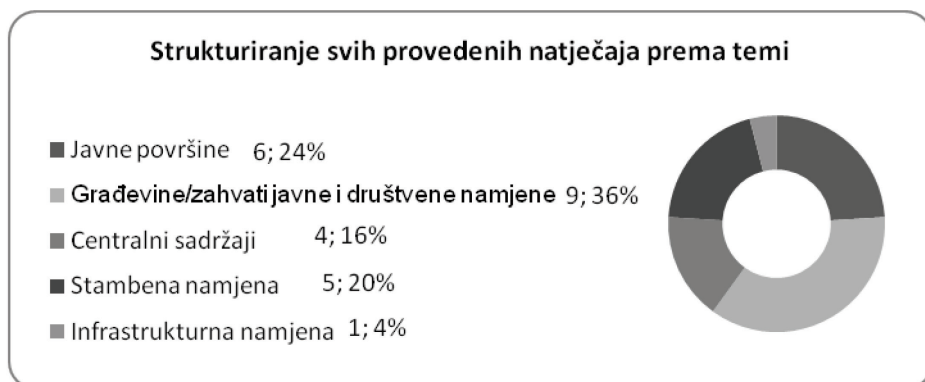
Napomena: Radi preglednosti velikog broja podataka koji se po prvi put objedinjuju, u ovom su prikazu uz imena sudionika izostavljene stručne i akademske titule i funkcije, a u navođenju nagrada izostavljena su priznanja koja je u nekim natjecajima dodijelio ocjenjivački sud mimo raspisa (pohvala, posebno priznanje i sl.).

3.1. Strukturiranje provedenih natječaja prema temi

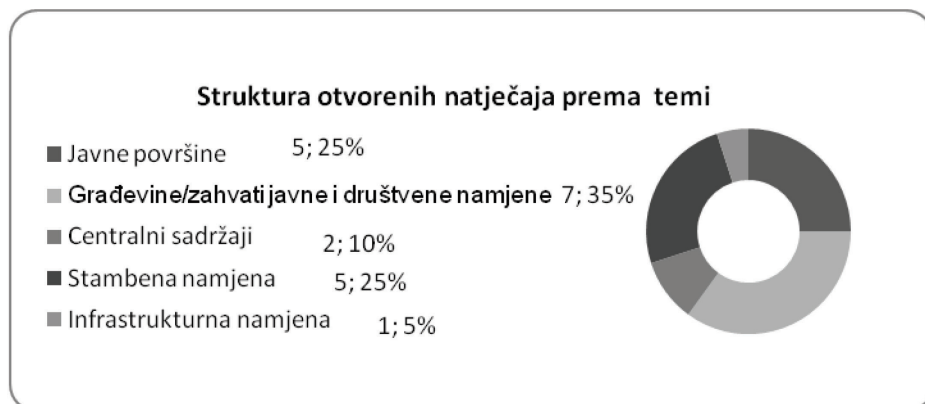
Između različitih mogućih tematskih strukturacija, u ovom prikazu dana je ona koja najbolje prati urbanističku namjenu površine iz koje je proizašla i vrsta zahvata, odnosno detaljnija namjena građevine koje su bile predmetom natječaja. U tom smislu, natječaji se mogu svrstati i analizirati unutar pet tematskih skupina:

- *javne površine*: mostovi, pješačke površine, specifični povijesni prostori u statusu kulturnog dobra i sl.;
- *građevine javne i društvene namjene*: građevine kulture (muzej, knjižnica), visokog obrazovanja (unutar Sveučilišnog kampusa), sakralne građevine i sl.
- *centralni javni sadržaji*: gradsko središte, blok Rikard Benčić, trgovački centar i sl.;
- *stambena namjena*: višestambene građevine i stambena područja te
- *infrastrukturna i javna namjena*: kompleks Zapadna Žabica (spoj autobusnog kolodvora, javne garaže, trgovačkog centra i dr.).

Unutar ovakve podjele dominira skupina *građevina/zahvata javne i društvene namjene* s učešćem od preko trećine svih provedenih natječaja. Tematska skupina javnih površina zastupljena je u četvrtini provedenih natječaja, dok tematska skupina stambene namjene varira između petine i četvrtine provedenih natječaja, ovisno o tome analiziraju li se svi provedeni natječaji (Slika 1) ili samo otvoreni (Slika 2).



Slika 1. Strukturiranje svih provedenih natječaja prema temi



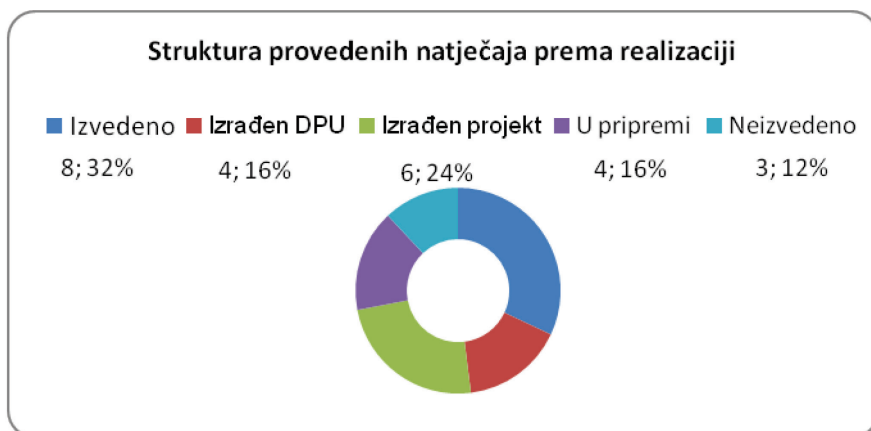
Slika 2. *Struktura otvorenih natječaja prema temi*

Svakako je najmanje zastupljena skupina infrastrukturne namjene, što je razumljivo s obzirom na specifičnost projekta, dok je skupina centralnih sadržaja nešto izraženija u učešću između 10 i 16%. Ukoliko dvije potonje skupine promatramo jedinstveno, što je također opravdano s obzirom na višenamjenski karakter kompleksa Zapadna Žabica, tada je ovaj segment zastupljen s gotovo jednom petinom sadržaja.

3.2. Strukturiranje provedenih natječaja prema realizaciji

Temeljeni pokazatelj bilo kojeg provedenog natječaja svakako je način njegove daljnje provedbe koji proizlazi iz karakterizacije njegove formulacije i raspisa.

Na Slici 3 je prikazana struktura provedenih natječaja prema realizaciji. Svakako je ohrabrujući podatak da je trećina provedenih natječaja zaključena izvedbom natječajnih radova, ali i da je dodatnih 40% natječaja realizirano izradom detaljnog plana (što je bio jedini cilj triju provedenih natječaja za blok Benčić, Sveučilišni Kampus i Rujevicu, a djelomični cilj natječaja za Centar Podvežice, Islamski centar, Zapadnu Žabicu te stambena područja Sveta Katarina i Lipa) te projektnom dokumentacijom potrebnom za izvedbu. Drugim riječima, samo 12% natječaja nije okončano realizacijom, a kada bi se njima pribrojili i oni koji iz određenih razloga (u pravilu složenih procedura imovinsko-pravne pripreme i/ili razvoja projekta u ovisnosti o drugim nositeljima vlasničkih prava) još uvijek čekaju na daljnji razvoj, udjel nerealiziranih natječaja čini nešto više od četvrtine svih provedenih.



Slika 3. Struktura provedenih natječaja prema realizaciji

3.3. Strukturiranje provedenih natječaja prema lokaciji

Svakako je važno uočiti kako su provedenim natječajima, osim lokacija u gradskom središtu, obuhvaćene i lokacije u čak osam gradskih područja te upravo ti natječaji predstavljaju natpolovičan broj svih provedenih, kako to pokazuje Tabela 4.

Tablica 4. Pozivni natječaji provedeni u razdoblju 1994.-2012.

Gradsko područje	Natječaja	Udio (%)
Gradsko središte	11	44
Trsat (Kampus)	3	12
Škurinjska draga	3	12
Rujevica	2	8
Vežica (Donja i Gornja)	2	8
Donja Drenova	1	4
Pećine	1	4
Pehlin	1	4
Sveta Katarina	1	4
	25	100

4. Neke posebnosti provedenih natječajâ u svijetlu planerskog i razvojnog konteksta

Izbor teme natječajnog postupka, sadržaj programskog zadatka, sastav i odluke ocjenjivačkog suda, pozivanje ili izostanak pozvanih autora, vrijeme i troškovi provedbe i drugi čimbenici ili osobitosti natječajâ redovito predstavljaju polazište na kojem se stvara polemički odnos prema natječaju u općoj i stručnoj javnosti. S druge strane, iz kuta svakodnevne prakse potrebno je naglasiti kako se ne može svaki stručni problem rješavati institutom natječajâ te stoga kao teme natječajâ treba nominirati one na kojima se može ne samo ispitati kreativni potencijal stručne javnosti, već i na odgovarajući način usmjeriti postnatječajna energija i to ne samo u cilju realizacije natječajnog rješenja postavljenog problema, već i u kontekstu cjeline planerskih i razvojnih tema kao i u edukativno-odgojnom smjeru kako bi opća i stručna javnost prepoznale kontekst i razložnost sljedećeg natječajâ.

U ovakvom odnosu svakako je moguće, a nastupom vremenske distance i potrebno, o natječajima i njihovom kontekstu progovoriti kritički te tako pomoći u daljnjoj primjeni ovog instituta.

4.1. *Izazovi simbola (sjećanja) - Sušački most i Most hrvatskih branitelja*

Natječaj za izradu idejnog urb.-arh. rješenja uređenja Sušačkog mosta na Rječini raspisan je 1995. godine, neposredno uoči pedesete godišnjice njegove izgradnje (1946.). Nakon polustoljetne uporabe stanje pješačkog mosta-trga nalagalo je suvremenu intervenciju ponajprije u njegovu konstrukciju, a potom i uređenje same pješačke površine. Njegov simbolički karakter koji odražava složenost i slojevitost poslijeratne društveno-političke inkorporacije Rijeke nametao je adekvatan pristup te su odjeli gradske uprave za komunalni sustav i urbanizam predložili tadašnjem Poglavarstvu grada Rijeke raspisivanje natječajâ.¹³

Prvonagrađeni, a potom i realizirani rad, gotovo konzervatorskim pristupom ustrajavao je na ikoničnosti izvornog Stričićevog rješenja, aplicirajući na njegove rubove obalne paviljonske strukture, minimalističke zahvate parternog uređenja te oslanjajući se na svjetlo kao nematerijalno sredstvo oblikovanja. Rekonstrukcija kapelice Sv. Ivana Nepomuka nije bila sastavni dio rješenja natječajnog rada, već je uklopljena u kasniji zahvat. S obzirom da nije obnovljena na izvornom mjestu i u izvornoj, sakralnoj funkciji (izostala je čak i minimalna rekonstrukcija interijera vraćanjem kipa

¹³ Natječaj je bio otvoren od 21. kolovoza do 13. studenog 1995. [6]

zaštitnika), obnova je zastala na razini svojevrsne glorijske kao reminiscenciji nekadašnjeg ambijentalnog ugođaja završetka Mrtvog kanala.

U razdoblju neposredno po završetku Domovinskog rata, a po okončanju natječaja za uređenje Sušačkog mosta, s različitih se strana izražavala potreba i za osmišljavanjem obilježja braniteljima i žrtvama Domovinskog rata te njegovom značenju za hrvatsku samobitnost uopće. U tom je ozračju Gradsko vijeće grada Rijeke na sjednici održanoj 20. svibnja 1996. usvojilo *Inicijativu za utvrđivanje spomen-obilježja poginulim hrvatskim braniteljima* te zadužilo Poglavarstvo Grada da „*razradi Inicijativu i predloži rješenje.*” [7] što je ono i učinilo na sjednici održanoj 18. lipnja 1996. određivši Odjel za urbanizam, ekologiju i gospodarenje zemljištem za glavnog nositelja zadatka, tj. za osmišljavanja prijedloga i lokacije obilježja [8]. U tom cilju, pokrenuto je ispitivanje javnog mnijenja održavanjem Okruglog stola 26. lipnja 1996.¹⁴ te anketnim upitnikom objavljenim u dnevnom tisku („Novi list“ i „Dnevnik“) [9]. Prijedlozi javnosti i struke bili su raznovrsni: izgradnja memorijalne bolnice, svjetionika, izvedba skulpture i dr.¹⁵ Analizirajući dobivene prijedloge i stavove, a na tragu poimanja obilježja u njegovoj memorijalnoj ali i u utilitarnoj dimenziji te vodeći računa o izvedivosti istog u realnom vremenu, Odjel je kreirao prijedlog da se spomenik hrvatskim braniteljima izvede kao *pješački most preko Mrtvog kanala, Most branitelja* u nastavku Jelačićevog trga prema Delti, što je Poglavarstvo prihvatilo u listopadu, a Gradsko vijeće potvrdilo u studenom 1996., kao i prijedlog da se rješenje mosta dobije provedbom javnog natječaja [10], što je i ostvareno u razdoblju od 22.12. 1996. do 24.03.1997.

Pješački most preko Mrtvog kanala nije bila urbanistička novina; riječ je o ideji koja se reciklirala u kontekstu ideja uređenja Delte. Ipak, *novo je polazište* koje i Deltu i most stavlja u memorijalni kontekst, što je bitan doprinos u percepciji prostora te postalo dijelom kolektivne svijesti građana.

Neposredno po objavi rezultata natječaja, a periodično i u razdoblju do otvorenja mosta uoči Božića 2001. godine, izbor prvonagrađenog rada bio je predmetom iscrpnih polemika u rasponu od negacije stručnosti članova

¹⁴ Okruglom stolu u prostorijama WTC centra Rijeka prisustvovalo je 37 osoba iz politike, uprave, braniteljskih udruga, ustanova kulture i dr.

¹⁵ *Zapisnik s okruglog stola "Spomenik braniteljima-gdje i kako?"*, sadrži rezultate ankete sudionika. Između prisutnih, 21 se opredijelio za javni natječaj, a svega 4 za likovnu radionicu. U odnosu na koncepciju, po šestoro anketiranih zagovaralo je figurativno rješenje, građevinu i aleju, dok se 8 opredijelilo za apstraktno spomen-obilježje. Glede lokacije vidljiva je potpuna disperzija stavova. Između ponuđenih, po četvoro prisutnih opredijelilo za Deltu i Trg braće Mažuranića, a čak 7 njih za Gat Karoline Riječke. Dio sudionika dao je vlastite prijedloge lokacija i to: Trsatski brijeg (3), sušački most na Rječini (2), vrh Katarine (2) te po jedan park Dvorane mladosti, Trg Republike Hrvatske te u sklopu groblja.

ocjenjivačkog suda do negacije tehničke korektnosti projekta¹⁶ preko kritičnosti o memorijalnom karakteru mosta (jer rješenje nije uključivalo navođenje imena poginulih branitelja, niti aplikaciju nekih od traženih simbola poput krunice, križa i sl.)¹⁷. Ipak, nakon izvedbe, ne samo što je most zaživio s potrebama građana, već je prepoznat i kao respektabilno arhitektonsko ostvarenje u nacionalnim i međunarodnim razmjerima¹⁸ [11].

4.2. Izazovi kontrolirane tranzicije - Kompleks Rikard Benčić, Sveučilišni kampus, Zapadna Žabica

U razdoblju od 1995. do 2005., Grad Rijeka postao je vlasnikom tri eksponirana kompleksa: nekadašnje tvornice „Rikard Benčić“ otkupom 1995. godine, vojarne Trsat darovanjem od strane Republike Hrvatske u prosincu 2003. godine te željezničkih skladišta 31 i 31 s pripadajućim zemljištem na Zapadnoj Žabici otkupom od Hrvatskih željeznica 2005.

Za kompleks „Benčić“ tijekom 90-ih godina izrađeno je više programskih rješenja u cilju istraživanja tržišno-ekonomskog potencijala različitih namjena i u kontekstu različitog odnosa prema zatečenim strukturama¹⁹ koje su, iako bez učinaka u provedbi, doprinijele boljem upoznavanju sa stanjem i mogućnostima tvorničke enklave unutar gradskog središta, pa shodno tome i kreiranju natječajnog zadatka [12].

Posve drugačijeg karaktera bio je izazov osmišljavanja područja dotadašnje vojarne Trsat. Razdoblje (ne)izvjesnosti oko njezinog napuštanja, započeto oko 2000. godine, poklopilo se s razdobljem u kojem su Odjel za urbanizam i ekologiju i Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu intenzivno izrađivali Prostorni plan uređenja grada Rijeke i Generalni urbanistički plan. Dovršenost analitičke faze pokazala se iznimno važnom jer su porazni pokazatelji stanja i razvijenosti javnih i društvenih djelatnosti, između njih i visokog školstva, potaknuli kreiranje prijedloga o razvoju Sveučilišta na mjestu vojarne Trsat. Iako je trebalo vremena da se ovakav prijedlog, u međuvremenu nazvan Kampusom, „ukorijeni“ u javnosti (prije svega ne zbog neprihvatljivosti ideje već zbog skepse o izvedivosti),

¹⁶ Čorak, T.; *Rat oko mosta branitelja*, Dnevnik, 7. lipnja 1997.“... Stručnjaci su pronašli još nedostataka, ali odgovornost za to ne snose mladi arhitekti, već mrlja leži na savjesti ocjenjivačkog suda... U svakom slučaju arhitekti, posebice statičari, nisu zadovoljni.”

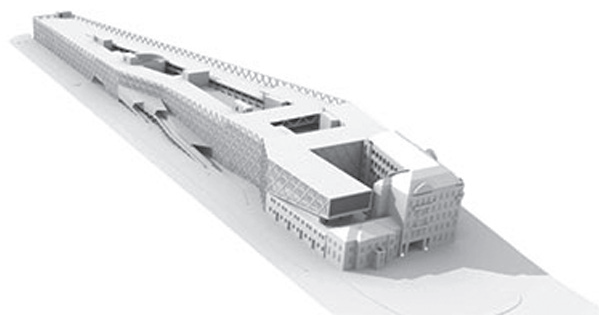
¹⁷ Skender, I.: *Most preko Mrtvog kanala - Boljševička podvala hrvatskim braniteljima*, Novi list, 17. lipnja 1997.

¹⁸ Nagrada “Viktor Kovačić” za 2001. godinu, Nagrada za najbolje nadolazeće svjetske arhitekture za realizaciju časopisa AR+D 2002, Priznanje Piranesi 2002. i dr.

¹⁹ *Programsko idejno rješenje zone Rikard Benčić* akademika Borisa Magaša 1990., *Programsko rješenje kompleksa Benčić* Vladimira Grubešića 1992., *Programska postavka prostorne i ekonomske koncepcije uređenja kompleksa “Benčić”* Srđana Škunce i Valerije Stuck 1995.

elaborat Prostornog plana uređenja grada Rijeke, pripremljen za donošenje 2002. godine, sadržavao je sve potrebne prostorne i druge pokazatelje koji su omogućili izradu *Prostornog programa*, tj. programa razvoja na novoj lokaciji [13], a potom i raspis javnog natječaja za urbanističko-arhitektonsko rješenje područja Kampusa u rujnu 2003. godine.

Područje Zapadne Žabice (Slika 4) prostorni su planovi tijekom četiri desetljeća kontinuirano potvrđivali kao lokaciju optimalnu za smještaj putničkog terminala²⁰. Ipak, u cilju konkretnog rješenja, izrađena je nova prostorno-prometna i tehnološka studija lokacije [14] te kreiran natječajni programski zadatak²¹, sadržajno proširen i usmjeren prema uspostavi cjelovitog gradskog bloka unutar kojeg će autobusni kolodvor biti zastupljen kao jedna od centralnih funkcija²².



Slika 4. Studio 3LHD, Idejno urbanističko-arhitektonsko rješenje područja autobusnog kolodvora Zapadna Žabca, 2005., perspektiva

Realizacija svih triju natječaja pokazuje kako je funkcionalna i fizionomska transformacija grada zahtjevan, a u realnim uvjetima i vrlo ovisan zadatak transponiranja sklopa urbanističke vizije i idejnog rješenja u prostor.

²⁰ Odluka o Generalnom urbanističkom planu Rijeke, Službene novine Rijeke, broj 6/74; Odluka o Provedbenom urbanističkom planu centra grada Rijeke, Službene novine Rijeke, broj 19/75; Odluka o Prostornom planu Općine Rijeke, Službene novine 8/86; Odluka o provedbenom urbanističkom planu centra grada Rijeke-Osnovna koncepcija, Službene novine 16/92; Odluka o donošenju Prostornog plana uređenja grada Rijeke, Službene novine 31/03.

²¹ Programski zadatak izrađen je u suradnji Odjela gradske uprave za razvoj, urbanizam, ekologiju i gospodarenje zemljištem, Instituta prometa i veza Zagreb te Uprave za zaštitu kulturne baštine-Konzervatorski odjel u Rijeci 2005. [15].

²² U Programskom zadatku jasno je naglašena sljedeća ideja: "...Moglo bi se reći da riječki autobusni terminal može biti takav da se morfološki i tipološki čita kao poslovna građevina mješovite namjene, a ne infrastrukturni kompleks." [15].

4.3. Izazovi demokratizacije društva - sakralno kao novi urbani simbol

Opća demokratizacija društva potaknula je, opravdano, i zahtjeve za njegovom sakralizacijom.

Katolička crkva već početkom 1993. tadašnjem Izvršnom vijeću SO Rijeka kao prioritete ističe izradu urbanističkih projekata „katoličkog pastoralno-kulturnog centra Podvežica“ te crkava u Škurinjama i na Vežici, dajući pritom i programske podatke [16]. Izazov spoja sakralnog i javnog rješava se 1995. provedbom natječaja za centar Podvežice u suradnji Grada Rijeke i Riječke nadbiskupije (Slika 5). Priprema natječaja bila je studiozna i ambiciozna jer se pred natjecatelje postavilo više zahtjeva: očuvati postojeću crkvu Svete Terezije od djeteta Isusa, proširenje sakralnog prostora izvesti u kontekstu rješenja smještaja novih centralnih sadržaja Podvežice te ostvariti kvalitetan javni prostor. Osim sadržajima, centar je trebao biti zanimljiv i na tržištu nekretnina budući da je najveći dio zemljišta u vlasništvu grada. Na žalost, unatoč visokoj kvaliteti odabranog rješenja kojim su na vrlo uravnotežen način dostignuti gotovo svi postavljeni ciljevi, kao i veoma pozitivnoj recepciji javnosti, nakon izrade i donošenja detaljnog plana²³ autorima prvonagrađenog rada nije povjerena daljnja projektna razrada.



Slika 5. Zoran Marić, Ivan Bodrožić: Idejno urbanističko-arhitektonsko rješenje centra Podvežice, 1995.

²³ Detaljni plan uređenja područja "Centar Podvežice", Službene novine PGŽ 17/99.

Idejno rješenje župne crkve s centrom Caritasa u Škurinjama nastalo je 1999. kao rezultat pozivnog natječaja²⁴ koji je Riječka nadbiskupija provela temeljem prethodno donesenog detaljnog plana uređenja u kojem je utvrđena lokacija kompleksa²⁵. Izabrano je rješenje arh. Vladimira Grubešića koje je 2002. godine realizirano gotovo u cijelosti²⁶ [5].

Nažalost, takav nije bio ishod pozivnog natječaja za rješenje nove župne crkve i samostana franjevac konventualaca koji je organizirala župa Svetog Franje Asiškog na Pehlinu. Izostanak realizacije prihvaćenog rada svakako valja tražiti u predimenzioniranom natječajnom programu kompleksa crkve i samostana, radi čega je i rješenje uvelike nadilazilo mogućnosti župne i redovničke zajednice²⁷.

Lokacija crkve na Gornjoj Vežici osmišljena je u nastavku Hrvatskog doma. Iako smanjenih prostornih mogućnosti, lokacija je svakako izazovna svojom simboličnom postavom na „ulaznom pragu“ naselja, potencijalom integracije različitih centralnih sadržaja društvenog karaktera (koja uvjetuje i rekonstrukciju postojeće građevine Hrvatskog doma) te potrebom jasnog tipološkog oblikovanja, što su prepoznali i Grad Rijeka i Riječka nadbiskupija kao raspisivači. S obzirom da župa trenutno koristi nebodersko sklonište, za vjerovati je u pozitivan ishod daljnje realizacije prvonagrađenog rada.

Nakon višegodišnje pripreme za gradnju Islamska zajednica raspisala je 2001. natječaj za urbanističko-arhitektonsko rješenje Islamskog centra na lokaciji Hostov breg. Iako je zajednica isprva namjeravala ovoj lokaciji prilagoditi idejno rješenje koje je 1991. godine izradio dr. Ahmet Hadrović, ali za lokaciju na Rujevici²⁸, okolnosti razvoja projekta uvjerile su zajednicu kako je potrebno učiniti kulturološki iskorak i otvoriti se potencijalu široke stručne participacije u rješavanju ovog osjetljivog zadatka. Nažalost, konačan rezultat bio je obeshrabrujući za gotovo sve aktere ovog procesa. Prvonagrađeni rad je svojom tipologijskom nediferenciranošću izazvao otpor vrha Islamske zajednice²⁹, volumenom otpor dijela građana³⁰, a sve

²⁴ Pozvani su bili arhitekti Anton Juretić, Vladimir Grubešić i Sonja Miculinić. Podaci su poznati autoru budući je od Nadbiskupije bio zamoljen provjeriti usklađenost rješenja s važećim Provedbenim urbanističkim planom.

²⁵ Izmjene i dopune PUP-a Škurinjska draga, Službene novine PGŽ broj 5/96.

²⁶ Naime, do danas nije izgrađen zvonik te nije uređena cjelina trga sa stepeništem koje ga povezuje s Osječkom ulicom.

²⁷ Prva nagrada dodijeljena je rješenju venecijanskog arhitekta Maurizia Bergama koji je tijekom izrade idejnog projekta koji se poklopio s izradom Regulacijskog plana gradskog područja Pehlin unekoliko smanjio površinu kompleksa.

²⁸ Smještena sa sjeverne strane tzv. zaobilaznice, uz zapadni portal tunela "Škurinje".

²⁹ Tomičić, T.: *I muftija Ševko Omerbašić nezadovoljan izgledom džamije*, Novi list, 16.08.2001.

³⁰ Grce, M.: *Džamija na Hostovom bregu dominirat će Rijekom*, Novi list, 24.09.2001.

je kulminiralo dokazom o plagijatu projekta robne kuće u Rotterdamu poznate projektne grupe MvRdV³¹. Nastala situacija pokrenula je lavinu polemika i stvaranja različitih „izlaznih strategija“ te je nakon više od godinu od završetka natječaja konačno rješenje nađeno u prihvaćanju rada autorskog tima *Dušan Džamonja, Darko Vlahović i Branko Vučinović*. Naime, kipar Dušan Džamonja bio je jedan od šest pozvanih autora koji je s kolegama arhitektima izradio idejno rješenje koje se radi kašnjenja nije razmatralo. Naknadna analiza pokazala je kako rad ima osobine prihvatljive i investitoru i građanima te je, nakon izlaganja javnosti početkom 2003. godine³², i službeno prihvaćeno za daljnju razradu³³ ali na novoj lokaciji³⁴.

4.4. Izazovi javnog prostora - (re)konstrukcija nove slojevitosti

Nakon uređenja Starčevićeve ulice i Korza nastala je stanka u uređenju javnih površina. Izostanak konzistentnog pristupa uređenju javnih površina izvan najužeg područja pješačke zone, nastavak rekonstrukcije Staroga grada polovicom 90-ih godina, ali i arheološka istraživanja koja su ukazala na potencijal njegove još neotkrivene slojevitosti, potaknuli su rješavanje ovog problema. Tako je Odjel za urbanizam početkom 1998. pripremio i izradio dokumentaciju³⁵ neophodnu za provedbu pozivnog natječaja³⁶ u cilju izrade *Idejnog urbanističko-arhitektonskog rješenja uređenja povijesno i urbano definiranih prostora u Starom gradu*. Cjelovito izrađeno tijekom 1999. godine s ciljem daljnjeg projektiranja, rješenje je

³¹ Tezu o plagijatu iznio je arh. Edvin Šmit, nakon čega je Stručni savjet Udruženja hrvatskih arhitekata zatražio od prof. A. Marinovića-Uzelca ponovno sazivanje Ocjenjivačkog suda i razmatranja odluke [17]. Budući da do toga nije došlo, UHA se izravno obratila Gradu Rijeci, tj. pročelniku Odjela gradske uprave za razvoj, urbanizam, ekologiju i gospodarenje zemljištem s upozorenjem da se „...kod ovog natječajnog rada uistinu radi o presedanu te bi se kao takav trebao i rješavati.“ [18].

³² Uvažavajući osjetljivost situacije Poglavarstvo Grada Rijeke odlučilo se za javno izlaganje predloženog rješenja od 21.02.-21.03.2003. s prezentacijom za stručnu javnost održanu 7.03., a za građane i udruge 13.03.2003. Za praćenje javne diskusije osnovano je Povjerenstvo koje je činilo 12 članova, predstavnika uprave, mjesnih odbora, investitora i dr. [19].

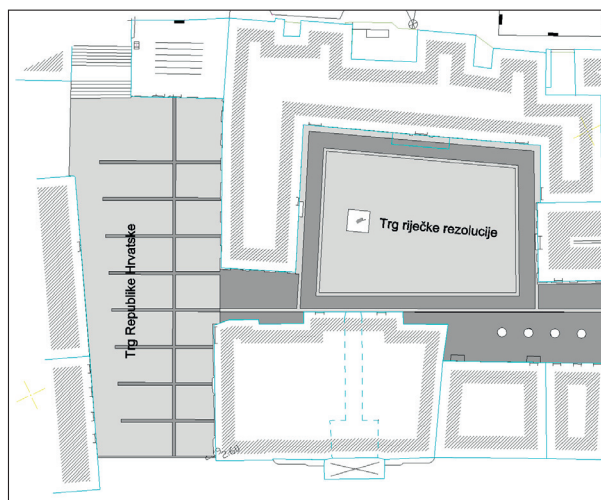
³³ Zaključak Poglavarstva o prihvaćanju Izvješća donesen je na 62. sjednici održanoj 27. svibnja 2003. [20].

³⁴ Budući se trajanje javne diskusije poklopilo s dovršetkom izrade Prostornog plana uređenja grada Rijeke, uvažan je stav javnosti te je, kao konačna, utvrđena lokacija uz Ulicu Ante Mandića sa sjeverne strane tzv. zaobilaznice, na rubu naselja Gornji Zamet, gdje je nešto kasnije uslijedila i izgradnja.

³⁵ *Program za izradu urbanističko-arhitektonskog rješenja uređenja povijesno definiranih urbanih prostora riječkog Starog grada*

³⁶ Natječaj je proveden od 21.06.-15.07. 1998. Zahtjev za ponudu upućen je na adrese trinaest arhitektonskih ureda u Rijeci i Zagrebu, a od natjecatelja je traženo da ponude rješenje *spoja Sokol-kule s Korzom i Ul. A. Starčevića* te prilože procjenu izvedbe istog. Natječaju se odazvalo pet timova: 3LHD i Konstruktor iz Zagreba te Urbanistički studio, GPZ i AR studio M iz Rijeke između kojih su izabrani GPZ (grupa Vladimira Grubešića), Urbanistički studio te Studio za arhitekturu 3LHD [21].

opremljeno načelima za uređenje javnih prostora Staroga grada (Slika 6) kojima se uspostavlja tipologija javnih prostora te revalorizira i transponira povijesnu slojevitost uređenja u nove materijale i tehničko-tehnološke zahtjeve [21]. Prvi izvedeni segment novog rješenja bio je inicijalni zadatak, tj. spoj Korza, Starčevićeve ulice i Sokol kule na cjelokupnoj površini do Gradske knjižnice na kojem su različite koncepcije uređenja javnih površina dugo bile „povezane“ asfaltom. Uspjeh izvedenog rješenja potaknuo je projektiranje i izvedbe i drugih površina: Užarska ul., trгови Svete Barbare, Šišmiš, Matije Vlačića Ilirika, Medulićeva.



Slika 6. Vladimir Grubešić sa sur.: Idejno rješenje uređenja trgova Riječke rezolucije i Republike Hrvatske, 1998.

Institut natječaja iskorišten je i za rješavanje površina koje na drugačiji način iskazuju svoju povijesnu slojevitost i potencijal javnog prostora: Arheološki park na površini dijela Pretorija u podnožju današnje ulice Stara vrata koji opsegom i izvornošću očuvanih antičkih struktura fascinira posjetitelja te trg Pul Vele crikve na kojem se javna površina mora doživjeti u svojoj slojevitosti od antičke, mozaičke do suvremene razine.

Iskustva koje će se steći primjenom rješenja ovih natječaja svakako će biti indikativna i za druge gradske sredine sličnih osobina.

4.5. Izazovi stanovanja - kako planirati i oblikovati u novim uvjetima?

Iako u prostornim planovima najzastupljenije, stanovanje se kao tema natječaja pojavljuje tek nakon 2003. godine. Razloge ovakvog odnosa oblikovalo je više činitelja: ulazak brojnih poduzetnika u područje

stanogradnje kojim je investicijsko težište preneseno na privatni kapital, gubitak interesa za višestambenu izgradnju, usmjerenost poduzetnika na veći broj lokacija manjeg kapaciteta i dr.

Osmišljavanje programa stambenog zbrinjavanja hrvatskih branitelja i prognanika, a potom i društveno poticane izgradnje donekle je pridonijelo uravnoteženju odnosa te su pojedinačne lokacije višestambene izgradnje, zahvaljujući prethodno izrađenim prostornim planovima, uspješno realizirane.

U opisanom kontekstu, priprema i provedba natječaja usmjerena je na osmišljavanje onih gradskih područja na kojima je moguća realizacija većeg stambenog kapaciteta (Drenova, Škurinjsko plase, Rujevica (Slika 7), odnosno postizanje specifičnih tipoloških i morfoloških rješenja (Sveta Katarina, Osječka ulica, Rujevica) koja opravdavaju rješavanje složene imovinsko-pravne pripreme i opremanja građevinskog zemljišta. Upravo se u navedenom kriju razlozi najslabije realizacije natječaja ovog tipa.



Slika 7. V. Gojak, A. Crnčić, V. Draksler i A. Kravcova: Urbanističko-arhitektonsko rješenje stambenog područja Rujevica, 2010., izvadak

5. Zaključak

Iako prezentirane analize korištenja javnog natječaja tijekom protekla dva desetljeća nisu težile kriterijskoj sveobuhvatnosti, one pokazuju da je njegova primjena u urbanističkom planiranju grada Rijeke bila opravdana i višestruko korisna.

Institut javnog natječaja korišten je učestalo, unutar širokog tematskog raspona, prosječno se raspisivalo više od jednog natječaja godišnje, a realizacija natječajnih radova kreće se unutar raspona od trećine neposredno realiziranih radova do tri četvrtine radova pripremljenih za realizaciju u obliku prostornih planova i/ili projekata.

Vrijednost primjene instituta javnog natječaja ogleda se u kvalitetnom analitičkom pristupu tijekom pripreme i realizacije, učestaloj mobilizaciji opće i stručne javnosti oko predmeta natječaja (često u većem opsegu nego li bi se to dogodilo bez njegove provedbe) te podizanju kvalitete arhitektonskih i urbanističkih rješenja uopće.

Ipak, dosadašnja iskustva pokazuju da je institut natječaja gotovo isključivo koristila gradska uprava te izuzetno mali broj investitora građevina od javnog značaja (na pr. sakralne, visokoškolske, ali i druge građevine društvene namjene), dok je interes ostalih investitora posve izostao, što je svakako indikativno za opću i stručnu (arhitektonske udruge) javnost u zemlji.

Literatura

- [1] Jurković, S., Marinović-Uzelac, A. et. al., *Prostorni plan uređenja grada Rijeke 2000.-2020.*, Zavod za urbanizam i prostorno planiranje Arhitektonskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2003.
- [2] Škunca, S., *Planiranje grada Rijeke od 1993. godine*. U: Črnjar, M. ur. *Prostorno planiranje u Primorsko-goranskoj županiji, povijest, stanje, perspektive*, str. 59.-72. Zavod za prostorno uređenje Primorsko-goranske županije, Rijeka 2011.
- [3] *Pravilnik o natječajima s područja arhitekture i urbanizma Udruženja hrvatskih arhitekata*, http://www.d-a-s.hr/wp-content/uploads/2009/03/uha_pravilnik:natjecaji.pdf
- [4] Izvješća o stanju u prostoru za razdoblje 1997.-1999. (Sl. N. 14/99.), 1999.-2001. (Sl.N. 33/2001.), 2001.-2003., (Sl.N. 7/04.) te 2004.-2006. (Sl.N. 17/07.).
- [5] *Arhitekt Vladimir Grubešić* (Franković, M., ur.). Muzej grada Rijeke. Rijeka, 2003.
- [6] *Urbanističko-arhitektonski natječaj, Sušački most na Rječini*, katalog radova, Grad Rijeka/Društvo arhitekata Rijeka, Rijeka 1996.
- [7] Zaključak Gradskog vijeća Grada Rijeke, Klasa 021-06/96-01/76, Urbroj: 2170/01-10/96-2, od 20.05.1996.
- [8] Zaključak Poglavarstva Grada Rijeke, Klasa 021-06/96-01/82-102, Urbroj 2170-/001-10-00/00-96-3, od 25.06.1996.

- [9] Odjel gradske uprave za urbanizam, ekologiju i gospodarenje zemljištem, Direkcija za urbanizam i ekologiju: *Prijedlog spomen obilježja poginulim hrvatskim braniteljima u Gradu Rijeci*, Materijal za sjednicu Poglavarstva grada Rijeke, listopad 1996.
- [10] Zaključak Poglavarstva Grada Rijeke, Klasa 021-06/96-01/138-113, Urbroj 2170-/001-10-00/00-96-2, od 29. 10. 1996., te Zaključak Gradskog vijeća Grada Rijeke, Klasa 021-06/96-01/162, Urbroj: 2170/01-10-00-96-2, od 19. 11. 1996.
- [11] <http://www.3lhd.com/index.php/hr/info/nagrade>,
- [12] Škunca, S., *Urbanističko poimanje i rješavanje kompleksa Benčić*, u: Programsko rješenje bloka Rikard Benčić, katalog natječajnih radova, Grad Rijeka/Društvo arhitekata Rijeka, Rijeka 1999.
- [13] Auf-Franić, H. et al., *Prostorni program Campusa Sveučilišta u Rijeci*, Acta architectonica, Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2003.
- [14] Dadić, I., Čičak, M. et al., *Studija terminala daljinskog prometa u Rijeci*, Institut prometa i veza Zagreb, Zagreb 2005.
- [15] Javni, državni, opći i pozivni, projektne, u jednom stupnju, anonimni Natječaj za izradu urbanističko-arhitektonskog rješenja područja autobusnog kolodvora Zapadna Žabica u Rijeci: Natječajni radovi, ur. Rumora, E., Grad Rijeka/Društvo arhitekata Rijeka, Rijeka, 2006.
- [16] *Izgradnja crkvenih građevina u novim područjima grada*, dopis Nadbiskupije riječko-senjske br. 344/93, od 5.05. 1993. Program izgradnje u prilogu dopisa izradio arh. Anton Juretić iz tvrtke Arhitektonski studio Art-Ing, Rijeka.
- [17] Dopis UHA br. 60/01, od 14.12.2001.
- [18] Dopis predsjednika UHA, prof. Nenada Fabijanića od 15.03.2001.
- [19] Zaključak Poglavarstva donesen na 50. sjednici održanoj 4. veljače 2003.
- [20] Odjel gradske uprave za razvoj, urbanizam, ekologiju i gospodarenje zemljištem, Direkcija za urbanizam i ekologiju: *Izvešće Povjerenstva o provedenoj javnoj diskusiji o idejnom rješenju Islamskog centra*, autora Dušana Džamonje, Darka Vlahovića i Branka Vučinovića, Materijal za sjednicu Poglavarstva grada Rijeke, svibanj 2003.
- [21] Odjel gradske uprave za razvoj, urbanizam, ekologiju i gospodarenje zemljištem, Direkcija za urbanizam i ekologiju: *Informacija o idejnom urbanističko-arhitektonskom rješenju uređenja povijesno definiranih urbanih prostora Staroga grada i prijedlog daljnjih aktivnosti* - Materijal za sjednicu Poglavarstva grada Rijeke, listopad 1999.

SPORTSKA DVORANA PROSTORNE DRVENE KROVNE KONSTRUKCIJE S RADIJALNIM REŠETKASTIM NOSAČIMA I STAKLENO ALUMINIJSKOM FASADOM

INDOOR SPORT HALL WITH SPATIAL TIMBER ROOF STRUCTURE WITH RADIAL ARRANGEMENT OF TRUSS GIRDERS AND WITH CURTAIN WALL FAÇADE

Josip ČERVAR*, Nebojša BULJAN*, Adriana BJELANOVIĆ**

Sažetak

U radu je prikazan postupak projektiranja hale za dvoranske sportove okruglog tlocrta čije prostorno konstrukcijsko rješenje obuhvaća drvenu konstrukciju krova s radijalno raspoređenim rešetkastim glavnim nosačima oslonjenim na čelične stupove i konstrukciju stakleno aluminijske fasade. Projekt dvorane izrađen je u okviru diplomskog rada, a motiviran je izvedenom drvenom konstrukcijom „Viermarkthalle – Bündler Arena“ (o kojoj su samo osnovni podaci prezentirani u izdanju „Holzbau Atlas“) te mogućnostima za arhitektonske i konstrukcijske preinake. Predmeti promjena prvenstveno su rješenja potkonstrukcije (stupovi) i vanjske ovojnice dvorane, ali je kritički razmatran i glavni nosivi sustav krovne konstrukcije s radijalno posloženim rešetkastim nosačima s pojasnicama od lijepljenog lameliranog drva koji se po oplošju oslanjaju na stupove, a u središtu tlocrta na tlačno-vlačne prstene zrakasto povezane s posebno dizajniranim čeličnim elementom. Rezultat razmatranja glavnog nosivog sustava krova jest poboljšanje izvorne geometrije čelične dijagonalne ispune rešetki uvođenjem križnog sustava dijagonala kakav bi više odgovarao i izvedenoj

* RI-ISA d.o.o. (Permasteelisa group)

E-mail: j.cervar@permasteelisagroup.com; n.buljan@permasteelisagroup.com

** Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

E-mail: adriana.bjelanovic@gradri.hr

konstrukciji. Okrugli tlocrt objekta i ravan krov, ali i promjene arhitektonskog rješenja u odnosu na izvorno izvedenu konstrukciju koje mijenjaju stupanj izloženosti potkonstrukcije opterećenju vjetrom, zahtijevali su vrlo pomnu provedbu analize djelovanja, snalaženje u normiranim pravilima danim za usporedive raspodjele djelovanja i oblike konstrukcija i nužnu prilagodbu pravila novom projektnom rješenju. Izrađeno projektno rješenje zasnovano je na analizama mehaničke otpornosti i stabilnosti glavne konstrukcije, potkonstrukcije (stupova) i stakleno aluminijske fasade (aluminijски profili, stakleni paneli, poligonalna greda za vezu s glavnom konstrukcijom krova) te razradama i proračunom svih priključaka. Rezultat provedenih analiza te iz njih izvedenih zaključaka i projektantskih odluka jest prostorno stabilan volumen zanimljive estetike i konstrukcijski opravdane kombinacije materijala i nosivih sustava.

Ključne riječi: analiza mehaničke otpornosti i stabilnosti, analize modela konačnih elemenata, eurokodovi, materijali (aluminij, čelik, lijepljeno lamelirano drvo i staklo), prostorni nosivi sustavi i prostorna stabilnost, spojevi i priključci, stakleno aluminijske fasade

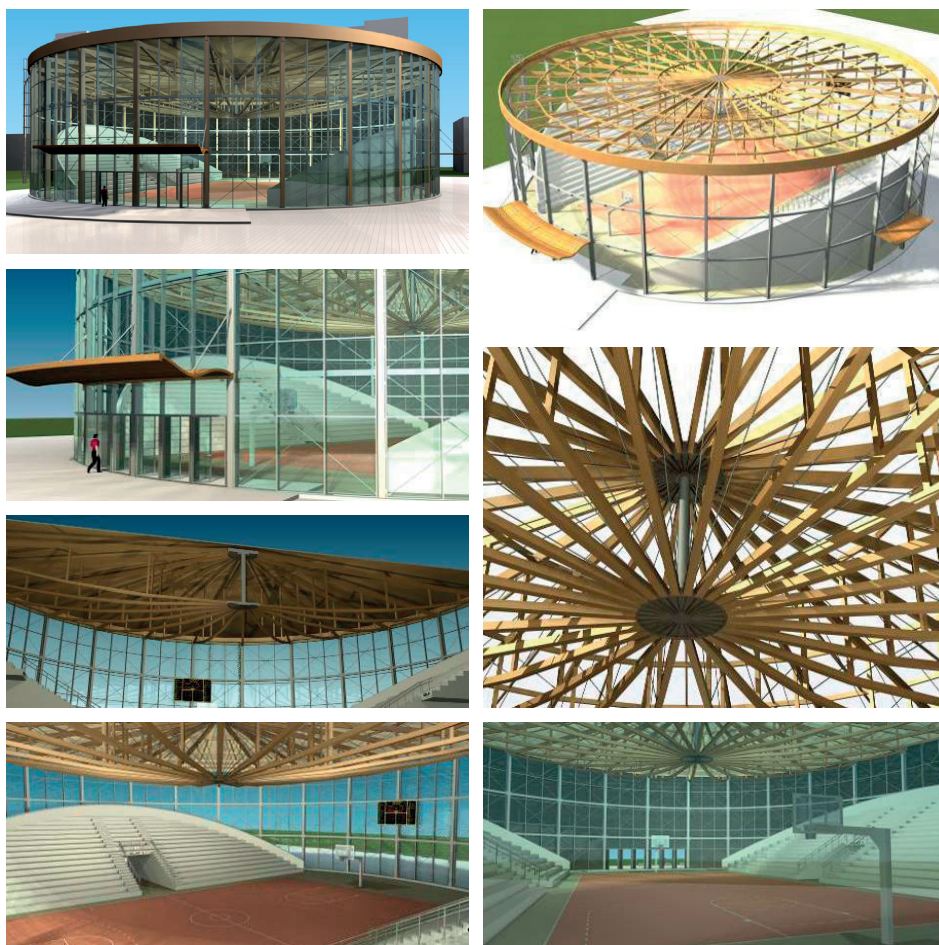
Abstract

This paper presents the design process of the indoor sport hall with circular layout the complete structural solution of which includes a spatial timber roof structure with radially arranged trusses supported by steel columns and a curtain wall (glass-aluminum) façade. The sports hall project is a part of a master's thesis that was based on the existing timber structure "Viermarkthalle – Bündler Arena" (basic data presented in "Holzbau Atlas") with possibilities of architectural and structural modifications of the original structure. Primarily, the subject of change is the solution of substructure (columns) and the outer envelope of the hall. The main roof structure has also been critically analyzed: radial truss elements with glulam chords supported by the column substructure on one end, connected in the middle of the hall with tension-compression rings with specially designed steel element. The result of the main bearing roof system review is the improvement of the original geometry of diagonal steel truss infill by introducing a more appropriate cross-diagonal system. Round shape of the building and its flat roof together with the other changes of the original architectural solution that caused different degree of exposure of substructure to wind load required a very careful analysis of actions as well as managing in models of load distribution and rules given in standard with comparable ones that have been made for similar special shapes of buildings to define the rules applicable on a new design solution. The final design is based on the analysis of mechanical resistance and stability of the main roof structure, substructure and the curtain wall façade (aluminum profiles, glass panels and polygonal beam as the joint to the main frame) together with the design of all joints. The result of the obtained analysis, which has led to certain conclusions and engineering decisions, is a spatially stable volume with interesting aesthetic and justified structural combination of materials and load bearing systems.

Key words: analysis of mechanical resistance and stability, analysis of FE models, Eurocodes, materials (aluminum, steel, glulam timber and glass), spatial structural systems and spatial stability, connections and joints, curtain wall façades

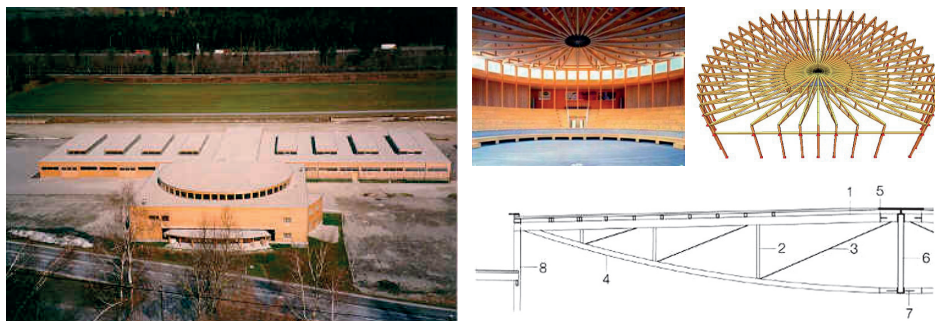
1. Uvod

Zadatak diplomskoga rada [1] i sadržaj ovog članka koji se na njemu temelji potaknut je izazovima koje prostorne konstrukcije predstavljaju za projektante. Ovdje je to dodatno potencirano i time što je stakleno aluminijska fasada koja zamjenjuje zidne stijene objekta neizostavan dio odabranog projektnog rješenja konstrukcije hale za dvoranske sportove (Slika 1). Radna su podloga bili tek osnovni podaci o geometriji konstrukcije „Viermarkthalle – Bündler Arena“ [2] koja je u cijelosti izvedena od lameliranog drva (Slika 2) u bitno drugačijem klimatskom okruženju i uvjetima izloženosti zidova vanjskim djelovanjima.



Slika 1. Vizualizacije konstrukcije hale za dvoranske sportove s radijalnim lameliranim rešetkastim gredama krova, čeličnim stupovima i stakleno-aluminijskom fasadom [1]

Rezultat težnje za izmjenom estetike objekta promjenom konstrukcije fasade i ispunjavanja zahtjeva mehaničke otpornosti, uporabljivosti i prostorne stabilnosti svih elemenata i dijelova konstrukcije jest volumen u kojem glavni nosivi sustav i stakleno aluminijska fasada zajedno čine cjelinu čije je projektno rješenje bitno različito od izvedene konstrukcije (Slika 2).



Slika 2. Bänder Arena – izvedena lamelirana konstrukcija [2] i radna podloga za razvoj novog arhitektonskog i konstrukcijskog rješenja [1]

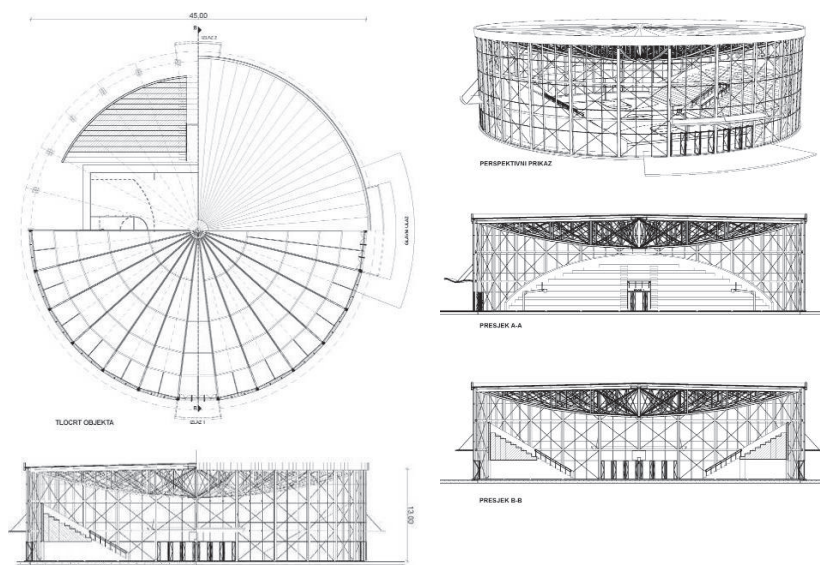
Glavni je nosivi sustav vezni sustav sastavljen od prostorne prevladavajuće drvene krovne konstrukcije s radijalno posloženim rešetkastim gredama koje su po oplošju zglobno oslonjene na čelične stupove, a u središtu tlocrta objekta preko tlačno – vlačnih prstena oslonjene na posebno dizajniran središnji čelični element (Slika 1). Konstrukcija je stakleno aluminijske fasade tzv. „stick“ sustav od vertikalnih i horizontalnih aluminijskih profila s četverostrano [1] oslonjenim staklenim panelima. Zbog prostornog karaktera konstrukcije krova i pokrova od dvoslojnih križnih daščanih ploča iznad kojih je bakreni lim, nije bila potrebna dodatna stabilizacija glavnih rešetkastih greda, ali je opterećenje vjetrom na vertikalne stijene zahtijevalo stabilizaciju cijelog oplošja. Predmet proračuna bili su svi elementi glavne nosive konstrukcije i stakleno aluminijske fasade, svi njihovi priključci, kao i priključak konstrukcije fasade na glavnu nosivu konstrukciju. Potrebne analize provedene su u skladu s nadležnim europskim normama, a provjere otpornosti priključaka dodatno i na modelima konačnih elemenata (KE). Štapasta prostorna glavna konstrukcija modelirana je u Staad. pro računalnom programu, a proračun elemenata stakleno aluminijske fasade zasnovan je i na analizama modela KE u programu Strauss7. Iako bi to namjena dvorane i primijenjeni materijali zahtijevali, proračuni na djelovanje požara (izvanredna proračunska situacija) i potresa (potresna proračunska situacija) izuzeti su iz zadatka i inače opsežnog diplomskog rada [1] pa se tako ni ovaj rad time ne bavi. Razumljivo je da se ove dvije

proračunske situacije ne bi smjele zanemariti u „stvarnome“ projektu. Isto vrijedi i za razmatranje temperaturnih deformiranja čeličnih elemenata i dijelova konstrukcije.

2. Glavna nosiva konstrukcija

2.1. Osnovni tehnički podaci

Hala za dvoranske sportove nalazi se na zamišljenoj lokaciji u unutrašnjosti Istre, na visini od 200 m iznad mora. Krov dvorane je ravan, a tlocrt kružni, promjera $D = 45$ m. Pretpostavka je proračuna da se zatvoreni objekt ne grije što konstrukciju razvrstava u razred uporabe 2 u kojem sadržaj vlage drva ne prelazi 20%. Zrakasto raspoređenih 26 glavnih nosača krova su rešetkaste grede s pojasnicama od kombiniranog lijepljenog lameliranog drva I. razreda čvrstoće, BS 14k, vertikalama od cjelovitog drva prosječne nosivosti (S10) i dijagonalnom križnom ispunom od čelika kvalitete S 235. Osa visina rešetke mijenja se od nulte vrijednosti po oplošju, na mjestu oslanjanja na čelične stupove, do 3,97 m u središnjm dijelu tlocrta (Slike 1 i 3). Osa duljina ravnog gornjeg pojasa rešetke iznosi 20,73 m, na jednom se kraju oslanja na čelične stupove čiji je raster 5,42 m, a na drugom kraju na zvjezdasti element od čelika kvalitete S 355, posebno dizajniran ne samo da zadovolji zahtjeve nosivosti već i da omogući laganu montažu glavnih nosača. Stupovi glavne konstrukcije su od čelika kvalitete S 355 i osne visine 13,0 m (Slika 3).



Slika 3. Tlocrt, presjeci i aksonometrijski prikaz glavne nosive konstrukcije [1]

Sekundarna konstrukcija je od lijepljenog lameliranog drva II. razreda čvrstoće (BS 11) i naliježe na gornju pojasnicu rešetkastih nosača. Duljine se mijenjaju (Slika 3), od $L = 5,42$ m po obodu (poz 101) do $L = 1,61$ m (poz 105) u središnjem dijelu tlocrta. Križno uslojene daščane ploče debljine 36 mm (2×18 mm) postavljene na sekundarnu konstrukciju ujedno su i ukruta krovne konstrukcije i podgled koji skriva izolaciju i pokrov od bakrenog lima.

2.2. Analiza djelovanja

Modeli djelovanja i karakteristične vrijednosti opterećenja snijegom i vjetrom usvojeni su prema nadležnim Eurokod normama EN 1991-1-3 [3] i EN 1991-1-4 [4] i pripadnim Nacionalnim dodacima, a proračunske kombinacije određene prema normi EN 1990 [5]. Karakteristično stalno opterećenje krovne konstrukcije u proračunu je usvojeno s $G_k = 0,40$ kN/m² i uzima u obzir vlastite težine pokrova, izolacije, daščanih ploča, spojnog pribora i instalacija.

2.2.1. Promjenjivo opterećenje snijegom

Karakteristično je opterećenje snijegom na tlu za zamišljenu lokaciju u III. zoni snijega $s_k = 0,80$ kN/m². Vrijednosti faktora izloženosti C_e i toplinskog faktora C_t usvojene su kao $C_e = 1,0$ i $C_t = 1,0$. Za model raspodjele opterećenja definiran u skladu s prednormom [3] i geometrijom ravnog krova faktori oblika su $m_1 = m_2 = 0,8$. Za proračun konstrukcije mjerodavno je simetrično opterećenje snijegom kratkog trajanja $s_{1,k} = s_1 = 0,64$ kN/m² [1].

2.2.2. Promjenjivo opterećenje vjetrom

Referentna brzina vjetra $v_{ref} = 22,0$ m/s određena je poznatim izrazima [4] za zonu vjetra P3. Poredbeni pritisak vjetra $q_{ref} = 0,306$ kN/m² [1] proračunat za osnovnu brzinu vjetra $v_{ref,0} = 22$ m/s i gustoću zraka $\rho = 1,25$ kg/m³ [4]. Faktori izloženosti $c_e(z)$ za kategoriju terena III. i visinske kote vertikalnih stijena $z_{e,1} = 0$ m i $z_{e,2} = 13$ m su $c_{e(z1)} = 2,0$ i $c_{e(z2)} = 2,2$ [1]. Faktor vanjskog pritiska vjetra $C_{pe(z)}$ za zidove valjka određen je prema sljedećem izrazu [4]:

$$C_{pe(z)} = c_{p0} \cdot \psi_{\lambda\alpha} \quad (1)$$

gdje je c_{p0} faktor vanjskog pritiska za beskonačno vitki element (bez strujanja koje je slobodno na kraju), a $\psi_{\lambda\alpha}$ faktor učinka kraja tj. smanjenja za utjecaj vitkosti (Slika 4). Značenje je novih oznaka na slici 4 sljedeće [4]: $C_{p0,min}$ je najmanji faktor vanjskog pritiska, a $C_{p0,h}$ faktor vanjskog pritiska za

dio valjka u zavjetrini. Faktor vanjskog pritiska $C_{pe(z)}$ ovisi o Reynoldsovom broju [4] koji se određuje prema sljedećem izrazu (gdje je kinematska viskoznost zraka $\nu = 15 \times 10^{-6}$, promjerom valjka $b = 45$ m, a srednja brzina vjetra $v_{m(z_e)}$):

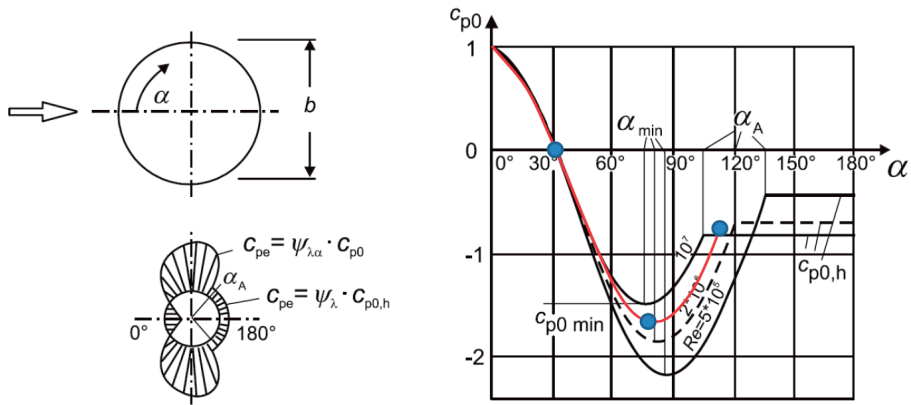
$$Re = b \cdot v_{m(z_e)} / \nu \tag{2}$$

Srednja brzina vjetra $v_{m(z_e)}$ ovisi o visini i određuje se sljedećim izrazom [4]:

$$w_{m(z_e)} = C_{r(z)} \cdot C_{z(z)} \cdot v_{ref} \tag{3}$$

Prema izrazu (3) proračunane vrijednosti $v_{m(z_e)}$ gdje su faktor orografije $C_{o(z)} = 1,0$, a faktori hrapavosti za visinske zone $z_{e,1} = 0$ i $z_{e,2} = 13$ m iznose $C_{r(z_{e,1}=0)} = 0,7$ i $C_{r(z_{e,2}=13)} = 0,81$ iznose $v_{m(z_e=0)} = 15,4$ m/s i $v_{m(z_e=13)} = 17,82$ m/s [1]. Vanjski pritisci vjetra w_e određeni su prema sljedećem izrazu [4] i ranije navedenim objašnjenjima simbola koje se u izrazu pojavljuju:

$$w_e = q_{ref} \cdot C_{e(z_e)} \cdot C_{pe} \tag{4}$$



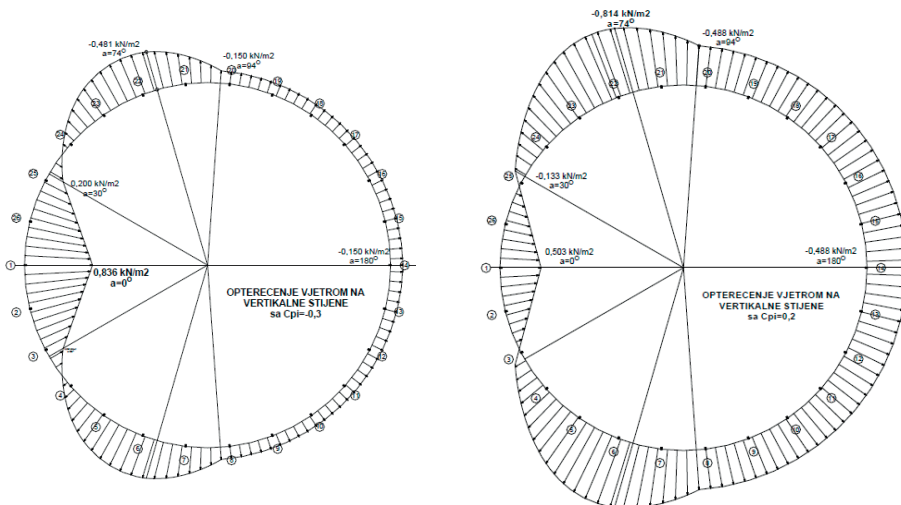
$$\psi_{\lambda\alpha} = \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos \left[\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{min}}{\alpha_A - \alpha_{min}} \right) \right] \quad \text{za } \alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_A$$

Slika 4. Raspodjela vanjskog pritiska na valjak [5] za različite Reynoldsove brojeve i beskonačnu vitkost s : $y_{\lambda\alpha} = 1$ za $0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{min}$ i $y_{\lambda\alpha} = 0,6$ za $\alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ$ [1]

Položaji najmanjeg pritiska za visinske zone $z_{e,1}$ i $z_{e,2}$ (slika 4) su $\alpha_{min,1} = 73^\circ$ i $\alpha_{min,2} = 75^\circ$, a odgovarajući položaji odvajanja strujanja $\alpha_{A,1} = 97^\circ$ i $\alpha_{A,2} = 90^\circ$.

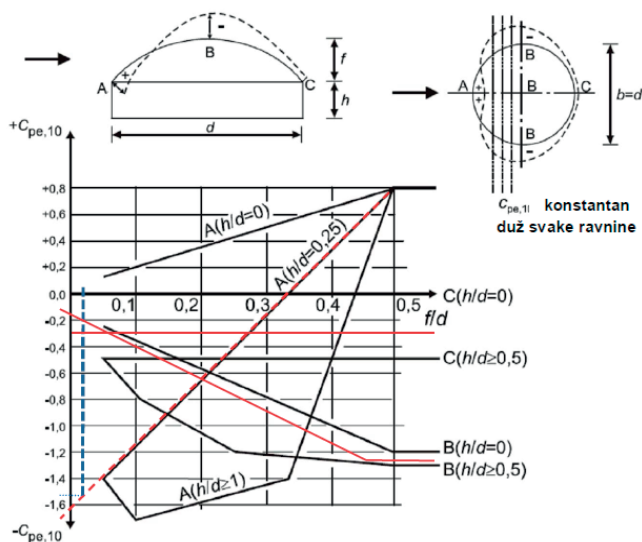
Tablica 1. Faktori vanjskog pritiska vjetra C_{pe} , vanjski pritisci vjetra w_e za zone z_{e1} i z_{e2} rezultantni pritisci vjetra w s faktorom unutrašnjeg pritiska vjetra C_{pi} [1]

$z_{e1} = 0 \text{ m}$	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha_{\min} = 73^\circ$	$\alpha_A = 97^\circ$	$\alpha = 180^\circ$
C_{pe}	1,0	0	-1,15	-0,54	-0,54
$w_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$	0,606	0,0	-0,696	-0,327	-0,327
$z_{e2} = 13 \text{ m}$	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha_{\min} = 75^\circ$	$\alpha_A = 90^\circ$	$\alpha = 180^\circ$
C_{pe}	1,0	0	-1,0	-0,57	-0,57
$w_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$	0,666	0,0	-0,666	-0,379	-0,379
Srednje vrijednosti vanjskog pritiska – jednolika raspodjela po visini [1]					
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha_{\min} = 74^\circ$	$\alpha = 180^\circ$	
$w_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$	0,636	0,0	-0,681	-0,353	
Rezultantno opterećenje pritiscima vjetra izvana w_e i iznutra w_i s faktorom $C_{pi} = -0,3$					
$w = w_e - w_i$	0,836	0,200	-0,481		-0,150
Rezultantno opterećenje pritiskom vjetra izvana w_e i iznutra w_i s faktorom $C_{pi} = 0,2$					
$w = w_e - w_i$	0,505	-0,133	-0,814		-0,488



Slika 5. Rezultantni pritisak vjetra na zidove s $C_{pi} = -0,3$ (lijevo) i $C_{pi} = 0,2$ [1]

Na Slici 5 prikazani su dijagrami rezultantnog pritiska vjetra na vertikalne stijene u skladu s Tablicom 1. Zone opterećenja vjetrom na ravni krov kružne građevine normom [4] nisu razrađene pa su aproksimirane modelom kružne kalote [1] s najmanjom visinom strelice (Slike 6 i 7). Vrijednosti vanjskog i rezultantnog pritiska vjetra mjerodavnog za proračun navedene su u Tablici 2, a na Slikama 7 i 8 prikazane raspodjele opterećenja ravnog krova vjetrom.



Očitavanja:

Zona A: $C_{pe} = -1,5$

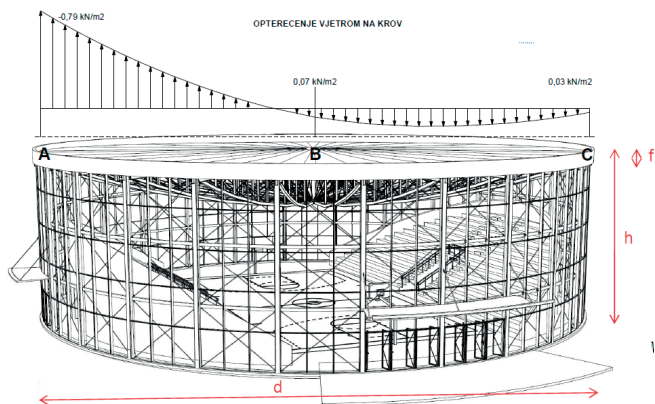
Zona B: $C_{pe} = -0,2$

Zona C: $C_{pe} = -0,25$

Slika 6. Opterećenje ravnog krova kružne građevine vjetrom [1] za strelicu krova $f = 0,7$ m, visinu i promjer građevine $h = 13$ m i $d = 45$ m i omjere $h/d = 0,28$ i $f/d = 0,02$

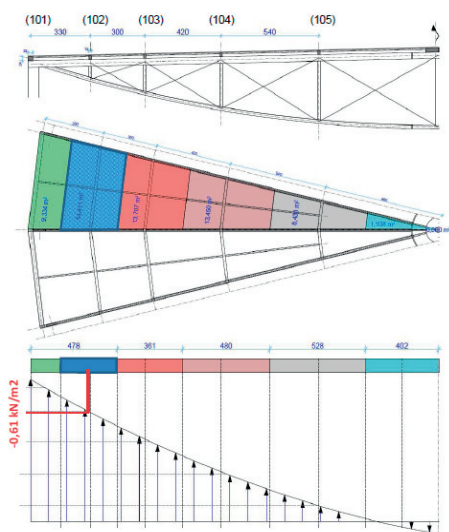
Tablica 2. Vanjski pritisci vjetra w_e za krov i rezultantno opterećenje krova vjetrom [1]

Zone	A	B	C
w_e [kN/m ²]	-0,999	-0,133	-0,166
Rezultantno opterećenje w pritiskom vjetra izvana, w_e i iznutra, w_i s $C_{pi} = -0,3$			
$w = w_e - w_i$	-0,79	0,07	0,03



Slika 7. Opterećenje krova vjetrom [1]

2.2.3. Raspodjela djelovanja snijega i vjetra na elemente krovne konstrukcije



Karakteristično opterećenje snijegom lameliranih podrožnica poz 101 – 105 (BS 11): $Q_{s,k} = 0,64 \text{ kN/m}^2$

Karakteristično opterećenje vjetrom podrožnica poz 101 – 105 duljine L i presjeka b/h na dijelu A – B:

poz 101 ($L = 5,42 \text{ m}$, $b/h = 20/20 \text{ cm}$):
 $Q_{w,k} = -0,74 \text{ kN/m}^2$

poz 102 ($L = 4,64 \text{ m}$, $b/h = 14/20 \text{ cm}$):
 $Q_{w,k} = -0,61 \text{ kN/m}^2$

poz 103 ($L = 3,92 \text{ m}$, $b/h = 14/20 \text{ cm}$):
 $Q_{w,k} = -0,44 \text{ kN/m}^2$

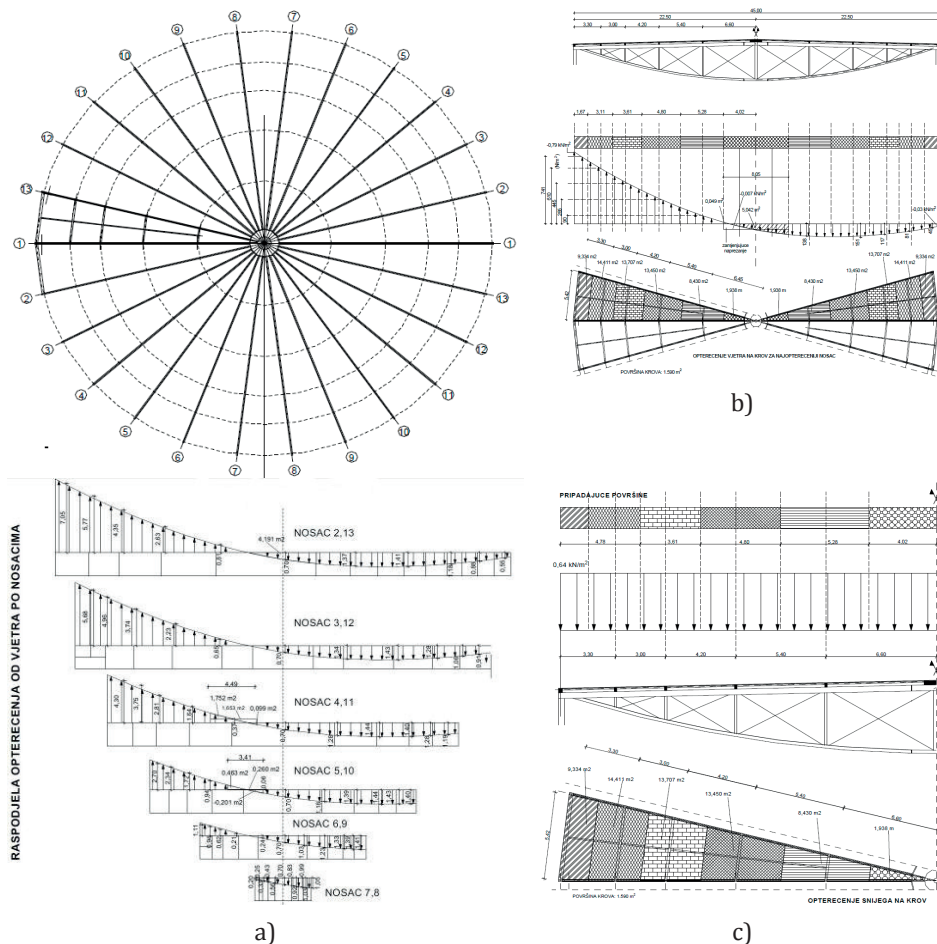
poz 104 ($L = 2,91 \text{ m}$, $b/h = 14/20 \text{ cm}$):
 $Q_{w,k} = -0,26 \text{ kN/m}^2$

poz 105 ($L = 1,61 \text{ m}$, $b/h = 14/20 \text{ cm}$):
 $Q_{w,k} = -0,09 \text{ kN/m}^2$

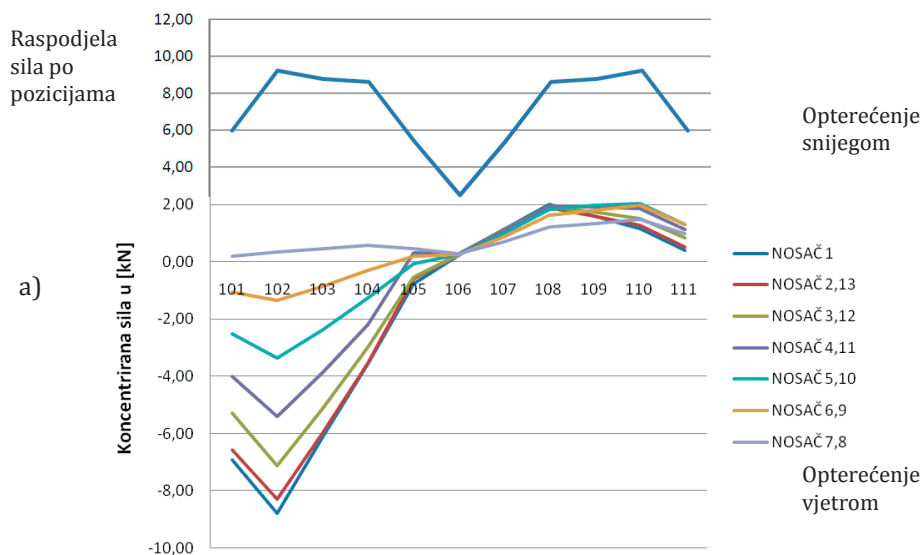
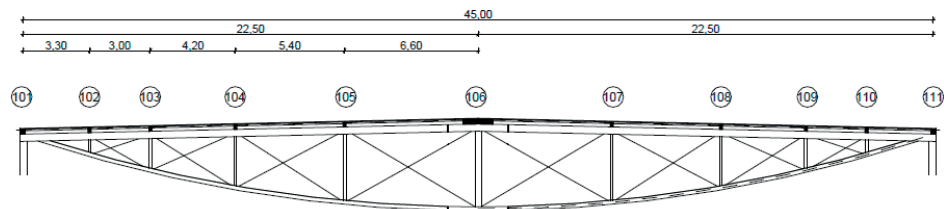
Slika 8. Raspodjela opterećenja vjetrom na lamelirane podrožnice poz 101 – 105 [1]

Presjeci pojasnica svih 26 rešetkastih glavnih nosača su od kombiniranog lijepljenog lameliranog drva visoke nosivosti (BS 14k) su $b/h = 14/36 \text{ cm}$ (gornja) i $b/h = 14/20 \text{ cm}$ (donja). Vertikale su od cjelovitog drva prosječne nosivosti (S10) i presjeka $b/h = 14/14 \text{ cm}$, a križne su dijagonale promjera $d = 30 \text{ mm}$ ($\emptyset 30 \text{ mm}$) od čelika kvalitete S 355. Za potrebe analize prostornog štapnog modela konstrukcije (s

elementima konstrukcije krova, stupovima i spregovima po oplošju, Slike 1 i 2), opterećenje glavnih nosača krova jest niz koncentriranih sila u čvorovima (priključci podrožnica) na gornji pojas rešetke i u središtu tlocrta (Slika 10). Pritisci vjetra nemaju linearnu raspodjelu (Slika 9) pa su iz dijagrama izrađenih za sve nosače i pripadne površine opterećenja (za podrožnice) proračunate koncentrirane sile koje su i opterećenja u čvorovima gornjih pojasnica (Slika 10). Isto načelo opterećivanja koncentriranim silama primijenjeno je i za opterećenje snijegom i stalnim djelovanjem (Slike 9 i 12).



Slika 9. Raspodjela opterećenja vjetrom na glavne nosače u čvorovima 101 – 111 (a) i dijagrami raspodjele s pripadnim površinama za vjetar (b) i snijeg (c) [1]



b)

POZICIJA	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
NOSAČ 1	-6,91	-8,79	-6,10	-3,56	-0,76	0,24	1,15	2,02	1,60	1,17	0,42
NOSAČ 2,13	-6,58	-8,30	-5,95	-3,52	-0,60	0,27	1,15	1,90	1,62	1,27	0,51
NOSAČ 3,12	-5,29	-7,13	-5,11	-3,00	-0,54	0,27	1,13	1,92	1,75	1,53	0,84
NOSAČ 4,11	-4,01	-5,40	-3,85	-2,21	0,30	0,27	1,08	1,94	1,91	1,84	1,11
NOSAČ 5,10	-2,52	-3,36	-2,36	-1,26	-0,05	0,27	0,99	1,86	1,97	2,05	1,31
NOSAČ 6,9	-1,04	-1,34	-0,85	-0,28	0,20	0,27	0,87	1,64	1,82	1,99	1,31
NOSAČ 7,8	0,19	0,35	0,44	0,58	0,46	0,27	0,69	1,22	1,34	1,48	0,98

c)

POZICIJA	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
POVRŠINA	9,33	14,41	13,71	13,45	8,43	3,88	8,43	13,45	13,71	14,41	9,33
NAPREZANJE	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
SILA OD NAPR.	5,97	9,22	8,77	8,61	5,40	2,48	5,40	8,61	8,77	9,22	5,97
SILA (NOSAČ)	5,97	9,22	8,77	8,61	5,40	2,48	5,40	8,61	8,77	9,22	5,97

Slika 10. Opterećenja snijegom i vjetrom (a) i pregled odgovarajućih vrijednosti koncentriranih sila (u kN) u čvorovima glavnih nosača od vjetra (b) i snijega (c) [1]

2.3. Elementi i dijelovi glavnog nosivog sustava – drvene konstrukcije krova oslonjene na čelične stupove

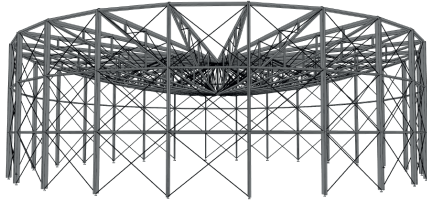
2.3.1. Lamelirani sekundarni nosači krovne konstrukcije

Za dimenzioniranje sekundarne konstrukcije mjerodavne su podrožnice poz 102. Najveći pritisak vjetra na dijelu krova B – C (Slika 7) ne prelazi $0,12 \text{ kN/m}^2$ (Slika 9) što predstavlja oko 18% opterećenja snijegom te u stalnoj i prolaznoj proračunskoj kombinaciji s vjetrom kao pratećim i snijegom kao vodećim promjenjivim djelovanjem za oko 7% povećava ukupno proračunsko opterećenje. Provjere otpornosti na savijanje presjeka 14/20 cm lameliranih podrožnica pokazale su da on dostiže 78%, odnosno 85% proračunske čvrstoće na savijanje za proračunske kombinacije u kojima je zanemaren, odnosno uzet u obzir pritisak vjetra za poz 102 kao mjerodavnu za dimenzioniranje. Konačni progib $u_{\text{net,fin}} = 22,6 \text{ mm}$ za proračunsku kombinaciju s izuzetim pritiskom vjetra iznosi 98% preporučenog graničnog progiba poz 102, $L/200 = 23,2 \text{ mm}$. Proračunani konačni progib ove pozicije za proračunsku kombinaciju s pritiskom vjetra kao pratećim promjenjivim djelovanjem, $u_{\text{net,fin}} = 22,9 \text{ mm}$, također je u dopuštenim granicama. Početni kontra-progib poz 102 od vjetra na dijelu A – B (slika 7) iznosi $u_{2,\text{inst}} = 10,9 \text{ mm} < L/300 = 15,4 \text{ mm}$. Presjek 14/20 cm zadovoljio je i provjere graničnih stanja kraćih podrožnica pozicija 103 – 105. Presjek rubnih (najduljih, ali i manje opterećenih) podrožnica [1] poz 101 povećan je s početnih 14/20 cm na 20/20 cm zbog izvedbe priključka glavnih nosača na potkonstrukciju i „zatvaranja“ konstrukcije (Slika 20).

2.3.2. Prostorni model glavne nosive konstrukcije

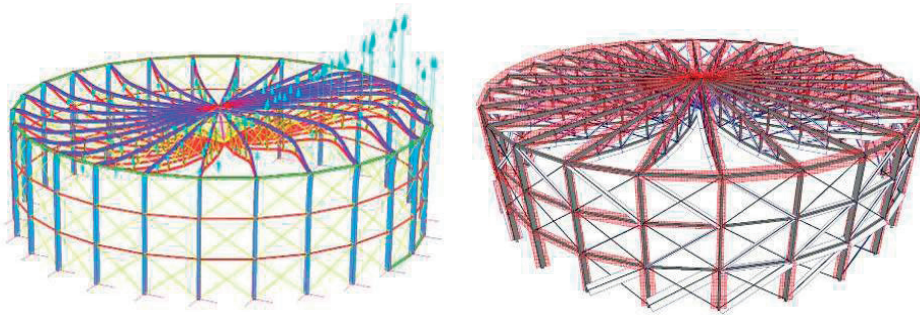
Unutrašnje sile u elementima konstrukcije rezultat su analize prostornog modela (Slike 11 i 12) sa štapnim konačnim elementima (KE) u računalnom programu Staad.pro 2007. Model čine 314 čvorova i 879 KE. Gornje pojasnice rešetke i čelični stupovi modelirani su kao „beam“ (gredni) KE s kontinuitetom u čvorovima (mjesto poluzglobnih priključaka drugih elemenata konstrukcije). Ovi KE mogu prihvatiti normalna naprezanja od savijanja i osnih sila te posmična naprezanja od poprečnih sila i torzije (naprezanja očekivana u konstrukcijskim elementima). Horizontalni elementi vertikalnih stijena (bočna ukrućenja stupova, donje pojasnice i vertikale rešetke su „truss“ (rešetkasti) KE koji prihvaćaju samo osne sile. Čelične dijagonale rešetke i spregova su modelirane kao „tension only“ KE koji mogu preuzeti samo vlačne osne sile. Uz prikaz prostornog modela (Slika 12) navedene su i proračunske kombinacije za proračun graničnog stanja nosivosti u skladu s [5] za ukupno pet (5) pojedinačnih djelovanja. Opterećenja su modelirana kao koncentrirane sile u čvorovima gornjeg pojasa rešetke. Rezultati statičke analize modela (proračunske unutrašnje sile) sadržaj su priloga diplomskoga rada [1].

Na Slici 13 pregledno su prikazane statičke sheme pozicija, elemenata i priključaka konstrukcije za koje su provedene potrebne provjere graničnih stanja a za priključke su izrađeni i izvedbeni nacrti [1].

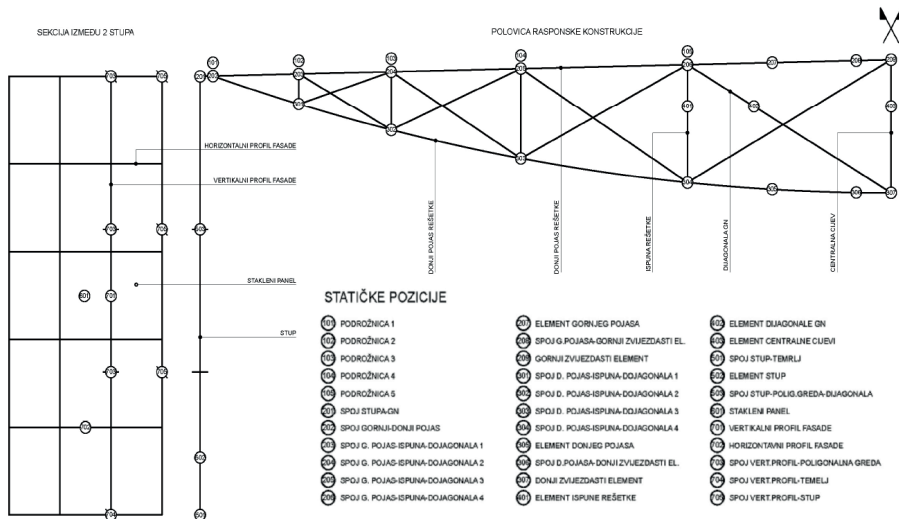


- Komb 1: 1,35(Stalno)+1,5(snijeg)
 Komb 2: 1,35(Stalno)+1,5(vjetro na krov+ vjetrom na fasadu, pritisak unutar)
 Komb 3: 1,35(Stalno)+1,5(vjetro na krov+ vjetrom na fasadu, usis unutar)
 Komb 4: 1,35(Stalno)+1,5(snijeg)+0,6*1,5(vjetro na krov+ vjetrom na fasadu, prit. unutar)
 Komb 5: 1,35(Stalno)+1,5(snijeg)+0,6*1,5(vjetro na krov+ vjetrom na fasadu, usis unutar)
 Komb 6: 1,35(Stalno)+1,5(vjetro na krov+ vjetrom na fas., prit. unutar)+0,7*1,5(snijeg)
 Komb 7: 1,35(Stalno)+1,5(vjetro na krov+ vjetrom na fas., usis unutar)+0,7*1,5(snijeg)

Slika 11. Prostorni proračunski model sa štapnim KE [1] i poprečnim presjecima za analize u programu Staad.pro 2007 i proračunske kombinacije [1]



Slika 12. Statička analiza modela KE i opterećenja (a) i dijagrami osnih sila (b) [1]



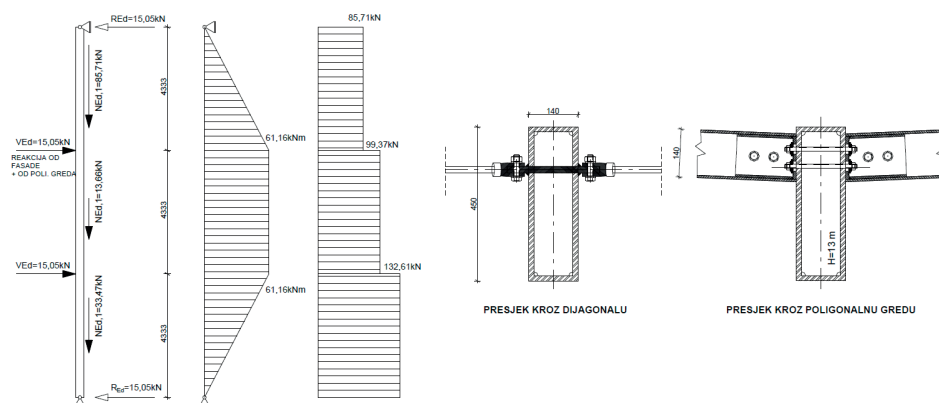
Slika 13. Pregled statičkih pozicija [1]

2.3.3. Glavni nosači krovne konstrukcije

Zbog prostornog nosivog koncepta konstrukcije, proračunske unutrašnje sile u elementima rešetkastih glavnih nosača razmjerno su niskih vrijednosti pa proračunska naprezanja uglavnom ne prelaze niti 50% proračunske otpornosti: presjek vlačnog donjeg pojasa rešetke napregnut osnom silom $F_{t,0,d} = 242,0$ kN dostiže samo 46% proračunske otpornosti, a presjek u čvoru gornjeg pojasa u provjeri otpornosti na kombinirano naprezanje osnim tlakom ($N_{c,0,d} = 203,2$ kN) i savijanjem ($M_{y,d} = 16,0$ kNm) dostiže tek 34% proračunske otpornosti. Zbog opterećenja rešetki u čvorovima i zanemariv doprinos vlastite težine savijanju, u poljima gornjeg pojasa prevladava naprezanje osnim tlakom s izvijanjem. Za najveći osni raspon polja, $L_0 = 5,4$ m (slika 10), vitkost na bočno izvijanje (za presjek širine $b = 14$ cm) za oko 10% prelazi preporučenu graničnu vitkost $l_{z,max} = 120$, ali provjera stabilnosti na izvijanje [1] zadovoljava jer proračunska naprezanja dostižu 83% proračunske tlačne čvrstoće izvijanja. Za provjere posmične otpornosti presjek $b/h = 14/20$ cm ima 90%-tnu rezervu otpornosti. Tlačne vertikale od cjelovitog drva (razreda čvrstoće S10) presjeka 14/14 cm osno su napregnute silom $N_{c,0,d} = 35,6$ kN, zanemarivom za stabilnost tih elementa (mjerodavne su vertikale duljine 3,26 m) [1, 6]. Provjera otpornosti (aktivnih) vlačnih dijagonala $\varnothing 30$ mm pokazala je da proračunska sila $N_{E,d} = 32,25$ kN dostiže tek 12% granične vrijednosti [1,7].

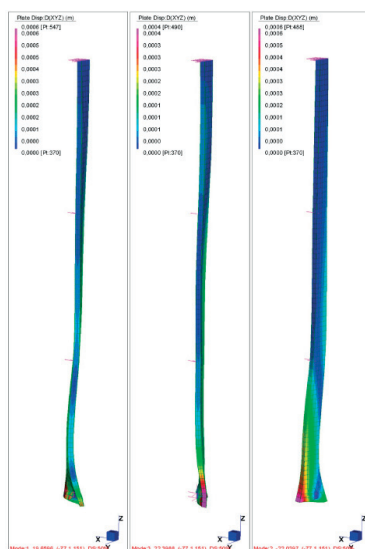
2.3.4. Čelični stupovi konstrukcije zidova

Čelični stupovi prihvaćaju vertikalno opterećenje krovišta, vertikalne komponente sile u dijagonalama spregova te horizontalna opterećenja koja se prenose preko papuče stakleno aluminijske fasade i horizontalne poligonalne grede, a bočna pridržanja su u trećinama visine (Slike od 11 do 14).



Slika 14. Naprezanje stupova i priključci bočnih pridržanja i poligonalne grede [1]

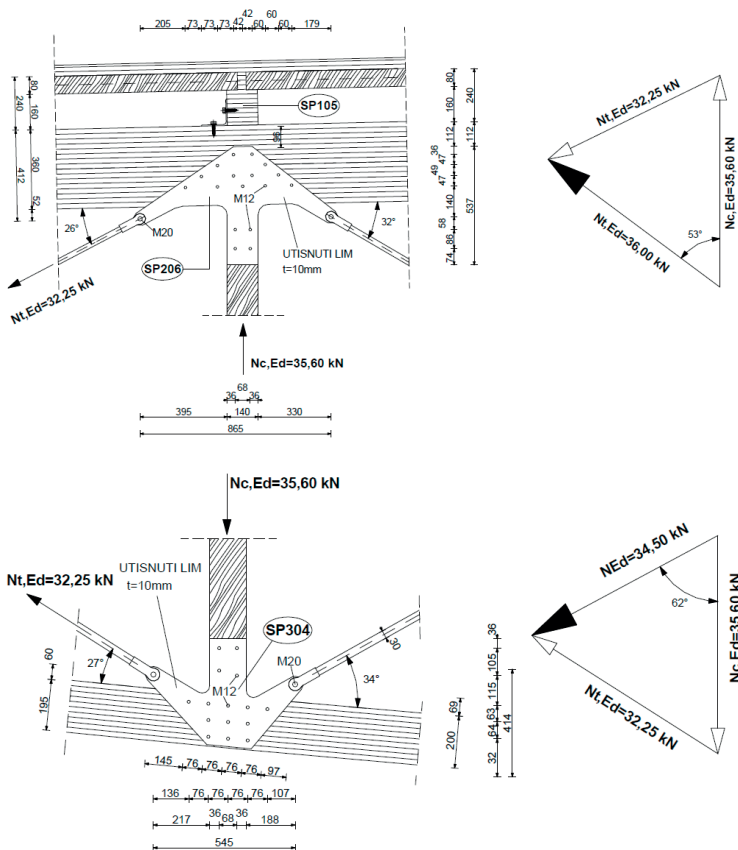
Poprečni presjek stupa (Slika 14, stijenke su debljine 15 mm) od čelika kvalitete S 355 je u razredu otpornosti 2, a otpornost na sve provedene provjere ne prelazi 25% proračunske otpornosti [1, 7]. Rešetka je zglobno oslonjena na gornji kraj stupa, opterećenje krova ravnomjerno se prenosi na kruti volumen, a zglobni je i donji oslonac stupa. Kako statička shema stupa ne bi izazvala zabunu (Slika 15) treba napomenuti da je ona pojednostavnjena i „izrezana“ iz globalnog modela, a prikaz „kliznog“ oslonca na gornjem kraju samo u funkciji naglašavanja prijenosa horizontalnih sila. Dodatno će to biti jasnije i iz daljnjeg teksta koji se bavi proračunom priključaka. Analiza stabilnosti na izvijanje stupa provedena je i u programu Strauss7 (Slika 15), na modelu s pločastim KE [1]. Simulirana su bočna pridržanja u trećinama visine stupa čiji razmak odgovara visini stakla $H = 4333$ mm, koncentrirana u gornjoj polovici presjeka. Parametar vitkosti na bočno izvijanje je $l_y = 133$. Stup je dimenzioniran u nedeformiranom obliku, a analiza izvijanja provedena na pojednostavnjenom modelu pri čemu nije uzet u obzir ekscentricitet zbog horizontalnog pomaka što bi svakako zahtijevalo dodatna razmatranja, izostavljena u diplomskom radu [1] na kojem se ovaj rad zasniva. Za tri su oblika izvijanja prikazana (s lijeva na desno) na Slici 15 navedeni i odgovarajući faktori sigurnosti koji pokazuju koliko puta veće opterećenje element može prihvatiti. Vrijednost najmanjeg faktora sigurnosti za prvi oblik izvijanja (lijevo na Slici 15) iznosi -19,6, dok za ostala dva u nizu vrijednosti iznose 22,4 i 22,0.



Slika 15. Pojednostavnjena analiza izvijanja čeličnog stupa u programu Strauss7 [1]

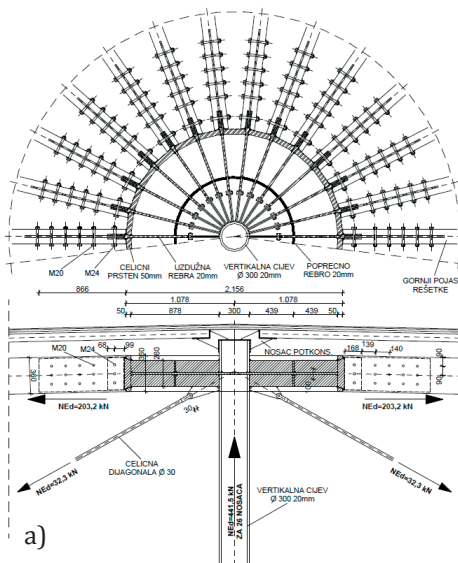
2.4. Karakteristični priključci elemenata glavne nosive konstrukcije

Tijekom izrade projekta, priključcima elemenata i dijelova ove prostorne konstrukcije posvećena je posebna pažnja jer se nastojalo pomiriti zahtjeve koji se postavljaju na njihovu mehaničku otpornost sa zahtjevima funkcionalnosti, lagane montaže i estetike. Detaljne procedure proračuna i proračunski modeli priključaka statičkih pozicija (Slika 13) mogu se pronaći u diplomskom radu [1], a ovdje će se dati samo kratki pregled priključaka bitnih za razumijevanje nosivog koncepta i prijenosa sila, dopunjen nužnim objašnjenjima i prikazima. Provjere otpornosti priljučaka provedene su u skladu s prednormom DIN ENV 1052 [6], za priključke drvenih elemenata te odgovarajućim dijelovima norme za projektiranje čeličnih konstrukcija [7, 8] za priključke čeličnih elemenata konstrukcije i za čelične dijelove priključaka. Priključci štapova ispune rešetke na pojasnice projektirani su kao dvorezni vijčani spojevi s čeličnim limovima debljine $t = 10$ mm utorenim u drveni presjek. Zadovoljavaju vijci M12 (promjera 12 mm) klase 4.6 (Slika 16).

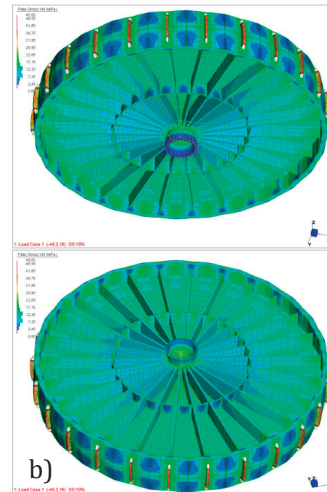


Slika 16. Presjeci kroz priključke dijagonala i vertikalne rešetke na pojasnice [1]

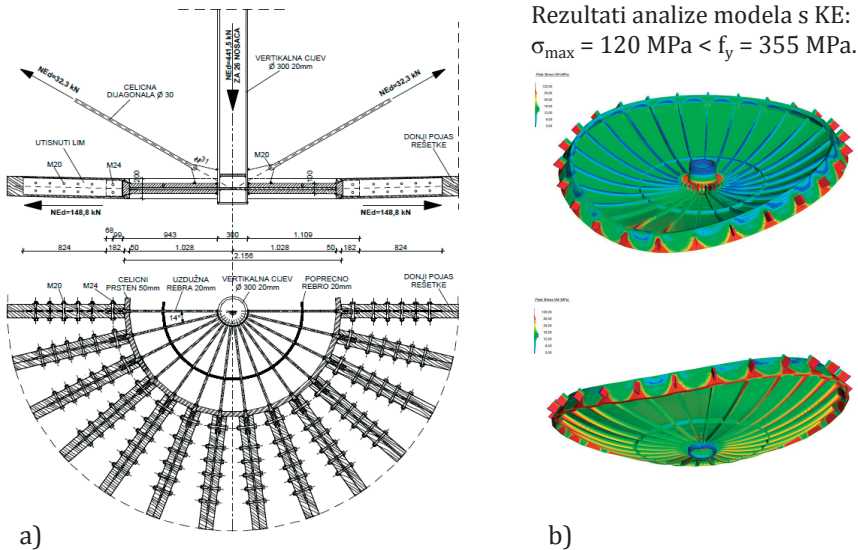
Štapovi ispuna napregnuti su samo osnim silama, a broj vijaka M12 ($n = 4$) za vezu utisnutog lima i drvenog presjeka ispune veći je od omjera proračunske sile u ispuni ($N_{c,Ed} = 35,6$ kN) i nosivosti vijka $SR_d = 16,7$ kN za kut $\alpha = 0^\circ$ sile prema vlaknima. Spajala su u vezi utisnutog lima i presjeka pojasnica dimenzionirana na rezultatnu proračunskih sila u štapovima ispune koji se priključuju na pojas (vertikalna i aktivna dijagonala). Vrijednosti i način prihvata proračunskih sila prikazani su uz rješenja priključaka (Slike od 17 do 21), a detaljnija objašnjenja navedena u [1]. U proračunu nosivosti dvoreznih vijaka i određivanju razmaka (od ruba i kraja elementa te međusobno) uzet je u obzir učinak najnepovoljnijeg kuta sile koju prihvaćaju prema vlaknima: proračunska nosivost dvoreznih vijaka M12 za vezu utisnutog lima i pojasnica najmanja je moguća ($SR_d = 12,4$ kN) za kut sile $\alpha = 90^\circ$ (Slika 16). Veza dijagonala na čelični lim je standardan priključak s vilicama 2x10 mm i jednim dvoreznim vijkom promjera $d = 20$ mm (1M20). Priključci pojasnica ukupno 26 rešetki s osnim silama $N_{c,0,d} = 203,2$ kN (tlačni pojas) i $N_{t,0,d} = 224,4$ kN (vlačni donji pojas) na zrakasti element od čelika kvalitete S 355 su najsloženiji i najopterećeniji priključci konstrukcije (Slike 17 i 18). Proračunska je nosivost jednog dvoreznog vijka M20 u vezi pojasnice i utisnutog čeličnog lima ($t = 10$ mm) $SR_d = 34,9$ kN pa sile prihvaća 12M20 u gornjoj i 10M20 u donjoj pojasnici (slike 17 i 18). Na horizontalnu su čeličnu ploču (debljine $d = 20$ mm) zrakastih elemenata odozgo i odozdo (Slike 17.b) i 18.b) zavarena poprečna i uzdužna rebra visine 50 mm i debljine 20 mm, a na obrubni čelični prsten debljine 50 mm i visine 200 mm navarene vilice 2x10mm visine 200 mm.



Rezultati analize modela s KE:
 $\sigma_{max} = 49$ MPa < $f_y = 355$ MPa.

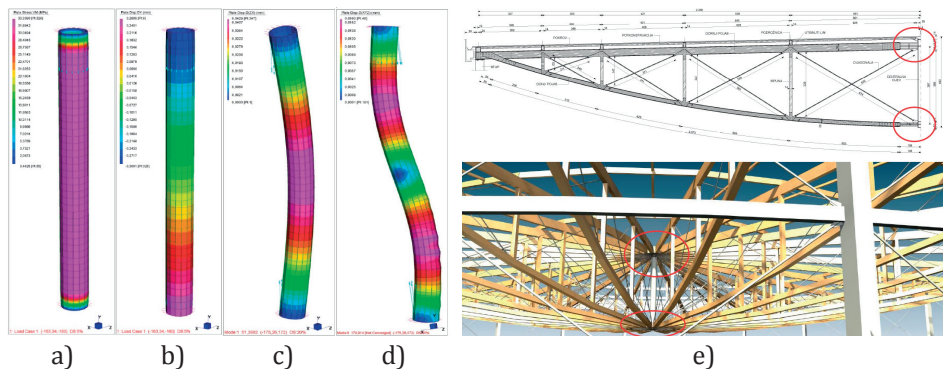


Slika 17. Priključak u ravni gornjeg pojasa na zrakasti čelični element (a) i (b) analiza modela s pločastim KE u programu Strauss7 [1]



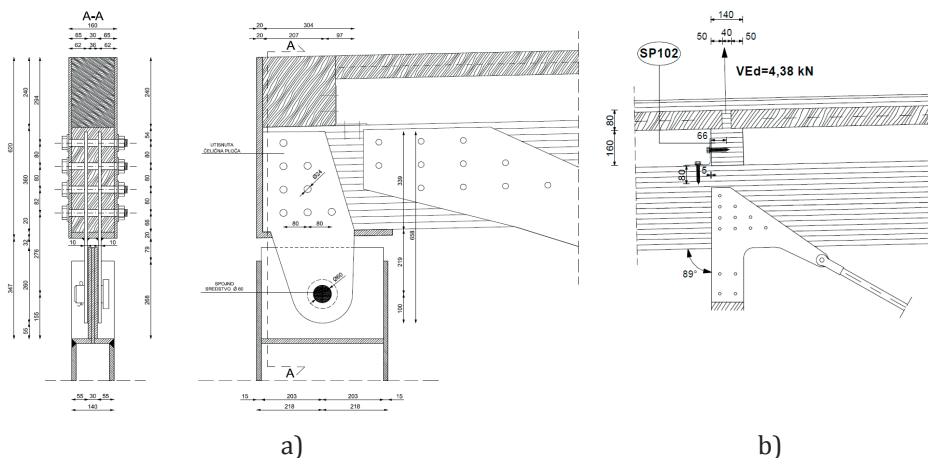
Slika 18. Priključci u ravni donjeg pojasa na zrakasti čelični element (a) i b) analiza modela s pločastim KE [1]

Spajala u vezi drvenog presjeka pojasnica, vilica i utisnutog čeličnog lima su vijci M24 (3M24 u gornjem i 2M24 u donjem pojasu) koji su na strani sigurnosti proračunani kao dvorezni (drvo je izuzeto), a proračunska je nosivost jednog $F_{bR,d} = 168,0$ kN. Priključak čelične dijagonale je uobičajen. Čelične zrakaste elemente povezuje središnja čelična cijev $\varnothing 300/20$ mm (model KE analiziran je programu Strauss 7, Slika 19). Vertikalni je pomak u središnjem priključku (sredina raspona $L = 45$ m) $u_v = 74,1$ mm $< u_{v,max} = L/300 = 150$ mm.



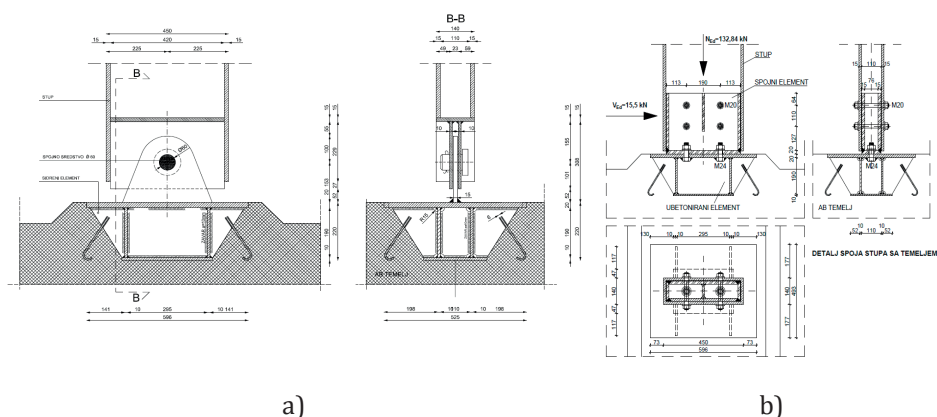
Slika 19. Analiza modela KE središnje čelične cijevi za vezu zrakastih elemenata: a) naprezanja, b) deformiranja, c) i d) izvijanje i (e) prikaz detalja u konstrukciji [1]

Kako su analiza modela KE proračunate vrijednosti naprezanja i deformiranja ($s_{\max} = 33,34$ MPa, $u_{\max} = 0,26$ mm) znatno manje od graničnih, zanemarena je analiza učinaka temperature. Oblici izvijanja središnje cijevi prikazani su na Slikama 19. c) i d), a najmanji je faktor izvijanja za prvi oblik i iznosi -51,36. Zglobni oslonac rešetke na čelični stup visine $H = 13$ m (oslanjanjem gornjeg pojasa) prikazan je na Slici 20.a). Rješenje oslonca rešetke na stup mora moći osigurati ravnomjerni prijenos sila (vertikalna reakcija rešetke, $R_{v,d} = 85,17$ kN i horizontalna sila od opterećenja vjetrom na fasadu, $R_{v,h} = V_{E,d} = 15,05$ kN), a kao što detalj zglobnog oslonca stupa mora omogućiti slobodnu rotaciju zbog pomaka vrha stupa i detalj oslonca rešetke mora osigurati slobodnu rotaciju od vertikalnog progiba rešetke uvećanu zbog horizontalnog pomaka vrha stupa. S pretpostavkom slobodnog oslanjanja rešetke na rasponu 45 m kut bi zaokreta iznosio oko $0,92^\circ$ (samo od vertikalnog progiba od 22,5 mm zanemarujući i dodatni pomak vrha stupa). Tipsko se rješenje oslonca krovne rešetke s „boltzn“ trnom $\varnothing 60$ mm (slika 20.a) može smatrati zadovoljavajućim sa stajališta prihvata rezultante sila i mogućnosti rotacije (od promjenjivih djelovanja i neposredno nakon montaže). Vlačni se pojas rešetke priključuje na gornji dvoreznim vijcima M20 (čeličnim lim debljine 10 mm utisnut je u drvo) za prihvatanje osne sile $N_{t,0,d} = 224,4$ kN [1]. Priključak sekundarnih nosača nalijeganjem na gornji pojas rešetke prikazan je na Slici 20.b). Prihvatanje reakcija podrožnice od usisa vjetrova riješen je vijcima za drvo promjera $\varnothing 10$ mm za vezu vertikalnog lima kutnika i podrožnice [1].



Slika 20. Priključci: a) rešetke na čelični stup i b) podrožnice na gornji pojas [1]

Varijante zglobnog priključka čeličnog stupa [1] na temelj (Slika 21) prikazuju usvojeno (a) i razmatrano rješenje (b). Priključak treba prihvatiti reakcije (osna i poprečna sila u stupu su $N_{Ed} = 132,84 \text{ kN}$ i $V_{Ed} = 15,05 \text{ kN}$), ali i osigurati horizontalni pomak vrha stupa ($u_h = 18,7 \text{ mm} < u_{h,max} = H/300 = 43 \text{ mm}$) prema fiksnom temelju s izglednom rotacijom stupa i najvećim kutom zaokreta $\alpha_{max} = 0,19^\circ$. Razmatrano je rješenje (slika 21.b) s podložnom pločom ($t = 20 \text{ mm}$) i pločom spojnog elementa ($t = 15 \text{ mm}$) od čelika kvalitete S 355 gdje vijci M24 za vezu ubetoniranog i spojnog elementa prihvaćaju poprečnu silu, a vijci M20 osnu. Osni razmak vijaka M20 od 190 mm i ovalne rupe za vijke omogućavaju pomak od 0,63 mm ($190 \text{ tg}\alpha = 0,63 \text{ mm}$), ali su očite slabosti rješenja da izvedba spojnog elementa otežava rotaciju, razmaknuti vijci M24 ne mogu preuzeti momente od rotacije (bez vertikalnog otpuštanja), a ravna dodirna pločica (umjesto npr. blago zaobljene) tada ne omogućava centriranje sile. Zato je povoljnije usvojiti tipsko rješenje „boltzn“ priključka (slika 21.a) s dvoreznom trnom $\varnothing 60 \text{ mm}$ koje je u stanju ne samo prihvatiti rezultantnu reakciju već i osigurati rotaciju potrebnu da bi se ostvario proračunani horizontalni pomak vrha stupa.



Slika 21. Zglobni oslonac čeličnog stupa na temelj: a) povoljno rješenje s klasičnim „boltzn“ trnom $\varnothing 60 \text{ mm}$ i b) nepovoljno rješenje [1]

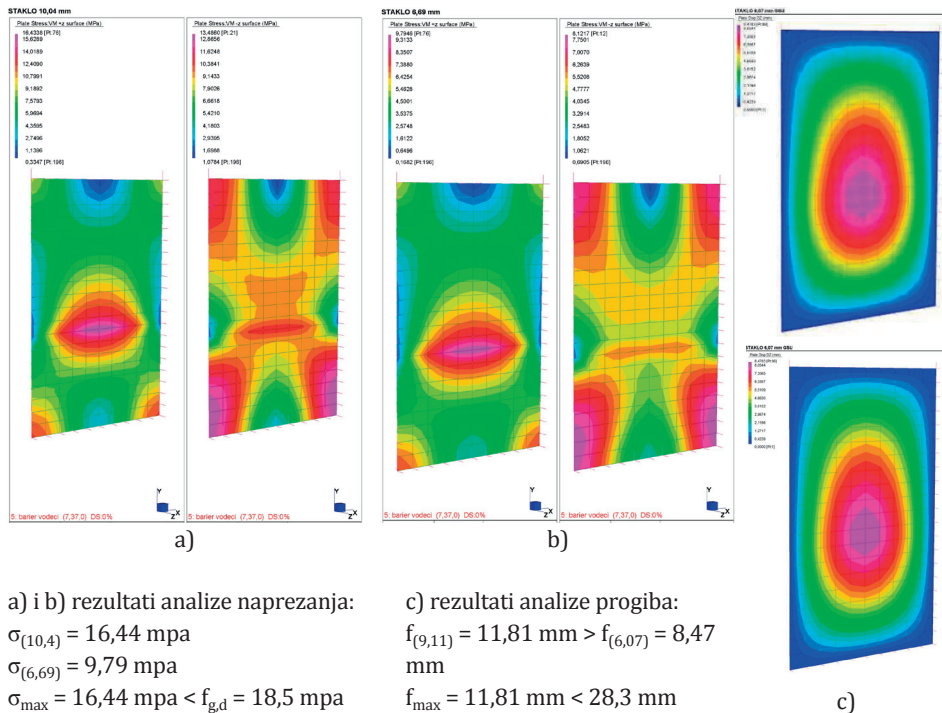
2.5. Prostorna stabilizacija glavne nosive konstrukcije

Čelični stupovi kao pojasnice, a čelične vlačne dijagonale i polygonalna tlačna grede kao ispuna, elementi su prostorne stabilizacije (spregova) [1] po oplošju vertikalnih stijena. U diplomskom radu detaljno su provedene provjere poprečnih presjeka štapova i provjere priključaka sprega prikazanih na slici 22.

Naprezanja i progibi određeni su analizom modela (Slika 24) s plošnim KE (u programu Strauss7) za odgovarajuće proračunske kombinacije, parcijalne faktore ($g_{Q,GSN} = 1,1$ i $g_{Q,GSU} = 0,9$) i kombinacijske [5] faktore (ψ) u analizi graničnih stanja (naprezanja, GSN i progiba, GSU): za GSN je mjerodavna kombinacija s pratećim vjetrom ($s_{y_{0,w}} = 0,7$), a za GSU kombinacija $y_{1,k} \cdot q_{k,1} + y_{2,w} \cdot q_{w,p}$ s faktorima kombinacije $y_{1,k} = 0,7$ i $y_{2,w} = 0,2$ [1, 3]. Karakteristična je čvrstoća običnog stakla (AN) na savijanje $f_{g,k} = 45$ MPa, a proračunska je čvrstoća $f_{g,d} = 18,5$ MPa određena sljedećim izrazom:

$$f_{g,d} = k_{mod} \cdot k_{sp} \cdot f_{g,k} / \gamma_{MA} \quad (5)$$

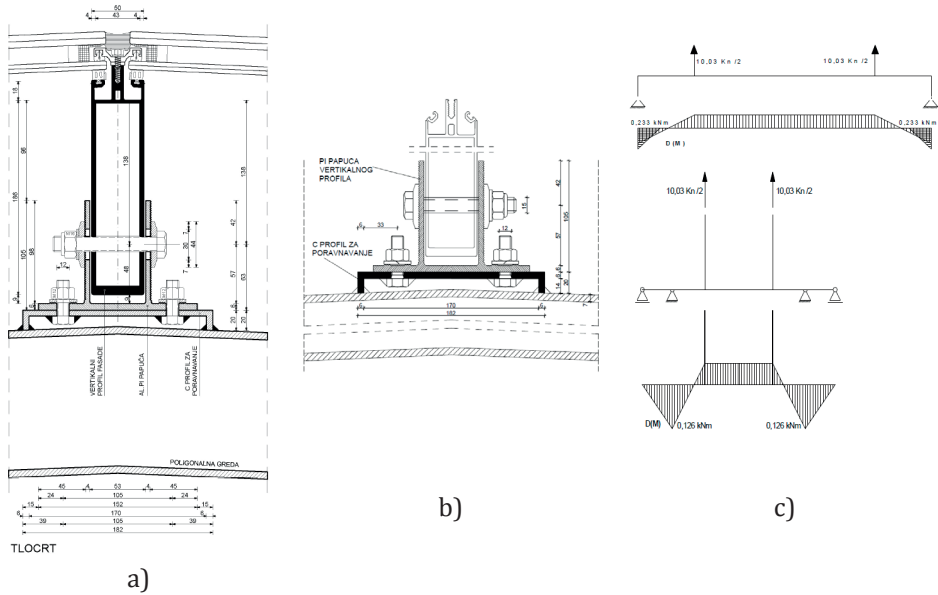
gdje je $k_{mod} = 0,74$ faktor izmjene za kratkotrajno opterećenje (vjetar), $k_{sp} = 1,0$ faktor površine stakla i $g_{MA} = 1,8$ parcijalni faktor sigurnosti za staklo. Granični je progib stakla (za kraću stranicu) $a / 60 = 1700 / 60 = 28,3$ mm.



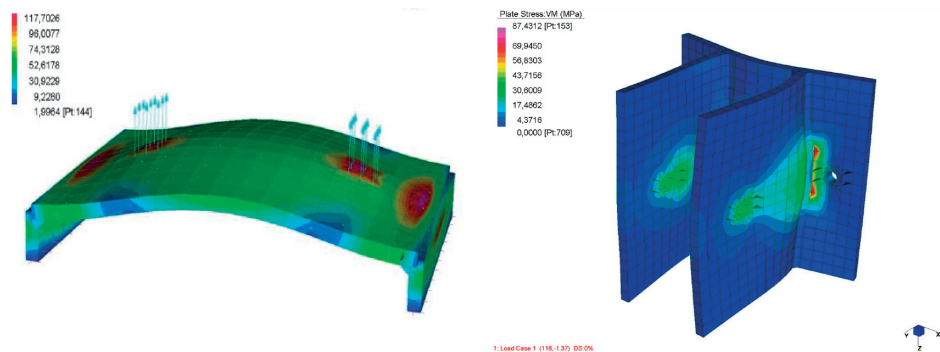
Slika 24. Model KE i analize naprezanja (a) i b) i c) progiba stakla [1]

Vertikalni i horizontalni aluminijski profili čije su proračunske sheme i presjeci prikazani na slici 25, su od kovane aluminijske legure EN-AW 6063 T6 [10]. Granica proporcionalnosti je $f_{0,2} = 160$ MPa, vlačna čvrstoća $f_u = 195$ MPa, a parcijalni faktori za materijal su $\gamma_{M1} = 1,1$ i $\gamma_{M2} = 1,25$ (za vlačno napregnute elemente).

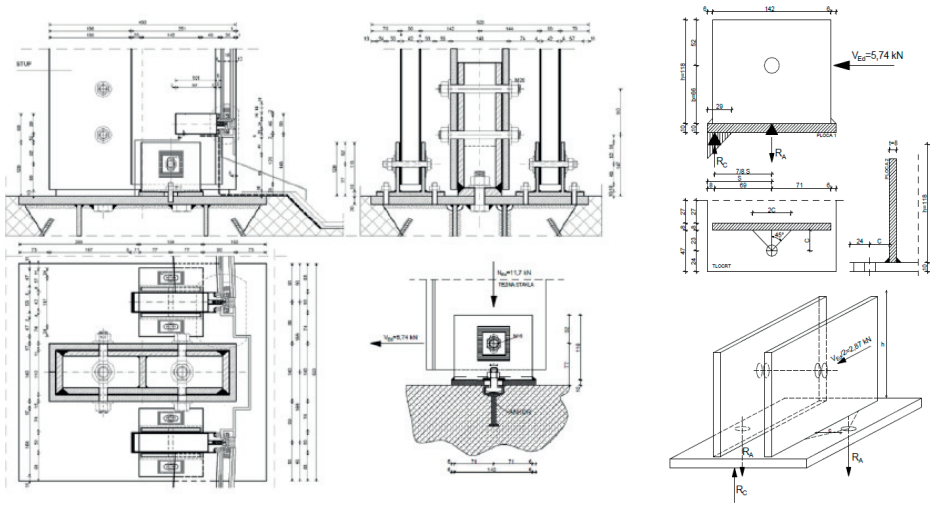
na koso savijanje, presjek dostiže 36% proračunske otpornosti [1]. U diplomskome radu provedene su detaljne provjere za oba karakteristična profila i za priključke vertikalnih profila na glavnu konstrukciju: na poligonalnu gredu (Slike 26 i 27) i na podlogu (Slika 28) te priključak na čelični stup (Slika 29). Provjere su provedene u skladu s nadležnom normom [10] i upotpunjene analizama KE modela. Detaljnija su objašnjenja navedena u [1].



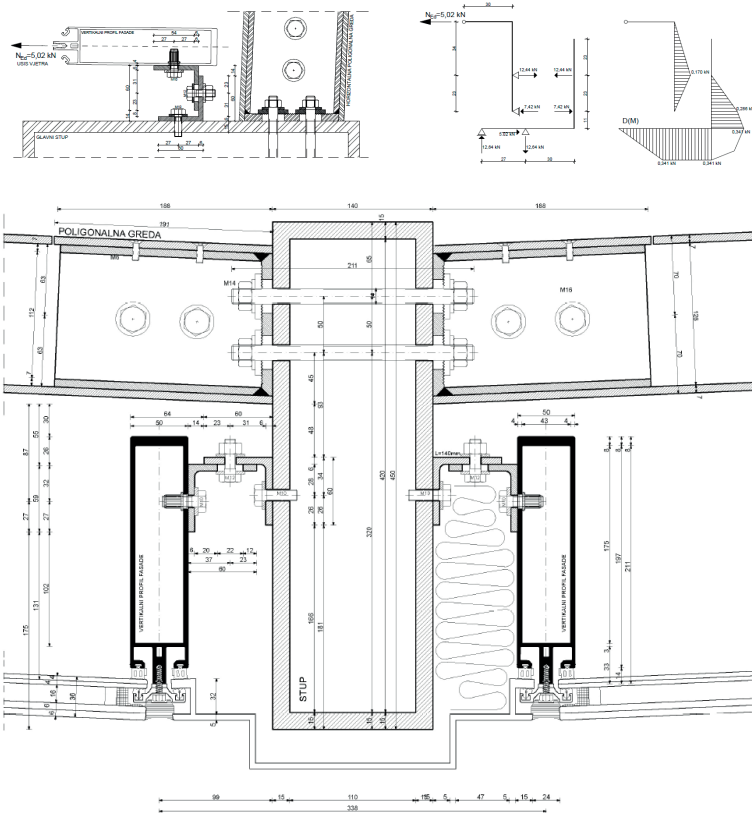
Slika 26. Priključak vertikalnog aluminijskog profila na poligonalnu gredu a); b) i c) pripadne statičke sheme [1]



Slika 27. Analiza naprezanja modela KE za C-profil od čelika kvalitete S 355 (a), $\sigma_{max} = 117,1 \text{ MPa} < f_y$, i b) PI-papuču, $\sigma_{max} = 87,43 \text{ MPa} < f_0 = 160 \text{ MPa}$ [1]



Slika 28. Priključak vertikalnog aluminijskog profila na podlogu [1]



Slika 29. Priključak vertikalnog aluminijskog profila na čelični stup [1]

Podloga za tzv. PI papuču vertikalnog aluminijskog profila poravnava se C-profilom, vijcima pričvršćenim za poligonalnu gredu (Slike 26.b) i c).

4. Zaključak

Na početku rada predstavljeno je rješenje izvedene konstrukcije koja je bila podlogom za izradu diplomskog rada („Bünder Arena“). U ovom tekstu željeli pokazati kako od naizgled manjih preinaka estetike izvorne konstrukcije nastaje potpuno novo arhitektonsko i konstrukcijsko rješenje. Predstavljanjem pojednostavnjenog postupka projektiranja u kojem su glavna konstrukcija i stakleno aluminijska ovojnica ravnopravni dijelovi cjelovitog prostornog rješenja nastojali smo naglasiti važnost razumijevanja međuovisnosti glavne nosive konstrukcije i njene ovojnice. Izbor konstrukcije prostornog koncepta koja pritom ima i poseban oblik, a svakako nije tipsko rješenje, shvatili smo i kao izazov u modeliranju, tumačenju rezultata i njihovoj primjeni pri proračunu elemenata, dijelova konstrukcije i svakako detalja koji su u svakoj štapastoj konstrukciji iznimno bitni i važni za njeno ponašanje.

Literatura

- [1] Červar, J., *Sportska dvorana s prostornom drvenom rešetkastom konstrukcijom krova i stakleno aluminijskom fasadom*, diplomski rad, Rijeka, 2010.
- [2] Herzog, T., Nattere, J., Schweitzer, R., Volz, M., Winter, W., *Holzbau Atlas: Birkhäuser – verlag for Architektur*, Basel, 2003, ISBN 3-7643-6984-1
- [3] EN 1991-1-3:2003. *Actions on structures - General actions - Part 1-3: Snow loads*, CEN Brussels, 2003.
- [4] EN 1991-1-4:2005. *Actions on structures - General actions - Part 1-4: Wind actions*, CEN Brussels, 2005.
- [5] EN 1990:2002. *Basis of structural design*, CEN Brussels, 2002
- [6] DIN ENV 1052:2000, *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken*. Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau, DIN Berlin 2004
- [7] EN 1993-1-1:2005. *Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*, CEN Brussels, 2005.
- [8] EN 1993-1-8:2005. *Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints*, CEN Brussels, 2005

- [9] prEN 13474-3:2008. *Glass in building*, CEN Brussels, 2008
- [10] EN 1999-1-1:2007. *Design of aluminium structures – Part 1-1: General structural rules*, CEN Brussels, 2007

STAKLENO ALUMINIJSKE FASADE – IZBOR PRIKLADNOG KONSTRUKCIJSKOG SUSTAVA FASADE NA PRIMJERU PROSTORNE DRVENE KONSTRUKCIJE

CURTAIN WALL FAÇADE – APPROPRIATE STRUCTURAL FAÇADE SYSTEM SELECTION OBTAINED ON SPATIAL TIMBER STRUCTURE EXAMPLE

Jagoda CUPAC*, Nebojša BULJAN*, Adriana BJELANOVIĆ**

Sažetak

U radu je prikazana analiza prikladnosti izbora sustava stakleno aluminijske fasade na primjeru prostorne drvene konstrukcije izložbene dvorane. Rad se temelji na projektu izrađenom u okviru diplomskoga rada i u njemu će se prezentirati osnovni dijelovi analiza mehaničke otpornosti i stabilnosti provedenih za glavnu nosivu konstrukciju i dva sustava stakleno aluminijskih fasada. Motivacija za izradu diplomskoga rada i prezentacije najvažnijih mu dijelova u ovome radu jest na konkretnom primjeru i podržano proračunom dati pregled važnih činitelja otpornosti i stabilnosti prostornih sustava i različitih sustava stakleno aluminijskih fasada te iznijeti zaključke bitne za razumijevanje međudjelovanja glavne nosive konstrukcije i njene vanjske ovojnice. Glavna nosiva konstrukcija je prostorni sustav trozglobnih lameliranih lukova oslonjen na raščlanjene čelične stupove i stabiliziran sustavom čeličnih dijelova i elemenata, a proračunske analize glavne nosive konstrukcije provedene za sve njene elemente, dijelove i priključke, podržane su statičkim analizama štapnih modela i usklađene s

* RI-ISA d.o.o. (Permasteelisa group)
E-mail: {jcupac,nbuljan}@permasteelisagroup.com

** Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
E-mail: adriana.bjelanovic@gradri.hr

europskim normama. Analize mehaničke otpornosti i stabilnosti provedene su i za sustave stakleno aluminijskih fasada: „stick“ sustav uzdužnih stijena od aluminijskih profila i mehanički pričvršćenog stakla te složen i estetski izazovniji ovješeni sustav s prednapetim zategama izabran za zidove zabata. Predmet analize i zaključaka o izboru pogodnog sustava jest odgovor glavne nosive konstrukcije, odnosno posljedice unosa sila iz vanjske ovojnice na njenu krutost i stabilnost.

Ključne riječi: analize FE modela, europske norme, lijepljeno lamelirano drvo, mehanička otpornost i stabilnost, prostorna glavna nosiva konstrukcija, sustavi stakleno aluminijskih fasada, priključci

Abstract

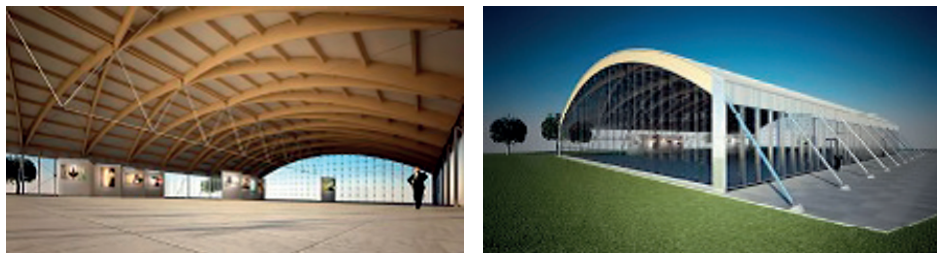
This paper presents an analysis of a suitable façade system for a spatial timber structure. It is based on a master's thesis project and will show structural analysis of resistance and stability of the main bearing structure and two curtain wall façade systems. The purpose of the thesis and this paper is to give an overview of the main factors which affect mechanical resistance and stability of spatial structures and different façade systems based on structural calculations for specific project and to give conclusions important for understanding the interaction of the main bearing structure and its outer envelope. The main bearing structure is a spatial system consisting of glulam arches supported by steel columns and stabilized with a system of spatially arranged steel elements. Analysis was conducted for all elements, parts and joints representative for the main spatial structure. The verifications were done according to appropriate European standards and supported with FEM analysis. Both structural systems of curtain wall façades were analyzed: a stick system with standard aluminium profiles and mechanically fixed glass was chosen for the longitudinal envelope; whilst the second façade is a more challenging suspended system with pre-tensioned cables and point fixed glass. Conclusions about the suitability of each façade system are based on the response of the main bearing structure and the influence that the forces transferred from the envelope have on the structure's stiffness and stability.

Key words: analysis of FE models, Eurocodes, Glued laminated timber, mechanical resistance and stability, spatial main bearing structure, structural systems of curtain wall façades, detailing.

1. Uvod

Projektiranje konstrukcije je zahtjevan postupak kojem treba pristupiti s najvećom ozbiljnošću želi li se suradnjom arhitekata i konstruktora različitih specijalnosti postići cjelovito rješenje čija je estetika prepoznatljiva, a svojstva nosivosti i uporabljivosti udovoljavaju zahtjevima sigurnosti i namjene. Cilj je ovoga rada to prikazati na primjeru projekta izložbene dvorane s prostornom drvenom konstrukcijom i stakleno-aluminijskim fasadama. Iako suvremene

forme i tehnološka rješenja nalažu da konstrukcija stakleno-aluminijske fasade mora biti sastavni dio cjelovitog projektog rješenja konstrukcije, nisu rijetki primjeri zanemarivanja značaja koji na sigurnost i uporabljivost glavne nosive konstrukcije imaju ne samo izvedba, nego i sam izbor konstrukcijskog sustava fasade koji zamjenjuje vanjske zidove. Staklo je važan element vanjskih opni; činitelj je vizualnog (tekstura i boja) i fizikalnog identiteta (razmjena topline, svjetlosti i zvuka s okolinom) prenoseći istovremeno glavninu opterećenja (npr. vjetar) na nosivi aluminijski sustav koji je nositelj svojstava čvrstoće i krutosti fasade i onaj je sustav preko kojeg se opterećenje na vanjsku ovojnici predaje glavnoj konstrukciji. Na primjeru projekta izložbene dvorane razmatrala su se dva različita rješenja konstrukcijskog sustava fasade i analizirali učinci njihova izbora na ponašanje glavne nosive konstrukcije (Slika 1). Za izvedbu uzdužnih fasadnih stijena odabran je „stick“ sustav s okvirima od vijcima spojenih ekstrudiranih aluminijskih profila i naknadno pričvršćenom (četverostrano oslonjenom) ispunom od stakla. Za zabatne je stijene analizirana primjena manje standardnog rješenja fasade ovješene na prednapete zatege i s točkasto oslonjenim staklima. Analiza prikladnosti izbora konstrukcijskog rješenja temelji se na posljedicama koje će na otpornost i krutost relativno „mekane“ drvene konstrukcije imati unos sila iz projektiranih vanjskih ovojnica, pri čemu je za ocjenu međuovisnosti posebno zanimljiv složeni sustav ovješene fasade.



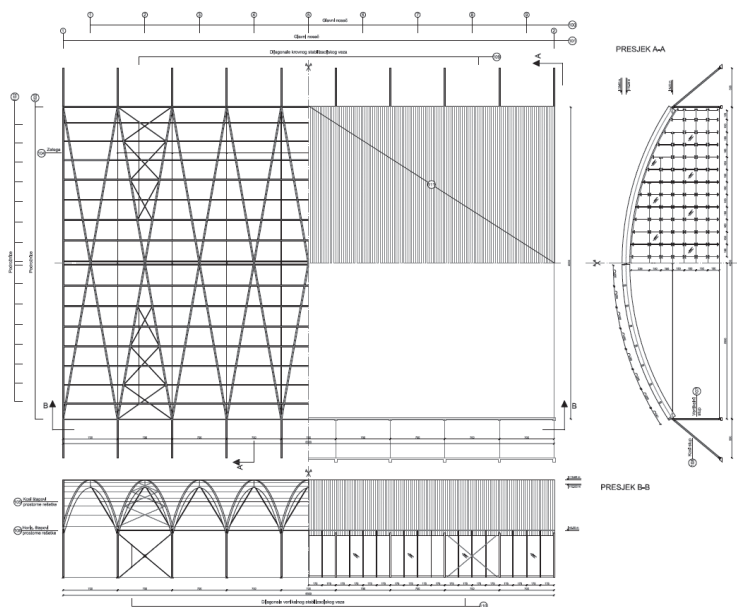
Slika 1. Vizualizacije prostorne drvene konstrukcije s čeličnim stupovima i sustava stakleno-aluminijskih fasada izložbene hale – prikazi unutrašnjeg i vanjskog izgleda

2. Projektno rješenje glavne nosive konstrukcije

2.1. Osnovni tehnički podaci i opis nosivog koncepta glavne konstrukcije

Izložbena dvorana smještena je u prigradskom području grada Zagreba na nadmorskoj visini od 100 m. Osnih je tlocrtnih dimenzija 40 x 63 m, a visina u sljemenu iznosi 12,5 m. Iz dispozicijskog je nacрта (Slika 2) vidljiva podjela na 9 polja s 10 glavnih poprečnih osi (oslanjanje na stupove) na rasteru od

7,0 m. Glavnu nosivu konstrukciju čine prostorno raspoređeni trozglobni lamelirani lukovi s čeličnim zategama, lamelirana sekundarna konstrukcija (podrožnice) i raščlanjeni čelični stupovi kao oslonci krovne konstrukcije koja je horizontalno stabilizirana spregovima s čeličnom X-ispunom i uzdužnom čeličnom rešetkom s V-ispunom (Slike 1 i 2). Pokrov krovne konstrukcije su Trimoterm SNV 120 čelični paneli. Zbog pretpostavke o negrijanosti objekta, drvena je konstrukcija razvrstana u razred uporabe 2 s prosječnim sadržajem vlage drva koji ne prelazi 20%. Trozglobni lučni sustav glavnih krovnih lameliranih nosača dijagonalno se oslanja na čelične stupove na rasponu 40,61 m (Slika 2). Križno postavljene polulukovi (ukupno devet X-sustava s po četiri poluluka povezana u tjemenu) imaju čelične zatege koje aktiviraju početni pomaci konstrukcije, postavljene u smjeru glavnih poprečnih osi. Zabatni glavni nosači krovne konstrukcije su dvozglojni lamelirani lukovi raspona 40 m bez zatega. Strelica lukova je 6,0 m. Prostorni čelični rešetkasti sustav dodan je zbog stabilizacije konstrukcije u uzdužnom smjeru, odnosno smanjivanja prekomjernih pomaka na prihvatljive granice. V-ispuna rešetkastog sustava (od šupljih čeličnih okruglih cijevi) je na gornjim krajevima priključena u tjeme (zglobni priključak polulukova), a na donjim se priključuje na zatege povezane horizontalnim elementima. Zahtjeve horizontalne stabilnosti na djelovanja okomita na glavnu ravninu prostorne nosive konstrukcije zadovoljila su dva krovna rešetkasta sprega oslonjena na vertikalne uzdužne spregove s X-ispunom od „mekih“ dijagonala (Slika 2).



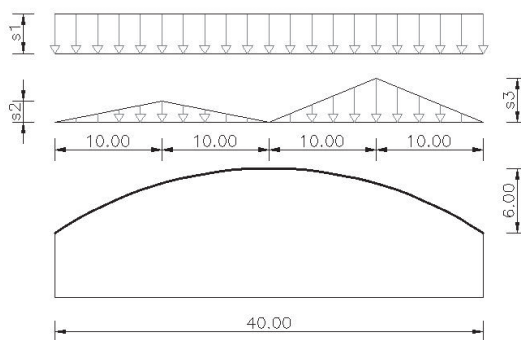
Slika 2. Dispozicijski nacrt glavne nosive konstrukcije: tlocrt, presjeci i pogledi [1]

2.2. Analiza djelovanja

Modeli djelovanja i karakteristične vrijednosti opterećenja snijegom i vjetrom usvojeni su prema Eurokod normama EN 1991-1-3 [2] i EN 1991-1-4 [3] i tada dostupnim Nacionalnim dodacima za odgovarajuće dijelove (HRN) prednormi. Proračunske su kombinacije određene prema normi EN 1990:2002 [4] i prilagođene proračunu drvene konstrukcije prema prednormi DIN ENV 1052:2000 [5]. Iako je zamišljena lokacija konstrukcije smještena u RH, ovdje i u dalje navedene norme su nam bile jedini dostupni publicirani Eurokodovi (u vrijeme izrade diplomskog rada odgovarajuće HRN EN norme razlikovale su se samo po hrvatskom prijevodu naslova i područja primjene). Karakteristična vrijednost stalnog djelovanja na krovnu konstrukciju u proračunu je usvojena s $G_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$, gde je osim opterećenja pokrovnih panela Trimotrem SNV $d/D = 120/157 \text{ mm}$ ($0,26 \text{ kN/m}^2$, prema tehničkim podacima proizvođača) uzet u obzir i doprinos metalnog spojnog pribora i instalacija. S obzirom da je proračun modela prostorne glavne nosive konstrukcije sa štapnim konačnim elementima (KE) proveden u računalnom programu *Autodesk Robot Structural Analysis 2011*, doprinos vlastite težine ukupnoj vrijednosti stalnog opterećenja pribrojen je naredbom programa i definiranjem svojstava materijala i presjeka.

2.2.1. Promjenjivo opterećenje snijegom

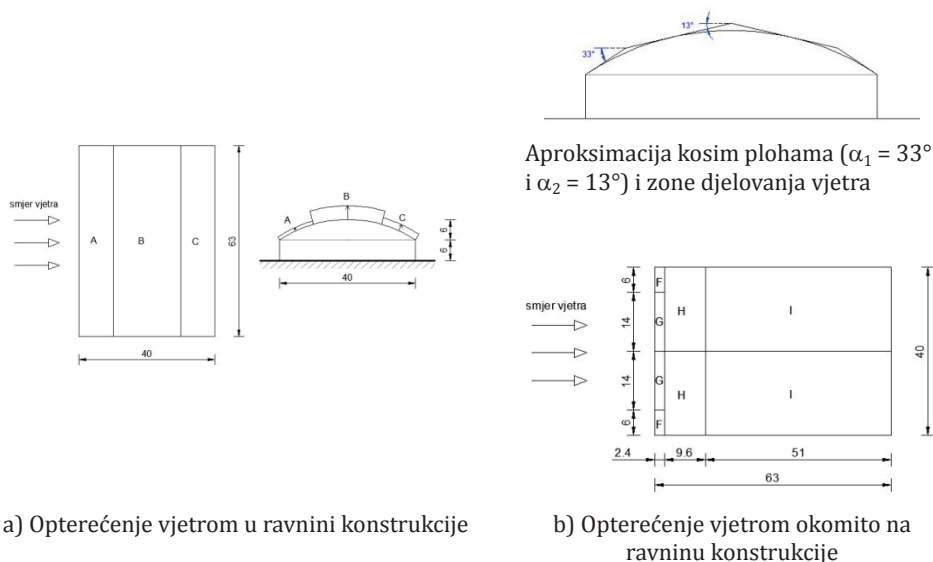
Karakteristično opterećenje snijegom na tlu za I. zonu i nadmorsku visinu $NMV = 100 \text{ m}$ iznosi $s_k = 1,09 \text{ kN/m}^2$. Usvojene vrijednosti faktora izloženosti C_e i toplinskog faktora C_t su $C_e = 1$ i $C_t = 1$. Za model raspodjele opterećenja u skladu s [2] i geometriju valjkastog krova s $h/b = 6/40 \text{ m}$ (Slika 3), faktori oblika su $\mu_1 = 0,8$ i $\mu_2 = 1,7$. Karakteristična opterećenja snijegom kratkog trajanja za simetričnu raspodjelu tada iznose $s_{1,k} = s_1 = 0,872 \text{ kN/m}^2$, dok su za nesimetričnu raspodjelu $s_{2,k} = s_2 = 0,927 \text{ kN/m}^2$ i $s_{3,k} = s_3 = 1,853 \text{ kN/m}^2$ [1].



Slika 3. Modeli raspodjele opterećenja snijegom za geometriju valjkastog krova [1]

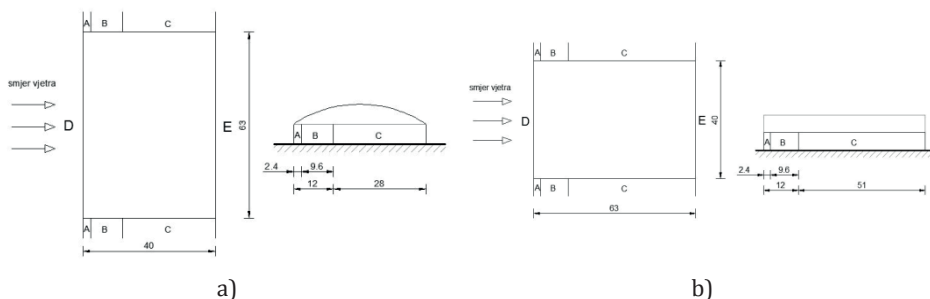
2.2.2. Promjenjivo opterećenje vjetrom

Referentna brzina vjetra $v_{ref} = 24,2$ m/s određena je poznatim izrazima [3] na osnovi poredbene (osnovne) brzine vjetra $v_{ref,0} = 22$ m/s za I. zonu vjetra, vrijednosti faktora smjera vjetra, $C_{DIR} = 1$, faktora utjecaja godišnjeg doba $C_{TEM} = 1$ i faktora nadmorske visine $C_{ALT} = 1,1$. Referentni pritisak vjetra proračunat za gustoću zraka $\rho = 1,25$ kg/m³ i referentnu brzinu v_{ref} jest $q_{ref} = 0,366$ kN/m². Faktori izloženosti $c_{e(z)}$ za kategoriju terena III. i zone $z_{e,1} = 6$ m i $z_{e,2} = 12$ m iznose $c_{e(z,1)} = 1,389$ i $c_{e(z,2)} = 1,829$ [1]. Faktori vanjskog pritiska za poprečni smjer vjetra na krov i duljinu okomitu na smjer vjetra, $b = 63,0$ m za omjere $f/d = 6/40 = 0,15$ i $h/d = 6/40 = 0,15$ (proračunska visina $z_{e,2} = 12$ m) su $C_{pe,10(A1)} = -0,185$, $C_{pe,10(B1)} = -0,85$ i $C_{pe,10(C1)} = -0,4$. (oznake zona su prema tablicama 1 i 2 i u skladu sa slikom 4.a). Faktori vanjskog pritiska za uzdužni smjer vjetra na krov i duljinu okomitu na smjer vjetra, $b = 40,0$ m određeni su za zamjenski model raspodjele opterećenja vjetrom i zone prikazane na Slici 4.b.



Slika 4. Modeli raspodjele djelovanja vjetra na valjkasti krov –
a) poprečni smjer vjetra i b) uzdužni smjer vjetra

Provedena je i analiza opterećenja vjetrom na vertikalne stijene, a modeli i zone raspodjele opterećenja prikazani su na Slici 5. Faktori vanjskog pritiska za poprečni smjer vjetra na vertikalne stijene proračunani su za omjer $h/d = 6/40 = 0,15$ i ploštinu zida $A_T = 378$ m² i iznose $C_{pe,10(A)} = -1,2$, $C_{pe,10(B)} = -0,8$, $C_{pe,10(C)} = -0,5$, $C_{pe,10(D)} = -0,7$ i $C_{pe,10(E)} = -0,3$.



Slika 5. Model raspodjele djelovanja vjetra na vertikalne zidove –
a) poprečni smjer i b) uzdužni smjer

Faktori vanjskog pritiska za uzdužni smjer vjetra na vertikalne stijene, proračunani za omjere $h/d = 6/63 = 0,1$ i ploštinu stijene $A_L = 240 \text{ m}^2$ (Slika 5.b), jednaki su faktorima vanjskog pritiska za poprečni smjer vjetra. Faktori unutrašnjeg pritiska vjetra su $C_{pi} = -0,2$ i $C_{pi} = +0,3$ [3]. Rezultantni pritisci vjetra navedeni su u Tablicama 1 i 2 (oznake zona su prema Slici 5). Postupak proračuna pritisaka vjetra proveden je u skladu s [3] i detaljno prikazan u [1].

Tablica 1. Rezultantni utjecaj poprečnog vjetra w_e^T i pritiska vjetra iznutra w_i u kPa [1]

Zona	A	B	C	D	E	A1	B1	C1
$w_e^T - w_i^+$	-0,712	-0,509	-0,356	0,254	-0,255	-0,258	-0,703	-0,402
$w_e^T - w_i^-$	-0,457	-0,254	-0,101	0,509	0	0,077	-0,368	-0,067

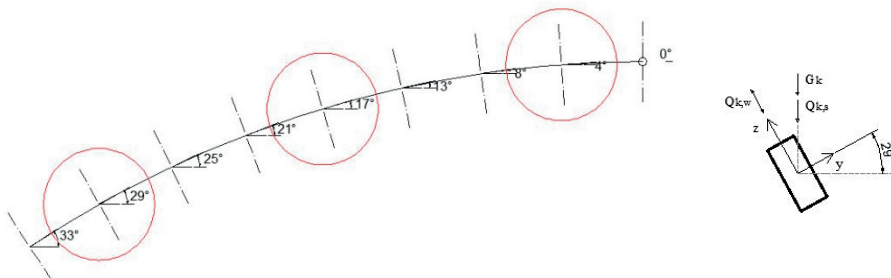
Tablica 2. Rezultantni utjecaj uzdužnog vjetra w_e^L i pritiska vjetra iznutra w_i u kPa [1]

Zona	A	B	C	D	E	F	G	H	I
$w_e^T - w_i^+$	-0,712	-0,509	-0,356	0,254	-0,255	-0,871	-1,071	-0,683	-0,469
$w_e^T - w_i^-$	-0,457	-0,254	-0,101	0,509	0	-0,536	-0,736	-0,348	-0,134

2.3. Sekundarna konstrukcija lameliranog krova

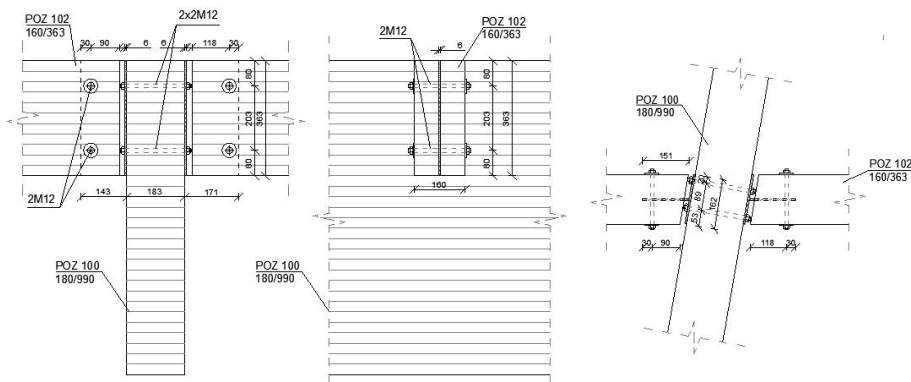
Zbog valjkastog oblika krova dispozicija podrožnica prati promjenu nagiba glavnih nosača od 0° do 33° (slika 6). Proračun podrožnica proveden je za tri karakteristična kuta nagiba, 29° , 17° i 4° (slika 6.a)). Mjerodavan za dimenzioniranje na kombinaciju stalnog (G_k) i dva promjenjiva djelovanja ($Q_{k,s}$ i $Q_{k,w}$) je koso savijani presjek najopterećenije podrožnice (slika 6.b) duljine 6,21 m. Priključak upuštanjem na gornji rub glavnih nosača (slike 2 i 7) uzrok je promjenjive duljine podrožnica raspoređenih na

rasteru $e = 2,65$ m. Provjere graničnih stanja zadovoljava presjek $b/h = 160/363$ mm od homogenog lameliranog drva BS14h razreda čvrstoće I [5] i debljine lamela $t = 33$ mm [1].



Slika 6. Presjeci i nagibi u proračunu podrožnica (a) i mjerodavni nagib (b) [1]

Mjerodavna za proračun je provjera konačnih progiba (učinak puzanja uzet je u obzir s faktorom $k_{def} = 0,8$ za razred uporabe 2). Konačni progib $u_{net,fin} = 29,0$ mm manji je od granične vrijednosti $L/200 = 31,1$ mm. „Skriveni“ priključak upuštanjem na gornji rub glavnih nosača prikazan je na slici 7. Na čelični lim #162/363/6 mm (ploča širine 163 mm, visine 363 mm i debljine 6 mm) priključen vijcima 4M12 klase 4.6 (četiri dvorezna vijka promjera 12 mm prenose rezultante poprečnih sila bočno priključenih podrožnica) na glavni nosač (poz 100), vari se čelična ploča #151/363/6 mm utisnuta u drvo. Utisnuti lim i podrožnicu povezuju vijci 2M12 klase 4.6 koji prihvaćaju rezultantu poprečnih sila jedne podrožnice od vertikalnih i horizontalnih utjecaja, $V_{d,max,17^\circ} = 15,4$ kN [1]. Čelične ploče priključka povezane su obostranim kutnim zavarima debljine $a = 3$ mm (varovi 2x363/3 mm). Detaljne provjere nosivosti priključaka prikazane su u [1] i provedene u skladu s normama [5], [6] i [7].

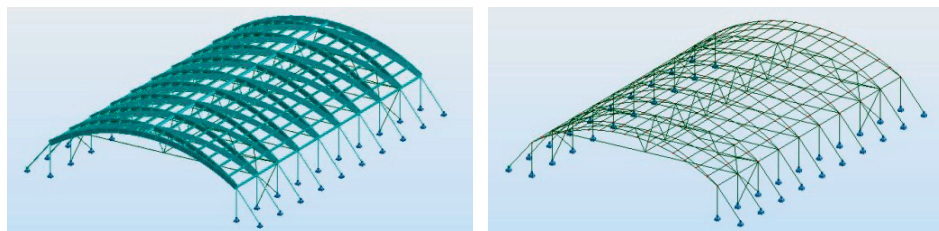


Slika 7. Priključak podrožnica (sekundarna konstrukcija poz 102) na glavni nosač [1]

2.4. Glavna nosiva konstrukcija

2.4.1. Prostorni model i proračun glavne nosive konstrukcije

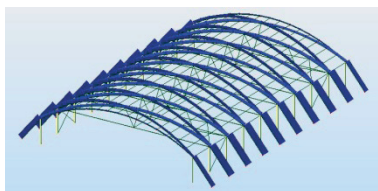
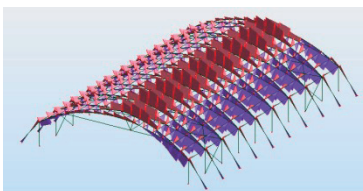
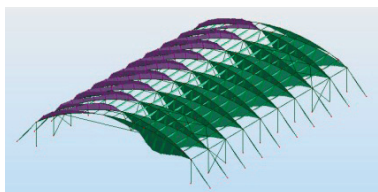
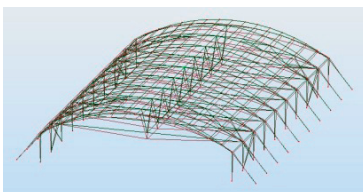
Unutrašnje sile i momenti savijanja za proračun graničnih stanja elemenata glavne nosive konstrukcije rezultat su statičke analize prostornog modela sa štapnim konačnim elementima u kojima su opterećenja modelirana kao linijski utjecaji na sekundarnu konstrukciju [1]. Priređena su ukupno četiri (4) modela istih geometrijskih svojstava (Slika 8): dva za granično stanje nosivosti (GSN) i druga dva za granično stanje uporabljivosti (GSU) i to zato jer se, u skladu s [5], provjere provode s različitim proračunskim svojstvima krutosti. Po dva modela za svako granično stanje priređena su zbog odvajanja proračunskih kombinacija za analize djelovanja u glavnoj ravnini konstrukcije i okomito na nju. U oba modela za provjere GSN razmatrano je ukupno 13 proračunskih kombinacija. U modelima za provjere GSU odvojene su kombinacije za provjere konačnih deformiranja (njih ukupno 13) i kombinacije za provjere trenutnih deformiranja (dodatnih 8 kombinacija). Detaljne tablične prikaze proračunskih kombinacija za može se pronaći u [1], a usklađeni su s [4] i [5]. Modeli za statičku analizu i odgovarajući rezultati bitni za proračun glavnih nosača prikazani su na Slikama 8 i 9. Osnovni podaci o pozicijama (Slika 1) navedeni su u Tablici 3.



Slika 8. Prostorni proračunski model sa štapnim konačnim elementima i poprečnim presjecima za analize u programu Robot Structural Analysis 2011 [1]

Tablica 3. Pregled pozicija (elementi glavne nosive konstrukcije), materijala i presjeka.

Element (pozicija)	Materijal	Presjek [mm]	Duljina [m]
Trozglobni lukovi (100)	LLD BS 14h	180 / 990	40,61
Dvozglubni rubni lukovi (101)	LLD BS 14h	180 / 990	40,00
Podrožnice (102)	LLD BS 14h	160 / 363	0,40 – 7,00
Rubne podrožnice (103)	LLD BS 14h	200 / 363	7,00
Stupovi (107, 108)	S 275	Ø 177,8 x 20	6,00; 7,81
Štapovi prostorne rešetke (105, 106)	S 275	Ø 70 x 4	6,95; 7,00
Zatege (104)	S 460	Ø 20	40,00
Dijagonale sprege (109)	S 460	Ø 24	5,96 – 9,22

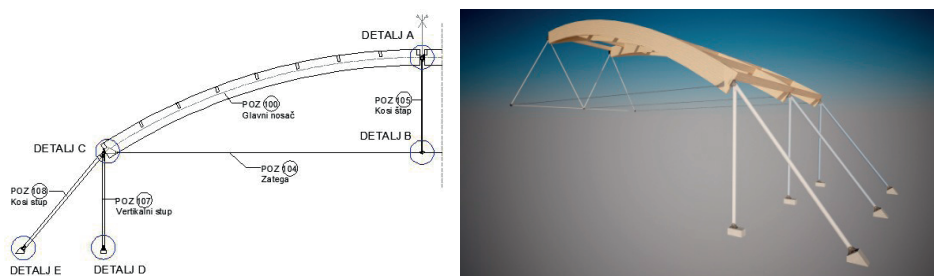
a) $N_{c,max,d} = 308,44 \text{ kN}$ b) $V_{max,d} = 17,85 \text{ kN}$ c) $M_{y,d} = 142,28 \text{ kN}$ d) $u_{net,fin} = 59 \text{ mm}$

Slika 9. Rezultati statičke analize (za provjere GSN i GSU) na djelovanja u ravni: a) i b) proračunske unutrašnje sile, c) momenti savijanja i d) konačna deformiranja [1]

Geometrijski oblik trozglobnih lukova čine dva lamelirana poluluka čija je zakrivljenost mala zbog povoljnog omjera polumjera donjeg ruba, $r_{in} = 35,83 \text{ m}$ i debljine lamele $a = 33 \text{ mm}$ ($r_{in} > 200a = 6,6 \text{ m}$), odnosno omjera polumjera u osi, $R = 36,33 \text{ m}$ i visine $h = 0,99 \text{ m}$ ($R/h = 36,7 > 10$). Oslonci dijagonalnih lameliranih lukova (poz 100) i rubnih lukova (poz 101) na raščlanjene čelične stupove od toplooblikovanih cijevi su zglojni. Najveća je vlačna sila u vertikalnom dijelu stupa (poz 107) $N_{t,ED} = 261,52 \text{ kN}$ [1], a proračunska tlačna osna sila u kosom tlačnom dijelu stupa (poz 108) koji je pod kutom 40° prema vertikali iznosi $N_{c,ED} = 766,7 \text{ kN}$. Najveći horizontalni pomak vrha stupa, $\delta_H = 11 \text{ mm}$ ne prelazi graničnu vrijednost $H/300 = 20 \text{ mm}$. Zatege (poz 104) su izvedene prema rješenju proizvođača Halfen-Deha, a profil je odabran iz kataloga *Detan Tension Rod System* jer mu otpornost zadovoljava na vlačnu silu, $Z_{max} = 111 \text{ kN} > N_{max} = 92,12 \text{ kN}$, najveće proračunske sile [1] u zategama. Zatege se tipskim nateznicama nastavljaju u četvrtinama raspona, na krajevima se priključuju na trozglobne lukove (Slika 10), a na polovici duljine u čvorove prostorne čelične rešetke. Profili štapova ove rešetke razvrstani su u razred 1 otpornosti presjeka, a otpornosti su presjeka i elementa zadovoljile provjere na najveće proračunske osne sile, tlačnu silu (poz 105) $N_{c,Ed} = 14,53 \text{ kN}$ i vlačnu silu (poz 106), $N_{t,Ed} = 23,89 \text{ kN}$ koje su rezultat analize na proračunsku kombinaciju od stalnog opterećenja, snijega i vjetrova uzdužnog smjera [1].

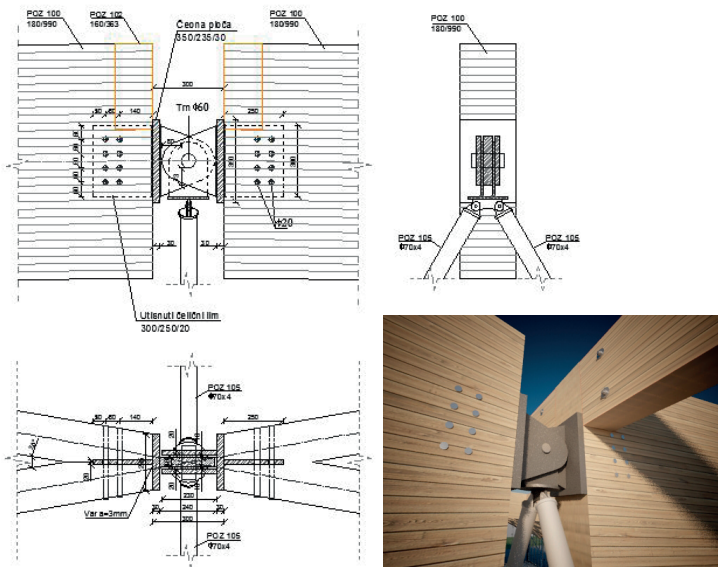
2.4.2. Karakteristični priključci elemenata glavne nosive konstrukcije

Na Slici 10 prikazani su karakteristični priključci elemenata glavne nosive konstrukcije. Svi su detaljno proračunani [1] u skladu s nadležnim normama, a za čelične pločaste dijelove priključaka provjere su provedene i analizom modela s plošnim KE u programu *Strauss7*.



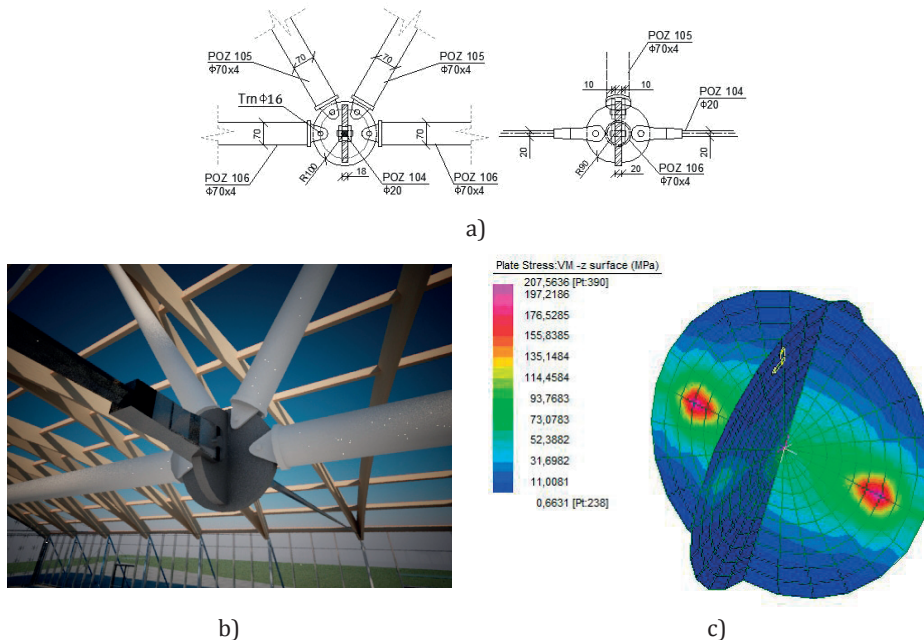
Slika 10. Proračunani karakteristični priključci u glavnoj nosivoj konstrukciji [1]

Zglobna veza lukova u tjemenu je tipsko rješenje s čeličnim svornjakom (trnom) prevladavajuće napregnutim unutrašnjim silama iz parova polulukova: parom osnih sila $N_{\max,d} = 268,6$ kN (rezultanta sila, $R_H = 537,2$ kN) i parom poprečnih sila (rezultanta sila, $R_V = 17,1 + 15,5 = 32,6$ kN) i dimenzioniranim na rezultantu sila R_V i R_H , $F_{ED} = 538,2$ kN (slika 11). Zanemareni su za provjere manje značajni doprinosi sila iz priklonih štapova ispune čelične rešetke. Konstrukcija priključka s dvoreznim trnom $\varnothing 60$ mm duljine 80 mm, srednjim limom #40 mm i bočnim limovima (2#20 mm, navarenim na nasuprotne čeone ploče) od čelika kvalitete S 355 [1], proračunana je prema normama EN 1993-1-1 [8] i EN 1993-1-8 [6]. Osne tlačne sile iz parova polulukova sa svake strane prihvaćene su nalijeganjem na čeone ploče #350/235/30. Poprečne sile u svakom poluluku [1] i lokalni moment savijanja (težišta trnova su 320 mm udaljena od svornjaka) prihvaćaju dvorezni trnovi $8\varnothing 20$ mm (čelik kvalitete S235) koji spajaju presjek polulukova i vertikalni čelični lim #300/250/20 mm utisnut u presjek i obostrano zavaren kutnim varovima 2x300/3 na čeonu ploču. Ostali priključci označeni na Slici 10 prikazani su na Slikama od 12 do 16, a detaljna objašnjenja, proračunske modele i rezultate proračuna sadržava [1].

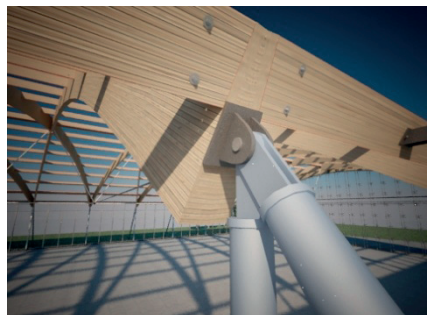
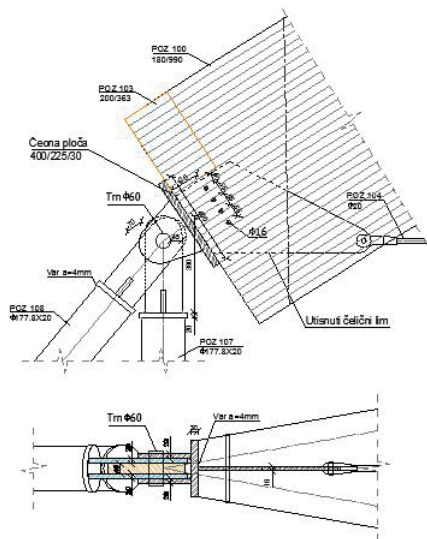


Slika 11. Detalj A – zglobna veza polulukova u tjemenu [1]

Na Slici 12 su dani prikazi rješenja (a) i vizualizacije središnjeg priključka zatege (b) na prostornu rešetku (detalj B) zajedno s rezultatima (c) analize modela KE koja je provedena u programu Strauss7 [1].

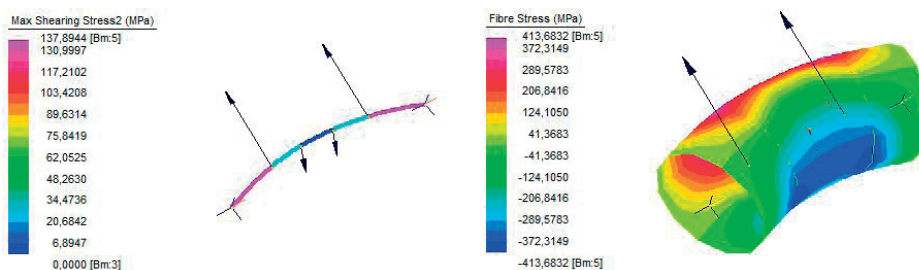


Slika 12. Detalj B – zglobni priključak zatege na prostornu čeličnu rešetku [1]

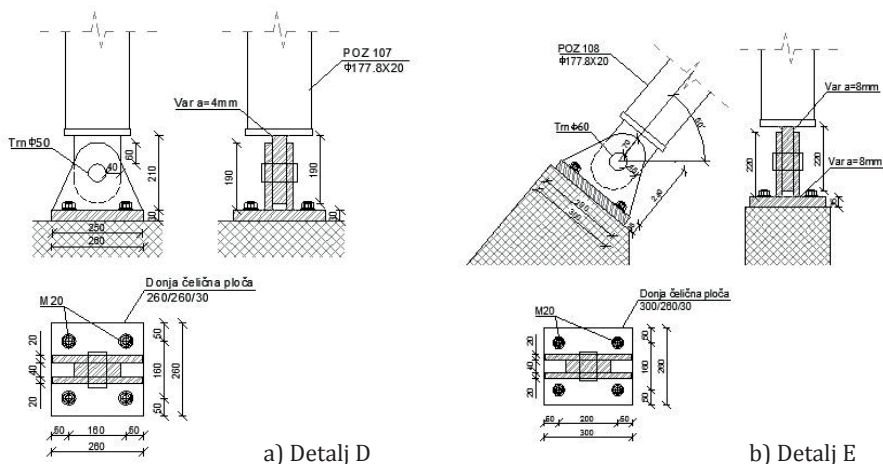


Slika 13. Detalj C – Zglobni oslonac lukova na čelični stup i priključak zatege [1]

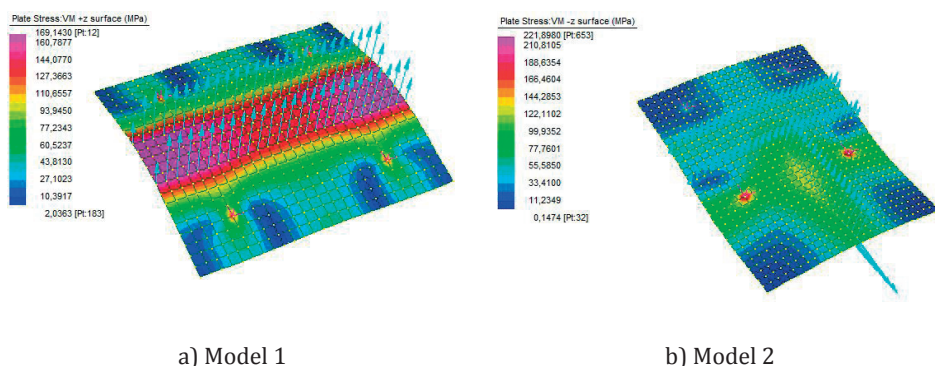
Proračunska rezultanta horizontalne reakcija na osloncu polulukova ($R_H = 649,0$ kN) i vertikalne reakcije od polulukova i zatege ($R_V = -5,33$ kN) jest $R_{L,d} = 649,04$ kN. Proračunske osne sile u raščlanjenom stupu su $N_{d(107)} = -261,44$ kN i $N_{d(108)} = 760,43$ kN. Trn je opterećen silama različitih priklonih kutova (stup, lukovi, zatega) pa su i naprezanja bitno različita za svaku plohu. Na Slici 14 prikazani su rezultati analize modela detalja u programu Strauss7 [1]. Na Slici 15 prikazani su detalji oslanjanja raščlanjenog čeličnog stupa, a na Slici 16 rezultati analiza naprezanja [1] na savijanje donje podložne ploče (od čelika kvalitete S 355) na osloncu vertikalnog dijela stupa (poz 107) provedenih u programu *Strauss7* na dva proračunska modela s pločastim KE.



Slika 14. Detalj C – naprezanja na posmik (a) i savijanje (b) u trnu Ø60 mm [1]



Slika 15. Detalji oslanjanja vertikalnog (a) i kosog (b) elementa čeličnog stupa [1]



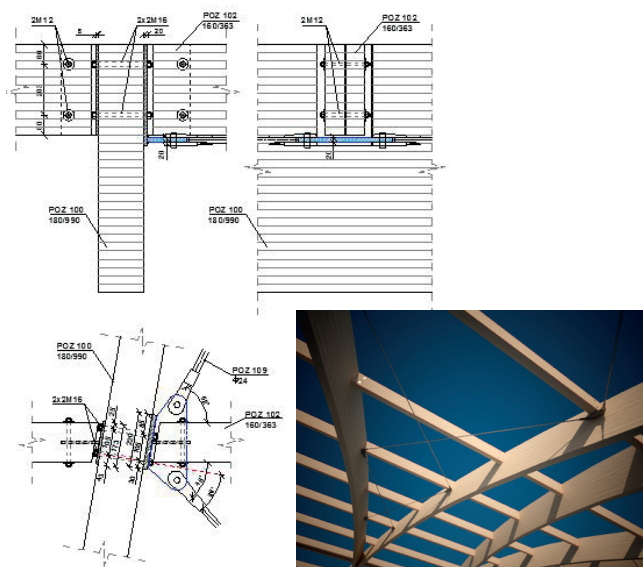
Slika 16. Analiza naprezanja na savijanje modela KE donje podložne ploče stupa [1]

Model 1 predstavlja podložnu ploču stupa bez priključka dijagonala sprega (proračunska sila u stupu je $N_{E,d} = 255,3$ kN), a model 2 odnosi na detalj s priključkom dijagonale sprega (vidjeti i Sliku 18) i silama $N_{E,d} = 123,9$ kN u stupu i $N_{E,d} = 119,5$ kN u dijagonali.

2.4.3. Prostorna stabilizacija glavne nosive konstrukcije

Konstrukcija je stabilizirana s dva krovna poprečna sprega oslonjena na vertikalne spregove u drugom i predzadnjem polju (Slika 2). Vlačne dijagonale su promjera $d = 24$ mm, kvalitete čelika S460 i izvedene tipskim rješenjima proizvođača Halfen-DeHa (prema katalogu Detan Tension Rod System, profil Ø24 može prihvatiti vlačnu silu $Z_{max,d} = 160$ kN). Priključci dijagonala na glavne nosače i stupove izvedeni su tipskim

vilicama i pločama od čelika S355. Zbog primjene tipskih rješenja dodatno su provedene samo provjere otpornosti zavaru u čeličnim dijelovima priključaka [1]. Karakteristični su priključci prikazani na Slikama 17 i 18.

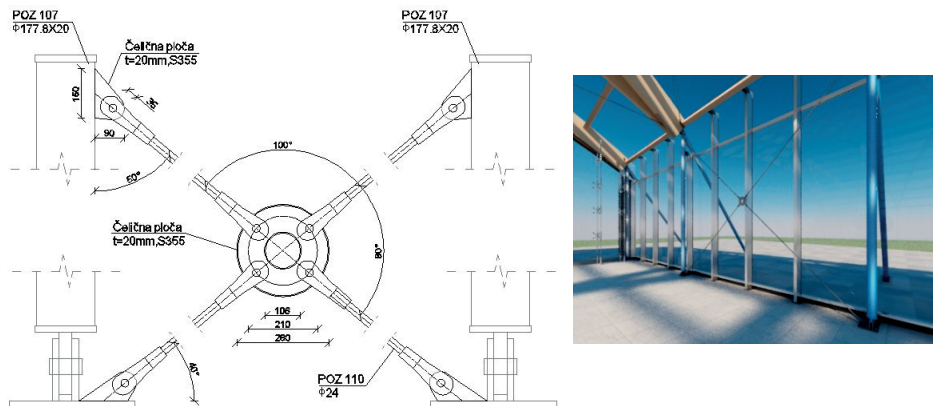


Slika 17. Karakteristični priključak ispune krovnog sprega na glavne nosače [1]

Rezultati statičke analize prostornog modela glavne nosive konstrukcije s proračunskim kombinacijama u kojima je jedno od promjenjivih djelovanja horizontalni utjecaj (doprinos bočnih deformiranja nosača od vertikalnih utjecaja, vjetar uzdužnog smjera i trenje) pokazali su da povećane unutrašnje sile i koso savijanje ne utječu značajno na presjek i stabilnost glavnih nosača (Tablica 4). Jedina promjena presjeka (širina povećana s $b = 160$ mm na $b = 200$ mm) odnosi se na rubne podrožnice ($L = 7,0$ m) u sastavu sprega (Slika 2).

Tablica 4. Proračunske unutrašnje sile i momenti savijanja u pojasnim elementima krovnog sprega (glavni nosači) za modele s vertikalnim i horizontalnim djelovanjima

Unutrašnje sile i momenti savijanja	Vertikalni utjecaji	Horizontalni utjecaji
Oсна tlačna sila	308,44 kN	333,20 kN
Poprečna sila	17,85 kN	18,37 kN
Moment savijanja u polju	132,74 kN	140,65 kN



Slika 18. Karakteristični priključci ispune vertikalnog sprega na stupove [1]

3. Projektna rješenja konstrukcija stakleno aluminijskih fasada

3.1. Konstrukcija uzdužne stakleno aluminijske fasade

Fasadu čine vertikalni aluminijski profili koji su na gornjem kraju slobodno oslonjeni na rubne podrožnice glavne drvene konstrukcije i čelične stupove, a na donjem se kraju zglobno oslanjaju na temelj (Slika 18). Staklo je dimenzija 1750x5200 mm, na krajevima se oslanja na horizontalne aluminijske profile, a na rubovima na vertikalne. Izolacijsko je, izvedeno od dva sloja laminiranog stakla 5+5mm s međuslojem zraka debljine $s = 16$ mm (5+5AN/16/5+5AN). Prekinuto je ispod prodora kosih stupova koji je izveden kroz trapezni lim od kojeg je i pokrov, ali je proračunska visina stakla usvojena kao ukupna visina fasade ($h = 6000$ mm), a zamjena gornjeg dijela limom je zanemarena [1]. Proračun stakla usklađen je s dijelom 3 nacrtu europske norme prEN 13474 [9], a proračunske debljine stakla 1 i 2 (slojevi $t_1 = t_2 = 10,76$ mm) usvojene s $h_{ef,w} = 7,59$ mm u proračunu progiba i $h_{ef,\sigma} = 8,37$ mm u proračunu naprezanja [1]. Naprezanja i progibi određeni su analizom modela s plošnim KE u programu Strauss7 (Slika 19). U proračunskim je kombinacijama [1, 4] uzeto u obzir opterećenje vjetrom $w = 0,712$ kPa (Tablica 3) i linijsko uporabno opterećenje (engl. imposed load) $q_{IL} = 1,5$ kN/m na visini 1,05 m, definirano prema [8]. Za analizu naprezanja mjerodavna je proračunska kombinacija $\gamma_Q \cdot (q_{IL} + \psi_{0,w} \cdot q_w)$ s parcijalnim faktorom za djelovanja $\gamma_Q = 1,1$ i kombinacijskim faktorom za prateći utjecaj vjetra $\psi_{0,w} = 0,6$. Kombinacija $(\psi_{1,IL} \cdot q_{IL} + \psi_{2,w} \cdot q_w)$ s faktorima kombinacije $\psi_{1,IL} = 0,7$ i $\psi_{2,w} = 0,2$ je mjerodavna u proračunu progiba [1]. Pretpostavka proračuna izo-stakla jest ravnomjerna raspodjela opterećenja na oba sloja (faktori raspodjele

$\delta_1 = \delta_2 = 0,5$ i $k_5 = 0,0061$). Karakteristične duljine $a_{w(\sigma)}^*$ i faktori $\varphi_{w(\sigma)}$ [1] za opterećivanje stakla u analizi modela određeni su prema izrazima (1) i (2) preuzetim iz [9] gdje se oznake w i σ primjenjuju u analizama progiba i naprezanja s proračunskim debljinama stakla $h_{ef,w}$ i $h_{ef,\sigma}$.

$$a_{w(\sigma)}^* = 28,9 \cdot \left[\frac{s \cdot h_{ef,w(\sigma)}^6}{2h_{ef,w(\sigma)}^3 \cdot k_5} \right]^{-0,25} \quad (1)$$

$$\varphi_{w(\sigma)} = \frac{l}{l + (a/a_p^*)^4} \quad (2)$$

Proračunate vrijednosti za analizu progiba su $a_w^* = 295$ mm i $\varphi_w = 0,0409$, odnosno $a_\sigma^* = 856$ mm i $\varphi_\sigma = 0,0541$ za analizu naprezanja [1]. Raspodjelu uporabnog opterećenja i vjetra na svako staklo treba odrediti prema općim izrazima (3) i (4) preuzetim iz [9] u kojima se oznaka q_1 odnosi na vjetar ili uporabno opterećenje stakla 1, a oznaka q_2 na ista takva opterećenja stakla 2.

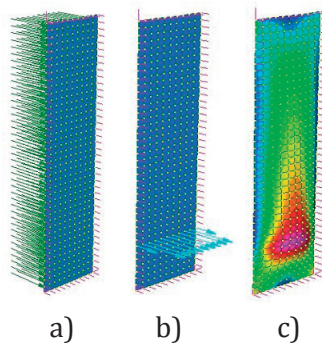
$$F_{d,w(\sigma),q_1} = (\delta_1 + \varphi_{w(\sigma)} \cdot \delta_2) \cdot q_1 \quad (3)$$

$$F_{d,w(\sigma),q_2} = (1 - \varphi_{w(\sigma)}) \cdot \delta_2 \cdot q_2 \quad (4)$$

Proračunska opterećenja (Slika 19) u analizi progiba su $F_{d,w,w1} = 0,371$ kPa za vjetar i $F_{d,w,IL1} = 0,781$ kN/m za uporabno opterećenja na staklo 1, te $F_{d,w,w2} = 0,341$ kPa i $F_{d,w,IL2} = 0,719$ kN/m za takva opterećenja na staklo 2. Odgovarajuće vrijednosti u analizi naprezanja su $F_{d,\sigma,w1} = 0,375$ kPa za vjetar i $F_{d,\sigma,IL1} = 0,791$ kN/m za uporabno opterećenje na staklo 1, odnosno $F_{d,\sigma,w2} = 0,337$ kPa i $F_{d,\sigma,IL2} = 0,709$ kN/m za staklo 2 [1]. Proračunska čvrstoća normalnog stakla na savijanje određena je prema izrazu (5) preuzetom iz [8]:

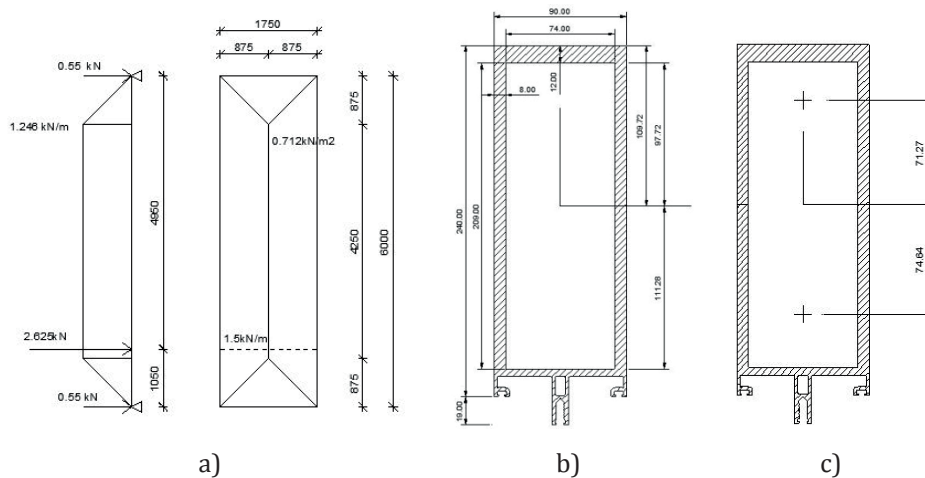
$$f_{g,d} = k_{mod} \cdot k_{sp} \cdot f_{g,k} / \gamma_{mA} \quad (5)$$

Simboli i pridružene im vrijednosti za normalno staklo (AN) u izrazu (5) su: $f_{g,k} = 45$ MPa je karakteristična čvrstoća na savijanje, $k_{mod} = 0,74$ je faktor izmjene za kratkotrajno opterećenje vjetrom, $k_{sp} = 1$ je faktor površine stakla, a $\gamma_{mA} = 1,8$ je faktor sigurnosti za materijal. Rezultati analize modela (Slika 19) pokazuje da najveće naprezanje zadovoljava provjeru jer je $\sigma_{max} = 16,21$ MPa < $f_{g,d} = 18,5$ MPa. Najveći je progib stakla $w_{max} = 13,1$ mm manji od dopuštene vrijednosti određene prema [8], $1750/60 = 29,2$ mm [1].



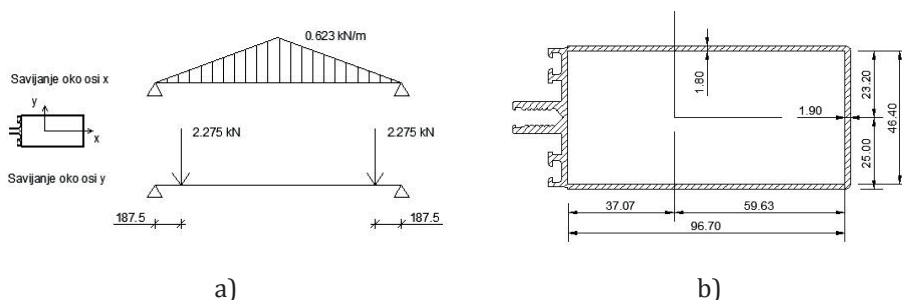
Slika 19. Proračunski model stakla i raspodjele djelovanja od vjetra (a) i uporabnog opterećenja (b) i rezultati analize naprezanja za kombinaciju (c) [1]

Vertikalni i horizontalni aluminijski profili su od aluminijske legure EN-AW 6063 T6. Simboli su u skladu s normom (HRN) EN 1991-1-1 i označavaju kovanu leguru AlMg0,7Si čije je očvršćavanje rezultat toplinske obrade i umjetnog starenja, a razvrstana je u razred izvijanja A (zbog visoke čvrstoće popuštanja i očvršćavanja mehanizmom tople kupke i obradom T6). Granica proporcionalnosti je $f_{0,2} = 160$ MPa, vlačna čvrstoća $f_u = 195$ MPa, a parcijalni faktori za materijal su $\gamma_{M1} = 1,1$ i $\gamma_{M2} = 1,25$ (za vlačno napregnute elemente). Na Slikama 20 i 21 prikazani su proračunski modeli raspodjele opterećenja i odabrani tipski presjeci vertikalnih i horizontalnih aluminijskih profila.



Slika 20. Proračunski model za utjecaj vjetra i uporabno opterećenje (a) na slobodno oslonjen vertikalni aluminijski profil (b) i (c) [1]

Tipski vertikalni Al-profil (Slika 20.b) razvrstan je u razred 1 otpornosti presjeka i zadovoljio je provjeru otpornosti na savijanje, $M_{E,d}/M_{Rd} = 0,15 < 1$ prema [7] s proračunskim momentom savijanja $M_{E,d} = 8,17$ kNm za model opterećenja prema Slici 20.a) i plastični moment otpora $W_{x,pl} = 376,7$ cm³ proračunat prema slici 20.c). Element je zadovoljio provjeru na bočno izvijanje prema normi BS 8118 (Structural use of Aluminium) s $M_{E,d}/M_{R\alpha} = 0,97 < 1$ i provjeru uporabljivosti s najvećim progibom $w_{max} = 10$ mm $< w_{dop} = 15$ mm [1]. Horizontalni profil (Slika 21) prihvaća vlastitu i težinu stakla ($G_s = 5,15$ kN) savijanjem oko osi x i dio opterećenja vjetrom savijanjem oko jače osi y.



Slika 21. Proračunski model za opterećenje (a) na b) slobodno oslonjen horizontalni aluminijski profil Metra NC 6062 [1]

Za savijanje oko x-osi presjek je razvrstan u razred otpornosti 1 (duktilan je za unutrašnji dio pod gradijentom napreznja), odnosno u razred otpornosti 4 (vitki presjek za unutrašnji dio bez gradijenta napreznja, proračunske debljine gornjeg pojasa 1,13 mm). Za savijanje oko y-osi presjek je polukompaktan, razreda otpornosti 3. Proračunski moment savijanja oko x-osi je $M_{E,d,x} = 0,58$ kNm, proračunski moment otpora je $W_{x,ef} = 8,68$ cm³ pa presjek dostiže 46% proračunske otpornosti [1, 7]. Koso savijani presjek s dodatnim proračunskim momentom savijanja $M_{E,d,y} = 0,21$ kNm i otpornošću $M_{Rd,y} = 2,65$ kNm dostiže 54% otpornosti. Zadovoljavaju [1] i provjere elementa na bočno izvijanje (12% nosivosti) i progib (najveći progib $w_{max} = 12$ mm je 80% dopuštenog progiba, $w_{dop} = 15$ mm). Na Slikama od 22 do 26 prikazani su karakteristični detalji čiji je proračun detaljno proveden u [1] i usklađen s nadležnim normama [6, 7 i 8].

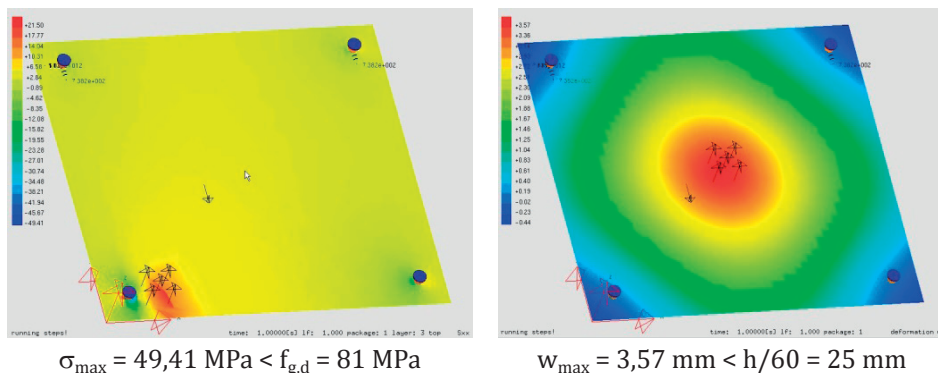
3.2. Konstrukcija ovješene stakleno aluminijske fasade na zabatima

Stakleno aluminijska fasada na zabatima ovješena je na dvozglodne lukove koji su krajnji lamelirani nosači glavne konstrukcije. Sustav ovješene fasade (Slika 2) čine dvije prednapete čelične zatege promjera 34 mm ($\emptyset 34$ MacAlloy S460), međusobno povezane horizontalnim cijevnim elementom 40/3 mm i dugim 800 mm preko kojeg se opterećenje jedne zatege prenosi na susjednu. Veza zatega i krutih cijevnih profila je zavarena. Nosivost odabranog profila zatege je $N = 380$ kN. Staklo je točkasto oslonjeno, a opterećenje se na zatege prenosi u četiri točkasta oslonca tzv. „pauka“ (engl. spider). Gornji oslonci prihvaćaju reakcije i od vjetra i od vlastite težine stakla, a donji samo reakcije od vjetra. Najniži red oslonaca mora prihvatiti i koncentriranu silu od 1,5 kN tj. reakciju od uporabnog opterećenja. Mjerodavna je za proračun najopterećenija (najduža) zatega u sredini raspona zabata. Staklo je izolacijsko, sastavljeno od dva sloja laminiranog stakla 6+6mm i srednjeg sloja zraka debljine 16mm (6AN+6FT/16/6AN+6FT). Zbog velike koncentracije naprezanja oko pauka jedan je sloj normalnog stakla (AN) zamijenjen kaljenim staklom (FT). Fasada zabata mora pratiti geometriju luka pa stakla nisu istih dimenzija: 1600x1500 mm je osnovna dimenzija, širina od 1600 mm je stalna, a visina promjenjiva. Provjere su zato provedene za karakteristična stakla, za najniže staklo i za ono najveće visine, $h = 2346$ mm [1]. Proračun stakla usklađen je s [9], a proračunske debljine slojeva stakala 1 i 2, $t_1 = t_2 = 12,76$ mm, usvojene s $h_{ef,w} = 9,11$ mm u proračunu progiba i $h_{ef,\sigma} = 10,04$ mm u proračunu naprezanja [1]. Naprezanja i progibi određeni su analizom modela s plošnim konačnim elementim (KE) u računalnom programu Strauss 7. Gornje staklo opterećeno je vjetrom $w = 0,712$ kPa (Tablica 2). Pretpostavka proračuna [1, 9] je ravnomjerna raspodjela opterećenja vjetrom na oba sloja izostakla s faktorima $\delta_1 = \delta_2 = 0,5$ i $k_5 = 0,0165$. U skladu s izrazima (1) i (2) proračunane karakteristične duljine i faktori [1] za analizu progiba su $a_w^* = 711$ mm i $\varphi_w = 0,0376$, odnosno $a_\sigma^* = 765$ mm i $\varphi_\sigma = 0,0496$ za analizu naprezanja. Raspodjela opterećenja vjetrom na svako staklo određena je prema izrazima (3) i (4) za proračunska opterećenja vjetrom $q_1 = F_{d,\sigma} = 1,1w = 0,78$ kPa (provjera naprezanja) i $q_1 = F_{d,w} = 0,9w = 0,64$ kPa (provjera progiba). Proračunska opterećenja u analizi progiba su: $F_{d,w,w1} = 0,33$ kPa za opterećenje vjetrom na staklo 1, odnosno $F_{d,w,w2} = 0,31$ kPa za staklo 2. Odgovarajuće vrijednosti u analizi naprezanja su: $F_{d,\sigma,w1} = 0,41$ kPa za staklo 1 i $F_{d,\sigma,w2} = 0,37$ za staklo 2. Proračunska čvrstoća stakla na savijanje, $f_{g,d} = 81$ MPa, određena je prema sljedećem izrazu, također preuzetim iz [9]:

$$f_{g,d} = k_{mod} \cdot k_{sp} \cdot f_{g,k} / \gamma_{mA} + k_v \cdot (f_{b,k} - f_{g,k}) / \gamma_{Mv} \quad (6)$$

gdje su prvi dio izraza i simboli u njemu isti kao u izrazu (5), a simboli drugog dijela izraza označavaju čvrstoću na savijanje kaljenog stakla,

$f_{b,k} = 160$ MPa, $k_v = 1$ i parcijalni faktor za materijal $\gamma_{Mv} = 1,2$. Najveće je naprezanje u staklu $\sigma_{max} = 16,8$ MPa, a najveći progib $w_{max} = 29,7 < h/60 = 39,1$ mm [1]. Donje je staklo (1600x1500 mm) opterećeno proračunskom kombinacijom vjetra i uporabnog opterećenja, a analize su provedene u programu Mepla (Slika 27). Proračunsko uporabno opterećenje u analizi naprezanja je koncentrirana sila na površini 100x100 mm oko „pauka“, a u provjeri je progiba linijsko opterećenje na sredini visine stakla tj. 750 mm od poda. Provjere nosivosti zatega i veznih cijevnih elementa provedene su u programu Strauss7 nakon analiza raspodjele opterećenja na zategu (Tablica 5) i nosivosti točkastih oslonaca stakala (Tablica 6 i Slika 27). Analize nosivosti zatega provedene su na dva modela [1]: potpuno kruta glavna konstrukcija tj. nepopustljivi oslonci zatega pretpostavka su Modela 1, dok su popustljivi oslonci zatega pretpostavka Modela 2.



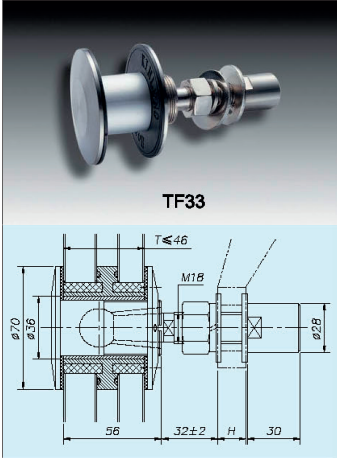
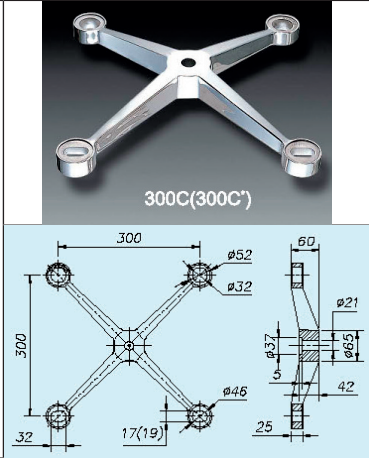
Slika 27. Modeli točkasto oslonjenog stakla i analize u računalnom programu Mepla [1]

Tablica 5. Analiza raspodjele opterećenja po visini zatege [1]

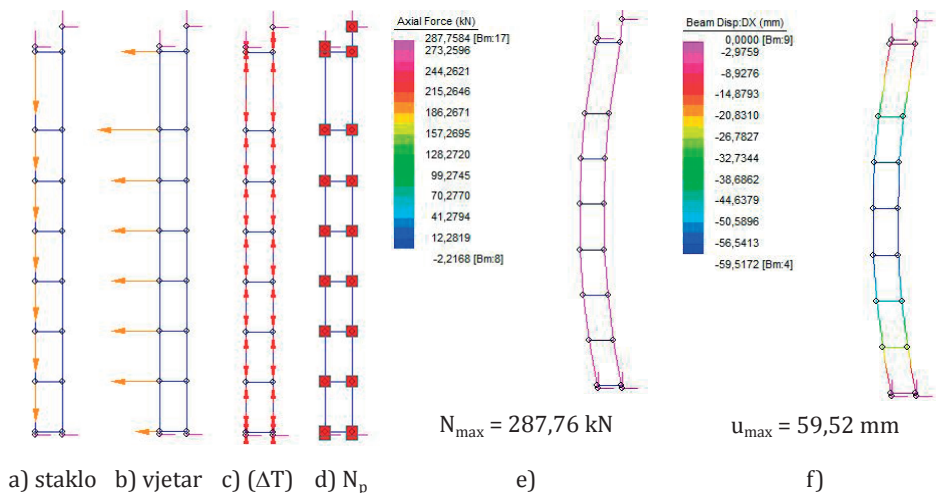
Opterećenje vjetrom na fasadu	$w = 0,712 \text{ kPa}$	
Opterećenje od vlastite težine donjeg stakla ($a \times h_1 = 1600 \times 1500 \text{ mm}$)	$G_1 = 1,41 \text{ kN}$	
Opterećenje od vlastite težine gornjeg stakla ($a \times h_1 = 1600 \times 2346 \text{ mm}$)	$G_2 = 2,21 \text{ kN}$	
Opterećenje vjetrom na gornje staklo	$w_1 = 1,71 \text{ kPa}$	
Opterećenje vjetrom na donje staklo	$w_2 = 2,67 \text{ kPa}$	
Opterećenje vjetrom na prijelazu iz gornjeg stakla u donje staklo, $w_3 = (w_1 + w_2) / 2$	$w_3 = 2,19 \text{ kPa}$	
Sila prednapinjanja	$N_p = 200 \text{ kPa}$	
Opterećenje zatege temperaturom	$\Delta T = 35 \text{ K}$	

Detaljniji pregled kombinacija opterećenja u analizama graničnih stanja nosivosti (GSN) i uporabljivosti (GSU) te provjere otpornosti mogu se pronaći u [1]. Za provjere nosivosti zatege mjerodavna je proračunska kombinacija sa stalnim opterećenjem, silom prednapinjanja i vjetrom. Za provjere otpornosti presjeka horizontalnih cijevnih elemenata od nehrđajućeg čelika (razvrstan je u razred 1. otpornosti) i stabilnosti na bočno izvijanje zbog proračunske sile $N_{C,Ed} = 2,3 \text{ kN}$ [1] mjerodavnom se pokazala kombinacija sa stalnim opterećenjem, silom prednapinjanja, vjetrom i temperaturom.

Tablica 6. Nosivosti tipskih točkastih oslonaca (engl. routel) i „pauka“ (engl. spider) prema proizvodnom katalogu Point-fixed glass wall fittings

 <p style="text-align: center;">TF33</p>	Kin Long Routel TF 33	 <p style="text-align: center;">300C(300°)</p>	Kin Long Spider 300C (300°) Series
Nosivosti za osnu proračunsku silu $R_{max} = 2,63 \text{ kN}$ (usis vjetra):			
$N_{r,Rd,a} = 6,5 \text{ kN} > R_{max}$	$N_{r,Rd,a} = 6,0 \text{ kN} > R_{max}$		
Nosivosti na radijalnu proračunsku silu $R_{g,max} = 1,49 \text{ kN}$ (vlastita težina stakla):			
$N_{r,Rd,r} = 2,5 \text{ kN} > R_g$	$N_{r,Rd,r} = 2,5 \text{ kN} > R_g$		

Za prevladavajuće drvenu glavnu konstrukciju (svakako ne potpuno krutu), Model 1 u osnovi i nije realan. Model 2 zahtijevao je povećanje krutosti što se nastojalo ostvariti dvostrukim presjecima rubnih dvozglobnih lukova (Tablica 3, poz 101) odnosno povećanjem početnog presjeka na 2x180/990 mm tako da krutost glavne konstrukcije u y-smjeru i za opterećenje jednom prednapetom zategom iznosi $k_y = 6,25 \text{ kN/mm}$ [1]. Tablica 7 sadrži prikaze rezultata [1] proračuna za različite sile prednapinjanja najduže zatege gdje je $N_{t,max}$ najveća sila u zatezi nakon nanošenja opterećenja, w_{max} je najveći progib fasade, a w_L progib zabatnog luka. Navedeni su i podaci o postotku iskorištenja kabela [1].

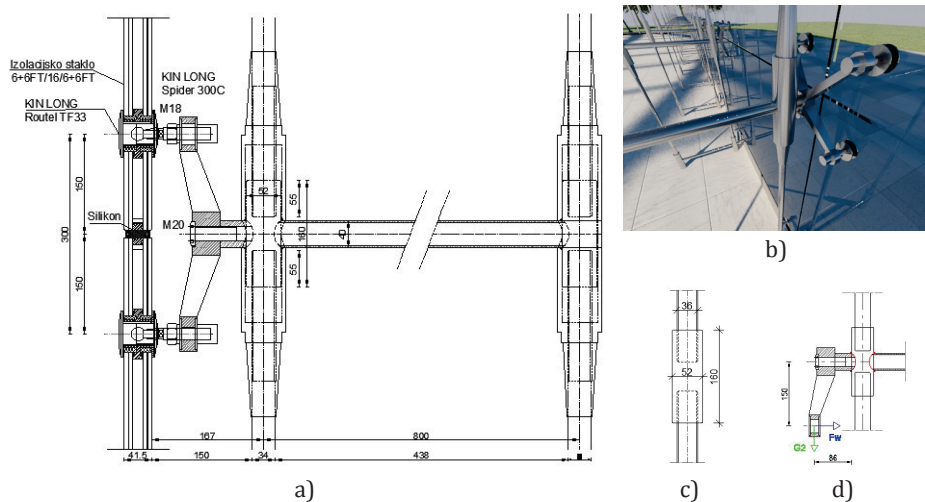


Slika 28. Model 2 s popustljivim osloncima – od a) do d) opterećenje i rezultati analize u programu Strauss7 – e) najveća proračunska sila N_{max} i f) najveći progib u_{max} [1]

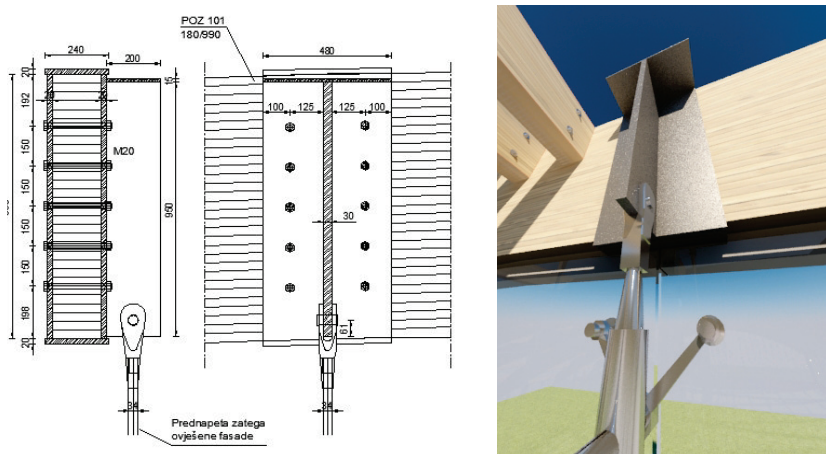
Tablica 7. Rezultati proračuna za različite sile prednapinjanja zatege [1]

Sila prednapinjanja [kN]	$N_{t,max}$ [kN]	w_{max} [mm]	w_L [mm]	Iskorištenje kabela
200 kN	104,55	148,61	11,09	28%
400 kN	172,75	87,19	18,39	45%
500 kN	211,75	69,93	22,89	56%

U detaljnije provedenom proračunu trebalo bi uzeti u obzir i progibe glavne konstrukcije od ostalih djelovanja (npr. vlastita težina, snijeg), a luk opteretiti silama iz svih zatega što bi povećalo i progibe (luka i fasade) i sile pritezanja u zategama. Djelovanja koja fasada na taj način unosi u glavnu konstrukciju su značajna pa bi trebala biti sastavni dio modela glavne konstrukcije. Na Slikama 29 i 30 prikazani su karakteristični detalji, a proračun i sve potrebne provjere priključaka mogu se pronaći u [1]. Za detalj prikazan na slici 29 provedene su provjere navoja zatege (vijak M36), spojnice nastavka s cijevnim profilom i vara cijevnog profila na spojnicu [1] debljine $a = 8 \text{ mm}$.



Slika 29. a) Priključak zatege na cijevni horizontalni profil; b) vizualizacija priključka; c) nastavak zatege i d) shema opterećenja vara [1]



Slika 30. Priključak zatege na glavni nosač konstrukcije [1]

Priključak zatege na dvodijelni dvozglojni lamelirani luk [1] izveden je čeličnim prstenom koji obuhvaća cijeli presjek luka. Na prsten je zavarena čelična ploča T-presjeka na koju se standardnom MacAlloy vilicom prihvaća zatega fasade. Sila iz zatege prenosi se nalijeganjem gornje ploče prstena na drveni luk, a vijci M20 samo su konstruktivna veza. Rupa za vijak u čeliku je promjera $d_0 = 22$ mm (2 mm veće od promjera vijka) što omogućava male pomake ploče bez dodatnog opterećivanja vijaka (Slika 30). Provjere nosivosti čeličnog prstena (kvalitete čelika S355) i T-ploče provedene su u programu Strauss7 i detaljnije prikazane u diplomskom radu [1].

4. Zaključak

Sustav prostorno raspoređenih trozglobnih lukova pokazao se povoljnim sa stajališta nosivosti i stabilnosti, ali se prepoznaju mogući problemi u izvedbi. Rotacijom lukova u dijagonalnu poziciju u odnosu na stupove, rotiraju se i poprečni presjeci lukova (npr. na istom je rubu jedan brid viši od drugog) što otežava postavljanje podrožnica i pokrova. Pravilna izvedba priključaka u sljemenu i na osloncima zahtijeva vrlo precizno oblikovanje krajeva glavnih nosača. Proračun ovješene fasade na dva modela (kruti i popustljivi) pokazao je da su sile pritezanja zatega takve da ih drveni lukovi ne mogu prihvatiti bez značajnih progiba što potvrđuje da djelovanja koja ovješena fasada preko zatega unosi u glavnu konstrukciju treba biti sastavni dio modela glavne konstrukcije. Moguća su rješenja ovog problema sljedeća: projektirati glavnu konstrukciju veće krutosti (ne nužno drvenu) ili i na zabatu drvene konstrukcije primijeniti „stick“ sustav projektiran za uzdužne stijene.

Literatura

- [1] Cupać, J., *Projekt izložbene dvorane s prostornom lameliranom lučnom konstrukcijom krova i stakleno aluminijskom fasadom*. diplomski rad, Rijeka, 2010.
- [2] EN 1991-1-3:2003. *Actions on structures - General actions - Part 1-3: Snow loads*, CEN Brussels, 2003.
- [3] EN 1991-1-4:2005. *Actions on structures - General actions - Part 1-4: Wind actions*, CEN Brussels, 2005.
- [4] EN 1990:2002. *Basis of structural design*, CEN Brussels, 2002
- [5] DIN ENV 1052:2000, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau, DIN Berlin 2004
- [6] EN 1993-1-8:2005. *Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints*, CEN Brussels, 2005
- [7] EN 1999-1-1:2007. *Design of aluminium structures – Part 1-1: General structural rules*, CEN Brussels, 2007
- [8] EN 1993-1-1:2005. *Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*, CEN Brussels, 2005.
- [9] prEN 13474-3:2008. *Glass in building*, CEN Brussels, 2008

FAKTORI IZBOČIVANJA I KRITIČNA NAPREZANJA POJASNICA ČELIČNIH NOSAČA OTVORENIH POPREČNIH PRESJEKA

BUCKLING FACTORS AND CRITICAL STRESSES OF OPEN CROSS SECTION STEEL BEAM FLANGES

Mateo ČAKARUN*, Mladen BULIĆ*

Sažetak

U radu je obrađena stabilnost pločastih elemenata čeličnih nosača otvorenih poprečnih presjeka koji su opterećeni u svojoj ravnini. Najprije su objašnjeni neki osnovni pojmovi vezani za izbočivanje pločastih elemenata te su pokazane vrijednosti faktora izbočivanja za različite rubne uvjete i različita opterećenja. Na konkretnom primjeru I poprečnog presjeka prikazano je određivanje faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja za hrbat i pojasnicu primjenom specijaliziranog računalnog programa EBPlate te uporabom gotovih vrijednosti danih u postojećoj literaturi. Usporedbom dobivenih vrijednosti uočavaju se znatno manje vrijednosti faktora izbočivanja, a time i kritičkog naprezanja kod pojasnice u odnosu na vrijednosti kod hrpta.

Ključne riječi: faktor izbočivanja, kritično naprezanje, stabilnost pločastog elementa, računalni program EBPlate, eurokod

Abstract

The stability of steel plate elements of open cross section steel beams subjected to loading in their own plane is analyzed in the paper. First, some basic notions related to the buckling of plate elements are explained and the values of buckling factors for different boundary conditions and various loads are shown. For the specific example

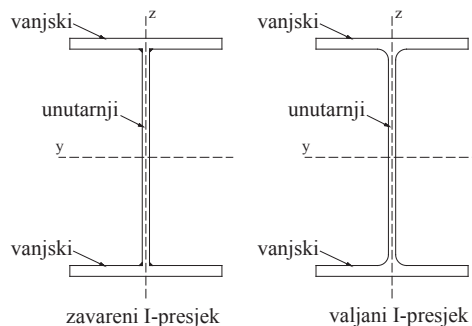
* Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, R. Matejčić 3, 51000 Rijeka
E-mail: {mateo.cakarun,mladen.bulic}@gradri.hr

of the I cross section, the buckling factors and the critical buckling stresses are determined for the web and the flange using a specialized software program EBPlate and by using the values provided in the existing literature. By comparing the obtained values, significantly lower values of the buckling factor, and thus of the critical stress of the flange regarding to the web, were observed.

Key words: buckling factor, critical stress, plate element stability, computer program EBPlate, eurocode

1. Uvod

Poprečni presjeci konstrukcijskih elemenata, bili oni unutarnji ili vanjski, mogu se razmatrati kao da su sastavljeni iz pločastih elemenata od kojih su neki unutarnji (hrptovi otvorenih poprečnih presjeka), a neki vanjski (pojasnice otvorenih poprečnih presjeka), Slika 1 [1].



Slika 1. Pločasti elementi (zavareni ili valjani) od kojih je sastavljen I-nosač

Budući da su pločasti elementi poprečnih presjeka relativno tanki u usporedbi sa njihovom širinom, kada su tlačno naprezani (kao rezultat uzdužne tlačne sile ili savijanja), mogu se lokalno izbočiti [2]. Lokalno izbočivanje pločastog elementa, bez obzira radi li se o pojasnici ili hrptu, sprječava dosizanje tečenja presjeka te na taj način ograničava otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu ili otpornost poprečnog presjeka na savijanje. Fenomen lokalnog izbočivanja pločastih elemenata, a time i mogućnost preuranjenog otkazivanja, može se izbjeći ograničenjem odnosa širina-debljina pojedinog pločastog elementa ili dodavanjem ukrućenja. Navedeni problem lokalnog izbočivanja kontrolira se uvođenjem faktora izbočivanja.

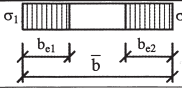
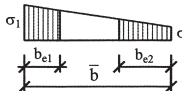
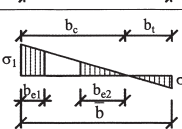
U postojećoj literaturi i u europskim normama vrijednosti faktora izbočavanja obično su dane kao gotove brojčane vrijednosti ovisno o rubnim uvjetima elemenata i raspodjeli naprezanja za vanjske i unutarnje elemente otvorenih poprečnih presjeka, a u posljednje vrijeme se koristi gotov specijalizirani računalni program EBPlate [3], koji je utemeljen na europskoj normi EN 1993-1-5 [4]. Cilj ovoga rada je pokazati kako se dobiju te vrijednosti faktora izbočavanja za proizvoljne rubne uvjete, raspodjelu naprezanja i odnos dužine i širine. Bitna razlika u odnosu na rad [5] je određivanje faktora izbočavanja i kritičnog naprezanja za pojasnicu otvorenog poprečnog presjeka, kao pločastog elementa s jednim slobodnim rubom.

U nastavku će se pokazati kako su nastale vrijednosti faktora izbočavanja iz Tablice 1 i Tablice 2, zatim će se uraditi primjer s takvim rubnim uvjetima koji odgovaraju hrptu i pojasnici odabranog I poprečnog presjeka (Tablice 1 i 2 izrađene su prema tablicama 4.1. i 4.2 u normi EN 1995-1-5) [4].

Tablica 1. Vrijednosti faktora izbočavanja za vanjski element u tlaku [1]

TLAČNI ELEMENTI PRIDRŽANI NA JEDNOM KRAJU (VANJSKI ELEMENTI)					
RASPODJELA NAPONA (TLAK POZITIVAN)			SUDJELJUJUĆA ŠIRINA b_{eff}		
			$1 > \psi \geq 0$ $b_{\text{eff}} = \rho \cdot c$		
			$\psi < 0$ $b_{\text{eff}} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot c}{1 - \psi}$		
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	-1	0	-1	$+1 \geq \psi \geq -1$	
KOEFICIJENT IZBOČAVANJA k_{σ}	0.43	0.57	0.85	$0.57 - 0.21 \cdot \psi + 0.07 \cdot \psi^2$	
			$1 > \psi \geq 0$ $b_{\text{eff}} = \rho \cdot c$		
			$\psi < 0$ $b_{\text{eff}} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot c}{1 - \psi}$		
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	+1	+1 > ψ > 0	0	0 > ψ > -1	-1
KOEFICIJENT IZBOČAVANJA k_{σ}	0.43	$0.578 / (\psi + 0.34)$	1.70	$1 - 7 - 5\psi + 17.1\psi^2$	23.8

Tablica 2. Vrijednosti faktora izbočivanja za unutarnji element u tlaku [1]

Raspodjela napona (tlak je pozitivan)		Efektivna širina b_{eff}	
	$\psi = 1$; $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$		
	$1 > \psi \geq 0$; $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
	$\psi < 0$; $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,4 b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1 $1 > \psi > 0$ 0	$0 > \psi > -1$ -1 $-1 > \psi > -3$	
Faktor k_σ	4,0 $8,2 / (1,05 + \psi)$ 7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$ 23,9 $5,98 (1 - \psi)^2$	

Europski centar za normizaciju CEN prepoznao je važnost normizacije proračuna i dimenzioniranja tlačno opterećenih pločastih nosača te je uvedena posebna norma EN 1993-1-5 [4] pod nazivom PLATED STRUCTURAL ELEMENTS za čiju primjenu su izrađeni posebni komentari i riješeni primjeri [6, 7]. Budući da je primjena te norme relativno zahtjevna, za lakšu uporabu navedene norme izrađen je specijalizirani računalni program EBPlate [3] koji se temelji na teoriji tankih ploča opterećenih u svojoj ravnini. Računalni program određuje faktore izbočivanja k_σ i kritična naprezanja σ_{cr} vezano za elastično izbočivanje pločastih nosača različitih rubnih uvjeta, s ukrućenjem ili bez ukrućenja limova opterećenih u svojoj ravnini [5]. Računalni program EBPlate ima mogućnost određivanja faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja pločastih elemenata slobodno oslonjenih, upetih ili elastično upetih na sva svoja 4 ruba (npr. hrptovi otvorenih poprečnih presjeka) te ne podržava mogućnost određivanja faktora izbočivanja k_σ i kritičnog naprezanja σ_{cr} pločastih elemenata s jednim ili više slobodnih rubova (npr. kao što je pojasnica otvorenih poprečnih presjeka).

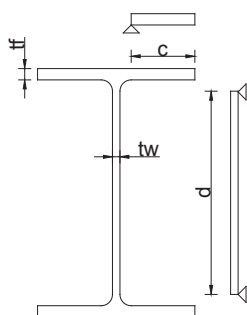
Primjenom računalnog programa EBPlate (engl. Elastic Buckling of Plate) [3] odredit će se faktor izbočivanja k_σ i kritično naprezanje σ_{cr} za hrbat IPE450 profila, dok će se faktor izbočivanja k_s i kritično naprezanje σ_{cr} pojasnice odrediti pomoću tablica i dijagrama.

Nepoznavanje ponašanja čeličnih ploča najčešće proizlazi iz nedovoljnog razumijevanja temeljnih pojmova vezanih uz problematiku ploča, pa je stoga nužno čitateljima najprije objasniti što je to izbočivanje, kako do njega dolazi, a potrebno je nešto ukratko reći o linearnoj teoriji izbočivanja kako bi čitatelji, naročito oni koji se često ne susreću s ovom tematikom, bolje razumjeli što je to faktor izbočivanja i kritično naprezanje.

2. Izbočivanje pločastih elemenata i linearna teorija izbočivanja

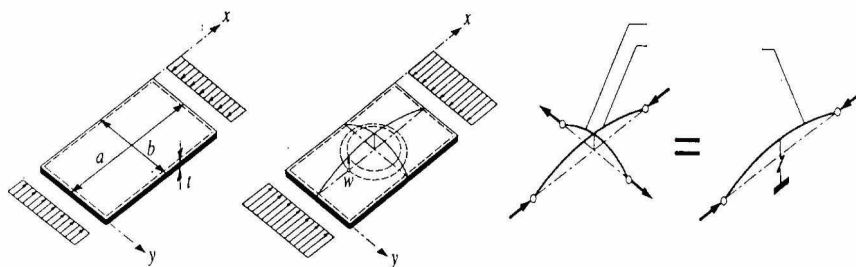
2.1. Izbočivanje pločastih elemenata

Izbočivanje je pojava gubitka stabilnosti tankih ploča opterećenih u svojoj ravnini. Budući da su punostijeni pločasti nosači sastavljeni od pojasnica i hrptova koji su zapravo ploče opterećene u svojoj ravnini, poprečni se presjek punostijenih limenih nosača stoga može modelirati kao skup pojedinačnih pločastih elemenata izloženih tlačnim naprezanjima [2], Slika 2.



Slika 2. Poprečni presjek elementa kao skup pojedinačnih pločastih elemenata

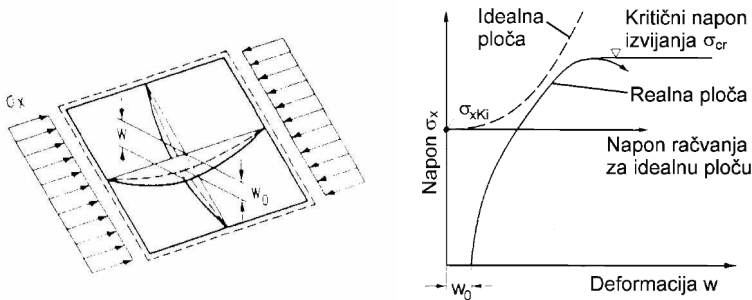
Teorijska rješenja ponašanja ploče najčešće se svode na pravokutnu, na sve četiri strane slobodno oslonjenu ploču koja je duž dvije paralelne strane opterećena tlačnim naprezanjima [2], Slika 3.



Slika 3. Izbočivanje pravokutne ploče izložene tlačnim naprezanjima [2]

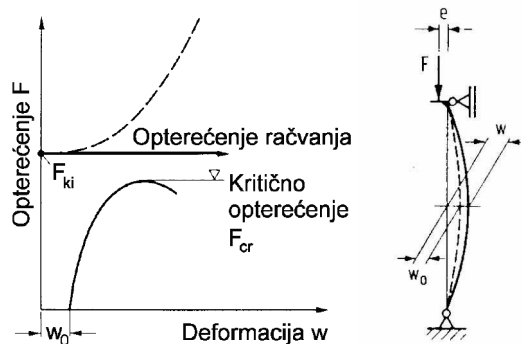
Pri malom opterećenju ploča se ne deformira okomito na svoju ravninu; povećanjem opterećenja prvo se javljaju elastične deformacije okomito na ravninu koje nestaju nakon uklanjanja opterećenja. Daljnjim povećanjem

opterećenja dolazi do izbočivanja (trajne deformacije), a naprezanje pri kojemu se to događa naziva se kritično naprezanje elastičnog izbočivanja σ_{cr} . Iako je došlo do izbočivanja, ploča još uvijek može prenijeti dodatno opterećenje prije otkazivanja, Slika 4, te se time bitno razlikuje od ponašanja štapa izloženog uzdužnoj tlačnoj sili, Slika 5, [2].



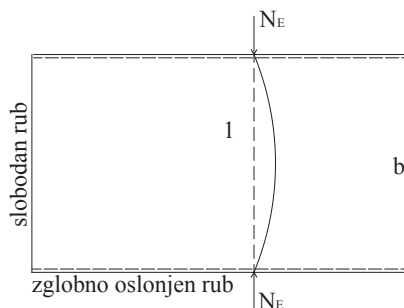
Slika 4. Izbočivanje pravokutne ploče izložene tlačnim naprezanjima [2]

Ovaj fenomen izbočivanja može se objasniti na sljedeći način: vlakna ploče u smjeru opterećenja su izložena tlaku, ali se ne mogu slobodno izviti jer ih u tome sprječavaju zategnuta vlakna koja su okomita na njih. Ta zategnuta vlakna čine neku vrstu oslonca tlačnim vlaknima. Vlačno djelovanje ovih zategnutih vlakana proizlazi iz postojanja oslonaca ploče paralelno s pravcem djelovanja opterećenja. Kada ne bi bilo tih oslonaca, ne bi bilo ni stabilizirajuće uloge zategnutih vlakana, što bi rezultiralo manjom nosivošću, [2].



Slika 5. Izbočivanje tlačnog štapa [2]

Sve ovo prije navedeno može se pokazati na jednostavnom razmatranju pločastog elementa, gdje se na pločastom elementu izdvojeno promatra traka jedinične širine, Slika 6.



Slika 6. Izvijanje jedinične trake ploče [2]

Kritično naprezanje izvijanja jedinične trake može se izračunati prema poznatom Eulerovom izrazu [2]:

$$\sigma_E = \pi^2 \cdot \frac{E}{\lambda^2} = \pi^2 \cdot \frac{E}{\left(\frac{b}{\sqrt{12}t}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot E}{12} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2, \quad (1)$$

gdje je E - modul elastičnosti, λ - bezdimenzionalna vitkost, b - duljina izdvojene trake, t - debljina pločastog elementa.

Sada, ako se uzme postojanje oslonaca i na slobodnim rubovima ovaj model izdvojene trake više nije mjerodavan budući da se mora uzeti u obzir i utjecaj poprečnih vlakana. Tada će se, umjesto modula elastičnosti E , pisati izraz $E/(1-\nu^2)$, kako bi se uzelo u obzir „pločasto“ djelovanje ploče. Te se tada dobije da kritično naprezanje izbočivanja ploče $\sigma_{E,p}$ iznosi [2]:

$$\sigma_{E,p} = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2. \quad (2)$$

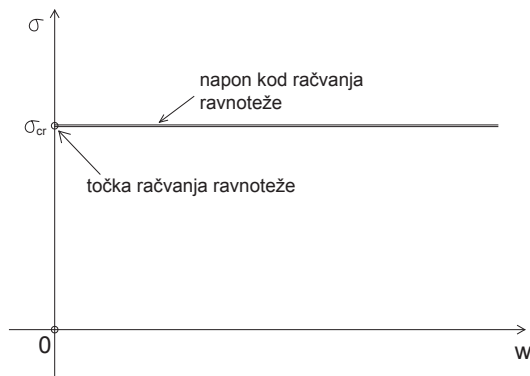
Budući da je poznata vrijednost Poissonovog koeficijenta za čelik, na ovaj se način dobije 10% veće kritično naprezanje:

$$\nu = 0,3 \Rightarrow \frac{\sigma_{E,p}}{\sigma_E} \approx 1,10.$$

gdje je ν - Poissonov koeficijent.

2.2. Linearna (elastična) teorija izbočivanja

Kako bi se bolje razumjelo dokaz stabilnosti tankih ploča treba poznavati osnovne elemente teorije izbočivanja ploča kojom se određuje idealno kritično naprezanje izbočivanja. Kod linearne teorije izbočivanja pretpostavlja se da je ovisnost naprezanja i deformacija linearna. Normalna naprezanja rastu proporcionalno s opterećenjem sve do točke račvanja ravnoteže nakon koje pretpostavlja se da normalna naprezanja ne mogu više rasti, Slika 7.

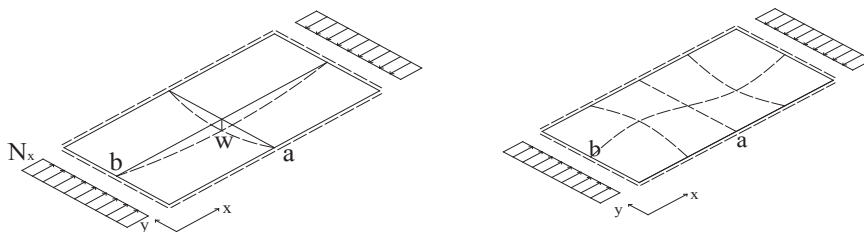


Slika 7. Točka račvanja ravnoteže [2]

Promatra se pravokutna ploča slobodno oslonjena na sve četiri strane i opterećena duž dvije suprotne strane ploče, Slika 8.

Ova teorija podrazumijeva važenje idealnih preduvjeta:

- materijal je idealno elastičan,
- nema početnih geometrijskih ni materijalnih imperfekcija
- vanjsko opterećenje djeluje u srednjoj ravnini ploče,
- deformacije ploče okomito na srednju ravninu su općenito male.



Slika 8. Proračunski model ploče za analizu izbočivanja, značenje parametara a , b , m , n [2]

Za promatranu ploču može se napisati sljedeća jednadžba ravnoteže:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 2 \cdot \frac{d^4 w}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 w}{dy^4} = \frac{N_x}{D} \cdot \frac{d^2}{dx^2}, \quad (3)$$

gdje je:

w – deformacija ploče okomito na njenu ravninu

N_x – normalna sila na jedinicu duljine ($\sigma_{cr} = N_x / t$)

D – krutost ploče na jediničnoj širini

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}. \quad (4)$$

Rješenje ove diferencijalne jednadžbe može se pretpostaviti u obliku:

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \cdot \sin \frac{m\pi x}{a} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b}, \quad (5)$$

gdje je:

m, n – broj valova u smjeru x, y

a, b – stranice ploče, Slika 8.

Diferenciranjem pretpostavljenog rješenja (5) i njegovim ubacivanjem u diferencijalnu jednadžbu (3) može se izračunati kritična normalna sila:

$$N_x = \frac{\pi^2 a^2 D}{m^2} \left[\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right]. \quad (6)$$

Ako se u (6) uvede omjer $\alpha = a/b$, a umjesto izraza za krutost ploče D ubaci izraz (4), dobije se:

$$N_x = \frac{\pi^2 Et}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \left(\frac{m}{\alpha} + \alpha \frac{n^2}{m} \right)^2. \quad (7)$$

Ukoliko se cijeli izraz podijeli s debljinom pločastog elementa t , dobije se:

$$\sigma_x = \frac{N_x}{t} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \left(\frac{m}{\alpha} + \alpha \frac{n^2}{m} \right)^2. \quad (8)$$

Budući da je poznat izraz za Eulerovo naprezanje σ_E :

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b} \right)^2.$$

Stoga druga zagrada u izrazu (8) predstavlja koeficijent izbočivanja:

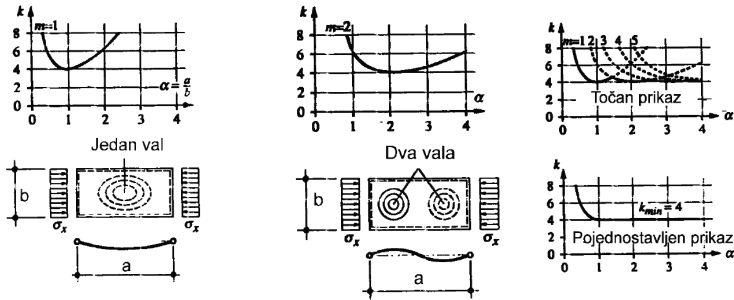
$$k_\sigma = \left(\frac{m}{\alpha} + \alpha \frac{n^2}{m} \right)^2. \quad (9)$$

Tada se σ_x može napisati u sljedećem obliku:

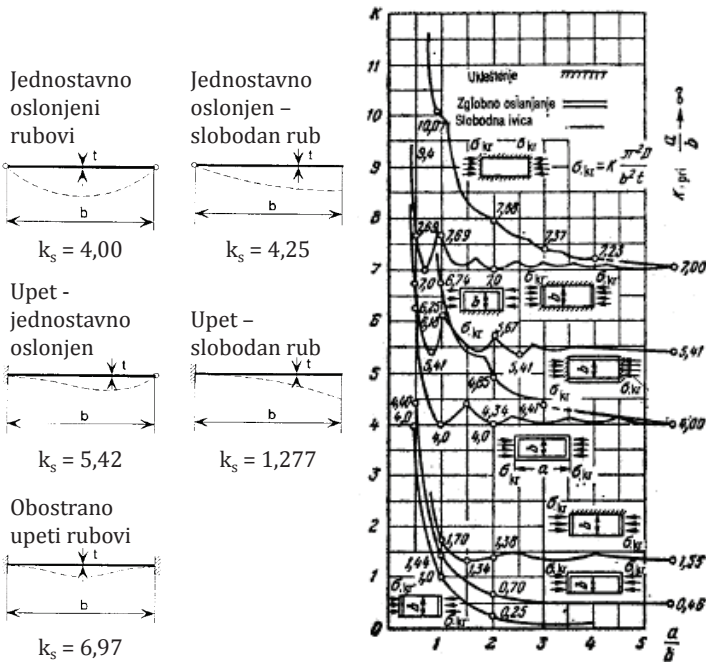
$$\sigma_x = k_\sigma \sigma_E \tag{10}$$

Vrijednost koeficijenta izbočivanja ovisi o:

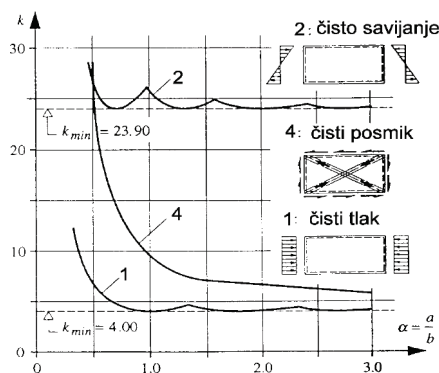
- broju izbočina, Slika 9,
- uvjetima oslanjanja, Slika 10,
- načinu naprezanja ploče, Slika 11,
- o odnosu stranica pločastog elementa ($\alpha = a/b$).



Slika 9. Ovisnost koeficijenta izbočivanja o broju izbočina [2]

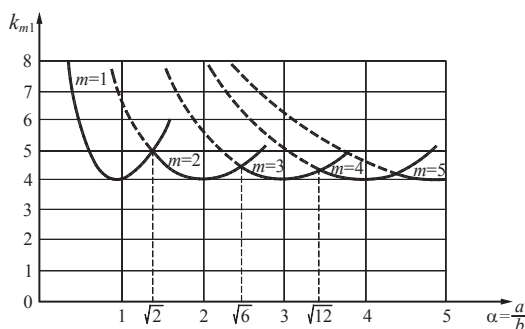


Slika 10. Vrijednosti koeficijenta izbočivanja ovisno o rubnim uvjetima pločastog elementa [2], [8]



Slika 11. Ovisnost koeficijenta izbočivanja o načinu naprezanja ploče [2]

Ovisnost koeficijenta izbočivanja i parametra $\alpha = a/b$ za pločasti element slobodno oslonjen sa sve četiri strane gdje postoji jedna izbočina u y smjeru prikazan je na Slici 12. Iz prikazanog se uočava da se najmanje kritično naprezanje dobije kada je parametar α cijeli broj (vrijedi za slobodno oslonjenu ploču na sve četiri strane), [5].



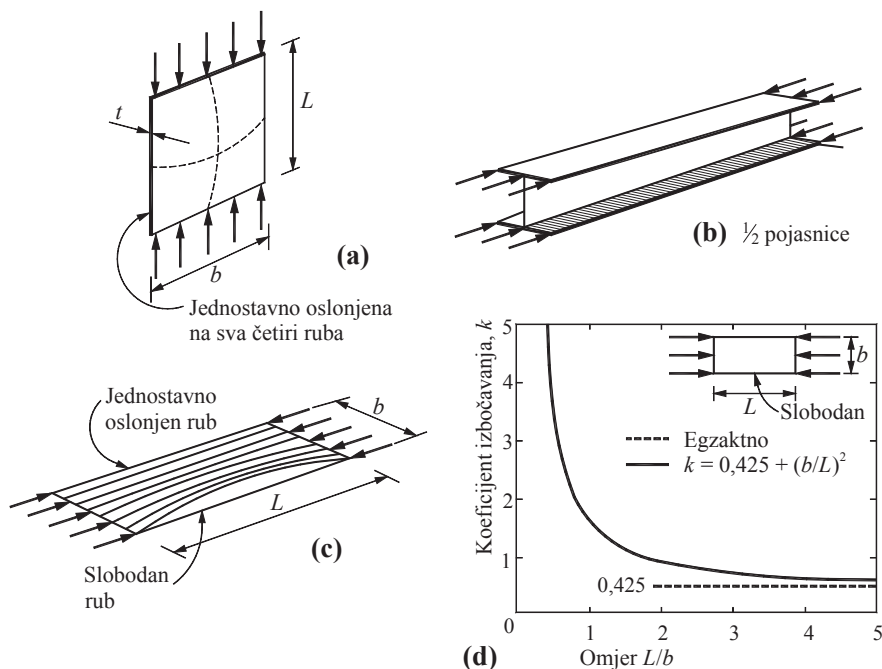
Slika 12. Dijagram krivulja ovisnosti k_s i α za $n=1$ [2]

3. Pojasnice otvorenih poprečnih presjeka izloženi tlaku

Otvoreni poprečni presjeci sastavljeni su od više pločastih elemenata od kojih su neki, kao što su pojasnice punostijenog I-nosača, slobodni duž jednog uzdužnog ruba i u pravilu su vrlo dugački u odnosu na širinu [1]. Stoga se tlačne pojasnice punostijenih I-nosača mogu tretirati kao pločasti elementi slobodno oslonjeni s tri strane, s jedne strane oslonjene na hrbat, a sa druge dvije strane na poprečna ukrućenja, dok je četvrti rub ploče slobodan.

U ovakvim slučajevima, kad se promatra pojasnice otvorenih punostijernih I-nosača, usvaja se pretpostavka o jednolikosti raspodjele normalnih napreznja u pojasnici te se zanemaruje i linearna promjena napreznja po visini pojasnice. Zbog relativno malog konzolnog prepusta kritično Eulerovo napreznje je u ovakvim situacijama bitno veće od istog napreznja za hrbat, ali je stoga vrijednost koeficijenta izbočivanja također znatno manja [2].

Na slici 13 prikazan je oblik izbočivanja takvog pločastog elementa slobodno oslonjenog sa tri strane te slobodnog sa četvrte strane. Također je prikazana ovisnost između odnosa dužine i širine ploče, L/b , i koeficijenta izbočivanja za dugački pločasti element slobodan po jednom rubu. Iz priložene slike 13 vidi se da koeficijent izbočivanja teži k graničnoj vrijednosti 0,425 s povećanjem odnosa L/b [1].



Slika 13. Ponašanje pločastih elemenata u tlaku [1]

Iz slike 13 vidi se da koeficijent izbočivanja k_s ovisi o rubnim uvjetima i odnosu dimenzija pločastog elementa. U Tablici 3 dane se vrijednosti faktora izbočivanja k_s za nekoliko najčešćih oblika napreznja na rubovima pločastih elemenata za velike odnose L/b unutarnjih i vanjskih elemenata.

Da bi se odredio koeficijent izbočivanja najprije treba razmotriti rubne uvijete, odnosno utvrditi radi li se o unutarnjem elementu (koji je slobodno oslonjen sa sve 4 strane) ili vanjskom elementu presjeka (koji je slobodno oslonjen sa svoje 3 strane, dok mu je četvrta strana slobodna) u tlaku. Nakon što smo odredili rubne uvijete za promatrani pločasti element uzima se u obzir raspodjelu naprezanja po presjeku elementa preko omjera naprezanja na rubnim vlakancima $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$. Najčešći slučajevi su pločasti elementi u tlaku s jednolikom raspodjelom naprezanja ($\sigma_1 = \sigma_2$) kada je $\psi = 1$. To se naročito odnosi na pojasnice otvorenih poprečnih presjeka (npr. I-nosač) kada je cijeli poprečni presjek izložen uzdužnoj tlačnoj sili (obje pojasnice u tlaku) ili čistom savijanju s naprezanjima u rubnim vlakancima istog intenziteta, ali suprotnog predznaka (jedna pojasnica je u tlaku, a druga u vlaklu).

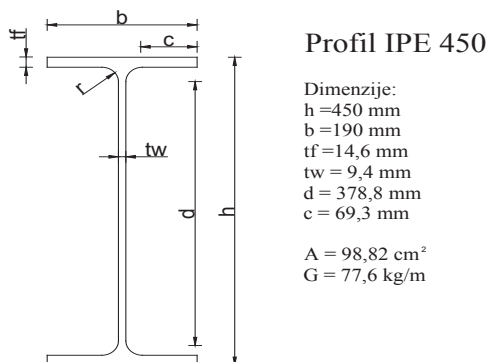
Tablica 3. Vrijednosti faktora izbočivanja za nekoliko oblika raspodjele naprezanja na rubovima pločastih elemenata [1, 5]

		$\sigma_{1,2} =$ maksimalno tlačno naprezanje				
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$		+1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Unutarnji element (I)	$k_\sigma = 4,0$	$k_\sigma = 8,2 / (1,05 + \psi)$	$k_\sigma = 7,81$	$k_\sigma = 7,81 + 6,29\psi + 9,78\psi^2$	$k_\sigma = 23,9$	
Vanjski element (II)	$k_\sigma = 0,43^*$	$k_\sigma = 0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	$k_\sigma = 0,57$	$k_\sigma = 0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	$k_\sigma = 0,85$	
Vanjski element (III)	$k_\sigma = 0,43^*$	$k_\sigma = 0,578 / (\psi + 0,34)$	$k_\sigma = 1,70$	$k_\sigma = 1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	$k_\sigma = 23,8$	

4. Određivanje faktora izbočivanja i kritičnih naprezanja na konkretnom primjeru

Do sada su objašnjeni neki osnovni pojmovi vezani za izbočivanje pločastih elemenata od kojih su sastavljeni nosači. U ovom poglavlju će se pokazati vrijednosti faktora izbočivanja i vrijednosti kritičnog naprezanja pločastih elemenata (hrpta i pojasnice) profila IPE450 bez poprečnih ukrućenja i s poprečnim ukrućenjima.

Uz pomoć računalnog programa EBPlate-a pokazat će se konkretne vrijednosti faktora izbočivanja i konkretne vrijednosti kritičnog naprezanja hrpta, dok će se faktor izbočivanja i kritično naprezanje pojasnice profila IPE450 odrediti pomoću priručnih tablica i dijagrama budući da računalni program EBPlate nema mogućnost određivanja faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja pločastih elemenata slobodnih duž jedne ili više stranica.



Slika 14. Prikaz dimenzija profila IPE450

Programom EBPlate-a najprije će se odrediti faktor izbočivanja i kritično naprezanje hrpta izloženog jednolikom tlačnom naprezanju, a zatim izloženom čistom savijanju. Nakon toga će se odrediti faktor izbočivanja i kritično naprezanje pojasnice pomoću dijagrama i tablica.

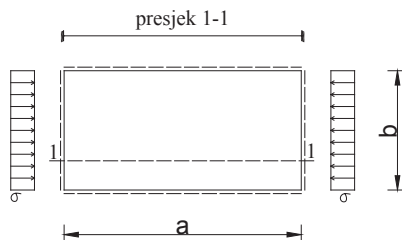
4.1. Određivanje faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja hrpta profila IPE450 bez ukrućenja

U specijaliziranom računalnom programu EBPlate kritično naprezanje određuje se primjenom *Rayleigh-Ritzove* energetske metode, pri čemu se oblici izvijanja dobivaju primjenom Fourierovih redova [3]. Također, u programu EBPlate korištene su posebne programske cjeline kao LAPACK (engl. Linear Algebra PACKage) za rješenje problema vlastitih funkcija [5]. Primjenom ovoga računalnog programa uspostavljena je relacija:

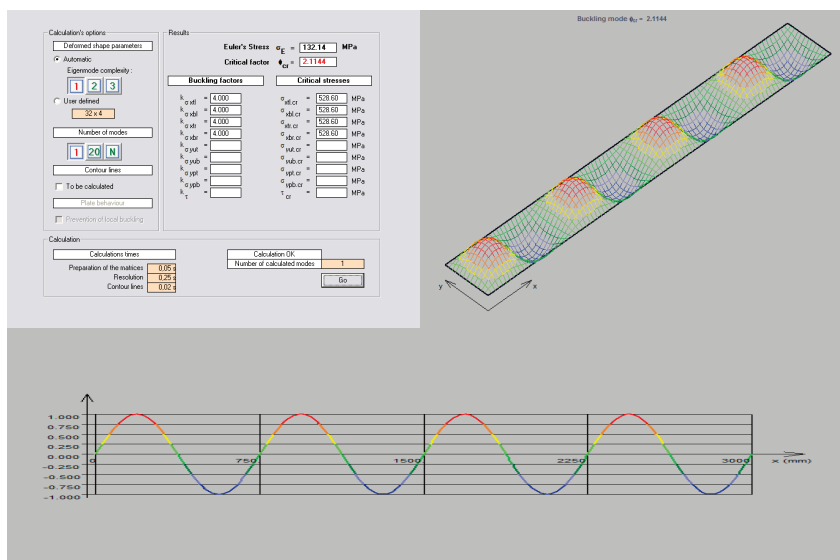
$$\sigma_{cr} = k_{\sigma} \cdot \sigma_E = \phi_{cr} \cdot \sigma, \quad (11)$$

ϕ_{cr} - kritični faktor kojim se množi vanjsko naprezanje na ploču (σ) da bi se dobila vrijednost kritičnog naprezanja σ_{cr} .

U nastavku je dan primjer izračuna faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja hrpta profila IPE 450 izloženog čistom tlaku (Slika 15) primjenom računalnog programa EBPlate. Najprije se zadaju dimenzije elementa, svojstva čelika i uvjeti oslanjanja. Pločasti element na Slici 15 slobodno je oslonjen na sve četiri strane bez poprečnih i uzdužnih ukrućenja. Dimenzije su $a = 3000$ mm, $b = 379$ mm, $t = 10$ mm. Tlačno naprezanje iznosi $\sigma = 250$ N/mm².



Slika 15. Definiranje dimenzija ploče, rubnih uvjeta i opterećenja

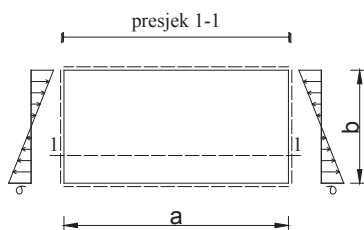


Slika 16. Vrijednosti faktora izbočivanja k_{σ} , faktora kritičnog naprezanja ϕ_{cr} , kritičnog naprezanja σ_{cr} i oblik lokalnog izbočivanja

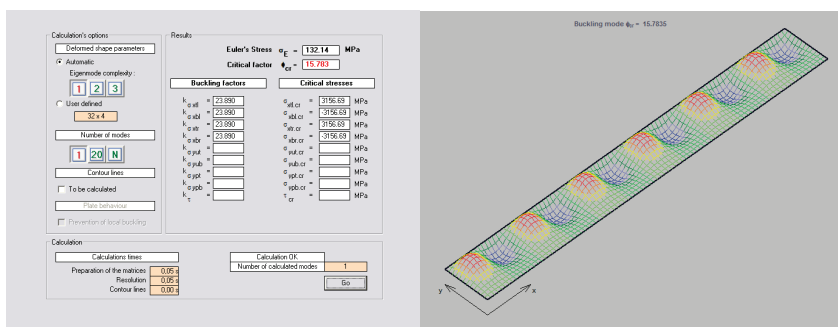
Vrijednost kritičnog naprezanja u ovom slučaju ima vrijednost (Slika 16):

$$\sigma_{cr} = k_{\sigma} \cdot \sigma_E = \phi_{cr} \cdot \sigma = 4,0 \cdot 132,14 = 2,1144 \cdot 250 = 528,60 \text{ MPa.}$$

Zatim je dan izračun faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja hrpta profila IPE 450 izloženog čistom savijanju (Slika 17) primjenom računalnog programa EBPlate. Pločasti element na Slici 17 slobodno je oslonjen na sve četiri strane bez poprečnih i uzdužnih ukrućenja. Dimenzije su $a = 3000$ mm, $b = 379$ mm, $t = 10$ mm. Naprezanje iznosi $\sigma = 200$ N/mm².



Slika 17. Definiranje dimenzija ploče, rubnih uvjeta i opterećenja



Slika 18. Vrijednosti faktora izbočivanja k_y , faktora kritičnog naprezanja ϕ_{cr} , kritičnog naprezanja σ_{cr} i oblik lokalnog izbočivanja

Vrijednost kritičnog naprezanja u ovom slučaju ima vrijednost (Slika 18):

$$\sigma_{cr} = k_{\sigma} \cdot \sigma_E = \phi_{cr} \cdot \sigma = 23,89 \cdot 132,14 = 15,783 \cdot 200 = 3156,69 \text{ MPa.}$$

Vrijednosti faktora izbočivanja koje su dobivene za hrpat IPE 450 nosača pomoću računalnog programa EBPlate odgovaraju vrijednostima faktora izbočivanja koje su dane u obliku dijagrama na Slici 10 i Slici 11. Iz dijagrama na Slici 10 i Slici 11 se vidi da, što je veći omjer strana pločastog elementa, to vrijednosti faktora izbočivanja teže граниčnim vrijednostima. U slučaju čistog tlaka to je vrijednost $k_s = 4,00$, a u slučaju čistog savijanja $k_s = 23,90$, što je potvrđeno i sa prethodna dva primjera gdje je omjer strana pločastog elementa $a/b = 7,92 \sim 8,00$.

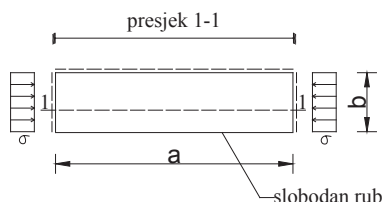
Primjenom računalnog programa EBPlate dobiven je trodimenzionalan prikaz oblika izbočenog modela pločastog elementa. Kritično naprezanje dano ovim programom izračunato je pomoću teorije linearnog elastičnog izbočivanja idealiziranih pločastih nosača tako da nema ograničavanja naprezanja kao kod realnih elemenata.

Ploče koje su izvedene s ukrućenjima mogu pokazati znakove lokalne ili globalne nestabilnosti. Znači, ovisno o geometrijskim i statičkim veličinama može se pojaviti lokalno izbočivanje ploče između ukrućenja, izbočivanje dijela ukrućene ploče ako postoje uzdužna i poprečna ukrućenja te globalno izbočivanje ukrućene ploče. Prema definiciji kritičnog opterećenja [9], uvijek se uzima kao mjerodavna najmanja vrijednost kritičnog naprezanja.

4.2. Određivanje faktora izbočivanja pojasnice profila IPE450 bez ukrućenja

Budući da se faktori izbočivanja i kritična naprezanja pločastih elemenata kao što su pojasnice (elementi koji su slobodno oslonjeni duž tri stranice i slobodni duž četvrte stranice) ne mogu izračunati pomoću računalnog programa EBPlate-a, za izračun faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja koristiti će se dijagrami i tablice gdje su već određene vrijednosti faktora izbočivanja [8].

Pojasnica IPE 450 nosača je slobodno oslonjena na svoje tri stranice i slobodna duž četvrte. Bez obzira da li je nosač opterećen čistim tlačnim naprezanjem ili je izložen čistom savijanju, u pojasnici se javljaju samo tlačna ili samo vlačna naprezanja. Promatrat će se ona pojasnica u kojoj se javljaju tlačna naprezanja, jer u tim pojasnicama postoji mogućnost izbočivanja. Dimenzije pločastog elementa (pojasnice profila IPE450) su: $a = 3000$ mm, $b = 69,3$ mm, $t = 14,6$ mm (slika 19). Element je izložen čistom tlaku $\sigma = 250$ N/mm² [10].



Slika 19. Definiranje dimenzija ploče, rubnih uvjeta i opterećenja

Koristeći dijagram sa Slike 10 i Tablice iz literature (Tablica 4) može se uočiti da kod velikih odnosa a/b koeficijent izbočivanja k_s teži graničnoj

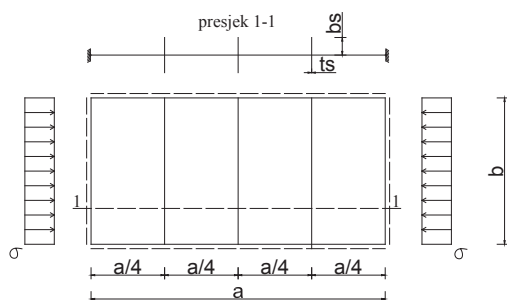
vrijednosti od 0,425 (Slika 10). Stoga se može usvojiti da koeficijent izbočivanja iznosi $k_{\sigma} = 0,43$. Dobivena vrijednost je znatno manja od vrijednosti koeficijenta izbočivanja, a time i kritičnog napreznja kod hrpta.

Tablica 4. Vrijednosti faktora izbočivanja za različite odnose stranica pločastih elemenata [8]

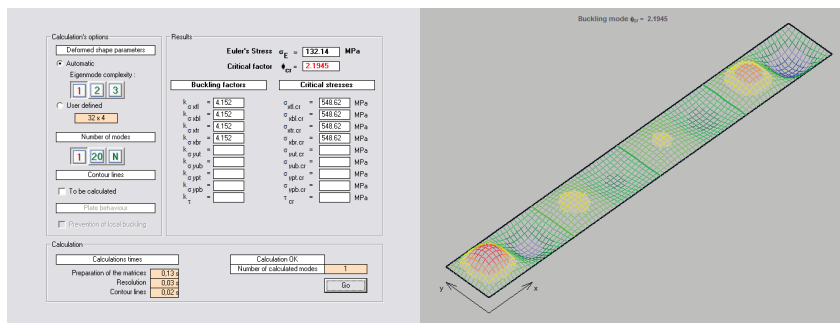
granični uvjeti	a/b									
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0	∞
pločasti elementi slobodno oslonjeni sa svoje 3 strane, slobodan duž četvrte strane	3,65	2,15	1,44	1,14	0,95	0,84	0,76	0,70	0,56	0,43

4.3. Određivanje faktora izbočivanja i kritičnog napreznja hrpta profila IPE450 s poprečnim ukrućenjima

Ovdje će se se odrediti vrijednosti faktora izbočivanja i kritično napreznje pločastog elementa (hrbat profila IPE 450) s tri poprečna ukrućenja, Slika 20. Poprečna ukrućenja se nalaze na jednakim razmacima. Dimenzije pločastog elementa su $a = 3000$ mm, $b = 379$ mm, $t = 10$ mm, dok su dimenzije ukrućenja $b_s = 90$ mm, $t_s = 10$ mm. Element je izložen čistom tlaku $\sigma = 250$ N/mm².



Slika 20. Definiranje dimenzija ploče, rubnih uvjeta i opterećenja



Slika 21. Vrijednosti faktora izbočivanja k_φ , faktora kritičnog naprezanja ϕ_{cr} , kritičnog naprezanja σ_{cr} i oblik lokalnog izbočivanja

Vrijednost kritičnog naprezanja u ovom slučaju ima vrijednost (Slika 21):

$$\sigma_{cr} = k_\sigma \cdot \sigma_E = \phi_{cr} \cdot \sigma = 4,152 \cdot 132,14 = 2,1945 \cdot 250 = 548,62 \text{ MPa.}$$

Vrijednost faktora izbočivanja koju smo dobili za hrbat IPE 450 nosača sa poprečnim ukrućenjima na četvrtinama raspona pomoću računalnog programa EBPlate odgovaraju vrijednostima faktora izbočivanja koje su dane u obliku dijagrama na Slici 12. Poprečnim ukrućenjima smanjila se duljina polja na kojem može doći do izbočivanja, a time se smanjio i omjer strana pločastog elementa: $(a/4)/b = 1,98$. Iz dijagrama na Slici 12 može se vidjeti da se vrijednosti faktora izbočivanja podudaraju.

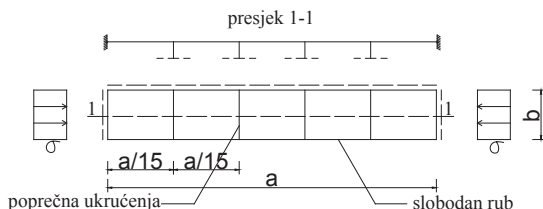
Važnost primjene programa EBPlate upravo je za izračun faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja složenijih slučajeva u praksi, s ortotropnim pločama, kada je mnogo teže analitički odrediti vrijednosti faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja.

4.4. Određivanje faktora izbočivanja pojasnice profila IPE450 s poprečnim ukrućenjima

Budući da su pojasnice slobodno oslonjene duž tri svoje stranice dok im je četvrti rub slobodan, kada su opterećene tlačnim naprezanjima, najveće se izbočivanje javlja na slobodnom rubu. Stoga se pojasnice ne ojačavaju uzdužnim ukrućenjima, već samo poprečnim ukrućenjima zajedno s hrptom. Poprečna ukrućenja tada djeluju kao oslonci na koje se ta pojasnica slobodno oslanja. Ukrućenjima se tako smanjuje odnos stranica pločastog elementa, a time se povećava faktor izbočivanja te kritično naprezanje.

Profil IPE450 ojačan je s ukrućenjima na razmaku 200 mm čime se smanjio odnos stranica pločastog elementa (pojasnice), a time se dobio veći faktor izbočivanja te veće kritično naprezanje. Dimenzije pločastog

elementa su: $a = 3000$ mm, $b = 69,3$ mm, $t = 14,6$ mm (Slika 22). Element je izložen čistom tlaku $\sigma = 250$ N/mm².



Slika 22. Definiranje dimenzija ploče, rubnih uvjeta i opterećenja

Postavljajući ukrućenja na svakih 200 mm odnos a/b iznosi:

$$\frac{a}{b} = \frac{200}{69,3} = 2,89 \approx 3,0$$

Koristeći Tablicu 4 ili dijagram sa Slike 10 može se odrediti koeficijent izbočivanja $k_{\sigma} = 0,56$.

5. Zaključak

U ovom radu nastojalo se objasniti neke osnovne pojmove vezane za izbočivanje pločastih elemenata te pokazati vrijednosti koeficijenta izbočivanja i vrijednosti kritičnog naprezanja za različite rubne uvjete i različita opterećenja. Navedeno je što je to izbočivanje, kada nastaje, ukratko se objasnila elastična (linearna) teorija izbočivanja i kako se ponašaju pločasti elementi u tlaku. Na konkretnom primjeru profila otvorenog poprečnog presjeka bez ukrućenja i s poprečnim ukrućenjima pokazano je određivanje faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja. Primjenom računalnog programa EBPlate određene su vrijednosti faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja za pločaste elemente slobodno oslonjene duž sve četiri stranice kao što su hrptovi otvorenih poprečnih presjeka. Prednost primjene programa EBPlate je u tome da se njime mogu dobiti vrijednosti faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja za proizvoljne rubne uvjete i opterećenje, bez ukrućenja ili s ukrućenjima na pločastom elementu. Znači, dobiva se rješenje za slučajeve proizvoljnih načina oslanjanja s ukrućenjima te su tako obuhvaćeni svi mogući slučajevi iz konstrukcijskih euronormi. Međutim, nedostatak programa EBPlate-a je to što nije moguće dobiti vrijednosti faktora izbočivanja i kritičnog naprezanja pločastih elemenata slobodnih duž jedne ili više stranica te se

za određivanje faktora izbočivanja takvih elemenata koristilo dijagrame i tablice s već gotovim vrijednostima faktora izbočivanja koji su dobiveni raznim ispitivanjima i složenim matematičkim postupcima. Pokazano je da su vrijednosti koeficijenta izbočivanja kod pojasnice otvorenog poprečnog presjeka znatno manje u odnosu na vrijednosti kod hrpta za isti način naprezanja.

Napomena. Istraživanja prezentirana u ovom radu rađena su u sklopu znanstvenog projekta „Razvoj konstrukcija povećane pouzdanosti obzirom na potres“ (114-0821466-1470) koji financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

Literatura

- [1] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., *Čelične konstrukcije 1*, IA projektiranje, Zagreb, 2009.
- [2] Markulak, D., *Posebna poglavlja čeličnih konstrukcija*, Građevinski fakultet Sveučilišta Josip Juraj Strossmayer u Osijeku, Osijek, 2010.
- [3] *Računalni program EBPlate*, Version 2.01, 2007. (www.cticm.com)
- [4] Eurocode 3 – *Design of steel structures – Part 1-5: Plated structural elements*, EN 1993-1-5:2006 E, CEN – European Comitee for Standardization, 2006.
- [5] Čaušević, M., Bulić, M., Čelični plošni elementi opterećeni u svojoj ravnini: faktori izbočivanja i kritična naprezanja, *Građevinar*, **64**(2):113-123, 2012.
- [6] Johansson, B., Maquoi, R., Sedlacek, G., Müller, C., Beg, D., *Commentary and Worked Examples to EN 1993-1-5 „Plated Structural Elements“*, CEN – European Comitee for Standardization, 2007.
- [7] Beg, D., Kuhlmann, U., Davaine, L. and Braun, B., *Design of Plated Structures, ECCS Eurocode Design Manuals*, Ernst & Sohn A Wiley Company, 2010.
- [8] Umanski, A.A., *Konstrukterski priručnik: izabrana poglavlja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1980., orginalno izdanje Moskva, 1973.
- [9] Čaušević, M., Bulić, M., *Stabilnost konstrukcija*, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2013.
- [10] Čakarun, M., Faktori izbočivanja i kritična naprezanja pojasnica čeličnih nosača otvorenih poprečnih presjeka, završni rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2012.

NEWTONOVA METODA ZA RJEŠAVANJE SUSTAVA NELINEARNIH JEDNADŽBI

NEWTON'S METHOD FOR SOLVING NONLINEAR EQUATION SYSTEMS

Nino MAHMUTOVIĆ*, Nermina MUJAKOVIĆ**, Ivan DRAŽIĆ***

Sažetak

Radom se istražuje numeričko rješavanje sustava nelinearnih jednadžbi. U prvom dijelu rada opisan je problem određivanja rješenja sustava nelinearnih jednadžbi kao limesa niza aproksimativnih rješenja. Naveo se i dokazao teorem koji osigurava konvergenciju niza aproksimativnih rješenja ka točnom rješenju sustava. Također su se izvele formule za grešku aproksimacija.

U drugom dijelu uvela se i analizirala iteracijska Newtonova metoda te brzina konvergencije niza aproksimativnih rješenja. Dokazao se teorem o kvadratnoj konvergenciji Newtonove metode. Također se razmatrala Davidenkova modifikacija Newtonove metode kao jedna od metoda kontinuiteta.

U praktičnome dijelu rada opisani algoritmi implementirali su se u programskom paketu Wolfram's Mathematica. Navelo se nekoliko primjera sustava nelinearnih jednadžbi. Odredila su se aproksimativna rješenja za te sustave, analizirana je i određena veličina njihovih grešaka u ovisnosti od broja koraka u postupku iteracije. Također se razmatralo kako izbor početne aproksimacije utječe da metoda brže ili sporije konvergira.

Ključne riječi: sustav nelinearnih jednadžbi, Newtonova metoda, metoda kontinuiteta, brzina konvergencije

* Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
E-mail: nino.mahmutovic@gradri.hr

** Odjel za matematiku Sveučilišta u Rijeci
E-mail: mujakovic@inet.hr

*** Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci
E-mail: idrazic@riteh.hr

Abstract

In this paper numerical methods for solving systems of nonlinear equations are considered. The first part describes the problem of finding solutions for nonlinear equations as a finding limit of series of approximate solutions. The theorem which ensures the convergence of a series of approximate solutions to the exact solution of the system is proved. The formula for approximation error is also derived.

In the next part the iterative Newton's method and the speed of convergence of a series of approximate solutions are analyzed and described. A theorem on the quadratic convergence of Newton's method is proved. Davidenko's modification of Newton's method as one of the continuation methods is also considered.

In the practical part described algorithms are implemented in software package Wolfram's Mathematica. Several examples of nonlinear equation systems are specified. The approximate solutions for these systems are determined, analyzed and the size of their errors as a function of the number of steps in the process of iteration is determined. It is also considered how the choice of the initial approximation affects whether a method converges faster or slower.

Key words: *system of nonlinear equations, Newton's method, the speed of convergence*

1. Uvod

Rad se bavi problemom numeričkog rješavanja sustava nelinearnih jednadžbi. U teoriji postoje mnoge metode za rješavanje sustava nelinearnih jednadžbi poput metode gradijenta, modificirane Newtonove metode, metode kontinuiteta itd. Osnova svih tih metoda je Newtonova metoda koja se u ovom radu analizirala. Naš rad je podijeljen u nekoliko cjelina. U prvom dijelu dalo se objašnjenje numeričkog rješavanja sustava nelinearnih jednadžbi. Uveo se pojam kontrakcije te se naveo i dokazao teorem koji osigurava konvergenciju niza aproksimacija ka točnom rješenju sustava primjenjujući svojstvo kontrakcije iteracijske funkcije. U drugom se dijelu analizirala Newtonova iteracijska metoda za sustave nelinearnih jednadžbi. Definirao se red konvergencije iteracijske metode te dokazao teorem o kvadratnoj konvergenciji Newtonove metode za sustave nelinearnih jednadžbi. Naglasimo da se izvela i ocjena greške aproksimativnog rješenja. Treći dio bavi se jednom od metoda kontinuiteta i to Davidenkovom modifikacijom Newtonove metode. Metode kontinuiteta koriste homotopijske funkcije koje se koriste za izračunavanje traženog rješenja. Polazni problem se svodi na rješavanje sustava običnih diferencijalnih jednadžbi sa zadanim početnim uvjetom. Traženo rješenje toga sustava se dobiva i nekom od numeričkih metoda za rješavanje sustava običnih diferencijalnih jednadžbi, a rješenje polaznog sustava nelinearnih jednadžbi postaje jedna funkcijska vrijednost određenog partikularnog

Matrični zapis sustava (6) je

$$\mathbf{x} = F(\mathbf{x}), \quad (7)$$

gdje je $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $F(\mathbf{x}) = (F_1(x), F_2(x), \dots, F_n(x))$. Rješenje od (7) je svaki $\xi \in R^n$ za koje je $\xi = F(\xi)$. Primijetimo da je ξ tzv. fiksna točka funkcije F . Cilj nam je točku ξ dobiti kao limes niza vektora $\mathbf{x}^{(k)}$ definiranih sa

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = F(\mathbf{x}^{(k)}), \quad k = 0, 1, \dots, \quad (8)$$

gdje je $\mathbf{x}^{(0)}$ početni i proizvoljno izabrani vektor. Postavlja se pitanje konvergira li niz $\mathbf{x}^{(k)}$ ka vektoru ξ i pod kojim uvjetima. Dokazat ćemo da niz $\mathbf{x}^{(k)}$ konvergira ka vektoru ξ uz određene uvjete za vektorsku funkciju F . Za analizu konvergencije niza vektora nužno nam je imati definiranu normu¹ u R^n . Norme u R^n pogodne za numeričko računanje su

$$\|\mathbf{x}\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}, \quad (9)$$

$$\|\mathbf{x}\|_1 = \sum_{i=1}^n |x_i| = |x_1| + |x_2| + \dots + |x_n|, \quad (10)$$

$$\|\mathbf{x}\|_\infty = \max_{1 \leq i \leq n} |x_i|. \quad (11)$$

U ovom radu se bilo koja od gornjih normi označava s $\|\cdot\|$. Ista se oznaka koristi i za norme matrica koje su definirane preko gornjih normi vektora.

Iz matematičke analize je poznato da niz $(\mathbf{x}^{(k)}) \in R^n$ konvergira ka vektoru $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n) \in R^n$ ako i samo ako postoji konvergencija po komponentama u R , tj. ako je

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} x_i^{(k)} = \xi_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (12)$$

Tada pišemo

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} \mathbf{x}^{(k)} = \xi. \quad (13)$$

¹ Funkcija $\|\cdot\|: R^n \rightarrow R^n$ je norma ako za svaki $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in R^n$ i $\lambda \in R$ vrijedi

$$\|\mathbf{x}\| \geq 0, \|\mathbf{x}\| = 0 \Leftrightarrow \mathbf{x} = \mathbf{0}$$

$$\|\lambda \mathbf{x}\| = |\lambda| \cdot \|\mathbf{x}\|$$

$$\|\mathbf{x} + \mathbf{y}\| \geq \|\mathbf{x}\| + \|\mathbf{y}\|.$$

Dakle imamo

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\| = 0 \quad (14)$$

ako i samo ako

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} |x_i^{(k)} - \xi_i| = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (15)$$

Da bismo dobili pozitivan odgovor na pitanje konvergencije niza $(\mathbf{x}^{(k)})$ ka ξ nužno je zahtijevati da članovi niza budu u zatvorenom podskupu iz R^n i da funkcija F iz (7) ispunjava svojstva kontrakcije. Definirajmo navedene pojmove.

Definicija 1. Podskup $D \subset R^n$ je zatvoren ako svaki konvergentan niz $(\mathbf{x}^{(k)})$ ima limes $\xi \in D$.

Na primjer, u ravnini $0x_1x_2$ podskup $D = \{a \leq x_1 \leq b; c \leq x_2 \leq d\}$ je zatvoren. Međutim, podskup $D = \{a \leq x_1 < b; c \leq x_2 \leq d\}$ nije zatvoren jer se može naći niz $(\mathbf{x}^{(k)})$, $\mathbf{x}^{(k)} = (x_1^{(k)}, x_2^{(k)})$, takav da je $\lim_{k \rightarrow +\infty} x_1^{(k)} = b$.

Definicija 2. Za funkciju $F: R^n \rightarrow R^n$ kažemo da je kontrakcija u odnosu na normu $\|\cdot\|$ na zatvorenom podskupu D , ako vrijedi

$$1) \text{ za svaki } \mathbf{x} \in D \Rightarrow F(\mathbf{x}) \in D,$$

$$2) \text{ postoji } 0 < L < 1, \text{ takav da vrijedi}$$

$$\|F(\mathbf{x}) - F(\mathbf{y})\| \leq L \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|, \quad (16)$$

za svaki $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in D$.

Svojstvo (16) nazivamo Lipschitzovim uvjetom. Primjetimo da se uvjeti 1) i 2) iz Definicije 2. koriste u jednostavnijoj formuli kada u R rješavamo jednadžbu

$$x = F(x)$$

metodom iteracije. Tada imamo funkciju $F: [a, b] \rightarrow R$ sa svojstvom

$$x \in [a, b] \Rightarrow F(x) \in [a, b].$$

Uvjet 2) iz Definicije 2. postaje

$$|F(x) - F(y)| \leq L|x - y|$$

za svaki $x, y \in [a, b]$.

Odgovor na pitanje konvergencije niza $(\mathbf{x}^{(k)})$ daje slijedeći teorem [1].

Teorem1. Neka je $D \subset R^n$ zatvoreni podskup. Neka je $F : D \rightarrow D$ kontrakcija u odnosu na normu $\| \cdot \|$ i neka je (16) zadovoljen. Tada

- 1) funkcija F ima točno jednu fiksnu točku $\xi \in D$, tj. $\xi = F(\xi)$,
- 2) za svaku početnu vrijednost $\mathbf{x}^{(0)} \in D$, (8) stvara niz $\{\mathbf{x}^{(k)}\}$ koji konvergira ka ξ Vrijedi ocjena

$$\|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\| \leq \frac{L^k}{1-L} \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\|, \quad k = 1, 2, \dots \tag{17}$$

Dokaz: Funkcija F je kontrakcija na skupu D . Prema uvjetu (1) iz Definicije 2., to znači da, ako je $\mathbf{x}^{(0)} \in D$, onda svi članovi niza $\{\mathbf{x}^{(k)}\}$ definiranog formulom (8) leže u skupu D . Vrijedi

$$\begin{aligned} \|\mathbf{x}^{(2)} - \mathbf{x}^{(1)}\| &= \|F(\mathbf{x}^{(1)}) - F(\mathbf{x}^{(0)})\| \leq L \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\|, \\ \|\mathbf{x}^{(3)} - \mathbf{x}^{(2)}\| &= \|F(\mathbf{x}^{(2)}) - F(\mathbf{x}^{(1)})\| \leq L \|\mathbf{x}^{(2)} - \mathbf{x}^{(1)}\| \leq L^2 \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\|, \\ &\vdots \\ \|\mathbf{x}^{(k)} - \mathbf{x}^{(k-1)}\| &= \|F(\mathbf{x}^{(k-1)}) - F(\mathbf{x}^{(k-2)})\| \leq L^{k-1} \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\|. \end{aligned}$$

Koristeći te nejednakosti dobivamo

$$\begin{aligned} \|\mathbf{x}^{(k+t)} - \mathbf{x}^{(k)}\| &= \|\mathbf{x}^{(k+t)} - \mathbf{x}^{(k+t-1)} + \mathbf{x}^{(k+t-1)} - \mathbf{x}^{(k+t-2)} + \mathbf{x}^{(k+t-2)} + \dots + \mathbf{x}^{(k+1)} - \mathbf{x}^{(k)}\| \leq \\ &\leq \|\mathbf{x}^{(k+t)} - \mathbf{x}^{(k+t-1)}\| + \|\mathbf{x}^{(k+t-1)} - \mathbf{x}^{(k+t-2)}\| + \dots + \|\mathbf{x}^{(k+1)} - \mathbf{x}^{(k)}\| \leq \\ &\leq L^{k+t-1} \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\| + L^{k+t-2} \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\| + \dots + L^k \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\| = \\ &= L^k \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\| (1 + L + L^2 + \dots + L^{t-1}) = L^k \frac{1-L^t}{1-L} \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\| \leq \frac{L^k}{1-L} \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\|. \end{aligned}$$

Primijetimo da dobivena nejednakost

$$\|\mathbf{x}^{(k+t)} - \mathbf{x}^{(k)}\| \leq \frac{L^k}{1-L} \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\| \tag{18}$$

vrijedi za svaki $k, t \geq 0$. Kako je $0 < L < 1$ iz (18) zaključujemo da za svaki t vrijedi

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} \|\mathbf{x}^{(k+t)} - \mathbf{x}^{(k)}\| = 0. \tag{19}$$

Dakle, niz vektora

$$\{x_i^{(k+t)} - x_i^{(k)}\}, \quad k \in N \tag{20}$$

konvergira ka $0 \in R^n$ što znači i konvergenciju niza koordinata

$$(x_i^{(k+t)} - x_i^{(k)}), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

ka broju $0 \in R$. Prema Cauchyjevom teoremu² zaključujemo da su nizovi $(x_i^{(k)})$, $i = 1, 2, \dots, n$ konvergentni. Dakle postoje ξ_i , $i = 1, 2, \dots, n$ takvi da vrijedi

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} x_i^{(k)} = \xi_i. \quad (21)$$

Zbog zatvorenosti D , znamo da je $\xi \in D$. Iz Lipschitzovog uvjeta lako se zaključuje da je funkcija F neprekidna sa D u D pa vrijedi

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mathbf{x}^{(k+1)} = F(\lim_{k \rightarrow \infty} \mathbf{x}^{(k)}), \quad (22)$$

i dobivamo

$$\xi = F(\xi), \quad (23)$$

Dakle, $\xi \in R^n$ je traženo rješenje od (7), odnosno ξ je fiksna točka funkcije F . Također iz (18), stavljajući $t \rightarrow \infty$, dobivamo nejednakost

$$\|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\| \leq \frac{L^k}{1-L} \|\mathbf{x}^{(1)} - \mathbf{x}^{(0)}\|, \quad k = 1, 2, \dots$$

kojom smo dobili ocjenu (17) za grešku aproksimacije $\mathbf{x}^{(k)}$.

Dokažimo da je ξ i jedino rješenje jednadžbe (7) u D . Dokaz provodimo kontradikcijom. Neka su ξ i η različita rješenja jednadžbe (7). Tada imamo

$$\|\xi - \eta\| = \|F(\xi) - F(\eta)\| \leq L \|\xi - \eta\| \quad (24)$$

odakle slijedi

$$(1-L) \|\xi - \eta\| \leq 0. \quad (25)$$

Kako je $(1-L) > 0$ mora biti $\|\xi - \eta\| \leq 0$ što je moguće samo ako je $\xi = \eta$.
Q.E.D.

² Cauchyjev teorem o konvergenciji nizova glasi:

Ako za svaki $\varepsilon > 0$ postoji $n_0(\varepsilon) \in \mathbb{N}$ takav da za $k > n_0(\varepsilon)$ vrijedi $|x^{(k+t)} - x^{(k)}| < \varepsilon$ za $t = 1, 2, \dots$, onda niz $(x_i^{(k)})$ konvergira.

3. Newtonova metoda za rješavanje sustava nelinearnih jednadžbi

Newtonovom metodom rješavati ćemo jednadžbu

$$f(\mathbf{x}) = \mathbf{0}, \quad \mathbf{x} \in R^n \tag{26}$$

gdje je $f: R^n \rightarrow R^n$ i $\mathbf{0} = (0, 0, \dots, 0) \in R^n$. Za uvođenje Newtonove metode nužno je pretpostaviti da je funkcija f diferencijabilna na R^n . Uzimamo kao što smo ranije spomenuli da je vektorska i matična norma $\|\cdot\|$ proizvoljna, ali fiksna u R^n .

Definicija 3. Funkcija $f: R^n \rightarrow R^n$ je diferencijabilna u točki $\mathbf{x} \in R^n$ ako postoji linearno preslikavanje $D_x f: R^n \rightarrow R^n$ sa svojstvom

$$\frac{\|f(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - f(\mathbf{x}) - (D_x f)(\mathbf{h})\|}{\|\mathbf{h}\|} \rightarrow 0, \tag{27}$$

kada $\mathbf{h} \rightarrow \mathbf{0}$ u R^n .

Primjetimo da je

$$(D_x f)(\mathbf{z}) = J(f, \mathbf{x}) \cdot \mathbf{z},$$

za $\mathbf{z} \in R^n$ proizvoljno, gdje je $J(f, \mathbf{x})$ matrica Jacobijana oblika

$$J(f, \mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(\mathbf{x}) & \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(\mathbf{x}) & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n}(\mathbf{x}) \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(\mathbf{x}) & \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(\mathbf{x}) & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n}(\mathbf{x}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1}(\mathbf{x}) & \frac{\partial f_n}{\partial x_2}(\mathbf{x}) & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n}(\mathbf{x}) \end{bmatrix}. \tag{28}$$

Funkcija $f: R^n \rightarrow R^n$ je diferencijabilna na skupu $D \subset R^n$ ako je diferencijabilna u svakoj točki $\mathbf{x} \in D$. Za skup $D \subset R^n$ kažemo da je konveksan ako, za bilo koja dva elementa $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in D$, njihova spojnica

$$[\mathbf{x}, \mathbf{y}] = \{\mathbf{z} \in R^n \mid \mathbf{z} = \mathbf{x} + \theta(\mathbf{y} - \mathbf{x}) : 0 \leq \theta \leq 1\} \subset D,$$

se također nalazi u D .

Slijedeću lemu iskoristiti ćemo za postavljanje teorema o redu konvergencije Newtonove metode. Potrebno nam je definirati što je iteracijska funkcija $F: R^n \rightarrow R^n$ i što je red konvergencije iteracijske metode. Za rješavanje (26) prelazimo na njoj ekvivalentnu jednadžbu

$$\mathbf{x} = F(\mathbf{x}),$$

koju rješavamo koristeći iteracijsku metodu oblika

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = F(\mathbf{x}^{(k)}), \quad k = 0, 1, \dots \quad (29)$$

Tada je funkcija $F: R^n \rightarrow R^n$ iteracijska funkcija.

Definicija 4. Neka je $F: R^n \rightarrow R^n$ iteracijska funkcija. Tada se metoda (29) za rješavanje jednadžbe $\xi = F(\xi)$, $\xi \in R^n$, naziva (lokalno) konvergentnom ako postoji konstanta $\delta > 0$, takva da za sve početne vrijednosti $\mathbf{x}^{(0)}$ sa svojstvom

$$\mathbf{x}^{(0)} \in B(\xi; \delta)^3 \quad B(\xi; \delta) = \{\mathbf{y} \in R^n : \|\mathbf{y} - \xi\| < \delta\},$$

vrijedi

$$\|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\| \rightarrow 0,$$

$\mathbf{x}^{(k)}$ definiran (29), za $k \rightarrow \infty$. Norma $\|\cdot\|$ je kao i do sada bilo koja vektorska norma.

Definicija reda konvergencije glasi:

Definicija 5. Neka je $F: R^n \rightarrow R^n$ iteracijska funkcija s fiksnom točkom $\xi \in R^n$. Iteracijska metoda (29) se naziva (lokalno) konvergentnom (najmanje) reda $p \geq 1$ ako postoji takav $\delta > 0$ da za sve početne vrijednosti $\mathbf{x}^{(0)} \in B(\xi; \delta)$ vrijedi

$$\|\mathbf{x}^{(k+1)} - \xi\| \leq C \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\|^p, \quad k = 0, 1, \dots \quad (30)$$

gdje je $0 \leq C < \infty$. U slučaju kada je $p = 1$ dodatno zahtijevamo, kao što smo pokazali ranije, da bude $C < 1$. Tada (30) daje

$$\|\mathbf{x}^{(k+1)} - \xi\| \leq C \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\| \leq C^{k+1} \|\mathbf{x}^{(0)} - \xi\|, \quad k = 0, 1, \dots \quad (31)$$

iz čega zaključujemo da za $C < 1$, $\|\mathbf{x}^{(k+1)} - \xi\| \rightarrow 0$ za $k \rightarrow \infty$.

Kada je $p = 1$ kažemo da je konvergencija linearna. Kada je $p = 2$ imamo tzv. kvadratnu konvergenciju. Iteracijska metoda (29) je konvergentna točno reda p ako i samo ako je konvergentna reda p i niti za jedan $r \in \langle p, +\infty \rangle$ nije konvergentna reda r .

Napomena 1. Metoda reda konvergencije $p > 1$ u općenitom slučaju sa sobom donosi niži red konvergencije reda q , za svaki $1 \leq q \leq p$, što ćemo kasnije pokazati. Pretpostavimo da imamo konvergenciju reda $p > 1$ i da je

³ Sa $B(\xi; \delta)$ smatramo (hiper)kuglu središta ξ i radijusa δ

$$\mathbf{x}^{(0)} \in B(\xi; \delta^*) \quad \delta^* = \min \left\{ \delta, \left(\frac{1}{2C} \right)^{\frac{1}{p-1}} \right\}. \quad (32)$$

Primjetimo da, zbog (30), vrijede slijedeće nejednakosti

$$\begin{aligned} \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\| &\leq C \|\mathbf{x}^{(k-1)} - \xi\|^p, \\ \|\mathbf{x}^{(k-1)} - \xi\| &\leq C \|\mathbf{x}^{(k-2)} - \xi\|^p, \\ \|\mathbf{x}^{(k-2)} - \xi\| &\leq C \|\mathbf{x}^{(k-3)} - \xi\|^p, \\ &\vdots \\ \|\mathbf{x}^{(1)} - \xi\| &\leq C \|\mathbf{x}^{(0)} - \xi\|^p. \end{aligned}$$

Uvrštavanjem u prvu nejednakost ostale dobivene nejednakosti dobivamo

$$\|\mathbf{x}^{(1)} - \xi\| \leq C \cdot C^p \cdot C^{p^2} \dots \cdot C^{p^{k-1}} \|\mathbf{x}^{(0)} - \xi\|^{p^k}, \quad (33)$$

i uočimo li da eksponenti konstante C čine geometrijski niz zaključujemo da vrijedi

$$\|\mathbf{x}^{(1)} - \xi\| \leq C^{\frac{1-p^k}{1-p}} \|\mathbf{x}^{(0)} - \xi\|^{p^k} \quad (34)$$

Napišimo (34) u obliku

$$\|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\| \leq C^{\frac{1-p^k}{1-p}} \|\mathbf{x}^{(0)} - \xi\|^{p^{k-1}} \|\mathbf{x}^{(0)} - \xi\| \quad (35)$$

Zbog (32) zaključujemo da je

$$\|\mathbf{x}^{(0)} - \xi\|^{p^{k-1}} \leq (\delta^*)^{p^{k-1}} \leq \left(\frac{1}{2C} \right)^{\frac{p^{k-1}}{p-1}}. \quad (36)$$

Uvrštavanjem (36) u (35) slijedi

$$\|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\| \leq 2^{-\binom{p^k-1}{p-1}} \|\mathbf{x}^{(0)} - \xi\|. \quad (37)$$

Na desnoj strani (37) u eksponentu se javlja negativna suma geometrijskog niza sa k članova

$$2^{-\binom{p^k-1}{p-1}},$$

gdje je $p < 1$, $k = 0, 1, \dots$. Zaključujemo da za dovoljno velike k vrijedi nejednakost

$$2^{-\left(\frac{p^k-1}{p-1}\right)} \leq 2^{-k},$$

pa (37) možemo pisati u obliku

$$\|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\| \leq 2^{-k} \|\mathbf{x}^{(0)} - \xi\|. \quad (38)$$

Primjetimo da (38) predstavlja ocjenu greške naše metode. Koristeći (30), (32) i (38) dobivamo

$$\begin{aligned} \|\mathbf{x}^{(k+1)} - \xi\| &\leq C \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\|^p = C \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\|^{p-q} \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\|^q \leq \\ &\leq \delta^{*p-q} C \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\|^q, \end{aligned} \quad (39)$$

za dovoljno velike $k \in \mathbb{N}$. Nejednakost (39) znači da je zadana konvergencija reda q , $1 < q \leq p$.

Što je veći red konvergencije p , brže će se aproksimativne vrijednosti $\mathbf{x}^{(k)}$ približavati traženoj fiksnoj točki ξ . Naime, za početne vrijednosti $\mathbf{x}^{(0)}$ dovoljno blizu ξ vrijedi

$$\|\mathbf{x}^{(0)} - \xi\| \ll 1,$$

te tada, zbog ocjene (38), vrijedi da je

$$\|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\| \ll 1,$$

Tada za brojeve $0 \leq q < p$ također vrijedi

$$0 \leq \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\|^p \ll \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\|^q.$$

Lema 1. Neka je $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ diferencijabilna funkcija na otvorenom⁴ konveksnom skupu $D \subset \mathbb{R}^n$ i neka je $0 \leq L < \infty$ konstanta koja zadovoljava slijedeću nejednakost

$$\|J(f, \mathbf{x}) - J(f, \mathbf{y})\| \leq L \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|, \quad \mathbf{x}, \mathbf{y} \in D. \quad (40)$$

Tada vrijedi

$$\|f(\mathbf{x}) - f(\mathbf{y}) - J(f, \mathbf{y})(\mathbf{x} - \mathbf{y})\| \leq \frac{L}{2} \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|^2, \quad \mathbf{x}, \mathbf{y} \in D. \quad (41)$$

⁴ Za $D \subset \mathbb{R}^n$ kažemo da je otvoren ako je \mathbb{R}^n/D zatvoren skup.

Dokaz: Po pretpostavci da je f diferencijabilna na D zaključujemo da je funkcija φ definirana sa

$$\varphi : [0,1] \rightarrow R^n, \quad \varphi(\theta) = f(\mathbf{y} + \theta(\mathbf{x} - \mathbf{y})), \quad (42)$$

neprekidno diferencijabilna na intervalu $[0,1]$ za proizvoljne $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in D$. Koristeći deriviranje kompozicije funkcija imamo

$$\varphi'(\theta) = J(f, \mathbf{y} + \theta(\mathbf{x} - \mathbf{y}))(\mathbf{x} - \mathbf{y}), \quad 0 \leq \theta \leq 1. \quad (43)$$

Primjenimo li (40) na (43) dobivamo

$$\begin{aligned} \|\varphi'(\theta) - \varphi'(0)\| &= \|J(f, \mathbf{y} + \theta(\mathbf{x} - \mathbf{y})) \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{y}) - J(f, \mathbf{y}) \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{y})\| \leq \\ &\leq \|J(f, \mathbf{y} + \theta(\mathbf{x} - \mathbf{y})) - J(f, \mathbf{y})\| \cdot \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\| \leq L\theta \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|^2. \end{aligned} \quad (44)$$

Nadalje, zaključujemo da vrijedi

$$\begin{aligned} f(\mathbf{x}) - f(\mathbf{y}) - J(f, \mathbf{y})(\mathbf{x} - \mathbf{y}) &= \varphi(1) - \varphi(0) - \varphi'(0) = \\ &= \int_0^1 (\varphi'(\theta) - \varphi'(0)) d\theta. \end{aligned} \quad (45)$$

Koristeći (44), za normu razlike (45) funkcijskih vrijednosti imamo

$$\begin{aligned} \|f(\mathbf{x}) - f(\mathbf{y}) - J(f, \mathbf{y})(\mathbf{x} - \mathbf{y})\| &\leq \\ &\leq \int_0^1 \|\varphi'(\theta) - \varphi'(0)\| d\theta \leq L \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|^2 \int_0^1 \theta d\theta = \frac{L}{2} \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|^2, \end{aligned} \quad (46)$$

čime je dokazana Lema 1.

Q.E.D.

U nastavku, pomoću Leme 1. dokazat ćemo teorem o konvergenciji Newtonove metode. Newtonova metoda [1] definirana je sa

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{x}^{(k)} - (J(f, \mathbf{x}^{(k)})^{-1}) \cdot f(\mathbf{x}^{(k)}), \quad k = 0, 1, \dots, \quad (47)$$

gdje je $\mathbf{x}^{(0)}$ početno proizvoljno aproksimativno rješenje jednadžbe

$$f(\mathbf{x}) = \mathbf{0}, \quad \mathbf{x} \in R^n. \quad (48)$$

Pod pretpostavkom da rješenje ξ postoji, narednim teoremom postavljamo uvjete za kvadratnu konvergenciju Newtonove metode.

Teorem 2. Neka je $f: R^n \rightarrow R^n$ diferencijabilna funkcija na otvorenom konveksnom skupu $D \subset R^n$ i neka je $\xi \in D$ rješenje od (48). Pretpostavimo da postoje konstante $r, \beta, L > 0$ za koje vrijedi

- 1) $B(\xi; r) = \{y \in R^n : \|y - \xi\| < r\} \subset D$,
- 2) postoji inverz $(J(f, \xi))^{-1}$ od $J(f, \xi)$ takav da vrijedi $\|(J(f, \xi))^{-1}\| \leq \beta$,
- 3) za svaki $x, y \in D$ neka je $\|J(f, x) - J(f, y)\| \leq L \|x - y\|$.

Tada Newtonova metoda (47) je dobro definirana za bilo koju početnu vrijednost $x^{(0)} \in D$ za koju imamo

$$x^{(0)} \in B(\xi; \delta), \quad \delta = \min\left\{r, \frac{1}{2\beta L}\right\}, \quad (49)$$

gdje niz $(x^{(k)})$ definiran sa (47) lokalno kvadratno konvergira ka rješenju ξ . Članovi niza $(x^{(k)})$ ispunjavaju uvjet

$$\|x^{(k+1)} - \xi\| \leq \beta L \|x^{(k)} - \xi\|^2 \leq \frac{1}{2} \|x^{(k)} - \xi\|, \quad k = 0, 1, \dots \quad (50)$$

Dokaz: Prvo ćemo pokazati da za svaki $x \in R^n$ za koje je $\|x - \xi\| < \delta$, δ definiran sa (49), postoji inverz od $J(f, x)$ sa svojstvom

$$\|(J(f, x))^{-1}\| \leq 2\beta, \quad (51)$$

gdje je β definirana uvjetom 2) našeg teorema.

Definirajmo matricu λ sa

$$\lambda = (J(f, \xi))^{-1} J(f, x) - I, \quad (52)$$

što ima smisla zbog uvjeta 2) iz našeg teorema. Koristeći uvjete 2) i 3) i svojstvo (49) zaključujemo

$$\|\lambda\| = \|(J(f, \xi))^{-1} J(f, x) - I\| \leq \beta L \|x - \xi\| \leq \beta L \delta \leq \frac{1}{2}. \quad (53)$$

Za matricu λ vrijedi slijedeće

$$\begin{aligned} \lambda + I &= (J(f, \xi))^{-1} J(f, x), \\ (J(f, \xi))(\lambda + I) &= J(f, x). \end{aligned} \quad (54)$$

Na ovom mjestu primjenjujemo poznato svojstvo linearne algebre [2] koje glasi: Ako je B matrica sa $\|B\| < 1$ onda je $I + B$ regularna matrica sa svojstvom

$$\|(I + B)^{-1}\| \leq \frac{1}{1 - \|B\|}. \quad (55)$$

Zbog (55) koristeći $\|\lambda\| < 1$ zaključujemo da je $\lambda + I$ regularna matrica pa iz (54) slijedi

$$(\lambda + I)^{-1}(J(f, \xi))^{-1} = J(f, \mathbf{x})^{-1}. \quad (56)$$

Uvodeći normu u (56) dobivamo

$$\|J(f, \mathbf{x})^{-1}\| \leq \|(\lambda + I)^{-1}\| \| (J(f, \xi))^{-1} \|. \quad (57)$$

Primjenjujući (55) na (57) slijedi

$$\|J(f, \mathbf{x})^{-1}\| \leq \frac{1}{1 - \|\lambda\|} \| (J(f, \xi))^{-1} \| \leq \frac{1}{1 - \frac{1}{2}} \| (J(f, \xi))^{-1} \|. \quad (58)$$

Koristeći 2) imamo

$$\|J(f, \mathbf{x})^{-1}\| \leq \frac{\beta}{\frac{1}{2}} = 2\beta \quad (59)$$

čime je dokazana nejednakost (50).

Pretpostavimo sada da je

$$\mathbf{x}^{(k)} \in B(\xi; \delta), \quad k = 0, 1, \dots,$$

i dokažimo da je i slijedeća aproksimacija u istom skupu, tj. da je metoda (47) dobro definirana za bilo koju početnu vrijednost $\mathbf{x}^{(0)}$. Zbog svojstva (59) matrice $J(f, \mathbf{x}^{(k)})$ imamo za $\mathbf{x}^{(k+1)}$ (vidi (47)) da vrijedi

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^{(k+1)} &= \mathbf{x}^{(k)} - (J(f, \mathbf{x}^{(k)})^{-1}) \cdot f(\mathbf{x}^{(k)}) = \\ &= \mathbf{x}^{(k)} - (J(f, \mathbf{x}^{(k)})^{-1})(f(\mathbf{x}^{(k)}) - f(\xi)), \end{aligned} \quad (60)$$

odnosno

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^{(k+1)} - \xi &= \mathbf{x}^{(k)} - \xi - (J(f, \mathbf{x}^{(k)})^{-1}) \cdot (f(\mathbf{x}^{(k)}) - f(\xi)) = \\ &= (J(f, \mathbf{x}^{(k)})^{-1}) [f(\xi) - f(\mathbf{x}^{(k)}) - J(f, \mathbf{x}^{(k)})(\xi - \mathbf{x}^{(k)})]. \end{aligned} \quad (61)$$

Koristeći (41) za funkciju f iz (61) dobivamo

$$\begin{aligned} \|\mathbf{x}^{(k+1)} - \xi\| &= \|(J(f, \mathbf{x}^{(k)})^{-1})[f(\xi) - f(\mathbf{x}^{(k)}) - J(f, \mathbf{x}^{(k)})(\xi - \mathbf{x}^{(k)})]\| \leq \\ &\leq 2\beta \frac{L}{2} \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\|^2 = \beta L \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\|^2 \leq \frac{1}{2} \|\mathbf{x}^{(k)} - \xi\|, \end{aligned} \quad (62)$$

čime zaključujemo da je

$$\mathbf{x}^{(k+1)} \in B(\xi; \delta).$$

Izrazom (62) dokazan je Teorem 2.

Q.E.D.

4. Davidenkova modifikacija Newtonove metode

Davidenkova metoda spada u tzv. metode kontinuiteta ili homotopijske metode [3]. Osnovna ideja metoda kontinuiteta, pomoću kojih rješavamo sustave nelinearnih jednačini, jest da se glavni sustav jednačini zamjeni sa skupom jednostavnijih sustava jednačini. Pri rješavanju jednačini oblika

$$f(\mathbf{x}) = \mathbf{0} \quad (63)$$

gdje je $f(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_n(\mathbf{x}))$ i $f: D \subseteq R^n \rightarrow R^n$, sa nepoznatim rješenjem $\xi \in R^n$, Davidenkovom metodom razmatramo familiju problema opisanih pomoću parametra λ

$$\lambda \in [0, 1], \quad \lambda \rightarrow \mathbf{x}(\lambda), \quad \mathbf{x} \in R^n.$$

Prvi problem sa poznatim rješenjem $\mathbf{x}(0)$ odgovara situaciji kada je $\lambda = 0$, a problem sa nepoznatim rješenjem $\mathbf{x}(1) = \xi$ (gdje ξ predstavlja rješenje od (63)) odgovara kada je $\lambda = 1$. Pretpostavimo da je $\mathbf{x}(0) = (x_1(0), x_2(0), \dots, x_n(0))$ početna i proizvoljna aproksimacija rješenja ξ jednačini

$$f(\mathbf{x}) = \mathbf{0}.$$

Definirajmo funkciju $G: [0, 1] \times R^n \rightarrow R^n$ sa

$$G(\mathbf{x}, \lambda) = \lambda f(\mathbf{x}) + (1 - \lambda)(f(\mathbf{x}) - f(\mathbf{x}(0))) = f(\mathbf{x}) + (\lambda - 1)f(\mathbf{x}(0)). \quad (64)$$

Primijetimo da je $f(\mathbf{x}(0))$ određen jer imamo poznatu vrijednost $\mathbf{x}(0)$.

Odredimo za različite vrijednosti λ rješenje od

$$G(\mathbf{x}, \lambda) = \mathbf{0}. \quad (65)$$

Kada je $\lambda = 0$, (65) poprima oblik

$$0 = G(\mathbf{x}, 0) = f(\mathbf{x}) - f(\mathbf{x}(0)), \quad (66)$$

gdje je $\mathbf{x}(0)$ rješenje te jednadžbe. Kada je $\lambda = 1$, (65) glasi

$$0 = G(\mathbf{x}, 1) = f(\mathbf{x}), \quad (67)$$

gdje $\mathbf{x}(1) = \xi$ predstavlja rješenje te jednadžbe.

Funkcija G , zajedno sa parametrom λ , osigurava nam familiju funkcija koje vode od poznate vrijednosti $\mathbf{x}(0)$ ka rješenju $\mathbf{x}(1) = \xi$ od (63). Funkcija G predstavlja homotopiju [3] između funkcija

$$G(\mathbf{x}, 0) = f(\mathbf{x}) - f(\mathbf{x}(0))$$

i

$$G(\mathbf{x}, 1) = f(\mathbf{x}).$$

Problem neprekidnosti u odnosu na λ podrazumijeva određivanje rješenja od (63) krećući od poznatog rješenja $\mathbf{x}(0)$ od (66) do nepoznatog rješenja $\mathbf{x}(1) = \xi$ od (67) odnosno (63). Najprije je potrebno pretpostaviti da je $\mathbf{x}(\lambda)$ jedino rješenje jednadžbe

$$G(\mathbf{x}, \lambda) = 0 \quad (68)$$

za svaki $\lambda \in [0, 1]$. Skup $\{\mathbf{x}(\lambda) \mid 0 \leq \lambda \leq 1\}$ predstavlja krivulju u R^n od $\mathbf{x}(0)$ do $\mathbf{x}(1) = \xi$ gdje λ predstavlja parametar koji variramo. Metodom kontinuiteta dobivamo niz koraka duž te krivulje $\mathbf{x}(\lambda^{(k)})$ gdje $k = 0, 1, \dots$ i $0 = \lambda^{(0)} < \lambda^{(1)} < \dots < \lambda^{(n)} = 1$. Ako su funkcije $\lambda \rightarrow \mathbf{x}(\lambda)$ i G diferencijabilne, tada deriviranjem (68) po parametru λ dobivamo

$$0 = \frac{\partial G(\mathbf{x}(\lambda), \lambda)}{\partial \lambda} + \frac{\partial G(\mathbf{x}(\lambda), \lambda)}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{x}'(\lambda). \quad (69)$$

Rješimo li (69) po $\mathbf{x}'(\lambda)$ slijedi

$$\mathbf{x}'(\lambda) = - \left[\frac{\partial G(\mathbf{x}(\lambda), \lambda)}{\partial \mathbf{x}} \right]^{-1} \frac{\partial G(\mathbf{x}(\lambda), \lambda)}{\partial \lambda}. \quad (70)$$

Jednadžba (70) predstavlja sustav običnih diferencijalnih jednadžbi sa zadanim početnim uvjetom $\mathbf{x}(0)$. Uzimajući u obzir da je G jednaka

$$G(\mathbf{x}, \lambda) = f(\mathbf{x}) + (\lambda - 1)f(\mathbf{x}(0)), \quad (71)$$

odakle je tada vidljivo da se u (72) pojavljuje Jacobijan oblika

$$\frac{\partial G(\mathbf{x}(\lambda), \lambda)}{\partial \mathbf{x}} = J(f, \mathbf{x}(\lambda)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(\mathbf{x}(\lambda)) & \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(\mathbf{x}(\lambda)) & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n}(\mathbf{x}(\lambda)) \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(\mathbf{x}(\lambda)) & \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(\mathbf{x}(\lambda)) & \cdots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n}(\mathbf{x}(\lambda)) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1}(\mathbf{x}(\lambda)) & \frac{\partial f_n}{\partial x_2}(\mathbf{x}(\lambda)) & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n}(\mathbf{x}(\lambda)) \end{bmatrix} \quad (72)$$

i da je

$$\frac{\partial G(\mathbf{x}(\lambda), \lambda)}{\partial \lambda} = f(\mathbf{x}(0)). \quad (73)$$

Dakle, (70) možemo, za svaki $\lambda \in [0,1]$, pisati kao

$$\mathbf{x}'(\lambda) = -[J(f, \mathbf{x}(\lambda))]^{-1} f(\mathbf{x}(0)), \quad (74)$$

sa početnim uvjetom $\mathbf{x}(0) = (x_1(0), x_2(0), \dots, x_n(0))$. Slijedeći teorem daje uvjete pod kojim je metoda kontinuiteta izvediva. Taj teorem nećemo dokazivati budući da je dokaz baziran na temelju egzistencije rješenja sustava običnih diferencijalnih jednadžbi.

Teorem 3. *Neka je $f(\mathbf{x})$ neprekidna i diferencijabilna na R^n . Pretpostavimo da je Jacobijan $J(f, \mathbf{x})$ nesingularan za svaki $\mathbf{x} \in R^n$ i da postoji konstanta M sa svojstvom*

$$\| [J(f, \mathbf{x})]^{-1} \| \leq M$$

za svaki $\mathbf{x} \in R^n$. Tada za bilo koji $\mathbf{x}(0) \in R^n$ postoji jedinstvena funkcija $\mathbf{x}(\lambda)$ takva da za svaki $\lambda \in [0,1]$ vrijedi

$$G(\mathbf{x}(\lambda), \lambda) = 0.$$

Također, $\mathbf{x}(\lambda)$ je neprekidno diferencijabilna i za svaki $\lambda \in [0,1]$ vrijedi

$$\mathbf{x}'(\lambda) = -[J(f, \mathbf{x}(\lambda))]^{-1} f(\mathbf{x}(0)).$$

Na primjeru ćemo pokazati postupak za rješavanje sustava nelinearnih jednadžbi Davidenkovom metodom. Neka je zadan sustav nelinearnih jednadžbi na R^n .

$$f(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} x_1^2 - 3x_2^2 + 3 \\ x_1x_2 + 6 \end{bmatrix} = 0.$$

Koristeći (74), za početnu aproksimaciju $\mathbf{x}(0)=(1,1)$ imamo

$$\frac{\partial G(\mathbf{x}(\lambda), \lambda)}{\partial \mathbf{x}} = J(f, \mathbf{x}(\lambda)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(\mathbf{x}(\lambda)) & \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(\mathbf{x}(\lambda)) \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(\mathbf{x}(\lambda)) & \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(\mathbf{x}(\lambda)) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2x_1(\lambda) & -6x_2(\lambda) \\ x_2(\lambda) & x_1(\lambda) \end{bmatrix}$$

i

$$\frac{\partial G(\mathbf{x}(\lambda), \lambda)}{\partial \lambda} = f(\mathbf{x}(0)) = \begin{bmatrix} f_1(\mathbf{x}(0)) \\ f_2(\mathbf{x}(0)) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 7 \end{bmatrix}.$$

Inverz Jacobijana glasi

$$(J(f, \mathbf{x}(\lambda)))^{-1} = \frac{1}{2x_1^2(\lambda) + 6x_2^2(\lambda)} \begin{bmatrix} x_1(\lambda) & 6x_2(\lambda) \\ -x_2(\lambda) & 2x_1(\lambda) \end{bmatrix}.$$

Konačno, pomoću (74) možemo zapisati diferencijalne jednadžbe

$$\begin{bmatrix} x_1' \\ x_2' \end{bmatrix} = -\frac{1}{2x_1^2(\lambda) + 6x_2^2(\lambda)} \begin{bmatrix} x_1(\lambda) & 6x_2(\lambda) \\ -x_2(\lambda) & 2x_1(\lambda) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 7 \end{bmatrix}.$$

Rješenje ovog sustava diferencijalnih jednadžbi s početnim uvjetom $\mathbf{x}(0)=(1,1)$ za $\lambda = 1$ predstavlja rješenje našeg sustava, a koristi li se neka numerička metoda za rješavanje sustava diferencijalnih jednadžbi dobije se aproksimativno rješenje razmatranog problema. Dobiveno aproksimativno rješenje možemo koristiti kao početnu iteraciju za Newtonovu metodu.

5. Numerički primjeri

Promatramo sustav:

$$x_1^2 - 3x_2^2 + 3 = 0$$

$$x_1x_2 + 6 = 0.$$

Lako se provjeri da su egzaktna rješenja ovog sustava $(-3,2)$ i $(3,-2)$. U Tabeli 1 i Tabeli 2 definicija greške glasi:

$$\text{greška} = \sqrt{[f_1(\text{rješenje})]^2 + [f_2(\text{rješenje})]^2},$$

gdje je $f_1(x_1, x_2) = x_1^2 - 3x_2^2 + 3$ i $f_2(x_1, x_2) = x_1x_2^2 + 6$. Uzmemo li za početnu aproksimaciju $(1,1)$ primjenom Newtonove metode dolazimo do slijedećeg rezultata:

Tabela 1. Iteracije kod Newtonove metode

Broj iteracija	Rješenje	Greška
1	(-4.375, -0.625)	22.715
2	(-1.310, 0.933)	5.218
3	(-4.080, 2.604)	4.682
4	(-3.141, 2.069)	0.502
5	(-3.003, 2.001))	0.01
6	(-3.000, 2.000)	0.000006
7	(-3.000, 2.000)	$1.825 \cdot 10^{-12}$

Međutim, Davidenkovom metodom korištenjem Eulerove metode rješavanja sustava običnih diferencijalnih jednadžbi s 10 koraka dolazimo do početne aproksimacije (-3.196, 1.969) koja daje sljedeće rezultate:

Tabela 2. Iteracije kod Newtonove metode s početnom aproksimacijom dobivenom Davidenkovom metodom

Broj iteracija	Rješenje	Greška
1	(-3.001, 1.997)	0.036
2	(-2.999, 2.000)	0.00001
3	(-3.000, 2.000)	$3.331 \cdot 10^{-12}$

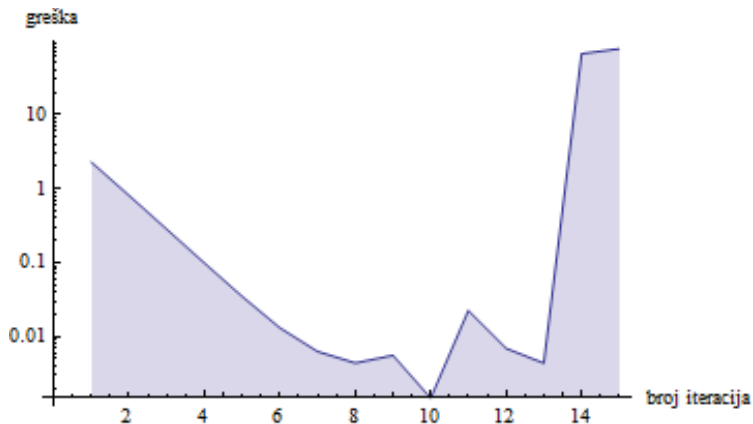
što je smanjilo broj koraka.

Promotrimo sada nešto složeniji sustav:

$$x_1^{10} - x_2^{10} = 0$$

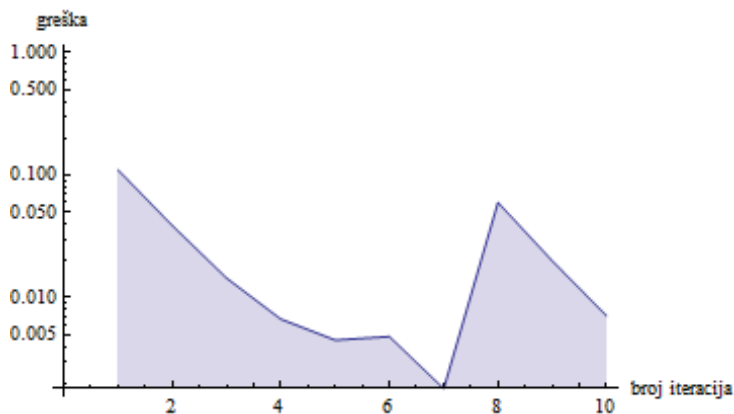
$$e^{x_1} - e^{x_2} - 1 = 0.$$

Za početnu aproksimaciju ponovno uzimamo (1,1). Korištenjem čiste Newtonove metode postigli smo minimalnu grešku od 0.001 u desetoj iteraciji, nakon čega se algoritam raspao. Grafički prikaz ovisnosti greške o broju iteracija na logaritamskoj ljestvici prikazan je na slijedećoj slici.



Slika 2. Ovisnost greške i broja iteracija kod čiste Newtonove metode

Odredimo li početnu aproksimaciju Davidenkovom metodom, dolazimo do sljedeće ovisnosti greške i broja iteracija



Slika 3. Ovisnost greške i broja iteracija kod Newtonove metode s početnom aproksimacijom dobivenom Davidenkovom metodom.

U ovom slučaju minimalna greška postignuta je u sedmoj iteraciji i istog je reda kao i kod čiste Newtonove metode.

Literatura

- [1] Antia, H. M., *Numerical methods for scientists and engineers*. Birkhäuser Verlag, Boston-Basel-Berlin, 2002.
- [2] Truhar, N., *Numerička linearna algebra*. Odjel za matematiku Sveučilišta u Osijeku, Osijek, 2010.
- [3] Burden, R. L., Faires, J. D., *Numerical analysis*. Richard Stratton, Boston, 2011.