

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	

## SADRŽAJ

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

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

## 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 prognoziranja 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 predočeni 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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 osigurale 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 najprikladnije 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 km<sup>2</sup>. Rječina ima nekoliko pritoka, a najvažniji je Sušica s oko 35 km<sup>2</sup> 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 preljevne 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, pritok 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 Rijeke 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].

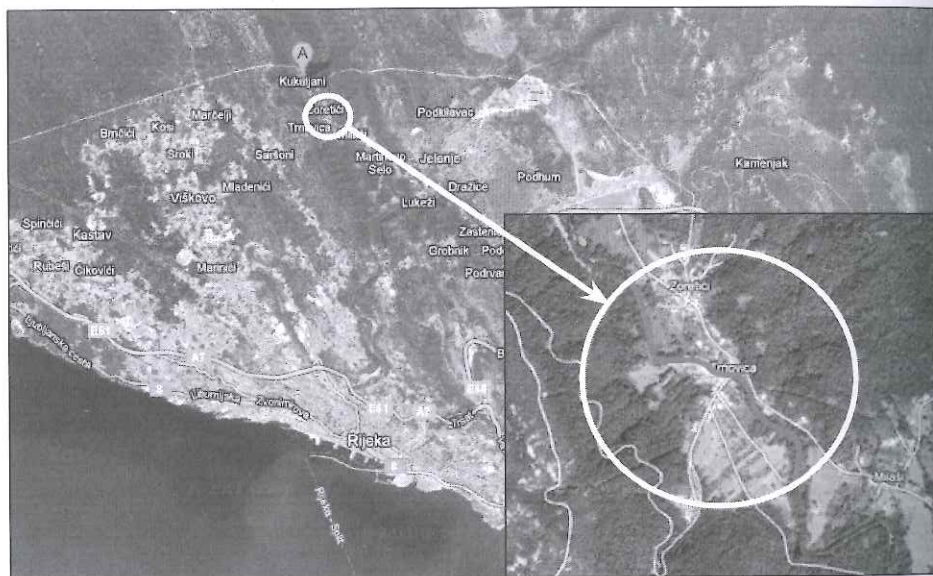
Danas je svrha regulacije Rječine u odnosu na njenu povijest nešto drugačija. Važnost regulacije Rječine očituje se u vodoopskrbi riječkog područja i korištenju njezinih potencijala za stvaranje električne energije. Godišnje se u prosjeku iz izvora Rječine za vodoopskrbu koristi 0,938 m<sup>3</sup>/s. 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 energetskih potreba.

### 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 m<sup>3</sup>/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.



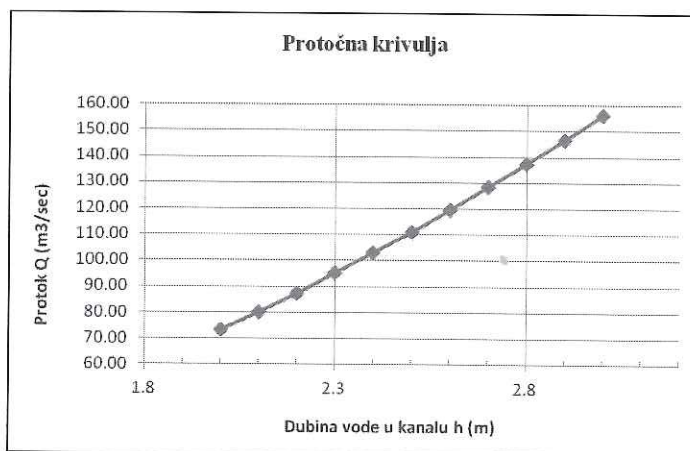
*Slika 2. Pregledna situacija vodotoka Rječine - zadana trasa regulacije [12]*

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  $1:m = 1:2$ . 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 dispirala 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

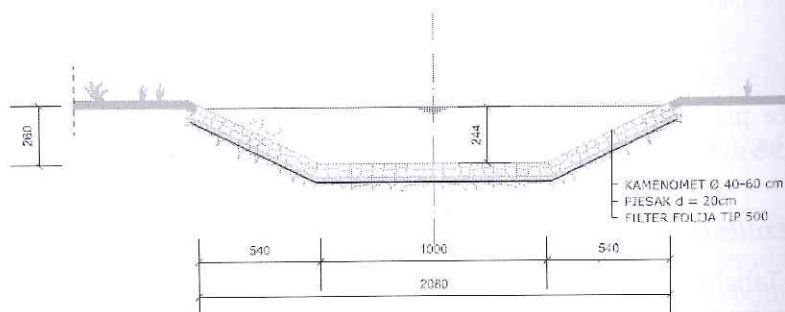
Iz Tabele 1 može se vidjeti da je kameni nabačaj najbolji materijal za izvedbu regulacije zato što se brzina toka u tom slučaju kreće unutar dozvoljene brzine za tu vrstu materijala (koja iznosi  $1,1 - 4,5 \text{ m/s}$ ) [9] te je

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.

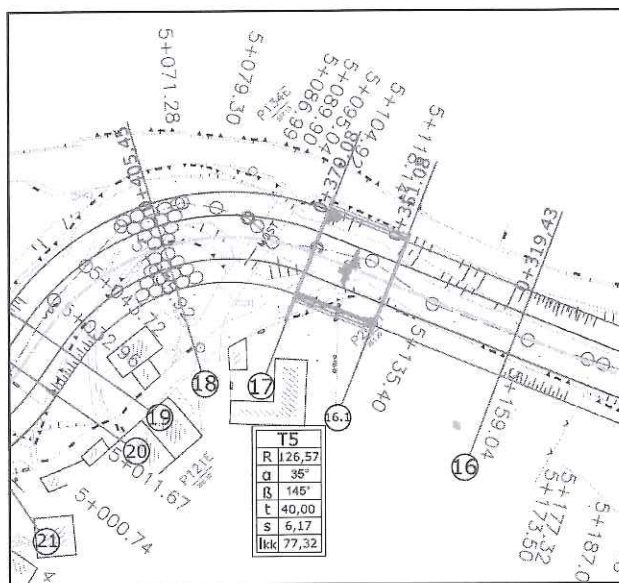


**Slika 4.** Karakteristični presjek [10]

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

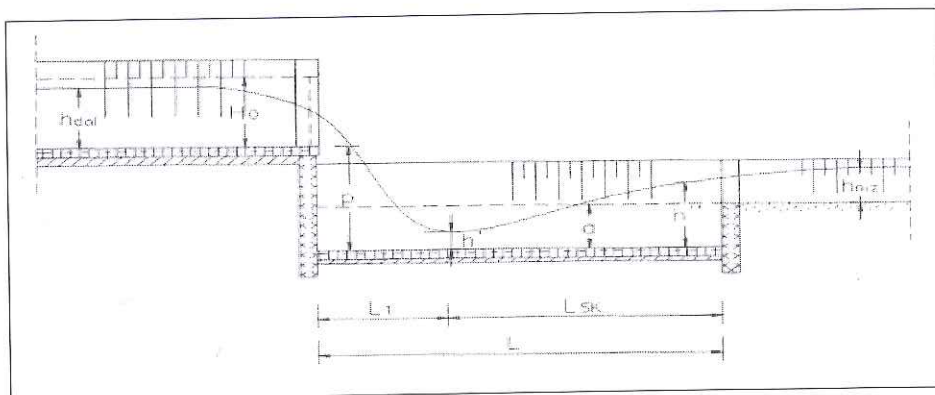
Dimenzije kaskade usvajaju se na osnovu oblika kanala i konfiguracije terena. Preljev se nalazi na profilu br. 17, stacionaža 0+370,08 m, kao što je vidljivo na Slici 5. Dobiveni podaci iz prethodnog proračuna korišteni su kao dio ulaznih vrijednosti za proračun. Odabrane su sljedeće dimenzije širine 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 spegnuta 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 jednačba pomoću iterativnog postupka koja se naziva metoda standardnog koraka. Vladajuće diferencijalne jednačbe su date u obliku parcijalnih diferencijalnih jednačbi poznatih pod nazivom Saint - Venantove jednačbe te se za specificirane rubne i počne uvjete rješavaju metodom konačnih razlika [13].

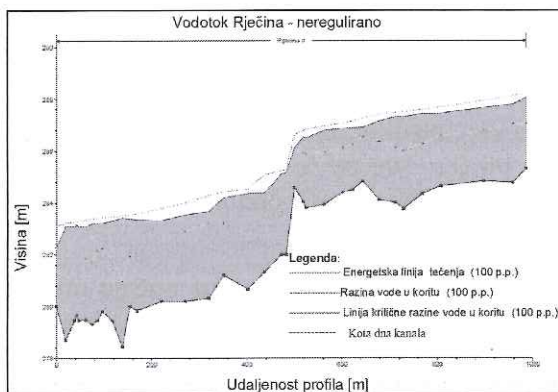
#### 4.1. Modeliranje u HEC - RAS-u

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.

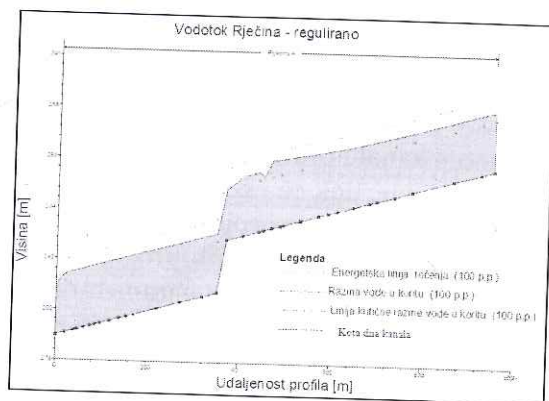
Unosom podataka o protoku, trasi kanala i poprečnog profila HEC - RAS programom je prikazan izgled neregulirane dionice korita Rječine. Jednako je tako modelirana ista dionica korita s kamenim nabačajem. Ulazni podaci su: protok  $Q = 106 \text{ m}^3/\text{s}$ , Manningov koeficijent hrapavosti za kameni 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., *Priručnik za izradu prostornog plana Županije primorsko - goranske*, Rijeka, 1997.
- [3] [http://www.hhd.hr/fileovi/publikacije\\_drustva/zbornici/z...pr.../01\\_geres.pdf](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>