

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<ol style="list-style-type: none">1. Датум и орган који је именовео комисију 31.03.2008.године, Наставно-научно веће Грађевинског факултета Суботица2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:<ul style="list-style-type: none">▪ др Миодраг Јовановић, редовни професор Универзитета у Београду, изабран 10.10.2001. г. за предмете Регулација река и Пловни путеви и пристаништа, Грађевински факултет у Београду – председник.▪ др Миодраг Спасојевић, редовни професор Универзитета у Новом Саду, изабран 18.11.2004.г. за ужу научну област Хидротехника, Грађевински факултет Суботица – ментор, члан.▪ др Радомир Капор, ванредни професор Универзитета у Београду, изабран 09.09.2008.г. за ужу научну област Механика флуида и Хидраулика, Грађевински факултет у Београду – члан.▪ др Љубодраг Савић, ванредни професор Универзитета у Београду, изабран 30.09.2008.г. за ужу научну област Хидротехничке конструкције и објекти, Грађевински факултет у Београду – члан.▪ др Ђула Фабиан, ванредни професор Универзитета у Новом Саду, изабран 19.06.2008.г. за ужу научну област Хидротехника, Грађевински факултет Суботица – члан.
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<ol style="list-style-type: none">1. Име, име једног родитеља, презиме: Љубомир, Марија, Будински2. Датум рођења, општина, република: 29.10.1976.године, Кула, Србија.3. Датум одбране, место и назив магистарске тезе: 24.09.2004.године, Грађевински факултет Суботица, „Нумеричко моделирање тока у бурном режиму“.4. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Грађевинарство, Хидротехника
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Математичко моделирање раванских (осредњених по дубини) једначина струјања воде, транспорта наноса и морфолошких промена у природним алувијалним водотоцима

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Дисертација садржи 7 поглавља са 70 слика и 11 табела:

(1) Увод	2 стране
(2) Преглед литературе	14 страна
(3) Теоријске основе	44 стране
(4) Нумеричко решавање једначина	43 стране
(5) Програмски код	4 стране
(6) Анализа резултата	88 страна
(7) Закључак	5 страна.

Дисертација такође садржи:

Прилоге (укупно 39)	28 страна
Списак литературе	9 страна
Апендиксе (А до Д)	12 страна

Спискови слика, табела, прилога и ознака су приложени на уводним странама, иза Садржаја.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

- Увод садржи јасан опис сложеног проблема интеракције воде и наноса у природним алувијалним водотоцима, исцрпан преглед постојећих приступа решавању описаног проблема, као и образложење изабраног приступа (математичко моделирање једначина раванског струјања воде, транспорта наноса и морфолошких промена корита).
- Преглед литратуре, детаљан и заокружен, садржи анализу како класичних референци, тако и најновијих радова. Посебна пажња је обрађена на актуелне концептуалне приступе у моделирању интеракције воде и наноса, као и на савремене нумеричке методе за решавање једначина којима се проблем описује, што су заправо и кључни елементи дисертације.
- Теоријске основе, поред једначина струјања воде, садрже и јасан опис физичких појава транспорта наноса и морфолошких промена корита алувијалних водотока које карактерише мешавина наноса различите крупноће. У овом делу је дат и опис предложеног концептуалног модела, који омогућава да се наведене појаве опишу одговарајућим једначинама. Јасно и прецизно су изведене једначине које описују струјање воде и понашање наноса, при чему су обухваћени осредњавање по дубини тока и трансформација у опште (неортогоналне) криволинијске координате. Ово поглавље садржи и опис проблема променљиве области струјања.
- Нумеричко решавање једначина се заснива на добром избору нумеричких метода, при чему је сваки корак нумеричког решења јасно и детаљно документован. Коришћена је метода етапног решавања једначина, која омогућава да се крајње решење добије суперпонирањем етапних решења појединих делова једначина. За свако етапно решење се бира нумерички метод који највише одговара математичком карактеру дела једначине који се решава. Тако је за моделирање адвективних делова једначина струјања воде и транспорта суспендованог наноса правилно усвојена метода трајекторија, која највише одговара хиперболичком карактеру једначина адвекције, односно физичком проблему које ове једначине описују. Пропагациони и дифузиони део једначина струјања воде, као и дифузиони део једначине транспорта суспендованог наноса, су, опет због свог математичког карактера, решаване методом коначних разлика. Услов да сума свих фракција мешавине наноса увек буде једнака јединици је задовољен тако што су једначине за нанос на дну и при дну решаване симултано, док је посебна пажња посвећена моделирању механизма размене између наноса на дну и при дну и наноса у суспензији. У овом делу приказан је и оригинални алгоритам за решавање сушења и квашења приобалног подручја, развијен за случај фиксне рачунске мреже.
- Приказ програмског кода, који је кандидат развио током израде дисертације, је јасан и прегледан.
- Анализа резултата садржи приказ више примера, који су коришћени за тестирање и верификацију у фази развоја модела, а затим и за анализу резултата. Као што је уобичајено, модел је прво тестиран на шематским примерима (канал у кривини, прав канал са острвом), а затим на примерима стварних алувијалних водотока и природном мешавином наноса различитих фракција (акумулација ХЕ Зворник, деонице река Atchafalaya и Missouri у САД). Акумулација ХЕ Зворник је коришћена за тестирање алгоритма за решавање сушења и квашења приобалног подручја. Најважнији тестови и анализе резултата су спроведени на примерима река Atchafalaya и Missouri које су изабране због великог броја расположивих теренских мерења, која укључују симултане податке о струјању воде, суспендованом наносу и наносу на дну, као мешавине више фракција.
- Закључак је јасно написан. Истакнут је приступ којим се моделишу готово сви важни аспекти интеракције воде и наноса у алувијалним водотоцима. Истакнута су

оригинална побољшања које је кандидат увео у различитим фазама развоја модела, као и висок степен слагања резултата са теренским подацима.

- Коначно, све слике, табеле, прилози, ознаке и једначине у дисертацији су приказани на јасан и прегледан начин.

VI Списак научних и стручних радова који су објављени или прихваћени за објављивање на основу резултата истраживања у оквиру рада на докторској дисертацији

1. Будински, Љубомир, Спасојевић, Миодраг, (2007), "Моделирање раванског струјања методом етапног решавања чланова једначина", Водопривреда, јануар-јун, стр. 23-30.
2. Будински, Љубомир, Спасојевић, Миодраг, (2006), "Решавање једначина раванског тока методом разломљених корака", XIV саветовање Југословенског друштва за хидрауличка истраживања – Србија и Црна Гора, Нови Сад, Србија, 13-15 новембар.
3. Будински, Љубомир., Савић, Љубодраг, (2006), "Нумеричко моделирање брзотока при сужењу и проширењу корита", XIV саветовање Југословенског друштва за хидрауличка истраживања – Србија и Црна Гора, Нови Сад, Србија, 13-15 новембар.
4. Будински, Љубомир., Савић, Љубодраг, (2006), "Примена раванског модела на брзоток у кривини", XIV саветовање Југословенског друштва за хидрауличка истраживања – Србија и Црна Гора, Нови Сад, Србија, 13-15 новембар.
5. Будински, Љубомир, Савић, Љубодраг, (2005), "Нумеричко моделирање брзотока у кривини", Водопривреда, јул-децембар, стр. 181-190.
6. Будински, Љубомир, Савић, Љубодраг, (2005), "Нумеричко моделирање брзотока при промени правца зида канала", Водопривреда, јануар-јун, стр. 59-69.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Основни резултат istraživanja:

- Кандидат је, користећи концепт активног слоја (за нанос на дну и вучени нанос при дну водотока) и активног подслоја (за нанос испод површине дна водотока), самостално развио равански модел који укључује све важне аспекте интеракције воде и наноса у природним водотоцима. Модел укључује: струјање воде, оба вида транспорта наноса (суспендовани и вучени), механизме размене између наноса у суспензији и наноса у активном слоју (депоновање наноса из суспензије на дно и ресуспензију наноса са дна), деформацију корита водотока услед ерозије и депоновања, као и резултујуће механизме размене између наноса у активном слоју и активном подслоју. Кандидат је у полазни моделски концепт унео већи број побољшања: све једначине су трансформисане у неортогонални криволинијски координатни систем, уместо ортогоналног криволинијског система у полазном моделу; развијено је нумеричко решење нелинеарних адвективних делова једначина струјања које одговара хиперболичком карактеру једначина, засновано на коришћењу методе карактеристика са интерполацијом вишег реда; развијена су решења за дифузионе делове једначина струјања и транспорта суспендованог наноса, која су у почетном концепту занемарена; сви нумерички поступци су прилагођени једначинама у неортогоналним криволинијским координатама; вредности концентрације суспендованог наноса и коефицијента турбулентне дифузије у близини дна су одређени на основу теоријских расподела ових параметара по дубини тока, чиме је моделисање вертикалних флукова депоновања и ресуспензије наноса побољшано у односу на полазни модел, код кога су за ове параметре једноставно коришћене вредности осредњене по дубини тока; коначно, развијен је и алгоритам за решавање проблема квашења и сушења обала при неустаљеном течењу, који није постојао у почетном моделу. Тестирање модела на шематским примерима је показало значајна унапређења појединих нумеричких процедура. Тестирање модела на примерима реалних водотока је показало слагања нумеричких резултата са детаљним теренским мерењима.

Појединачни резултати – моделски концепти и једначине:

- Пошто се оба вида транспорта наноса, као и сви механизми размене, моделишу за сваку фракцију наноса посебно, модел симулира и сталне промене гранулометријског састава наноса у суспензији, на дну и испод површине дна водотока, односно природне појаве као што су хидрауличко сортирање и самопопљочавање дна водотока.
- Претходно такође елиминише потребу да се унапред дефинише које фракције припадају суспендованом, а које вученом наносу односно наносу на дну, већ је то део решења, добијеног на основу локалних брзина струјања и локалног гранулометријског састава односно крупноће појединих зрна наноса.
- Повратно дејство наноса на речни ток се моделише не само кроз промену области струјања (услед деформације корита), већ и кроз промене храпавости корита (услед промене гранулометријског састава површине дна) и промене густине мешавине воде и суспендованог наноса.
- Трансформацијом једначина у опште (неортогоналне) криволинијске координате постигнут је адекватни приказ сложене геометрије природног водотока, чиме је омогућено тачније моделисање струјне слике у условима комплексне геометрије корита.
- Погодан избор моделског приступа за решавање сушења и квашења приобалног подручја је омогућио симулације неустаљеног струјања уз сталне промене границе

области струјања.

Појединачни резултати – развој алгоритама и нумеричких поступака:

- Избор етапног решавања као нумеричког приступа омогућио је примену адекватног нумеричког решења за поједине делове једначина.
- Нумерички најкомпликованији адвективни делови једначина струјања воде и транспорта суспендованог наноса су решавани методом трајекторија (карактеристика) са интерполацијом вишег реда, која највише одговара хиперболичком карактеру једначина. Кандидат је ову методу прилагодио једначинама у општим (неортогоналним) криволинијским координатама.
- Пропагациони и дифузиони део једначина струјања воде, као и дифузиони део једначине транспорта суспендованог наноса, решавани су методом коначних разлика. За дискретизацију једначина коришћена је имплицитна Crank-Nicholson шема методе коначних разлика, а за решавање резултујућег система алгебарских једначина итеративна ADI метода. Наведене поступке је кандидат такође прилагодио једначинама у општим (неортогоналним) криволинијским координатама.
- Флексибилни алгоритам за решавање једначина за нанос при дну, на дну и испод површине дна, омогућава да се у модел укључи практично неограничен број фракција наноса (једино ограничење су расположиви компјутерски ресурси).
- Једначине за нанос на дну и при дну (онолико једначина колико је фракција наноса укључено у модел, плус једна глобална једначина за промене коте дна) су решаване симултано, чиме је задовољен услов да сума свих фракција мешавине наноса увек буде једнака јединици.
- Посебна пажња је посвећена механизмима размене између наноса на дну и при дну и наноса у суспензији, који се у просторним моделима уобичајено приказују као вертикални флуксеви депоновања и ресуспензије наноса, тако да захтевају познавање концентрације суспендованог наноса и коефицијента туурбулентне дифузије у близини дна. Да би превазишао ограничење које намећу раванске једначине, кандидат је користио теоријске расподеле ових параметара по дубини тока, за разлику од полазног модела, који механизме размене моделише коришћењем параметара осредњених по дубини тока.
- Коначно, кандидат је самостално развио и алгоритам за решавање променљиве области струјања у хоризонталном плану (тзв. квашење и сушење обала).

Појединачни резултати – тестирање и резултати модела:

- За све почетне тестове током развоја модела су коришћена два шематска примера: канал у кривини и прав канал са острвом. Канал у кривини је додатно коришћен за тестирање методе карактеристика са интерполацијом вишег реда, која је примењена на нумерички хиперболичке делове једначина струјања и транспорта суспендованог наноса (тј. нелинеарне и линеарне једначине адвекције). Треба посебно истаћи да резултати решења нумерички најзахтевнијих нелинеарних једначина адвекције (талас брзине стрмог чела у закривљеном каналу) показују веома висок степен очувања облика стрмог чела, код кога уобичајене методе по правилу производе или нумеричку дифузију или нумеричке осцилације. Прав канал са острвом је додатно коришћен за тестирање оригиналног алгоритма за решавање променљиве области струјања у хоризонталном плану (тзв. квашење и сушење обала).
- За тестирање модела на примерима алувијалних водотока изабране су две деонице река из САД. За ове реке постоје детаљни резултати теренских мерења морфологије речног корита, карактеристика струјања воде и наноса као природне мешавине више фракција. Изабране локације су кривина Leavenworth Bend реке

Missouri, где је природна мешавина наноса апроксимирана помоћу 3 фракције, и доњи ток реке Atchafalaya код града Morgan City, где је природна мешавина наноса апроксимирана помоћу 5 фракција. Мерени подаци, поред морфологије корита, укључују протоке и нивое воде, вертикалне профиле брзина воде и концентрација суспендованог наноса (укупних и по фракцијама), као и гранулометријске саставе узорака наноса са дна.

- Приказ резултата моделских симулација за изабране тест деонице река Missouri и Atchafalaya јасно демонстрира да развијени модел омогућава анализе свих кључних параметара интеракције струјања воде и понашања наноса у алувијалним водотоцима.
- Поређење резултата моделских симулација са резултатима мерења за изабране тест деонице река Missouri и Atchafalaya показује слагања, како за карактеристике струјања воде, тако и за параметре наноса. На пример, модел репродукује мерене протоке, нивое воде, интензитет и правац хоризонталних вектора брзина (осредњених по дубини тока), распореде концентрација суспендованог наноса (укупне и по фракцијама), итд.. Код параметара наноса се посебно уочава значајно побољшан ниво слагања мерене и укупне симулиране концентрације суспендованог наноса за случај када се мешавина наноса моделише помоћу неколико различитих фракција, у односу на случај када се мешавина наноса представља помоћу једног репрезентативног зрна.
- Коначно, акумулација ХЕ Зворник је коришћена за тестирање алгоритма за решавање променљиве области струјања у хоризонталном плану (тзв. квашење и сушење обала). Резултати показују да развијени алгоритам омогућава симулације неустаљеног струјања, уз сталне промене границе области струјања.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

НАПОМЕНА: Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Резултати истраживања су приказани и тумачени јасно, мада повремено недовољно концизно.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

НАПОМЕНА: Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе.

Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање.

1. Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.
2. Дисертација садржи све битне елементе
3. Дисертација представља оригиналан допринос науци. Кандидат је развио равански модел струјања воде и понашања наноса у алувијалним водотоцима, уносећи при томе оригинална унапређења и побољшања у односу на постојеће моделе: унапређени су поједини елементи постојећих математичких формулација процеса; побољшани су тачност, поузданост и ефикасност нумеричког решења (као комбинација општег нумеричког приступа и појединих нумеричких решења у случају једначина у општим криволинијским координатама); побољшане су могућности анализе интеракције струјања воде и понашања наноса у алувијалним водотоцима; развијен је алгоритам за решавање променљиве области струјања у хоризонталном плану (тзв. квашење и сушење обала). Модел је тестиран како на шематским примерима, тако и на деоницама природних водотока за које постоје квалитетни резултати комплетних хидрометријских мерења. Резултати симулација потврђују да предложени модел уноси значајна побољшања у постојеће моделе.
4. Недостатци дисертације се огледају у повремено недовољно концизним (мада и даље јасним) деловима текста, што нема утицаја на резултате истраживања.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

- да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана
-

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

др Миодраг Јовановић, дипл. грађ. инж.,
редовни професор Грађевинског факултета у Београду

др Миодраг Спасојевић, дипл. грађ. инж.,
редовни професор Грађевинског факултета Суботица

др Радомир Капор, дипл. грађ. инж.,
ванредни професор Грађевинског факултета у Београду

др Љубодраг Савић, дипл. грађ. инж.,
ванредни професор Грађевинског факултета у Београду

др Ђула Фабиан, дипл. грађ. инж.,
ванредни професор Грађевинског факултета Суботица.

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење, односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.