

ПРИМЕНА МКЕ И ТЕЛЕМАК-2Д У НЕУСТАЉЕНОМ ТЕЧЕЊУ ОТВОРЕНИХ ТОКОВА

Бела Варга¹
Матија Стипић²
Срђан Колаковић³

УДК: 627.13:556.536:519.87

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.098

Резиме: У раду је приказано моделирање раванских отворених токова са конкретним примером. За нумеричку методу решавања Сент Венантових једначина неустаљеног течења примењена је метода коначних елемената (МКЕ). Прорачуни су урађени помоћу програмског пакета Телемак 2Д, који је заснован на МКЕ и користи методу етапног решавања. У раду је приказана симулација течења у доводном каналу Барачка, из Дунава до црпне станице Бездан 2, за различите услове течења. Модел је најпре калибрисан са мереним подацима, а затим употребљен за проверу течења у доводном каналу и наструјавању ка реконструисаној ЦС Бездан 2.

Кључне речи: Телемак 2Д, моделирање отворених токова, Блуе Кеуе.

1. УВОД

Нумеричко моделирање раванских токова је од великог значаја за хидротехничку праксу. Сложена природа турбулентног течења у отвореним токовима захтева примену комплексних рачунских поступака у моделирању ових токова. Многи токови се не могу описати линијским моделима због специфичних морфолошких услова који намећу равански карактер течења. Поред тога, решавање неких проблема захтева ниво детаљности који се не може постићи без примене раванских и просторних модела. Метода коначних елемената (МКЕ), као и Метода коначних разлика (МКР), омогућава приближно решавање граничних и/или почетних проблема који се срећу у областима хидротехнике [3], [4].

МКР се базира на математичкој дискретизацији диференцијалних једначина превођењем на једначине са коначним разликама. Ефикасност методе се смањује са сложености унутрашњих веза посматраног система. Код течења у отвореним токовима МКЕ има предност због лакшег и тачнијег обухватања геометријски

¹ Бела Варга, Маст.инж. грађ., Техничка школа „Милева Анштајн“ у Новом Саду, е-маил: yarga.bela@yahoo.com

² Доц др Матија Стипић, дипл.инж.грађ., АД“ВОЈВОДИНАПРОЈЕКТ“ Нови Сад, Булевар Краља Петра I бр. 17, е-маил: matija@vojvodinaprojekt.rs

³ Проф др Срђан Колаковић, дипл.инж.грађ., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, е-маил: kolak@uns.ac.rs

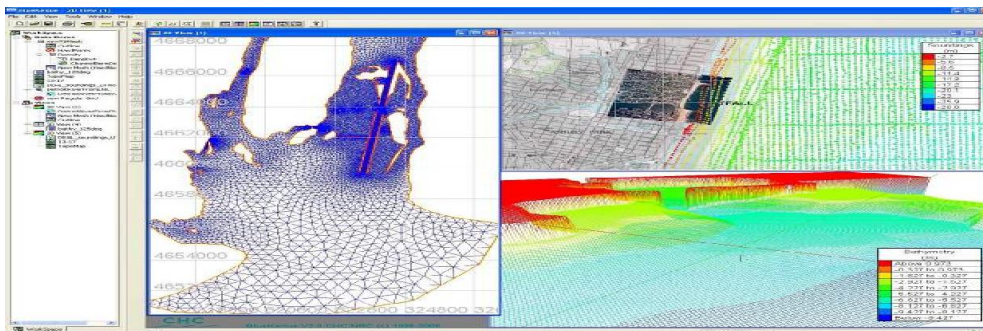
сложених рачунских области, као и могућности лаког локалног повећања густине рачунске мреже у зонама од интереса.

Данас су на располагању разни комерцијални или слободни софтверски пакети за прорачун раванских (2Д) отворених токова. Један од таквих система је Телемак-2Д, заснован на методи коначних елемената, чији је развој започет пре тридесет година у окриљу Француске електропривреде, а данас је проширен и на друге истраживачке и академске центре широм света. Модел Телемак-2Д је специфичан и по томе што користи методу етапног решавања (енг. fractional step method), што му даје предности у односу на друге моделе у погледу стабилности прорачуна и тачности резултата. У раду је приказана конкретан пример примене течења у доводном каналу Барачка, од Дунава до ЦС Бездан II, и показане су перформансе програмских пакета Блу Кену [1] и Телемак-2Д [6]. Потом, узимајући у обзир калибрацију мерених података на терену са резултатима прорачуна, помоћу програмског пакета Телемак-2Д (у комбинацији са „Blue Kenue“) [5] предложена су три могућа решења за повећање капацитета и побољшање рада ЦС Бездан II, са првобитних $8 \text{ m}^3/\text{s}$ на $20 \text{ m}^3/\text{s}$ [2].

2. МЕТОДОЛОГИЈА

2.1. БЛУ КЕНУ

Блу Кену је апликација изграђена на „EnSim“ технологији која обезбеђује алате за припрему и анализу нумеричких модела података посебно у области хидраулике. Он је првобитно замишљен као пост-процесор (алат за накнадну обраду) за ТЕЛЕМАК породицу модела развијених од стране националне лабораторије за хидраулику Француске Електропривреде. Блу Кену такође обезбеђује увоз / извоз (енг. import/export) интерфејса за податке из АДЦИРЦ, СМС, ИНРС Еау ХидроСим и ТриГрид Мешер-а (Слика 1.).

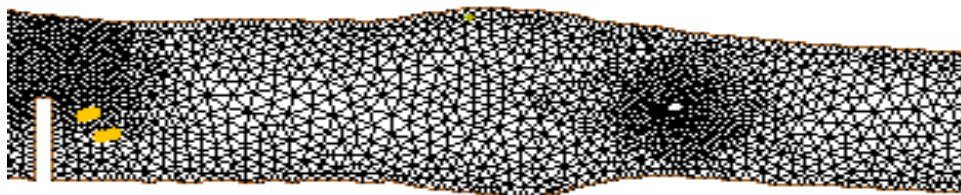


Слика 1. Припрема података у Блу Кену-у

3. ТЕЛЕМАК-2Д

Телемак-2Д решава једначине отворених токова осредњене по дубини које су прво настале од Бери Де Сент Венант-а (1871 г.). Главни резултати на сваком чвору рачунарске мреже су дубина воде и компоненте осредњених брзина по дубини.

Главна примена пакета Телемак-2Д је у хидраулици отворених токова (поморских или речних). Телемак-2Д је развијен од стране националне лабораторије за хидраулику и за животну средину (ЛНХЕ), са стране дирекције за истраживање и развој француског електричног одбора (ЕДФ-Р&Д) у сарадњи са другим истраживачким институтима. Као претходне верзије програма, верзија 6.0 је у складу са процедуром осигурања квалитета (од сад у тексту “ПОК”) ЕДФ-а за научне и техничке програме. Ово поставља правила за развој и проверу квалитета производа у свим фазама. Конкретно, програм покривен ПОК-ом праћен је валидационим документима који описују област коришћења софтвера са низом тест-случајева. Овај документ може да се користи за одређивање перформанси и ограничења софтвера и дефинисања области примене. Тест случајеви се такође користе за развој софтвера и проверавају се сваки пут кад је нова верзија произведена (Слика 2.).



Слика 2. Приказ триангулације терена

3.1. КАЛИБРАЦИЈА МОДЕЛА

У другој половини августа и почетком септембра 2003 г. као последица незапамћене суше, на Дунаву су се појавили изузетно ниски водостаји. Тако је 1.1.9.2003 г. на водомерној станици Бездан измерено - 87 цм (“0” водомера 80.64 мм), што представља апсолутни минимални водостај који је икада до сада забележен. Кота од - 87 цм је очитана на лимниграфу Републичког хидрометеоролошког завода. Као контрола, у исто време и на истом месту, геодетским мерењем је добијена кота нивоа воде Дунава од 79.79 мм. У том периоду канал Врбас-Бездан се снабдевао помоћу црпне станице Бездан 2. Истовремено са геодетским мерењем нивоа воде урађено је и хидрометријско мерење протицаја воде, како би се утврдио капацитет пумпне станице при најнеповољнијим условима рада. Један пумпни агрегат је радио са протоком од $3.72 \text{ м}^3/\text{с}$, при воденом огледалу испред ЦС од 75.57 мм [7].

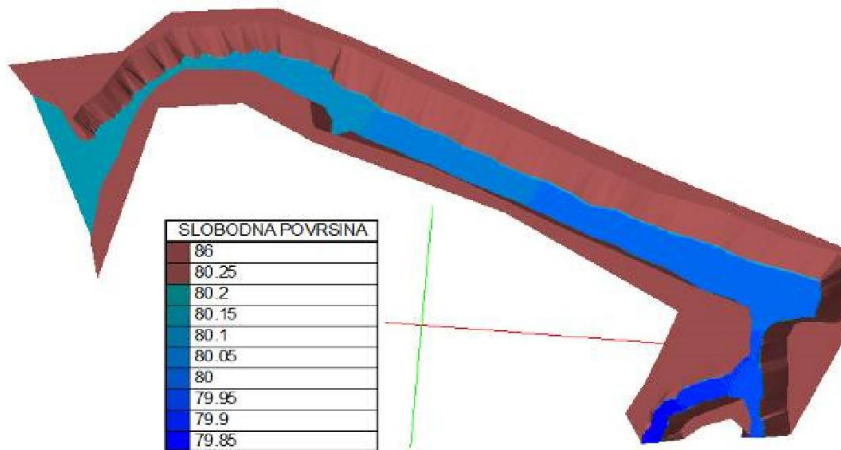
4. АНАЛИЗА И РЕЗУЛТАТИ

Прорачуном помоћу Telemak-2Д софтвера су потврђене измерене вредности и то да је при протицају од $3.72 \text{ м}^3/\text{с}$ ка ЦС Бездан II, средња вредност коте слободне површине воденог огледала у рачунатим тачкама испред црне станице 79.58 мм.

У односу на измерене податке на терену (кота воденог огледала је 79.57 мнм), уочава се да је средња грешка у границама од ± 1 цм. Урађеним анализама и прорачунима понуђена су три решења за повећање капацитета и побољшање рада ЦС Бездан II :

1. Измуљење доводног канала до ЦС Бездан II са понуђеним режимима рада ЦС при различитим нивоа Дунава а за следеће граничне услове:

- 1 пумпни агрегат ($4 \text{ м}^3/\text{с}$) може да функционише када је кота воденог огледала Дунава на месту споја са Барачком изнад 79.73 мнм и кота воденог огледала Барачке испред ЦС изнад 79.55 мнм,
- 2 агрегата ($8 \text{ м}^3/\text{с}$) могу да функционишу ако је кота воденог огледала Дунава код улива у Барачку изнад 79.98 мнм и кота воденог огледала Барачке испред ЦС изнад 79.73 мнм,
- 3 агрегата ($12 \text{ м}^3/\text{с}$) могу да функционишу ако је кота воденог огледала Дунава код улива у Барачку изнад 80.19 мнм и кота воденог огледала Барачке испред ЦС изнад 79.85 мнм (Слика 3.).

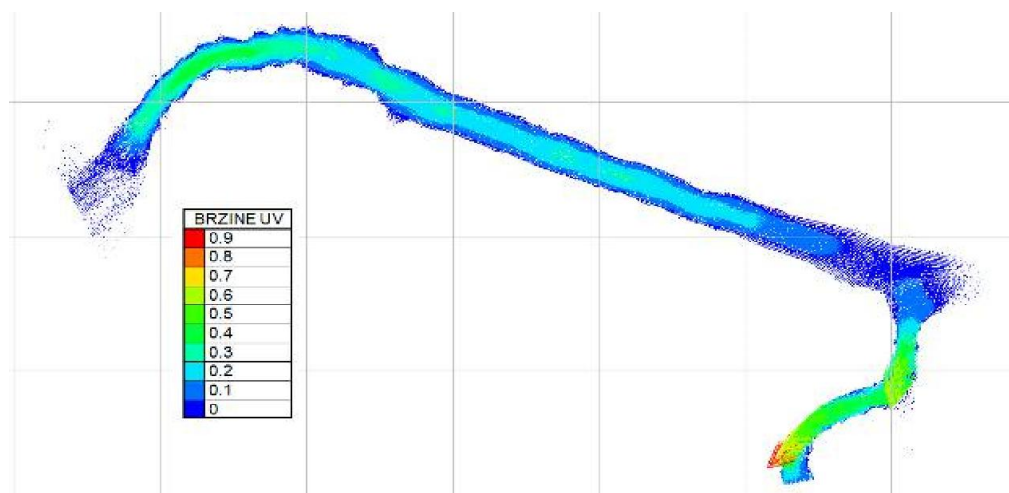


Слика 3. Приказ Слободне површине водног огледала при протицају од $12.0 \text{ м}^3/\text{с}$ и коти Дунава пред Барачку од 80.19 мнм

Помоћу програмског пакета Блу Кену је установљено да у основном доводном каналу до ЦС Бездан II постоји јака турбуленција са рецикулацијом воде због облика канала (које из птичје перспективе личи на обрнуто латинично слово С). У анализама приказаних примера ископа канала примећено је да доводни канал до ЦС има већу пропусну моћ ако су струјнице које су усмерене ка ЦС паралелне (Слика 4.).

2. Ископ доводног канала Барачка, да омогући течење од $15 \text{ м}^3/\text{с}$ ка црпној станици Бездан 2:

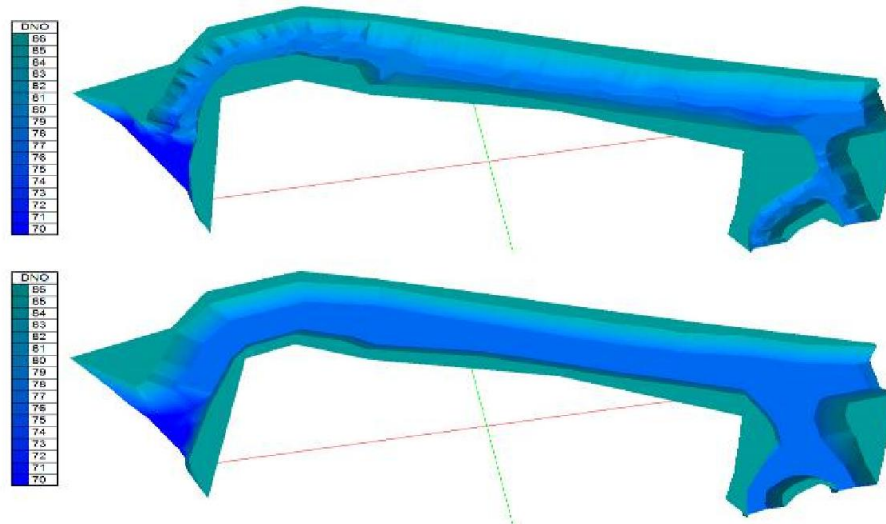
Барачку треба проширити од око 18% у сегментима где се улива у Дунав, а доводни канал до црпне станице треба проширити од око 50%, док дно канала треба спустити на коту од 77.70 мнм, са бочним нагибима корита од 1:3 у Барачкој и 1:1 у доводном каналу до ЦС.



Слика 4. Приказ вектора брзина при протикају од 12.0 м³/с и коти Дунава пред Барачку од 80.19мнм

- Ископа доводног канала, да може да пропусти црпљење од 20 м³/с на црпној станици Бездан II и 15 м³/с на црпној станици Бездан I:

Барачку треба проширити од око 60% у сегментима где се Дунав улива у њу, а доводни канал до црпне станице треба проширити од око 150% његове тренутне ширине да би могао да пропусти црпљење од 35 м³/с. Коту дна канала спустити на 77.50 мнм са бочним нагибима корита од 1:3 у Барачкој и 1:1 у доводном каналу до ЦС (Слика 5.).



Слика 5. Приказ дна корита Барачке пре и после реконструкције

5. ЗАКЉУЧАК

МКР се базира на дискретизацији непрекидне области, тако да се вредности зависно променљивих разматрају само у низу дискретних тачака, док МКЕ на дељењу континуума на велики број елемената једноставног облика. Ова друга постиже боље поклапање граница физичког и рачунског домена кад је реч о дигитализовању дна речног корита.

Нумерички модел раванског (2Д) течења представља моћно оруђе за анализу хидродинамике речних токова. Гледајући разлику између вредности мерених на терену и резултата прорачуна, осредњена грешка је у границама од ± 1 цм. Добро слагање резултата у тест примеру потврђује ваљаност методологије уграђене у програмском пакету Телемак-2Д и препоручује се за коришћење. Нумеричке симулације, обављене помоћу одговарајућег и добро калибрисаног модела, за низ одабраних почетних и граничних услова, омогућавају проверу пројектних решења. Приказани резултати добро илуструју како се ефикасно могу проверити и упоредити пројектна решења (облик попречног пресека, ширина и дубина ископаног канала, бочни нагиби корита, итд.), у циљу постизања жељених хидрауличко-морфолошких ефеката уз најмање трошкове изградње.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Blue Kenue Reference manual, *Canadian Hydraulics Centre, National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada, 2011.*
- [2] Бела, В.: Примена МКЕ и ТЕЛЕМАК 2Д у неустаљеном течењу у отвореним токовима, Мастер рад, Факултет техничких наука у Новом Саду, **2012.**
- [3] Јовановић, М.Б.: Нумеричка хидраулика у пројектовању регулационих грађевина: напери са крилима, 16.Саветовање СДХИ И СДХ – Доњи Милановац, Србија, **2012.**
- [4] Јовановић, М.Б.: Основе Нумеричког Моделирања Раванских Отворених Токова, *Грађевински Факултет, 1998.*
- [5] Ланг, П.: Telemac-2D Software v6.0 User Manual, *Telemac Modelling System (e-book), 2010.*
- [6] Hydrodynamic model of St. Clair River with Telemac-2D, *Canadian Hydraulics Centre, National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada, 2009.*
- [7] Рајић, Д., Буза, К.: Доводни канал за црпну станицу Бездан 2 (Елаборат) , Воде Војводине.

APPLICATION OF FEM AND TELEMAC-2D AT UNSTEADY FLOWING IN OPEN FLOWS

Summary: *The thesis describes the principle of numerical modeling of open planar flows. For the numerical method for solving differential equations, the finite element method (FEM) was chosen, because it's more suitable for the case of planar open flows.*

The calculations were done by using the Telemac 2D software, which is based on the (FEM) and uses the fractional-step method, which has an advantage over the other models in terms of calculation stability and the accuracy of the results. The aim of this thesis is to show on a particular example (Case Study-CS-Baračka Bezdan 2) the performance of the Blue Kenue and the Telemac-2D softwares.

Keywords: *Telemac 2D, Hydraulic modelling of open flows, Blue Kenue, Bezdan, Baracka.*