

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/155



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-4023	
Naslov projekta	Povezava metode SPH s konvencionalnimi numeričnimi metodami in robnimi pogoji za simulacije na področju dinamike vode in plavin	
Vodja projekta	8247	Matjaž Četina
Tip projekta	L	Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4218	
Cenovni razred	B	
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014	
Nosilna raziskovalna organizacija	792	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	2292 2836	CGS plus, Inovativne informacijske in okoljske tehnologije, d.o.o. LITOSTROJ POWER, družba za projektiranje, gradnjo elektrarn in izdelavo energetske ter industrijske opreme, d.o.o.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 2.20	TEHNIKA Vodarstvo
Družbeno-ekonomski cilj	05.	Energija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 2.07	Tehniške in tehnološke vede Okoljsko inženirstvo

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

V novejšem času se za numerične simulacije pojavov na področju hidrodinamike in transporta plavin vse bolj uporabljajo brez mrežne

Lagrangeve metode delcev, kjer so računski elementi masni delci. Relacije med njimi se s časom spreminjajo, kar omogoča obravnavanje tudi večjih diskontinuitet in nenadnih sprememb v tekočini. Ena najstarejših brez mrežnih metod je SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics), katere nadaljnji razvoj je obravnavan v raziskovalnem projektu.

Največja pozornost je bila posvečena nadaljnjemu razvoju robnih pogojev, ki so pri metodi SPH znatno zahtevnejši kot pri metodah, ki temeljijo na Eulerjevem opisu računske domene. Druga pomembna smer razvoja pa je bila povezava med modeli različne dimenzionalnosti in resolucije in njihova povezava in primerjava s konvencionalnimi matematičnimi modeli.

Tako smo obstoječi osnovni SPH model Tis Isat za račun toka s prosto gladino, ki je bil razvit v okviru naše projektne skupine, dopolnili z naslednjimi možnostmi: (1) upoštevanje različnih vrst hrapavosti ostenja; (2) upoštevanje prepustnih robnih pogojev tako za vodo kot za sediment, (3) razvoj povezave med dvodimenzijsko (2D) in trodimenzijsko (3D) različico modela Tis Isat, (4) razvoj povezave med modeli različne resolucije (t.i. gnezdenje modelov), (5) razvoj nove enačbe za račun strižnih napetosti po metodi SPH v strmih hudourniških strugah. Vse dopolnitve modela Tis Isat smo obsežno verificirali na osnovi primerjave rezultatov z rezultati izbranih primerov toka vode in premeščanja sedimentov, za katere smo imeli na voljo analitične rešitve iz literature, meritve na fizičnih modelih (laboratorijski kanali z razširitvami) ali meritve iz narave (strma ukrivljena struga pod načrtovano črpalno akumulacijo in strmi hudourniški tok). Rezultati so potrdili postavljene hipoteze in sicer: (1) Podajanje točkovne hrapavosti pri simulaciji porušitvenega vala v strmi ukrivljeni strugi pod načrtovano akumulacijo Kolarjev vrh je dala primerljive rezultate s konvencionalnimi metodami. (2) Primer porušitve 2D vodnega stolpca v ravnem kanalu z upoštevanjem izmenjave sedimenta z dnem je dal dobre in uporabne rezultate. (3) S povezavo modelov različne dimenzionalnosti in resolucije v kanalih z razširitvijo se računski čas ob nezmanjšani natančnosti rezultatov znatno skrajša. (4) Nova predlagana enačba za račun strižnih napetosti pri dnu se je izkazala za uporabno v strmih hudourniških strugah.

Razvoj novih robnih pogojev in povezovanje modelov različne zahtevnosti ob hkratnem skrajševanju računskega časa pri nezmanjšani natančnosti računov pomenita prispevek k razvoju svetovnega znanja na področju razvoja metode SPH. Sodelovanje s sodelujočima organizacijama in sofinancerji (DEM, SENG in CGS plus) pa je omogočil hiter prenos doseženega znanja v slovensko hidrotehnično prakso.

ANG

Numerical simulations of hydrodynamic phenomena and sediment transport are lately increasingly being simulated using meshless Lagrange particle methods where the computing elements are mass particles. The relations between them change with time,

which enables calculations of larger discontinuities and sudden changes in the fluid. Further development of the SPH method (Smoothed Particle Hydrodynamics), which is one of the oldest meshless methods, is considered in the project.

The most important part of the project has been devoted to further development of boundary conditions that are far more complicated in comparison with methods using Eulerian description of the computational domain. The other important focus of the project has been the connection between models of different dimensionality and resolution and their connectivity and comparison with conventional mathematical models.

The existing basic SPH model Tis Isat for free surface calculations, which was developed by the project group, has been upgraded with the following possibilities: (1) To take into account different types of bottom roughness. (2) To take into account water- and sediment-permeable boundary conditions. (3) The development of connectivity between two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) version of the model Tis Isat. (4) The development of connectivity between models of different resolutions (model nesting). (5) The development of new equation for shear stresses in steep torrential streams using SPH. The accomplished Tis Isat model has been widely verified by the comparison of computations with results of selected cases for which either analytical solutions from the literature, measurements from the physical model (laboratory channels with expansions) or field measurements exist (steep curved channel below planned pumped reservoir and steep torrential stream). Results have confirmed the following hypothesis: (1) Simulations of dam-break wave in steep curved channel below planned pumping reservoir Kolarjev vrh using point roughness have produced comparable results with conventional methods. (2) The case of the collapse of water column taking into account the exchange of sediment with bottom has given good and applicable results. (3) By coupling models with different dimensionalities and resolution in channels with the expansion we can significantly reduce computational time without losing the accuracy of the results. (4) The new suggested equation for bottom has proven to be applicable in steep torrential streams.

The development of new boundary conditions and coupling of models of different complexity that leads to reduce computational time without losing accuracy of results are two contributions to the world knowledge in the field of the SPH method development. The cooperation with collaborating partners and co-funding organisations (DEM, SENG and CGS plus) have ensured efficient knowledge transfer into hydraulic engineering applications in Slovenia.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

V prvem letu projektne obdobja 2011 – 2014 smo pregledali in ustvarili zbirko vseh že izvedenih analiz, ki smo jih ustvarili tekom predhodnega projektne obdobja (L2-0911: »Modeliranje hidrodinamike, transporta plavin in nanje vezanih polutantov po metodi SPH«). Nato smo pripravili relevantno zbirko že obstoječih laboratorijskih poskusov in meritev, katerih podatke smo pridobili iz različnih člankov in razpoložljive literature. V nadaljevanju projekta smo preučili novosti na področju SPH metode. Le-te smo našli v novejših znanstvenih člankih v priznanih revijah, ki pokrivajo tudi področje SPH. Relevantna zbirka in spremljanje novosti na področju razvoja metode SPH je bilo nujno potrebno, saj nam je novo pridobljeno znanje skupaj z že ustvarjeno zbirko pomagalo pri doseganju lastnih zastavljenih ciljev ter za preverjanje naših rezultatov z rezultati meritev oz. rezultati simulacij drugih avtorjev.

Metoda SPH je novejša, v svetu že dobro sprejeta Lagrangeova metoda, ki pa se še vedno intenzivno razvija. Ker je metoda razmeroma mlada, se konstantno dopolnjuje in raziskovalci predlagajo različne pristope reševanja problemov. Zato moramo razvoj omenjene metode neprestano spremljati in dopoljevati lastna programska orodja.

V okviru aplikativnega projekta smo izpopolnili lasten SPH model Tis Isat. Ena izmed njegovih glavnih lastnosti je njegova zmožnost razdelitve upora toka vode na hrapavostni in oblikovni del. Matematični modeli običajno opišejo upor toka vode z Manningovim koeficientom trenja. Ta način definiranja upora pa ne zajame oblikovnega upora (npr. zaraščenost z drevesi, grmovjem, ...), ki poleg hrapavostnega upora v veliki meri vpliva na hitrost toka vode in samo dinamiko tekočine. Naš model obravnava hrapavostni upor s pomočjo parametra viskoznosti med delci in steno, medtem ko oblikovni upor definira s pomočjo dodajanja oblikovnih ovir na izbranih mestih. Model smo najprej preverili in umerili na primeru porušitve nasipa zgornje akumulacije načrtovane črpalne elektrarne Kolarjev vrh, kjer smo hrapavost podali na dva načina. Najprej smo definirali hrapavost terena samo s pomočjo parametra viskoznosti med delci tekočine in steno (samo hrapavostni upor), nato pa smo poleg uporabe omenjenega parametra viskoznosti podali lokacijo dreves s pomočjo dvigovanja mrežnih vozlišč dna pobočij. Tako umerjeni model Tis Isat smo nato dopolnili še z novimi možnostmi definiranja oblikovnega upora toka vode in sicer z možnostjo podajanja točkovnih elementov na izbranih lokacijah. Tudi te dodatne možnosti definiranja točkovnega upora toka vode smo preverili na že omenjenem primeru porušitve nasipa zgornje akumulacije črpalne elektrarne Kolarjev vrh. Za ta primer smo imeli na voljo rezultate meritev s fizičnega modela, rezultate simulacij konvencionalnega matematičnega modela in rezultate simulacij osnovnega SPH modela Tis Isat. Uporabljena definicija hrapavosti je ustrezala tudi razmeram na fizičnem modelu, kjer je bil gozd nad dnem doline ponazorjen s kamenčki različnih oblik. Pokazalo se je, da so bili rezultati dopoljenega modela Tis Isat primerljivi z meritvami, z rezultati simulacij konvencionalnega matematičnega modela ter z rezultati simulacij osnovnega Tis Isat modela.

V okviru projekta smo izdelali tudi vmesnik, ki nam omogoča povezovanje med dvodimenzijsko (2D) in trodimenzijsko (3D) modela Tis Isat. Velikokrat se namreč srečamo s primeri, kjer je tok dolgo časa širinsko povprečen, ker teče po ravnem kanalu, nato pa pride do nagle spremembe obravnavane geometrije (npr. razširitev v kanalu). V ravnem kanalu je dovolj, če uporabimo hitrejši 2D model, medtem ko moramo na območju florisne spremembe geometrije nujno uporabiti zahtevnejši in računsko potratnejši 3D model. Vmesnik, ki omogoča povezovanje med 2D in 3D modeloma Tis Isat, je v tovrstnih primerih zelo uporaben, saj nam znatno zniža računski čas simulacij. Novi vmesnik smo preverili na primeru porušitve vodnega stolpca v kanalu z razširitvijo. V ravnem kanalu pred razširitvijo smo simulacije izvajali s hitrejšim 2D modelom, malo pred razširitvijo pa smo delce iz 2D modela pomnožili po širini kanala in simulacije nadaljevali s 3D modelom. Simulacije smo na celotnem obravnavanem področju hkrati poganjali tudi s polnim 3D modelom, brez uporabe vmesnika. Rezultate smo med seboj primerjali in ugotovili, da z uporabo vmesnika in kombinacijo obeh modelov nismo vplivali na točnost rezultatov, smo pa pozitivno vplivali na računski čas simulacij in ga znižali za 3,8 krat. Tovrstni vmesnik, ki omogoča povezovanje 2D in 3D SPH modelov, je bil v okviru tega projekta razvit med prvimi v svetu in je dobil potrditev ter dober odziv tudi s strani skupine SPHERIC, katere članica je tudi naša raziskovalna skupina.

Za še dodatno potrditev modela Tis Isat smo v nadaljevanju simulirali porušitve tridimenzionalnega vodnega stolpca v kanalu s kvadratno oviro. Ovira namreč vpliva na širjenje poplavnega vala in tovrstni primer nam je še dodatno potrdil pravilno delovanje modela Tis Isat. Rezultate simulacij modela smo primerjali z meritvami, izvedenimi na

fizičnem modelu, rezultati simulacij konvencionalnega modela ter rezultati simulacij drugih dveh že obstoječih SPH modelov. Ugotovili smo, da so rezultati simulacij našega SPH modela primerljivi z rezultati meritev ter rezultati simulacij konvencionalnega ter dveh obstoječih SPH modelov.

Pomemben korak naprej smo naredili z izdelavo vmesnika, ki omogoča povezovanje med modeli različne resolucije. Podobno kot vmesnik, ki nam omogoča povezovanje med modeli različne dimenzionalnosti, je tudi ta vmesnik uporabljen predvsem na primerih, kjer je tok dolgo časa širinsko povprečen, nato pa pride do izrazite geometrijske spremembe tlorisne oblike, kjer tok postane prostorsko zelo spremenljiv (npr. tok v kanalu z izrazito razširitvijo). V kanalu lahko do razširitve uporabimo hitrejši model z manjšo resolucijo oz. večjimi delci, malo pred razširitvijo pa delce iz modela z manjšo resolucijo pomanjšamo in povečamo njihovo število ter simulacijo nadaljujemo z modelom z večjo resolucijo. Delovanje vmesnika smo preverili na primeru porušitve 3D vodnega stolpca v kanalu z razširitvijo. Do razširitve smo poganjali simulacije z manjšimi delci, malo pred razširitvijo pa smo delce pomanjšali za dvakrat in povečali njihovo število za 8 krat ter nadaljevali s simulacijami. Simulacije smo na celotnem obravnavanem področju hkrati izvajali tudi s polnim 3D modelom z večjo resolucijo. Na osnovi primerjave pridobljenih rezultatov simulacij ter porabljenega računskega časa simulacij smo ugotovili, da z uporabo vmesnika, ki nam omogoča povezovanje med modeli različne resolucije, ne vplivamo na točnost rezultatov, hkrati pa pozitivno vplivamo na računski čas simulacij. Z uporabo vmesnika smo računski čas namreč znižali za 44 %.

Poleg toka vode pa moramo pri delovanju hidroenergetskih objektov poznati tudi premeščanje plavin. Sedimenti erodirane zemljine povzročajo nevšečnosti predvsem pri zasipavanju akumulacij, ki se tekom obratovalnega obdobja konstantno zapolnjujejo, s čimer se zmanjšuje njihov volumen, namenjen za samo vodo. Zato je potrebno akumulacije izpirati. Za reševanje tovrstnih problemov smo naš SPH model Tis Isat v skladu s predvidenim programom v okviru projekta nadgradili z novimi prepustnimi robnimi pogoji za vodo in sediment. Tako dopolnjeni model smo preverili na primeru porušitve 2D vodnega stolpca v ravnem kanalu. Predpostavili smo izmenjavo sedimenta z dnom oz. izpiranje in odlaganje plavin. Na voljo smo imeli rezultate meritev s fizičnega modela ter rezultate simulacij drugega brez mrežnega delčnega Lagrangeovega modela, ki temelji na metodi MPS (Moving Particle Semi - implicit). Pokazalo se je, da so bili rezultati našega modela primerljivi tako z rezultati MPS modela kot tudi z meritvami.

Pravilna določitev strižnih napetosti ob dnu in brežinah struge je pri študiju hudourniških tokov bistvenega pomena. Strižne napetosti nam določijo premestitveno zmogljivost za plavine pri določenem pretoku vode. Če želimo določiti transportno sposobnost pri dnu vodotoka, moramo torej najprej na primeren način oceniti strižne napetosti. Za njihov izračun obstajajo številne metode, vendar so te večinoma neuporabne za izračun strižnih napetosti v naravnih hudournikih, za katere so značilni veliki padci dna in izrazito nepravilna geometrija struge. V zaključnem delu izvajanja projekta smo v okviru metode SPH razvili novo enačbo, ki nam omogoča izračun strižnih napetosti v naravnih hudournikih. Nato smo izdelali še vmesnik, ki nam omogoča izračun strižnih napetosti. Vmesnik smo preverili in umerili na preprostem primeru toka vode v ravnem kanalu, kjer smo izračunane strižne napetosti po metodi SPH primerjali z izračunanimi strižnimi napetostmi po konvencionalni metodi.

Kot neposredni rezultat dela na aplikativnem raziskovalnem projektu smo objavili štiri prispevke na domači znanstveni konferenci (Kuhljevi dnevi) ter štiri na mednarodnih konferencah (10th Conference on Hydraulics in Water Engineering, 7th International SPHERIC SPH Workshop, 35th IAHR World Congress in 36th IAHR World Congress – sprejeto v objavo). Najpomembnejši pa sta objavi dveh izvirnih znanstvenih člankov v SCI revijah s faktorjem vpliva IF (Journal of Mechanical Engineering – Strojniški vestnik in Journal of Hydraulic Research). Objave so podrobneje opisane pri točkah 6 in 7 tega poročila.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Realizacija zastavljenih raziskovalnih ciljev je potekala v skladu z načrti. Najprej smo preučili in pregledali obstoječo literaturo, preučili novosti metode SPH ter ustvarili zbirko testnih primerov za njeno verifikacijo. Predvsem so bile za nas zanimive laboratorijske meritve porušitev vodnega stolpca oz. meritve širjenja poplavnega vala. Poleg toka v ravnem kanalu so zanimive tudi meritve, izvedene v kanalih z razširitvijo, zožitvijo ali v kanalu z oviro. Skozi celotno projektno obdobje smo metodo SPH nadgrajevali, saj je metoda še vedno v fazi razvoja in je bilo potrebno nova spoznanja vnašati v naš lastni model Tis Isat. Nadaljevali smo z razvojem novih robnih pogojev za definiranje hrapavosti terena, z njimi dopolnili model ter ga na osnovi podrobne analize rezultatov preverili na realni topografiji. V okviru projekta smo razvili vmesnika, ki omogočata povezovanje med modeli različne dimenzionalnosti ter povezovanje med modeli različne resolucije. Potrdila se je postavljena hipoteza, da omenjena vmesnika pozitivno vplivata na računski čas simulacij, hkrati pa ne vplivata na točnost rezultatov.

V drugem delu izvajanja raziskovalnega projekta smo v skladu z načrtom večjo pozornost posvetili premeščanju plavin in razvoju enačbe za izračun strižnih napetosti v strmih hudourniških strugah po metodi SPH. Model smo najprej nadgradili z novimi prepustnimi robnimi pogoji za vodo in sediment ter model preverili na primeru porušitve 2D vodnega stolpca v ravnem kanalu, kjer smo predpostavili izmenjavo sedimenta z dnom oz. izpiranje in odlaganje plavin. Čeprav v svetovni literaturi obstajajo številne metode, ki nam omogočajo izračun strižnih napetosti pri dnu, so samo redke uporabne za izračun le-teh v naravnem hudourniku. Zato smo v nadaljevanju razvili še lastno enačbo za izračun strižnih napetosti v naravnih hudournikih z velikimi padci dna in zelo nepravilno geometrijsko obliko struge. Ker se je metoda SPH izkazala kot zelo primerna za uporabo v naravnih vodotokih, smo postavili hipotezo, da bo tudi enačbo za izračun strižnih napetosti v hudournikih po metodi SPH zelo uporabna, kar so rezultati projekta potrdili.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

V okviru projekta je v zadnjem letu izvajanja projekta v letu 2014 prišlo do manjših sprememb pri sestavi projektne skupine (vse spremembe je potrdila ARRS), ki pa niso vplivale na izvedbo vsebine projekta in realizacijo zastavljenih ciljev. Na UL FGG se je namesto raziskovalcev dr. Nataše Sirnik (daljša porodniška odsotnost v letu 2014), dr. Elvire Džebo in dr. Andreja Širce (oba prenehanje delovnega razmerja na UL FGG konec leta 2014 oz. v začetku leta 2015) v delo projektne skupine vključil doc. dr. Tom Bajcar, skupno število ur pa se ni spremenilo. Na sodelujoči raziskovalni organizaciji CGS plus pa je projektno skupino zaradi prenehanja delovnega razmerja zapustil Matjaž Ivačič,

njegove ure pa je prevzela dr. Alenka Šajn Slak.

Druga sprememba, ki je po našem mnenju tudi pripomogla k lažji in kvalitetneši izvedbi projekta pa je bilo podaljšano obdobje trajanja projekta za pol leta in sicer se je datum zaključka projekta z 31. 7. 2014 pomaknil na 31. 12. 2014 (brez dodatnega financiranja). Spremembo datuma zaključka projekta je na predlog vodje projekta odobrila in podprla ARRS.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	5505633	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Primerjava dveh modelov hrapavosti za simulacijo porušitvenega vala z metodo SPH
		ANG	Comparison of two types of roughness model for a dam break simulation using SPH
	Opis	SLO	Članek prikazuje študijo porušitve pregrade, locirane na Kolarjevem vrhu. V primeru takšnega dogodka bi se voda razlila z veliko hitrostjo po strmi dolini s padcem 10-30% do ravnine 700 m nižje. Propagacijo čela vala in prosto gladino je v takšnih primerih težko simulirati s konvencionalnimi numeričnimi metodami. Brezmrežna metoda SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) predstavlja dobro alternativo. Vendar je obravnava robov pri metodi SPH zahtevnejša in trenje ima v analiziranem primeru pomembno vlogo. Žagar in ostali (2009) so modelirali hrapavost z dodajanjem naključnih dvignjenih elementov dna doline. Namesto takšnega pristopa je bil v sedanji študiji uveden spremenljiv parameter hrapavosti. Obe rešitvi sta pokazali dobre rezultate z manjšimi razlikami. Podana je tako primerjava med obema pristopoma kakor tudi primerjava s krivočrtnim modelom končnih volumnov ter z meritvami na fizičnem modelu.
		ANG	The paper presents a study of a failure of a dam located at Kolarjevvrh, Slovenia. In case of such an event, water would rush with very high velocity through a steep valley with 10-30% slope to the plain 700 m below. The surge front and free surface in such conditions are difficult to simulate with conventional numerical schemes. The meshless Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) method provides a good alternative. However, the treatment of boundaries is not straightforward in SPH, and friction plays a significant role in the analysed case. Žagar et al. (2009) modelled the roughness by adding random elevation differences to the surface geometry. In this study, a variable roughness parameter was introduced to the SPH model instead. Both solutions showed good results with slight variances. A comparison between the two approaches is presented, as well as a comparison to a curvilinear finite volume model and measurements on a physical model.
	Objavljeno v	IAHR; Balance and Uncertainty - Water in a Changing World; 2011; Str. 4321-4327; Avtorji / Authors: Žagar Dušan, Džebo Elvira, Jeromel Maja, Četina Matjaž, Petkovšek Gregor	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		
2.	COBISS ID	5990753	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Simulacije valov zaradi porušitve pregrade v kanalu z razširitvijo s povezanimi modeli različne resolucije po metodi SPH
		ANG	Simulations of dam-break flow in channel expansion with coupled models of different resolutions using the SPH method

	Opis	SLO	V delu so predstavljene numerične simulacije valov zaradi porušitve pregrade vkanalu z razširitvijo po metodi SPH. Smoothed particle hydrodynamics (SPH) je brez mrežna metoda, ki se uporablja za simulacije hidrodinamičnih pojavov. Metoda zahteva večje število računskih elementov in posledično daljši računski čas. Zaradi tega se razvijajo nove metodologije (npr. povezovanje med modeli različne resolucije). Rezultati študije kažejo, da tovrstni pristopi znatno skrajšajo računski čas, hkrati pa ne vplivajo na točnost rezultatov.
		ANG	This paper presents numerical simulations of dam-break flow in channel expansion using the SPH method. Smoothed particle hydrodynamics (SPH) is a meshless method for simulation of hydrodynamics phenomena. The SPH method requires larger number of computational elements and consequently a longer computational time. Therefore, the new methodologies have been developed (for example: coupling between models of different resolutions). It was demonstrated that the proposed approach significantly shortens the computational time of the SPH simulations without decreasing the accuracy of results.
	Objavljeno v	Slovensko društvo za mehaniko; Zbornik del; 2012; Str. 25-32; Avtorji / Authors: Džebo Elvira, Žagar Dušan, Četina Matjaž, Petkovšek Gregor	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
3.	COBISS ID	6269025	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Skrajšanje računskega časa simulacij po metodi SPH z uporabo povezanega 2D/3D modela
		ANG	Reducing the computational time of the SPH method with a coupled 2-D/3-D approach
	Opis	SLO	Metoda hidrodinamike zglajenih delcev (ang. Smoothed particle hydrodynamics, SPH) je brez mrežna Lagrangeova metoda, ki se uporablja za simulacije toka s prosto gladino. Metoda je uporabna predvsem za simulacije hipnih sprememb vodne gladine. Ena izmed večjih slabosti metode SPH pa je zelo dolg računski čas simulacij. Računski čas simulacij lahko bistveno skrajšamo z uporabo novih pristopov. V tej študiji smo povezali dvodimenzionalni (2D) in tridimenzionalni (3D) matematični model Tis Isat. Omenjeni model smo razvili na Katedri za mehaniko tekočin z laboratorijem, uporabljamo pa ga za simulacije toka vode po metodi SPH. Delovanje povezanega 2D/3D modela Tis Isat smo primerjali z rezultati laboratorijskega eksperimenta ter z rezultati simulacij polnega 3D SPH modela in z rezultati 1D konvencionalnega modela. Izvedene simulacije po metodi SPH so pokazale dobro ujemanje z meritvami in rezultati 1D konvencionalnega modela v simetrični osi kanala. Glavni prednosti povezanega SPH modela pa sta v tem, da je model sposoben bolj realistično simulirati vodno gladino dolvodno od razširitve kanala ter da se bistveno skrajša računski čas simulacij zaradi uporabe kombinacije 2D in 3D modela.
		ANG	Smoothed particle hydrodynamics (SPH) is a particle-based Lagrangian method that can be adapted for simulating free surface flows. The method is particularly suitable for phenomena in which the flow changes rapidly. A weakness of the SPH method is the very long computational time. However, this can be significantly reduced using new techniques. In this research, the two-dimensional (2-D) and three-dimensional (3-D) models Tis Isat, developed at the University of Ljubljana, were used with an appropriate coupling procedure. The new model was validated and calibrated against the results of laboratory experiments. The simulation results of the 2-D/3-D coupled model were compared to the measurements, to the results of the fully 3-D Tis Isat model and to the results of a one-dimensional (1-D) finite difference (FD) model. The performed SPH simulations showed good agreement with measurements and the 1-D

		model results in the symmetry axis of the channel. The two greatest advantages of the coupled model are a more realistic description of the water-level below the expansion and the significantly shorter computational time as a result of the adopted coupling procedure.
	Objavljeno v	Zveza strojnih inženirjev in tehnikov Slovenije [et al.] = Association of Mechanical Engineers and Technicians of Slovenia [et al.]; Strojniški vestnik; 2013; Vol. 59, no. 10; str. 575-584, SI 115; Impact Factor: 0.776; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.275; WoS: IU; Avtorji / Authors: Džebo Elvira, Žagar Dušan, Četina Matjaž, Petkovšek Gregor
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	6616417 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Različne možnosti definiranja hrapavosti terena po metodi SPH na primeru tokov, ki nastanejo zaradi morebitne porušitve pregrad
		<i>ANG</i> Different ways of defining wall shear in smoothed particle hydrodynamics simulations of a dam-break wave
	Opis	<i>SLO</i> Članek opisuje dva različna načina za opis hrapavosti terena pri simulacijah po metodi zglajenih delcev (SPH), ki so bile narejene z modelom Tis Isat, razvitim na UL FGG. V metodo je bil vgrajen kontinuirni robni pogoj z upoštevanjem trenja. Uporabljeni sta dve osnovni definiciji hrapavosti terena: (a) kot hidravlično gladka stena, kjer je bila hrapavost zajeta preko efektivne viskoznosti delcev na robu in (b) kot hidravlično hrapav teren z dvigom mrežnih točk. Izvedene simulacije z metodo SPH zajemajo primer porušitve dela nasipa zgornjega rezervoarja črpalne hidroelektrarne Kolarjev vrh. To je eden prvih primerov, kjer je bila študija narejena na realni topografiji. Izračunane gladine na sondah vzdolž doline so bile primerjane z meritvami na fizičnem modelu ter z rezultati modela, temelječega na metodi končnih volumnov (FV). Primerjava je pokazala zadovoljivo ujemanje z meritvami, ki so že prej potrdile tudi uporabnost simulacij z metodo FV.
		<i>ANG</i> The paper describes two different ways of defining the terrain roughness in smoothed particle hydrodynamics (SPH) simulations performed with the Tis Isat model, developed at the University of Ljubljana. The model introduces into the SPH method a nondiscrete boundary condition with friction. Two basic definitions of terrain roughness are used: (a) as a hydraulically smooth wall, where roughness was controlled by the wall-particle eddy viscosity coefficient; and (b) as a hydraulically rough terrain by elevating the meshnodes. The undertaken SPH simulations relate to a dam break at the upper storage reservoir of the pumped-storage hydro power plant Kolarjev vrh in Slovenia. For the first time, such study was performed on a real topography. Water depths at the gauges along the valley were compared with measurements on a physical model and to results obtained using a finite volume (FV) model. The comparison showed satisfactory agreement with the measurements, which are comparable with the FV model simulations.
	Objavljeno v	International association of hydraulic engineering and research; Journal of hydraulic research; 2014; Letn.52, št. 4; str.453-464; Impact Factor: 1.347; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.11; WoS: IM, ZR; Avtorji / Authors: Džebo Elvira, Žagar Dušan, Krzyk Mario, Četina Matjaž, Petkovšek Gregor
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	6809441 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Simulacije premeščanja plavin po metodi hidrodinamike zglajenih delcev
		<i>ANG</i> Sediment transport simulations by Smoothed Particle Hydrodynamics

Opis	SLO	V prispevku so predstavljeni rezultati simulacij premeščanja plavin. Simulacije so bile izdelane z uporabo SPH modela Tis Isat. SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics oz. hidrodinamika zglajenih delcev) je še vedno razmeroma nova numerična metoda, ki se vse pogosteje uporablja za simulacije gibanja tekočin in premeščanja plavin. V prispevku je predstavljena primerjava rezultatov simulacij modela Tis Isat z rezultati drugega Lagrangeovega modela ter meritvami. Rezultati simulacij modela Tis Isat se dobro ujemajo z meritvami.
	ANG	Results of the sediment transport simulations are presented in this paper. In this study the SPH model Tis Isat was used. SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) is still a relatively new numerical method and is being increasingly used in simulations of fluid motion and sediment transport. The presented results of the Tis Isat model were compared to numerical results of another Lagrangian model and to the measurements. The results of the Tis Isat model showed good agreement with measurements.
Objavljeno v	Slovensko društvo za mehaniko; Zbornik del; 2014; Str. 39-46; Avtorji / Authors: Džebo Elvira, Žagar Dušan, Četina Matjaž	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	5532769	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Analiza porušitve pregrade po metodi SPH	
	ANG	Analysis of dam-break wave using SPH method	
Opis	SLO	V članku so prikazani rezultati laboratorijskega eksperimenta in računalniške simulacije vala vsled porušitve pregrade z uporabo metode SPH. Metoda zglajenih delcev je brez mrežna metoda za simulacijo toka tekočin. Uporabljen je bil model TisIsat, ki je bil razvit na Katedri za mehaniko tekočin na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Rezultati modela Tis Isat so pokazali dobro ujemanje z meritvami.	
	ANG	The results of laboratory experimental testing and computer simulations of dambreak with the SPH method are presented in the paper. Smoothed particle hydrodynamics is a meshless particle method for simulation of fluid flows. The TisIsat model, developed at the Faculty of civil and geodetic engineering, Chair of fluid mechanics with laboratory, was used. The results of the TisIsat model showed good agreement with measurements.	
Šifra	F.02 Pridobitev novih znanstvenih spoznanj		
Objavljeno v	SDM - Slovensko društvo za mehaniko; Zbornik del; 2011; Str. 25-32; Avtorji / Authors: Džebo Elvira, Žagar Dušan, Četina Matjaž, Jeromel Maja, Bajcar Tom, Širok Brane, Petkovšek Gregor		
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		
2.	COBISS ID	6077793	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Računi valov zaradi morebitnih porušitev pregrad v Sloveniji	
	ANG	Computations of dam-break waves in Slovenia	
		Pregrade, ki zadržujejo vodo za energetiko, kmetijstvo, vodooskrbo in druge namene, so eni najpomembnejših in obenem najzahtevnejših inženirskih objektov. Kljub visokim standardom pri projektiranju in izgradnji predstavljajo pregrade zaradi zadrževanja velikih količin vode	

Opis	SLO	določeno tveganje za naselja in prebivalce na dolvodnih področjih. Podan je pregled trenutnega stanja na področju izračuna valov zaradi morebitnih porušitev pregrad v Sloveniji. Med praktičnimi primeri so podrobneje prikazani trije: simulacija porušitvenih valov v verigi hidroelektrarn na spodnji Savi, kjer leži tudi edina nuklearna elektrarna v Sloveniji, NE Krško, porušitveni val po morebitni porušitvi dela nasipa n ačrtovane akumulacije črpalne elektrarne Kozjak v severovzhodni Sloveniji in računi drobirskega toka v Logu pod Mangartom.	
	ANG	Dams that were built to accumulate water for energy production, agriculture, water supply and other purposes are among most important and sophisticated engineering structures. Despite obeying high standards during their design and construction they represent a certain threat to villages and inhabitants living downstream. A state of the art review of dam-break wave and debris flow computations in Slovenia are given in the article. Among others three practical case studies are shown more into detail: simulation of dam-break waves in the chain of hydro power plants on the lower Sava River where also the nuclear power plant Krško is situated, a wave resulting from a potential dam-break of the upper storage reservoir of the planned pumping power plant Kozjak in NE Slovenia and computations of landslide initiated debris flow in Log pod Mangartom, NW Slovenia.	
Šifra	F.17 Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso		
Objavljeno v	Inženirska zbornica Slovenije; Sustainable construction for people; 2012; Str. 287-298; Avtorji / Authors: Četina Matjaž		
Tipologija	1.09 Objavljeni strokovni prispevek na konferenci		
3.	COBISS ID	6345569	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Simulacije nihanja vodne gladine v akumulaciji po metodi SPH	
	ANG	Water level fluctuation in accumulation with SPH method	
Opis	SLO	Metoda hidrodinamike zglajenih delcev (SPH) je razmeroma nova brez mrežna Lagrangeova metoda, ki je še vedno v fazi razvoja in še ni dodobra preverjena. Z metodo SPH je možno dobro simulirati hipne spremembe gladine, nihanje gladin, lomljenje valov, itd. Metodo smo preverili na primeru nihanja vodne gladine v akumulaciji. Takšna nihanja nastanejo predvsem zaradi porušitve pregrade, ki lahko povzročijo velike naravne katastrofe. Če pa želimo natančno simulirati dogajanje dolvodno od akumulacije, moramo najprej dobro poznati dogajanje v sami akumulaciji. V tem delu so prikazani rezultati simulacij nihanja vodne gladine v akumulaciji po metodi SPH.	
	ANG	Smoothed particle hydrodynamics (SPH) is a relatively new meshless Lagrangian particle method. Modelling with SPH is still under development and not thoroughly tested. The main advantage of SPH is the possibility of simulating the phenomena at the rapidly changing free surface, depth oscillations, breaking waves, etc. We used the SPH method to simulate water oscillations in an accumulation that was caused by a dam failure. Large natural disasters can be caused by dam break waves. For exact simulations of downstream events, depth oscillations in accumulation must be known in full detail. This paper presents simulation results of depth oscillations in accumulation using the SPH method.	
Šifra	F.17 Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso		
Objavljeno v	SDM - Slovensko društvo za mehaniko; Zbornik del; 2013; Str. 33-40; Avtorji / Authors: Džebo Elvira, Žagar Dušan, Četina Matjaž, Petkovšek Gregor		

	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
4.	COBISS ID	6796129	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Premeščanje plavin po metodi SHP
		ANG	Sediment transport by using SPH
	Opis	SLO	V prispevku so predstavljeni rezultati simulacij premeščanja plavin v naravnem hudourniku. Simulacije so bile izdelane z uporabo SPH modela Tis Isat. Prispevek je bil predstavljen na tradicionalnem letnem srečanju slovenskih hidrotehnikov "Goljevščkov spominski dan", Ljubljana, 6. 3. 2014.
		ANG	Results of the sediment transport simulations in natural torrent are presented in this paper. In this study the SPH model Tis Isat was used. The contribution was presented to Slovenian hydrotechnical community at traditional "Goljevšček memorial day", Ljubljana, 6. 3. 2014.
	Šifra	F.02 Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Objavljeno v	2014; Avtorji / Authors: Džebo Elvira, Petkovšek Gregor, Žagar Dušan, Četina Matjaž	
	Tipologija	3.15 Prispevek na konferenci brez natisa	

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

Izdelana in uspešno zagovarjana je bila doktorska disertacija Elvire Džebo z naslovom »Simulacije valov zaradi porušitev pregrad z brez mrežno numerično metodo hidrodinamike zglajenih delcev«. Mentor pri disertaciji je bil nosilec aplikativnega SPH projekta prof. dr. Matjaž Četina.

Izdelana je bila diplomska naloga Vesne Vidmar z naslovom »Simulacija gibanja kapljev in v cisterni po metodi SPH in metodi nihala«. Mentor pri diplomu je bil član projektne skupine izr. Prof. dr. Dušan Žagar, naloga je bila nagrajena s fakultetno Prešernovo nagrado UL FGG.

Za 36. Kongres Mednarodnega društva za hidravlične raziskave (IAHR), ki bo junija 2015 v Haagu, je bil pripravljen in sprejet v objavo članek »Computation of bed shear stresses in natural torrential channels using smooth particle hydrodynamics« (Izračun strižnih napetosti v naravnih hudournikih po metodi SPH). V prispevku je predstavljena nova enačba za izračun strižnih napetosti pri dnu, SPH model TisIsat pa je bil uporabljen tudi za praktični primer toka v hudourniku Kuzlovec.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine³

9.1. Pomen za razvoj znanosti²

SLO

Čeprav so Eulerjeve metode še vedno najbolj v uporabi za simulacije toka s prosto gladino, postajajo novejšje Lagrangeove brez mrežne metode vedno bolj priljubljene. Ena izmed takšnih Lagrangeovih metod je metoda SPH, ki je še vedno v fazi raziskovanja in se konstantno dopolnjuje in razvija. Raziskovanje in simuliranje valov, ki nastanejo zaradi morebitnih porušitev pregrad ter modeliranje transporta sedimentov po metodi SPH pa predstavlja razvijalcem metode velik izziv, saj lahko prispeva k boljšemu razumevanju pojavov v hidravliki.

Metoda SPH je razmeroma mlada in se ves čas izpopolnjuje in razvija. V okviru raziskovalne skupine smo izdelali lasten SPH model Tis Isat. Model smo v okviru projektne skupine dopolnjevali in razvijali. Naš model je prvi SPH model, ki je bil izdelan v Sloveniji, dopolnitev modela z novimi robnimi pogoji pa predstavlja pomemben dosežek v mednarodnem merilu. Ena izmed glavnih slabosti metode SPH je razmeroma dolg računski čas simulacij. Naša raziskovalna skupina je razvila dva vmesnika, ki nam omogočata povezovanje med modeli različne

dimenzionalnosti in med modeli različne resolucije. Z uporabo vmesnikov pri simulacijah toka vode v kanalu z razširitvijo smo znatno znižali računski čas simulacij. Vmesnik, ki omogoča povezovanje med modeli različne dimenzionalnosti po metodi SPH je eden prvih prvih tovrstnih razvitih vmesnikov na svetu in je bil dobro sprejet s strani združenja SPHERIC, katere članica je tudi naša raziskovalna skupina. Na 7. mednarodni SPH konferenci, ki jo je organiziralo omenjeno združenje SPHERIC, smo delovanje tega vmesnika podrobno predstavili. Nova tehnika je bila prav tako predstavljena v izvirnem znanstvenem članku, objavljenem v SCI reviji Strojniški vestnik.

Sočasne simulacije dinamike vodnega toka in transporta plavin so predmet številnih raziskav in študij. Tovrstne raziskave predstavljajo pomemben prispevek k svetovni znanosti. V okviru naše raziskovalne skupine smo v model Tis Isat vgradili nove prepustne robne pogoje, ki omogočajo simulacije izpiranja in odlaganja plavin. Poleg omenjene dopolnitve smo razvili tudi vmesnik, ki nam omogoča izračun strižnih napetosti v naravnih hudourniških strugah po metodi SPH. Tudi ta del predstavlja koristen prispevek na znanstvenem področju, saj so v svetu razvite le redke enačbe, ki nam po metodi SPH omogočajo izračun strižnih napetosti v hudournikih z značilno velikimi padci dna in izrazito nepravilno geometrijo struge.

ANG

Although Euler's methods are typically used for free surface flow simulations, new Lagrangian method has become increasingly popular. One of such Lagrangian method is Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH). Method SPH is still in a stage of research and has been constantly improved and developed. Research and simulations of a dam – break waves and modelling of sediment transport using SPH represent a major challenge for all SPH researches and help us to better understand hydraulic phenomena.

SPH is a relatively young method, so the SPH method has been constantly improved and developed. Our research team has developed own SPH model Tis Isat. Model has been updated and developed over the entire project period. Tis Isat is the first SPH model, developed in Slovenia. Model, updated with new boundary conditions, represents an important achievement in the international scientific community. One of the main disadvantages of the SPH method is very long computational times. Our research team has developed two interfaces, one for coupling models with different dimensionalities and other for coupling models with different resolutions. For simulating water flow in the channel with an expansion, computational time was significantly decreased by using interfaces. As far as we know this is the first suggested approach for coupling SPH models of different dimensionalities and was well accepted by the association of SPHERIC, which member is also our research group. On the 7th International SPH Workshop, organized by the association of SPHERIC, the new approach for coupling SPH models of different dimensionalities was presented. The same technique was also described in an original research article, published in the SCI Journal of Mechanical Engineering.

Simultaneous simulations of water flow dynamics and sediment transport are subject of numerous researches and studies. This research issue represents significant contributions to science. Our SPH model Tis Isat was updated with new permeable boundary condition. Such boundary condition allows us to simulate sediment flushing and deposition. A new interface for calculating shear stresses in torrential watershed using SPH method was also developed. This research represents the useful scientific contribution, because only a few equations for calculating shear stresses using the SPH method in natural torrential watershed, characterised by steep bottom slopes and highly irregular geometries, have been developed so far.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Čeprav je metoda SPH razmeroma nova, omogoča simulacije različnih hidravličnih in okoljskih problemov. Dopolnjeni SPH model Tis Isat je zelo primeren za uporabo v slovenski hidrotehnični stroki, saj bo pripomogel k boljšemu razumevanju hidrodinamičnih pojavov in transporta sedimenta ter k boljšemu določanju poplavnih območij. Model je zelo uporaben za simulacije porušitvenih valov, ki bi nastali zaradi morebitnih porušitev pregrad. Rezultati tovrstnih simulacij so uporabni za povečanje poplavne varnosti na območjih, ki so poplavno ogrožena in kjer bi lahko porušitveni valovi povzročili veliko materialno škodo ter ogrozili življenje ljudi.

Poleg toka vode pa je za pravilno upravljanje s hidroelektrarnami zelo pomembno poznati tudi transport plavin, predvsem v akumulacijah hidroelektrarn. Naš omenjeni SPH model omogoča tudi simulacije tovrstnih pojavov.

Dobro sodelovanje s sofinancerji nam omogoča hiter pretok informacij z univerze v prakso. Ta izmenjava izkušenj in znanja med izobraževalno organizacijo ter organizacijami iz gospodarstva (sofinancerji) je zelo pomembna, saj nam omogoča dostop do informacij o praktičnih primerih, s pomočjo katerih lahko umerimo svoje lastne modele. Umerjen in preverjen model pa je vsekakor dobro orodje za simulacije obratovanja hidroenergetskih objektov.

Naša raziskovalna skupina se je kot prva slovenska skupina vključila v združenje SPHERIC, kar nam omogoča sodelovanje z vrhunskimi raziskovalci metode SPH. Sodelovanje na delavnicah in konferencah, ki jih organizira združenje SPHERIC, pa vsekakor dobro vpliva na našo promocijo. Predstavitve naših dosežkov pred vrhunskimi strokovnjaki nam namreč omogoča večjo prepoznavnost našega raziskovalnega dela, kar nam je že in nam bo upamo tudi v bodoče omogočalo mednarodno sodelovanje z drugimi priznanimi inštitucijami, ki se ukvarjajo z razvojem metode SPH.

ANG

Although the SPH method is relatively new, different hydraulic and environmental problems can be simulated. Updated SPH model Tis Isat is a very suitable tool for Slovenian water – engineering community, because it can help us to better understand hydrodynamic phenomena and sediment transport and better predict flood areas. Model is extremely useful for dam – break wave simulations generated by the collapse of dams. In general, results of dam – break simulations will be used to improve flood protection in flood risk areas, where dam – break waves can cause a lot of material damage and can endanger human lives. For hydropower plants management also sediment transport needs to be simulated (especially in hydropower plant reservoirs). Our SPH model was designed to simulate also such phenomena.

Good cooperation with co-financers enables good exchange of information from the University to the practice. Exchange of experience and knowledge between educational and industrial organisations (co-financers) is very important, so we can get information about practical examples and consequently we can calibrate our own models. Calibrated and verified model is undoubtedly good tool for simulating the hydroelectric power plant operation.

Our research group is the first Slovenian member of the SPHERIC society, so we can cooperate with top researches in the field of the SPH method. Cooperation on the workshops and conferences, organised by the SPHERIC society, absolutely well impact on our promotion. The presentation of our achievements in the presence of top scientists in the field increased the recognisability of our scientific work and allows us to cooperate with other leading organisations dealing with the development of SPH method.

10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj	
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="V celoti"/> ▼
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="V celoti"/> ▼

F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>

F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

V okviru projekta razvita znanstvena spoznanja smo preko izboljšav in izpopolnitev ves čas vnašali v lastni SPH matematični model in posodabljali računalniško kodo programa Tis Isat. Tako izpopolnjen program Tis Isat tako predstavlja izdelek in prototip, za katerega se je tekom projekta izkazalo, da ga že lahko uporabljamo za nekatere praktične primere tokov in tudi že transporta sedimentov. Za nas in za sofinancerje so predvsem zanimive simulacije porušitvenih valov vsled porušitev pregrad, detajlne študije tokov in razporeditve sedimentov ob hidroenergetskih objektih ter tokovi in sedimentacija v strmih hudourniških strugah.

11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

Ocenjujemo, da je največji vpliv rezultatov projekta na področju energetske infrastrukture, preko točnejših izračunov poplavnih valov in razporeditve sedimentov pa lahko pričakujemo tudi izboljšave pri varovanja okolja in kvalitete življenja na poplavnih območjih. Točnejši simulacijski

modeli tako za nosilno kot sodelujoče raziskovalne organizacije pomenijo izboljšavo obstoječih tehnologij, ki jih uporabljajo za izračune in hkrati posodobitev dejavnosti. Na UL FGG novosti pri razvoju metode SPH ves čas uvajamo tudi v študijski proces, kar predstavlja dodano vrednost predvsem na doktorskem študiju 3. stopnje Grajeno okolje in deloma tudi že na bolonjskem študiju 2. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

Sofinancer			
1.	Naziv	DEM Maribor, d.o.o.	
	Naslov	Obrežna ulica 170, 2000 Maribor	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	20.474	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	11	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.	Dopolnitev tridimenzijskega SPH matematičnega modela Tis Isat z različnimi načini opisa hrapavosti terena	F.02
	2.	Izračun vala vsled morebitne porušitve dela nasipa načrtovane črpalne akumulacije Kolarjev vrh	F.17
	3.	Možnost uporabe dopolnjenega SPH modela za praktične primere poplavnih valov	F.17
	4.	Možnost uporabe dopolnjenega SPH modela za obravnavo sekundarnih valov pri obratovalnih valovih v dovodnih kanalih HE SD I (Zlatoličje) in HE SD II (Formin)	F.17
	5.	Možnost uporabe s sedimenti dopolnjenega SPH modela na hudourniških pritokih Drave	F.17
	Komentar	<p>Naša organizacija je zelo zainteresirana za razvoj naprednih matematičnih orodij za točnejši račun tokov s prosto gladino, s katerimi se pri naši dejavnosti pogosto srečujemo v praksi. Delo na projektu "Povezava metode SPH s konvencionalnimi numeričnimi metodami in robnimi pogoji za simulacije na področju dinamike vode in plavin", ki je potekalo v obdobju 2011-2014, je potekalo v skladu z načrtom. Za nas kot enega izmed sofinancerjev projekta so zlasti pomembni naslednji realizirani cilji:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Poleg ostalega razvoja je bilo delo usmerjeno tudi v dopolnitev robnih pogojev z različnimi načini definiranja hrapavosti v strugi. Omenjene novosti so bile testirane na praktičnem primeru simulacije vala vsled morebitne porušitve dela nasipa načrtovane črpalne akumulacije Kolarjev vrh, rezultati pa vsaj tako dobri ali nekoliko izboljšani v primerjavi s klasičnimi numeričnimi metodami, ki se danes še vedno najbolj pogosto uporabljajo v praksi. - V Dravskih elektrarnah Maribor potrebujemo zanesljive matematične modele za simulacijo tokov s prosto gladino, saj se pri vsakodnevnem delu srečujemo s poplavnimi valovi zaradi deževij, obratovalnimi valovi zaradi obratovanja hidroelektrarn in porušitvenimi valovi vsled morebitnih porušitev pregrad. Razvoj perspektivne metode SPH in primerjava rezultatov z meritvami na fizičnih modelih in z rezultati konvencionalnih matematičnih modelov je pokazal na perspektivnost te brez mrežne metode delcev za simulacije praktičnih problemov v hidrotehnični praksi. - V našem podjetju smo zainteresirani za razvoj naprednih numeričnih metod, kakršna je tudi v projektu obravnavana metoda SPH. Razvita metoda omogoča točnejšo matematično obravnavo hidrotehničnih 	

		problemov, s katerimi se srečujemo v praksi na reki Dravi in njenih pritokih.
Ocena		<p>- Ena od možnosti izboljšanja preskrbe Slovenije s t.im. vršno energijo iz obnovljivih virov je izgradnja črpalnih elektrarn, kakršno načrtujemo tudi na Kolarjevem vrhu (ČHE Kozjak). Ena od potrebnih preverb pred izgradnjo je tudi izračun vala vsled morebitne porušitve dela nasipa akumulacije. Nadaljnji razvoj modela SPH v okviru obstoječe aplikativne naloge je omogočil točnejše tovrstne izračune, zato je bila raziskava za nas tudi praktično zanimiva.</p> <p>- Zaradi napredka metode SPH, ki se je razvijala v okviru aplikativnega projekta, se odpira možnost uporabe matematičnega modela za simulacijo poplavnega vala, ki je ob katastrofalnih poplavah v Podravju dne 6. 11. 2012 porušil nasip odvodnega kanala SD II v dolžini 150 m in zaradi zasutja kanala z gramozom preprečil obratovanje HE Formin. Numerični izračuni za nas pomenijo boljši vpogled v dejansko dogajanje ob poplavi, hkrati pa lahko s simulacijami različnih variant projektiranega stanja poiščemo najbolj učinkovite in ekonomsko upravičene projekte sanacije.</p> <p>- Nadaljnja testiranja uporabe izpopolnjenega modela Tis Isat na različnih primerih toka s prosto gladino so pokazala, da je numerična metoda SPH dovolj zanesljiva in primerna za uporabo v praktičnih situacijah. Triletni razvoj je pokazal, da je model Tis Isat poleg za tok vode možno uporabiti tudi za račun strižnih napetosti pri dnu ter s tem povezanega premeščanja sedimenta v akumulacijah in hudourniških pretokih Drave.</p> <p>- Kot perspektivna se za Dravske elektrarne Maribor kaže tudi možnost uporabe metode SPH za obravnavo sekundarnih valov pri simulaciji obratovalnih valov v dovodnih kanalih HE SD I in SD II, kjer omenjeni sekundarni valovi lahko nastanejo.</p>
2.	Naziv	Soške elektrarne Nova Gorica, d.o.o.
	Naslov	Erjavčeva 20, 5000 Nova Gorica
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	16.380 EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	9 %
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra
	1.	Vgradnja prepustnih robnih pogojev za vodo in sediment v SPH model Tis Isat in povezava 2D in 3D modela
	2.	Izračuni porušitvenih valov v naglih razširitvah
	3.	Možnost uporabe dopolnjenega modela za praktične primere izpiranja akumulacij
	4.	Možnost uporabe povezanih konvencionalnih in SPH modelov za simulacije tokov v kajakaških progah in ribjih stezah
	5.	Možnost uporabe modela SPH, dopolnjenega z možnostjo računa plavin, za praktične primere izračunov hudourniških pritokov Soče
		V triletnem obdobju (2011-2014) izvajanja aplikativnega raziskovalnega projekta "Povezava metode SPH s konvencionalnimi numeričnimi metodami in robnimi pogoji za simulacije na področju dinamike vode in plavin" je delo potekalo v skladu s predvidenimi cilji. Za nas kot sofinancerja so najpomembnejši rezultati dela na triletnem projektu predvsem naslednji: - Povezovanje dvodimenzijske in trodimenzijske verzije SPH matematičnega modela Tis Isat je za nas pomembna, saj v področju pod

Komentar	<p>dolinskimi pregradami pogosto nastopa situacija, ko se ozke strme doline razširijo v širša področja in pride do razširitve toka. V takšni razširitvi je potrebno za primer porušitvenega vala uporabiti trodimenzijski model, v strmi dolini pa zadošča dvodimenzijski. Uporaba na tak način kombiniranega modela znatno pripomore k racionalizaciji računov, ki so v primeru simulacije realnih primerov porušitev razmeroma dolgotrajni.</p> <p>- Dopolnitev SPH modela Tis Isat s prepustnimi robnimi pogoji za vodo in sediment. Tako dopolnjen model je poleg za tok vode možno uporabiti tudi za simulacijo procesov zasipavanja in izpiranja akumulacij. S tem problemom se v Soških elektrarnah pogosto srečujemo v hidroenergetskih akumulacijah, s katerimi upravljamo.</p> <p>- Testiranje prepustnega robnega pogoja med vodo in sedimentom na osnovi primerjave rezultatov SPH modela Tis Isat z rezultati fizičnega modela porušitve vodnega stolpca na laboratorijskem hidravličnem modelu z gibljivim dnom ter z rezultati drugega MPS matematičnega modela. Model je bil testiran in uporabljen tudi za primer toka v naravnem hudourniku.</p>		
Ocena	<p>- Pri presoji vplivov hidroenergetskih objektov na okolje so matematični simulacijski modeli zelo učinkovito orodje. V tej luči je nadaljnji razvoj SPH modela Tis Isat, ki med drugim omogoča točnejše in hitrejše simulacije porušitvenih valov tudi v realnih situacijah s kompleksno geometrijo terena, s kakršnimi se v praksi ponavadi srečujemo, za nas zelo pomemben in koristen. V primeru aktualnega projekta ČHE Avče je bil porušitveni val že izračunan s pomočjo konvencionalne numerične metode končnih razlik, sedaj pa bo to možno narediti še s točnejšo in naprednejšo metodo SPH.</p> <p>- Za presojo možnih procesov zasipavanja rečnih akumulacij so matematični modeli zelo primerno orodje. Dosedaj so se za tovrstne probleme večinoma uporabljali konvencionalni matematični modeli, dopolnitve modela SPH v okviru pričujočega aplikativnega projekta pa omogočajo tovrstne simulacije tudi s tem modelom. Ker je Soča zelo prodonosna reka, se v naši vsakodnevni praksi srečujemo tako s problemi zasipavanja akumulacij in posledično zmanjševanja koristnega volumna (npr. HE Doblar) kakor tudi problemi nezaželenega zasipavanja struge pri turbinskih iztokih (npr. pri HE Plave II). Uporaba preverjenih matematičnih modelov nam omogoča vnaprejšnje simulacije in s tem optimizacijo omenjenih procesov zasipavanja in iskanje učinkovitih načinov izpiranja.</p> <p>- Primerjava modela Tis Isat z meritvami na fizičnem modelu porušitve vodnega stolpca nad gibljivim dnom, kjer se poleg gladine vode spreminja tudi potek dna zaradi erozije in usedanja sedimentov, je dala dobre rezultate. To kaže na možnost uporabe modela tudi za praktične primere simulacij optimalnega izpiranja sedimentov iz akumulacij, kar je za nas kot upravljalca HE na Soči zanimiva tematika. Poleg tega vidimo potencial tudi v razviti možnosti povezave konvencionalnih modelov (npr. PCFLOW2D) in izpopolnjenega modela Tis Isat za simulacije toka v kajakaških progah (konkretno v Solkanu) in ribjih stezah.</p>		
3.	Naziv	CGS plus, Inovativne informacijske in okoljske tehnologije, d.o.o.	
Naslov	Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana		
Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	14.590	EUR	
Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	8	%	
Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra		
	1. Primerjava SPH modela Tis Isat z meritvami na fizičnih modelih in z rezultati konvencionalnih	F.02	

		modelov za tok s prosto gladino in transport sedimentov	
	2.	Točnejši izračuni toka s prosto gladino v hidrotehnikih	F.17
	3.	Možnost verifikacije konvencionalnih modelov, ki jih razvijamo in tržimo v okviru našega podjetja, z rezultati SPH modela	F.17
	4.	Uporaba izkušenj razvijalcev SPH metode pri paralelizaciji programske kode in dodatna uporaba grafičnih procesorjev za račun	F.17
	5.	Vgradnja izračuna plavin v model SPH omogoča pomembno širitev njegove uporabnosti na praktične situacije	F.17
Komentar		<p>Aplikativni raziskovalni projekt "Povezava metode SPH s konvencionalnimi numeričnimi metodami in robnimi pogoji za simulacije na področju dinamike vode in plavin" je v triletnem obdobju izvajanja od 2011 do 2014 potekal skladno z načrtom, zastavljeni cilji pa so bili realizirani.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zastavljeni in uspešno realizirani cilji naloge so za nas zanimivi zato, ker so bili usmerjeni v izboljšavo obstoječih računalniških programov za račun tokov v hidrotehnikih. Robni pogoji so bili dopolnjeni z različnimi možnostmi definiranja hrapavosti, narejena je bila tudi povezava med dvodimenzijsko in trodimenzijsko verzijo SPH modela. - Izpopolnjevanje modela SPH pomeni vedno večje možnosti njegove uporabe tudi v praktičnih situacijah. To je za našo organizacijo zelo pomembno, saj lahko s to obetavno in razvijajočo metodo preverimo obstoječe konvencionalne modele za tok s prosto gladino, ki predstavljajo pomemben del naše dejavnosti. - Cilji pri nadaljnjem testiranju modela Tis Isat z meritvami na fizičnih modelih in s praktičnimi primeri tokov so bili doseženi. Za nas kot inovativnim podjetjem, ki se ukvarja z razvojem specializirane programske opreme na področju gradbeništva, hidrotehnik in okoljskih tehnologij je pomembno, da se je napredna numerična metoda SPH izkazala kot primerno orodje za matematično modeliranje toka s prosto gladino in transporta sedimentov. Na ta način se širijo tudi možnosti testiranja naših konvencionalnih programskih orodij za simulacije tovrstnih pojavov in njihove izboljšave, saj je možna medsebojna primerjava rezultatov obeh metod. 	
Ocena		<ul style="list-style-type: none"> - Ker se naše podjetje ukvarja tako z lastnim razvojem kot tudi prodajo licenčne programske opreme na področju gradbeništva, hidrotehnik in okoljskih tehnologij, je bilo sodelovanje pri obstoječem aplikativnem projektu za nas koristno. Predvsem nam je in nam bo tudi v prihodnje omogočalo, da bomo najnovejša raziskovalna spoznanja hitro vnašali v obstoječa programska orodja na področju simulacije tokov s prosto gladino. Omenjena problematika je zaradi pestrosti našega vodnega bogastva v slovenski hidrotehnični praksi zelo aktualna. - Zaradi hitrega razvoja vse močnejših procesorjev in spominskih kapacitet računalnikov se na področju gradbeništva, hidrotehnik in okoljskih tehnologij tudi v praksi uporabljajo vse zahtevnejši računalniški programi. Razvoj napredne metode SPH zato za nas poleg že omenjene možnost primerjave rezultatov pomeni tudi vnašanje v okviru projekta razvitih naprednih rešitev in novih robnih pogojev v konvencionalne modele, ki jih tržimo in deloma tudi sami razvijamo. To nam omogoča ohranjanje stika z globalno konkurenco, s katero se na področju razvoja programske opreme vse bolj srečujemo. - Primerjava z rezultati v okviru projekta razvitega modela Tis Isat nam omogoča oceno točnosti simulacij konvencionalnih numeričnih modelov, ki jih razvijamo ali imamo v ponudbi kot zastopniki za licenčno 	

programsko opremo na področju hidrotehnike. Za nas so zanimive tudi izkušnje razvijalcev SPH metode pri širitvi njene uporabe za račun premeščanja plavin ter pri paralelizaciji programske kode in možnostih uporabe procesorjev na grafičnih karticah za pomoč pri računanju, kar lahko znatno pohitri račune.

13. Izjemni dosežek v letu 2014¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Simulacije premeščanja plavin po metodi hidrodinamike zglaženih delcev (COBISS 6809441, priložen Diapozitiv)

Metoda SPH je brez mrežna metoda, ki temelji na Lagrangeovem pristopu. Pri simulaciji tokov s prosto gladino se lahko uporablja tako za izračune toka vode kot tudi premeščanja plavin, kar je v zadnjem času predmet intenzivnega razvoja doma in v svetu.

Uporabnost metode SPH in lastnega modela Tis Isat za račun premeščanja sedimentov smo preverili na primeru eksperimentalnega kanala, kjer se je na koncu 3,0 m dolge akumulacije nahajala 0,35 m visoka pregrada, pod katero je bil še 3,0 m dolg kanal. Simulirali smo porušitvene valove in hkrati transport sedimentov po trenutni porušitvi pregrade. Rezultati so pokazali zadovoljivo ujemanje z metodo SPH izračunanega poteka dna tako z laboratorijskimi meritvami kot tudi z referenčno metodo MPS.

Pomen dosežka je, da je raziskava pokazala, da je metoda SPH uporabna tudi za račun premeščanja sedimentov, kar širi njeno uporabnost.

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Izračun strižnih napetosti pri dnu v naravnih hudourniških strugah z uporabo metode SPH (sprejeto v objavo za 36. kongres IAHR, priložen Diapozitiv)

SPH je kot brez mrežna metoda zelo primerna za simulacije hipnih ali zelo hitrih dinamičnih sprememb toka. Dopolnili in uporabili smo jo tudi za račun strižnih napetosti pri dnu, ki vplivajo na transport sedimentov v strmih hudourniških strugah, kar je v praksi zelo aktualen problem.

Predlagali smo novo enačbo za račun strižnih napetosti v strmih kanalih in naravnih strugah hudournikov. Enačbo smo preverili na ravnih kanalih različnih širin in jo nato uporabili še za hudournik Kuzlovec. Tok v hudourniku smo simulirali z metodo SPH, pri čemer smo najprej predpostavili, da imamo v strugi padla drevesa, nato pa še, da je struga očiščena. Rezultati so pokazali, da različna geometrija struge pomembno vpliva na hitrosti in gladine vode, kar se potem odraža tudi pri izračunanih strižnih napetostih pri dnu in posledično transportu sedimentov.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

zastopnik oz. pooblaščen oseba

vodja raziskovalnega projekta:

raziskovalne organizacije:

in

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
gradbeništvo in geodezijo

Matjaž Četina

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

13.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/155

- ¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)
- ² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)
- ⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)
- ⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.
Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.
Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)
- ⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)
- ⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)
- ⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹¹ Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)
- ¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a
C6-83-14-80-BE-30-CD-0C-6E-FB-6D-1A-EC-D0-3B-29-A9-54-F5-95

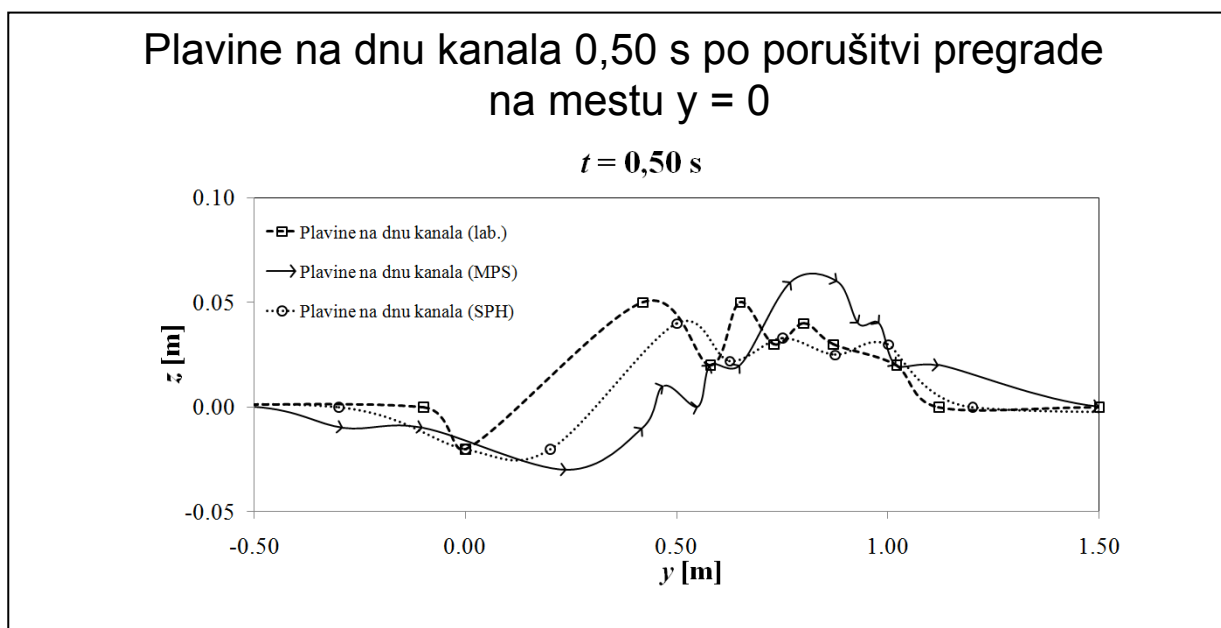
Priloga 1

TEHNIKA

Področje: 2.20 – Vodarstvo

Dosežek 1: Simulacije premeščanja plavin po metodi hidrodinamike zglajenih delcev

DŽEBO, Elvira, ŽAGAR, Dušan, ČETINA, Matjaž. Simulacije premeščanja plavin po metodi hidrodinamike zglajenih delcev. Kuhljevi dnevi 2014, Zbornik del, str. 39-46 [COBISS.SI-ID 6809441].



Metoda SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics oz. hidrodinamika zglajenih delcev) je brez mrežna metoda, ki temelji na Lagrangeovem pristopu in pri kateri so računski elementi premikajoči se masni delci. Pri simulaciji tokov s prosto gladino se lahko uporablja tako za izračune toka vode kot tudi premeščanja plavin, kar je v zadnjem času predmet intenzivnega razvoja tako doma kot v svetu.

Uporabnost metode SPH in lastnega razvitega modela Tis Isat za račun premeščanja sedimentov smo preverili na primeru laboratorijskega eksperimentalnega kanala, kjer se je na koncu 3,0 m dolge akumulacije na mestu $Y = 0$ m nahajala 0,35 m visoka pregrada, pod katero je bil še 3,0 m dolg kanal. Simulirali smo porušitvene valove in hkrati tudi transport sedimentov in razvoj poteka dna po trenutni poružitvi pregrade. Rezultati za čas $T = 0,5$ s po poružitvi, ki so prikazani na zgornji sliki, kažejo na zadovoljivo ujemanje z metodo SPH izračunanega poteka dna tako z laboratorijskimi meritvami kot tudi z referenčno Lagrangeovo metodo MPS, za katero so rezultati dosegljivi v literaturi.

Pomen dosežka je, da je raziskava pokazala, da je metoda SPH poleg za račun gladin uporabna tudi za račun premeščanja sedimentov, kar širi njeno uporabnost.

Priloga 2

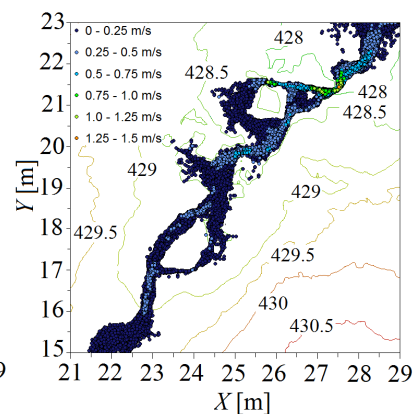
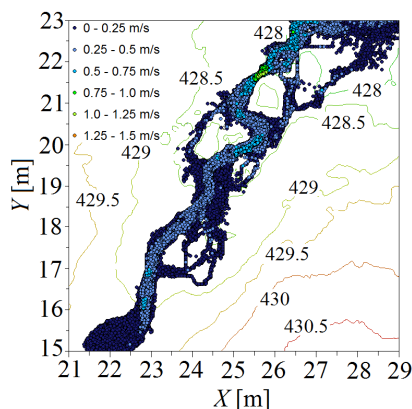
TEHNIKA

Področje: 2.20 – Vodarstvo

Dosežek 1: Izračun strižnih napetosti pri dnu v naravnih hudourniških strugah z uporabo metode SPH

DŽEBO, Elvira, ŽAGAR, Dušan, RUSJAN, Simon, MIKOŠ, Matjaž, ČETINA, Matjaž. Computation of bed shear stresses in natural torrential channels using smooth particle hydrodynamics. 36th IAHR World Congress, sprejeto v objavo.

Fotografija (levo) in simulacija toka v hudourniku Kuzlovec z (sredina) in brez padlih dreves (desno)



SPH je Lagrangeova metoda, ki računsko območje razdeli s pomočjo masnih delcev, ki se premikajo po obravnavanem področju. Ker je brez mrežna metoda, je zelo primerna za simulacije hipnih ali zelo hitrih dinamičnih sprememb toka. V okviru našega projekta smo jo dopolnili in uporabili tudi za račun strižnih napetosti pri dnu in s tem povezanega transporta sedimentov v strmih hudourniških strugah, kar je v praksi zelo aktualen problem.

Predlagali smo novo enačbo za račun strižnih napetosti pri dnu v strmih kanalih in naravnih strugah hudournikov. Enačbo smo najprej preverili na ravnih kanalih različnih širin in jo nato uporabili še za naravno strugo hudournika Kuzlovec, katerega odsek je prikazan na zgornji fotografiji (slika levo). Nato smo tok v hudourniku simulirali z metodo SPH, pri čemer smo najprej predpostavili, da imamo v strugi padla drevesa (slika v sredini), nato pa še, da je struga očiščena (slika desno). Rezultati so pokazali, da različna geometrija struge pomembno vpliva na hitrosti in gladine vode, kar se potem odrazi tudi pri izračunanih strižnih napetostih pri dnu in posledično transportu sedimentov.