

**MATEMATIČKO MODELIRANJE BAČKOG DELA HIDROSISTEMA DTD PRIMENOM JEDNODIMENZIONALNOG MODELA HEC-RAS****MATHEMATICAL MODELING OF THE BAČKA SECTION OF THE DANUBE-TISA-DANUBE CANAL USING A ONEDIMENSIONAL HEC-RAS MODEL**Lilla Varga, Ljubomir Budinski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast- GRAĐEVINARSTVO – HIDROTEHNIKA**

**Kratka sadržaj** – Tema ovog rada je matematičko modeliranje bačkog dela Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav pomoću softverskog paketa HEC-RAS. U radu su data detaljna objašnjenja načina unosa podataka potrebnih za kreiranje šematskog prikaza razmatranih kanalskih mreža, kao i testiranje verodostojnosti i kvaliteta unetih podataka simuliranjem rada kanalske mreže.

**Ključne reči:** Matematičko modeliranje, Hidrosistem DTD, HEC-RAS

**Abstract** – The topic of this paper is the mathematical modeling of the Bačka section of the Danube-Tisa-Danube Hydrosystem using the HEC-RAS software package. This paper provides a detailed explanation of the data entry methods needed to create a schematic representation of the considered channel networks, and the testing of the reliability and quality of the entered data by simulating the operation of the channel network.

**Keywords:** Mathematical modeling, Danube-Tisa-Danube Canal System, HEC-RAS

**1. UVOD**

Kao što je naš vrhunski vodoprivredni stručnjak inženjer Nikola Mirkov rekao, Vojvodini je priroda dala najplodniju zemlju u Evropi. Proučavajući i obilazeći obale reka i kanala, on je uočio da velike površine plodnog obradivog zemljišta dobrih svojstava i raspoložive količine vode, kao najznačajniji prirodni resursi i potencijali, čine da Vojvodina ima povoljne uslove za intenzivni razvoj i primenu navodnjavanja. Nikola Mirkov je još 1947. godine izložio ideju o gradnji hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav. Koncept izgradnje je još te godine usvojen, i izrađen je i „Osnovni projekat Velikog kanala DTD”. Radovi su započeti, međutim zbog političkih prilika prekinuti su na određeno vreme. 1952. godine posle dvogodišnje katastrofalne suše, Nikola Mirkov je ponovo pokrenuo akciju nastavka radova. Predlagao je da izgradnja Kanala DTD započne osposobljavanjem i iskorišćavanjem starih kanala u Bačkoj. Tako je počela izgradnja polja za navodnjavanje duž postojećeg kanala Beždan-Bečež. Izgradnja je trajala čitavih 20 godina, u njoj je učestvovalo 400 inženjera, urađeno je 1.300 elaborata na 135.000 kucanih strana i

35.000 grafičkih crteža, ugrađeno je 500.000 kubnih metara betona i iskopano 130 miliona kubnih metara zemlje. Snimljeno je 1.7 miliona hektara teritorije Vojvodine, što je značilo i stvaranje novih karata regija Bačke i Banata [1].

**2. OSNOVNI PODACI O PODRUČJU**

Kanal Dunav-Tisa-Dunav predstavlja jedinstven sistem kanala između dve reke, Dunava i Tise, i kortisti se kao plovni put, ima veliku ulogu u odbrani protiv eventualnih poplava i neprocenjiva je njegova vrednost sa stanovišta navodnjavanja i odvodnjavanja poljoprivrednog zemljišta i prihvatanja otpadnih voda, a takođe treba istaći njegov značaj u u turizmu, lovu i ribolovu. Prostire se na teritoriji Vojvodine, u Bački i Banatu.

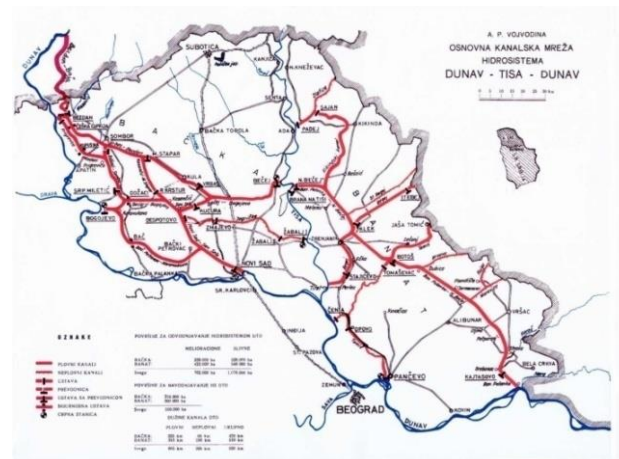
Ukupna dužina kanalske mreže iznosi približno 947 km. Na njoj postoje 24 kapije, 16 prevodnica, 5 sigurnosnih kapija, 6 pumpi i 180 mostova. Kanal je plovna na dužini od 664 km. U sistemu se nalazi i 14 luka [2].

Podeljen je na dva dela: bački i banatski deo.

Bački deo se sastoji od 9 deonica:

- Bečež-Bogojevo,
- Vrbas-Beždan,
- Novi Sad-Savino Selo,
- Bajski kanal,
- Odžaci-Sombor,
- Bački Petrovac-Karavukovo,
- Prigrevica-Beždan,
- Kosančić-Mali Stapar,
- Jegrička.

Ukupna dužina bačkog dela iznosi 435,4 km i od toga je plovna na dužini od 370,1 km.



Slika 1. Prikaz Hidrosistema DTD

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada, čiji mentor je bio prof. dr Ljubomir Budinski.

### 3. SOFTVERSKI PAKET HEC-RAS

#### 3.1. O softverskom paketu HEC-RAS

Programska aplikacija HEC-RAS predstavlja integrisani softver za modeliranje linijskog (jednodimenzionalnog) tečenja u otvorenim tokovima sa mogućnošću modeliranja: ustaljenog i neustaljenog tečenja u otvorenim tokovima proizvoljne geometrije proračuna pronosa nanosnih sedimenata i deformacije rečnog korita kao posledice kretanja tog nanosa, kao i rešavanje linijskog transporta potencijalnih zagađenja. Aplikacija takođe omogućuje da se na veoma jednostavan način modelira veliki broj lokalnih objekata kao što su mostovi, lokalna suženja i proširenja, brane, itd., i da na veoma kvalitetan način vizuelno i numerički prikaže i isprati svaki zahtev modeliranog slučaja. HEC-RAS je sveobuhvatni numerički softver koji daje kvalitetne i pouzdane rezultate modeliranja i kod najzahtevnijih hidrauličkih uslova nametnutih od strane prirodnih vodotokova [3].

Paket HEC-RAS je danas u velikoj meri zastupljen u inženjerskoj praksi kao osnovni alat za rešavanje i analizu velikog spektra hidrauličkih problema. Zauzima vodeće mesto među programima za jednodimenzionalno numeričko modeliranje strujanja u otvorenim tokovima. U nastavku će se detaljnije obraditi segment ustaljenog nejednolikog tečenja u otvorenim tokovima [3].

Modeliranje se sastoji od 5 koraka:

- Startovanja novog projekta,
- Unosa geometrije rečnog korita,
- Unosa ulaznih podataka i graničnih uslova za proračun,
- Izvršenja proračuna,
- Pregleda rezultata [4].

Za ovaj rad primenjen je programski paket HEC-RAS verzija 5.0.7., slika 2.



Slika 2 – HEC-RAS ikona na desktopu

#### 3.2. Primena programskog paketa HEC-RAS

Rad u HEC-RAS-u je organizovan u "projektima" (datoteke sa nastavkom \*.PRJ), koji u sebi sadrži sve podatke neophodne za proračun. Projektom su obuhvaćeni ulazni podaci i rezultati proračuna, u tabelarnom i/ili grafičkom obliku. Za svaki projekat se otvara poseban radni direktorijum. Preporuka je da se sve datoteke jednog projekta drže u istom direktorijumu.

Ulazni podaci obuhvataju:

- Geometrijske podatke, koji se sastoje od šematskog prikaza vodotoka i njegovih pritoka ("River System Schematic"), podatke o poprečnim profilima i objektima, kao što su mostovi, pripusti, ustave, prelive, brane itd i hrapavosti korita (Manningov koeficijent). Ovi podaci se čuvaju u datotekama sa nastavkom \*.Gbb ("bb" označava broj datoteke sa geometrijskim podacima).

- Podatke o protocima i graničnim uslovima, koje se čuvaju u datotekama sa nastavkom \*.Fbb ("bb" označava broj datoteke sa navedenim podacima).

Rezultati proračuna nalaze se u datotekama sa nastavkom \*.Rbb, dok grafički ili tabelarni prikazi su označeni sa \*.Obb [5].

Na slici 3 je prikazan osnovni prozor HEC-RAS softvera sa svim komandama.



Slika 3 – Osnovni prozor HEC-RAS softvera

Prvi korak je unos ulaznih, tj geometrijskih podataka. Ove podatke čine podaci o trasi vodotoka sa pritokama, podaci o poprečnim profilima, objektima (mostovi, propusti, prelive itd.), podaci o hrapavosti korita (vrednosti Manningovog koeficijenta).

Sledeći korak je unos podataka rečnih deonica. Ovaj korak se može realizovati na više načina. Jedan način jeste ručno crtanje rečnih deonica. Po završetku crtanja, dobija se šematski prikaz trase vodotoka sa položajem poprečnih profila.

Drugi način podrazumeva da se koordinatne vrednosti unesu iz spoljnih fajlova, kao npr. iz MS Excel ili GIS file-a. Prilikom matematičkog modeliranja koristiće se CSV ("Comma Separated Value") forma za unos geometrijskih podataka. U programski paket HEC-RAS moguće je ubaciti poprečne profile u formi X-Y-Z tako što se pomoću Excel programa formira tabela sa poljima RIVER\_NAME, RIVER\_REACH, RIVER\_STATION, X, Y, Z, kao što je prikazano u slici 4.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	FID	X	Y	Z	River_Name	River_Reach	River_Stat						
2		7427188.72	5050930.47	76.55	Becej-Bogojevo	Becej-Bogojevo	0						
3		7427186.15	5050934.03	74.95	Becej-Bogojevo	Becej-Bogojevo	0						
4		7427184.74	5050937	74.13	Becej-Bogojevo	Becej-Bogojevo	0						
5		7427182.95	5050940.18	73.2	Becej-Bogojevo	Becej-Bogojevo	0						

Slika 4 – Izgled CVS forme

Nakon završetka crtanja šematskog prikaza vodotoka sa položajem računskih poprečnih profila, prelazi se na učitvanje geometrije tih profila sa komandom "Cross section". Kad otvorimo editor dobijemo preglednu tabelu sa svim karakteristikama pojedinačnih profila. Za svaki profil treba definisati odstojanje do sledećeg profila "Downstream Reach Lengths", koordinate tačaka "Station" i "Elevation" i Manning-ov koeficijent "Manning's n Values".

Deonice se spajaju pomoću komande Junctions. Čvorovi deonica su definisani kao lokacije na kojima se spajaju ili razdvajaju dva ili više protoka. Podaci spajanja sastoje se od opisa: rastojanje deonica na kojoj se spajaju ili razdvajaju, pritočni uglovi spajanja ili razdvajanja, modeliranje pristupa.

Hidrotehnički objekti koje se nalaze na Hidrosistemu DTD, prelive i ustave, modelirani su pomoću komande "Inline Structure" iz prozora "Geometric Data".

Pokretanjem iz glavnog menija "Edit/Steady Flow Data" ili pritiskom na četvrtu ikonu s leva otvara se prozor sa podacima o protocima i odgovarajućim graničnim uslovima. Dobijeni rezultati mogu se prikazati u grafičkom ili tabelarnom obliku i nalaze se u glavnom meniju.

#### 4. ANALIZA PODATAKA

Analiza podataka se sastoji iz dva dela:

U prvom delu analize formiran je bački deo Hidrosistema DTD sa svim potrebnim karakteristikama poprečnih preseka, hidrotehničkim objektima i graničnim uslovima za proračun i izvršena simulacija test modela radi provere verodostojnosti i kvaliteta unetih podataka rada kanalske mreže.

U drugom delu analize na jednom delu kanalske mreže se vrši simulacija transporta zagađenja i analizira se ponašanje modela tokom simulacije.

##### 4.1. Formiranje kanalske mreže i puštanje test modela

Cilj ovog dela rada je da u softverskom paketu HEC-RAS formira kanalska mreža uz puštanje nekog protoka samo do te mere da se testira verodostojnost i kvalitet unetih podataka.

Kanalska mreža je podeljena na 8 deonica, ukupne dužine 390.8 km i sadrži ukupno 4055 poprečnih preseka. Prosečna razdaljina između poprečnih profila je oko 100m. U tabeli 1. prikazani su karaktersitike deonica kanalske mreže:

Tabela 1. Tabela sa deonicama kanalske mreže

	Dužina pojedinih deonica [km]	Broj poprečnih profila	Prosečna razdaljina između poprečnih profila [m]
Bečej - Bogojevo	90	903	99.96
Vrbas - Bezdán	80.9	857	94.99
Novi Sad - Savino Selo	39.1	382	100.97
Odžaci - Sombor	10.6	269	102.50
Bački Petrovac - Karavukovo	52.1	517	99.80
Prigrevica - Bezdán	31.7	317	97.98
Kosančić - Mali Stapar	21.1	207	100.65
Jegrička	65.3	603	105.88
<b>Ukupno</b>	<b>390.8</b>	<b>4055</b>	<b>100.34</b>

Deonice se spajaju na mestima:

- Čvor Prigrevica spaja deonicu Prigrevica – Bezdán i Odžaci – Sombor,
- Čvor Odžaci spaja deonicu Odžaci – Sombor i Bečej Bogojevo,
- Čvor Vrbas spaja deonicu Bečej – Bogojevo i Vrbas – Bezdán,
- Čvor Kosančić spaja deonicu Bečej – Bogojevo i Kosančić – Mali Stapar,
- Čvor Bački Petrovac spaja deonicu Novi Sad – Savino Selo i Bački Petrovac – Karavukovo.

A razdvajaju u čvorovima:

- Čvor Sombor razdvaja deonicu Vrbas – Bezdán i Odžaci – Sombor,
- Čvor Mali Stapar razdvaja deonicu Vrbas – Bezdán i Kosančić – Mali Stapar,
- Čvor Karavukovo razdvaja deonicu Bečej – Bogojevo i Bački Petrovac – Karavukovo,

- Čvor Savino Selo razdvaja deonicu Bečej – Bogojevo i Novi Sad – Savino Selo,
- Čvor Despotovo razdvaja deonicu Novi Sad – Savino Selo i Jegrička.

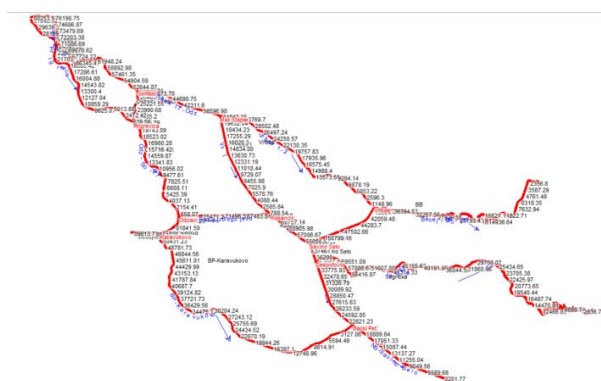
U šemu kanalske mreže uneti su hidrotehnički objekti: ustava Bečej, ustava Novi Sad, ustava Bezdán, ustava Kucura, ustava Ruski Krstur, ustava Despotovo, ustava Mali Stapar, ustava Srpski Miletić, ustava Vrbas, ustava Žabalj, sigurnosna ustava Češka Čuprija, sigurnosna ustava Kupusina, sigurnosna ustava Bač, sigurnosna ustava Odžaci i preliv Zmajev[6].

Podaci o kanalskoj mreži dobijeni su od strane JVP “Vode Vojvodine” i nalaze se u Pravilniku o održavanju vodnog režima na hidrosistemu Dunav-Tisa-Dunav deo I-1 (Bački deo hidrosistema). Podaci sa poprečnim profilima su dobijeni u MS Excel formatu. Svaki poprečni profil sadrži u proseku između 20-50 tačaka sa izmerenim X, Y i Z kotama i stacionažama, koji su pretovreni u .CVS fajl.

Zbog nedostatka merenih podataka na kanalskoj mreži, tj. protoka i kota nivoa vode, izvršice se proračun sa proizvoljnim graničnim uslovima. Softverski paket HEC-RAS računa svaku deonicu pojedinačno, zbog toga svakoj deonici treba odrediti granične uslove.

Granični uslovi predstavljaju kote nivoa vode na najnižvodnijim profilima za sve računске protoke.

Na slici 5 se vidi šematski prikaz cele kanalske mreže u softveru HEC-RAS.



Slika 5. Šematski prikaz kanalske mreže

##### 4.2. Simuliranje transporta zagađenja

Trećeg novembra 2019. godine u Srbobranu na delu Hidrosistema DTD pojavio se novi pomor ribe. Uz samu obalu voda je izbacila velike količine uginule ribe, dok je istovremeno ona koja je još bila živa pokušavala izlaskom na površinu da dođe do vazduha. Stradala je riba u delu vodotoka između Vrbasa i Turije, dok je u najširem delu u Srbobranu pomor najprimetniji. Na obali se mogu pronaći primerci svih vrsta ribe, od mlađi pa sve do kapitalaca. Prema saopštenju nadležnih za zaštitu životne sredine u Kuli 19. novembra 2019., za ovu ekološku katastrofu odgovoran krivac je šećerana u Crvenki, koja je u vodu isпустиła hemikalije zbog kojih izumire biljni i životinjski svet u kanalu[7].

Uz podatke koje su nam dostavljeni od strane JVP “Vode Vojvodine” simuliraće se transport zagađenja na deonici kanala Vrbas-Bezdán, od Vrbasa do Crvenke i na deonici kanala Bečej-Bogojevo, od Bečaja do Kucure.

Za unos potrebnih podataka za proračun koristiće se komanda “Water Quality Data”.

## 5. ZAKLJUČAK

Tema ovog rada je matematičko modeliranje bačkog dela Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav pomoću softverskog paketa HEC-RAS. U radu su data detaljna objašnjenja načina unosa podataka potrebnih za kreiranje šematskog prikaza razmatranih kanalskih mreža, kao i način testiranja verodostojnosti i kvaliteta unetih podataka simuliranjem rada kanalske mreže.

Razmatrana su dva slučaja simuliranja rada kanalske mreže i zaključuje se sledeće:

Prvi slučaj je simulacija rada cele kanalske mreže sa proizvoljnim graničnim uslovima. Zaključuje se da je matematički model stabilan i kvalitet unošenih podataka verodostojan. Na svakoj deonici su zadovoljeni osnovni principi održavanja vodnog režima kanalske mreže, što znači da je matematički model primenljiv i za zvanične vrednosti graničnih uslova, koji bi se dobijali merenjem kota nivoa i praćenjem protoka vode od strane zaduženih službi. U tu svrhu bi trebalo izgraditi i postaviti instalaciju merne opreme za svaku deonicu kanalske mreže. Očitavanjem i sistematizacijom izmerenih podataka zajedno sa ovim softverom bi se napravio sistem za manipulaciju, monitoring i upravljanje radom kanalske mreže.

Drugi slučaj je simuliranje transporta zagađenja na kanalu Vrbas – Bezdan, na deonici Vrbas - Crvenka i na kanalu Bečej – Bogojevo, na deonici Bečej – Kucura. Zaključuje se da je model stabilan i da se može pouzdano koristiti za simulaciju transporta zagađenja.

## 6. LITERATURA

- [1] <https://www.dotkomsite.com/price-iz-ravnice/nikola-mirkov-tvorac-dtd-kanala-vojvodanskog-krvotoka/>
- [2] Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, JVP “Vode Vojvodine” Novi Sad, “Hidroinvest DTD” AD Novi Sad, Pravilnik o održavanju vodnog režima na hidrosistemu Dunav-Tisa-Dunav deo I-1 (Bački deo hidrosistema)
- [3] Budinski Ljubomir, Slajdovi za predavanje Ustaljeno nejednoliko tečenje u kanalima –programski paket HEC-RAS
- [4] HEC-RAS River Analysis System User’s Manual
- [5] Đorđević Dejana, Rosić Nikola i Jovanović Miodrag, diplomski rad HEC-RAS - Korisničko uputstvo
- [6] Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, JVP “Vode Vojvodine” Novi Sad, “Hidroinvest DTD” AD Novi Sad, Pravilnik o održavanju vodnog režima na hidrosistemu Dunav-Tisa-Dunav deo I-1 (Bački deo hidrosistema)
- [7] <https://srbobrandanas.rs/2019/11/03/novi-pomor-ribe-u-kanalu-dtd>

## Kratka biografija:



**Lilla Varga** rođena je u Senti 1991. godine. Diplomski rad iz oblasti građevinarstva, na temu „Projekat sistema za navodnjavanje BEČEJ II“, odbranila je 2017. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Trenutno student master studija istog fakulteta – smer Hidrotehnika.

**Ljubomir Budinski** rođen je u Kuli 1976. godine. Doktorsku disertaciju odbranio je na Građevinskom fakultetu u Subotici. Od 2011. godine ima zvanje docenta.