dr. Primož BANOVEC**
Matej CERK**
dr. Matej ARTAČ ***

INTERAKTIVNA VIZUALIZACIJA POPLAVNIH OBMOČIJ ZA POTREBE INTERVENTNEGA UKREPANJA

POVZETEK:

Orodja za podporo interventnemu odločanju povezujejo podatke iz različnih zbirk podatkov ter podatke iz sistemov zbiranja podatkov v realnem času. V sebi združujejo številne procese, saj je potrebno v primeru intervencije sprejeti odločitev na podlagi razpoložljivih informacij praktično v realnem času. Ena od razvojnih smernic tovrstnih orodij, v okviru katerih se razvijajo orodja predvsem v smeri približevanja percepcije podatkov uporabniku, so 3D interaktivna vizualizacijska orodja.

V okviru projekta »Interaktivna vizualizacija poplavnih območij za potrebe interventnega ukrepanja«, katerega naročnik je MORS Uprava RS za zaščito in reševanje, smo izdelali okolje, v katerem je mogoče interaktivno spremljati poplavna stanja na območjih, za katera so bili predhodno izdelani matematični hidravlični modeli. Sama izdelava matematičnih modelov za izbrana poplavna območja je slonela na uporabi podatkov o terenu, ki so bili pridobljeni z LIDAR tehnologijo, sami podatki višinskega modela terena pa se prikazujejo tudi na 3D uporabniškem vmesniku. Poleg podatkov o poplavni nevarnosti se v sistem vključujejo tudi podatki o ogroženosti različnih tipov objektov in podatki o programiranih ukrepih interventnega ukrepanja.

Samo vizualizacijsko orodje je zasnovano kot internetna aplikacija, kar omogoča, da uporabniki dostopajo do orodja enostavno preko medmrežja. Osnova za aplikacijo je javanska verzija programa worldwind.

Aplikacija trenutno deluje in je v fazi testiranja na ARSO in URSZR. Potrebna naslednji koraki so delo na kakovosti podatkov, ki so vključeni v podatkovni sistem, implementacija uporabe sistema v ciljnih inštitucijah, ter integracija dodatnih podatkov v sistem.

UVOD

Pri interventnem ukrepanju v primeru poplavnih dogodkov se v proces odločanja vključujejo informacije iz različnih strokovnih področij. Osnovni podatki v fazi oblikovanja čim boljše pripravljenosti na dogodek predstavljajo informacije o poplavni nevarnosti in poplavni ogroženosti. Na osnovi teh podatkov se pripravijo načrti zaščite in reševanja, na podlagi katerih ukrepajo sile zaščite in reševanja, kakor tudi načrti izvajalcev javne službe upravljanja vodne infrastrukture v skladu z Zakonom o vodah. Na podlagi izkušenj v primeru interventnega ukrepanja ob poplavah pa se je ugotovilo, da v fazi samega poteka intervencije podatki o poplavni nevarnosti in ogroženosti ne zadostujejo, saj v takšnih primerih nastopi izrazito pomanjkanje informacij o tem, kakšno je trenutno stanje na terenu, kakšni so ukrepi, ki se trenutno izvajajo, hkrati pa nastopi tudi pomanjkanje prognostičnih informacij – kako se bo poplavni dogodek predvidoma razvijal.

Da bi presegli to stanje, smo v okviru raziskovalnega projekta oblikovali hipotezo, da je mogoče združiti vse navedene informacijske potrebe v eno okolje, ki naj bi bilo oblikovano tako, da bi omogočalo:

- integracijo podatkov hidravličnih modeliranj;

*dr. Primož Banovec, univ. dipl. inž. gradb. Univerza v Ljubljani, Fakulteta gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin, Jamova 2, 1000 Ljubljana, ** Matej Cerk univ. dipl. inž. gradb. Inštitut za vodarstvo, d.o.o., *** dr. Matej Artač univ. dipl. inž. inform, XLAB d.o.o., Pot za Brdom 100, SI-1000 Ljubljana

- integracijo podatkov vodomernih postaj z možnostjo vključevanja napovedanih stanj;
- prenos informacije izmerjenega (napovedanega) stanja na vodomerni postaji na poplavno območje, s čemer dosežemo kvalitativen preskok iz točkovne informacije na poligonsko informacijo;
- vključevanje podatkov o višinah terena, ki so pridobljeni z LIDAR tehnologijo v orodje za podporo odločanju;
- vključevanje podatkov o ogroženosti različnih objektov in dejavnosti v orodje za podporo odločanju;
- vključevanje podatkov o vodnih objektih in vodni infrastrukturi, ki so pomembni za proces interventnega odločanja ob poplavnih dogodkih;
- vključevanje podatkov o programiranih in izvajanih interventnih ukrepih;
- vključevanje drugih podatkov, ki so pomembni za podporo odločanju ob intervencijah (npr. podatki o kanalizacijskih vodih, ki so pomembni za širjenje poplav in nastanek poplavne škode).

Kot je razvidno iz zgornjih alinej, je bil namen raziskovalnega projekta dokaj ambiciozen, saj je poleg navedenih vsebin bil zastavljen tudi cilj vključevanja vseh navedenih vsebin v interaktivno 3D vizualizacijsko okolje, s katerim bi omogočili: (1) integracijo vseh navedenih vsebin v eno orodje, (2) enostavnost vzdrževanja in možnost uporabe v vseh regionalnih centrih obveščanja in (3) približanje informacij, ki so zbrane za navedene potrebe intuitivni percepciji, ki je potrebna za proces odločanja.

Ne glede na zahtevnost zastavljenih ciljev je mogoče ugotoviti, da so bili cilji po navedenih alinejah doseženi in v določenih elementih celo preseženi, kar je omogočil tudi razvoj informacijske tehnologije v letih razvoja projekta (2006-2008).

VIZUALIZACIJSKO OKOLJE

Ustrezno vizualizacijsko okolje in mehanizem interakcije je pomemben element pri vsakem informacijskem orodju. Pri orodjih, ki se uporabljajo za podporo interventnemu odločanju, pa je pomen ustreznega prenosa podatkov med medijem (informacijska struktura) in uporabnikom še posebej pomemben. Zato smo oblikovali usmeritev, da je osnovno vizualizacijsko okolje za uporabnika trodimenzijska dinamična realnost, ki jo je mogoče nadgrajevati z dodatno dimenzijo – časom in po možnosti nadalje s dodatno procesno dimenzijo (peta dimenzija), ki predstavlja usmeritev v novih generacijah informacijskih orodij.

Pri tem smo ugotovili, da so 3D vizualizacijska okolja še posebej primerna za tovrstni namen, saj se njihova izrazita prednost oziroma uporabnost, v primerjavi s klasičnimi 2D (GIS) orodij izraža predvsem v naslednjih elementih:

- Aktivna podpora odločanju o kompleksnih pojavih v realnem času – zaradi prilagoditve podatka uporabniku in ne uporabnika podatku so 3D vizualizacijska orodja posebej primerna za procese odločanja, pri katerih mora priti do odločitev v realnem času, med te procese vsekakor spadajo tudi procesi odločanja v sistemu zaščite in reševanja.

- Integracija kompleksnih podatkovnih struktur, ki prostemu očesu niso vidne – do prvih naprednih 3D vizualizacij je prišlo predvsem na področju montanistike in geologije, saj so navedena orodja uporabljali za analizo podzemnih 3D struktur, ki prostemu očesu niso vidne, podobno se orodja uporabljajo za prikaz mikro struktur (molekule, atomi) ali makro struktur (vesoljske dimenzije). Na področju ravnanja s poplavami je pomembna komponenta, ki jo je včasih težko zaznavati, višina terena, ki jo je pri ravninskih terenih potrebno poudariti, da lahko zaznavamo majhne, a pomembne višinske razlike.

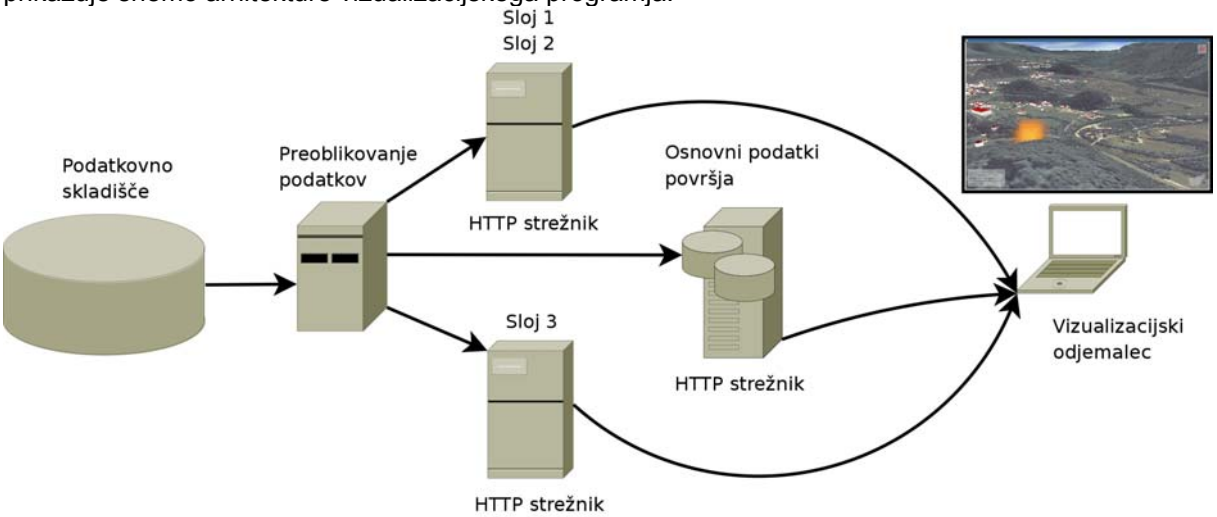
- Dinamični podatki – zaradi narave vpogleda v dinamične 3D vpogledovalnike, ki nam pred očmi osvežujejo sliko, je v 3D vpogledovalnik in povezana analitična orodja relativno enostavno mogoče vključevati tudi podatke, ki so dinamični v prostoru, na primer sledenje vozilom, osebam, spremembe statusa geometrije objektom in podobno.

- Predstavitve javnosti – zaradi oblike podatkov, ki so z vidika percepcije močno približani slehernemu, tudi neizkušenemu uporabniku, so 3D vizualizacijska okolja posebej primerna za naslavljanje širše javnosti in nestrokovnih (laičnih) uporabnikov. Pri tem je posebno pozornost potrebno posvetiti interpretaciji podatkov, saj so v sistem podpore odločanju za potrebe izkušenih uporabnikov vključeni tudi podatki oziroma dogodki z majhno verjetnostjo pojava.

Pri poudarjanju pomena predstavitve podatkov in aktivne 3D vizualizacije pa seveda ne moremo mimo dejstva, da so številni podatki o pojavih in procesih trenutno še vedno vodeni in oblikovani v 2D obliki in jih zato lahko v 3D okolje lahko samo projeciramo. Proces integracije in strukturiranja podatkov, ki ga je bilo potrebno izvesti za potrebe projekta, v tem članku ne bomo izpostavljali, zavedati pa se je potrebno, da brez ustreznih orodij za vodenje podatkov (različna GIS orodja, baze prostorskih podatkov) nadgradnja v smislu 3D vizualizacijskih rešitev ni mogoča.

Arhitektura sistema

Do vseh podatkov, tako osnovnih kot do podatkov posameznega sloja, predstavitveno programje dostopa preko javnega omrežja s pomočjo HTTP protokola, kar omogoča rabo vpogledovalnika iz poljubne, internetno dostopne lokacije. Posamezni podatki so lahko shranjeni na različnih strežnikih (ali celo lokalno, na disku), tako da uporabnik brez težav vključi posamezne sloje brez pisnega dostopa do centralnega strežnika. Morebitno visoko dostopnost (angl. high availability) v primeru visoke obremenitve strežnikov (spričo velikega števila sočasnih odjemalcev) zagotavljamo z za splet običajnimi metodami: povečkratenjem strežnikov in preklopom med povečkratenimi strežniki. Slika 2 prikazuje shemo arhitekture vizualizacijskega programja.



Slika 1: Prikaz arhitekture programja za vizualizacijo geografskih podatkov.

Programje za vizualizacijo zahteva za gladko delovanje učinkovit dostop do podatkov na osnovi njihove geografske lokacije in želene ločljivosti. Zaradi (običajno) omejene hitrosti omrežnih povezav je izjemno pomembno tudi, da so podatki predstavljeni s čim manj informacijske redundance (in torej „čim krajši“), tako da jih lahko prenašamo s strežnika v realnem času, tako kot se opazovalec v vizualizacijskem programju premika.

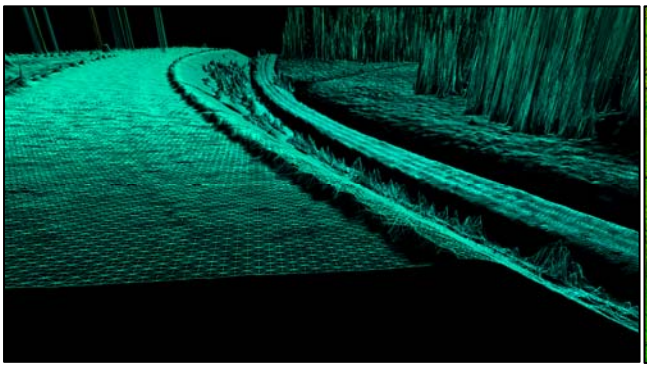
Spričo teh razlogov standardna oblika podatkov, kot so shranjeni v podatkovnem skladišču, ni primerna, saj vsebuje še metapodatke in podatke, ki niso potrebni za vizualizacijo. Potrebna je pretvorba v obliko, ki jo trenutno uporablja vizualizacijsko jedro: pretvorbo opravimo vnaprej (npr. pri

vsakem vnosu podatkov v podatkovno skladišče), s čimer omogočimo hitrejši prenos do vizualizacijskega odjemalca.

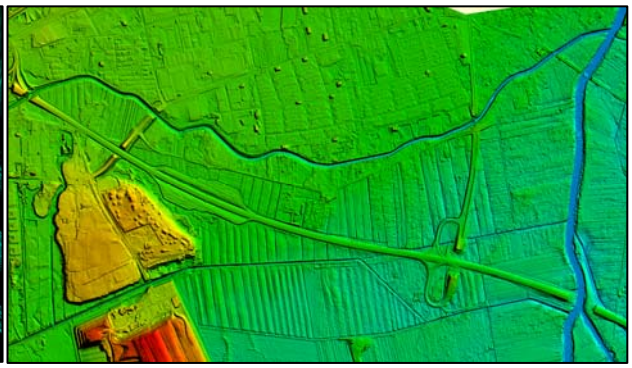
Kot primer si oglejmo obliko višinskih kart terena: v surovi obliki je celotno površje shranjeno v eni sami datoteki, kar onemogoča učinkovit dostop do višinske karte npr. enega samega kvadratnega kilometra v sredini Slovenije. Datoteka je v ASCII obliki, kar dodatno poveča zahtevano prepustnost omrežja. Za učinkovit dostop surovo datoteko razrežemo na dele, ki ustrezajo posameznim zaplatam velikosti kvadratnega kilometra, ter jih shranimo na podatkovnem strežniku v binarni obliki, ki zahteva manjšo prepustnost. Podobno velja tudi za tlorise stavb in še posebej za visokoresolucijske podatke digitalnega modela višin, ki so pridobljeni z LIDAR tehnologijo.

HIDRAVLIČNO MODELIRANJE IN VARSTVO PRED POPLAVAMI

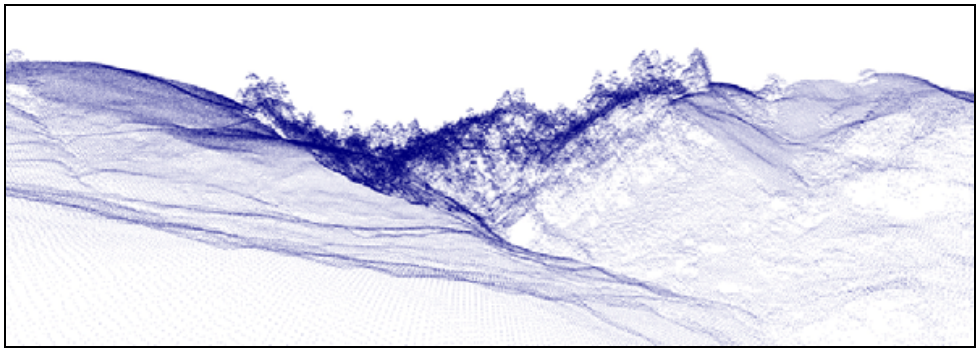
Za navedena območja, za katera so bili dostopni podatki modela višin z LIDAR tehnologijo, so bili izdelani matematični hidravlični modeli. Pri enostavnejših hidravličnih razmerah, kjer ni bilo pojava prelivanja preko nasipov in pojava vejičastega toka, smo uporabili enodimenzionalni matematični model (HEC-RAS), v primeru kompleksnejših pojavov delitve toka pa dvodimenzionalni matematični model – (Aquadyn). Izračun hidravličnih modelov smo izvedli za razpon pretokov, ki sega od 5-letnih povratnih voda, do 200 letnih povratnih voda, s tem je v vizualizaciji mogoče koračno spremljati stanje na merilnih postajah ARSO. V tem članku ne bomo podrobneje obravnavali postopkov matematičnega modeliranja, želeli pa bi izpostaviti pomen visokoresolucijskega zajema podatkov z LIDAR tehnologijo, ki odpira nove možnosti pri modeliranju poplavnih tokov.



Slika 2: Prikaz nefiltriranih podatkov LIDAR snemanja grid (resolucija 10 cm)



Slika 3: Prikaz iz digitalnega modela višin – območje Malega grabna (resolucija 1 m)



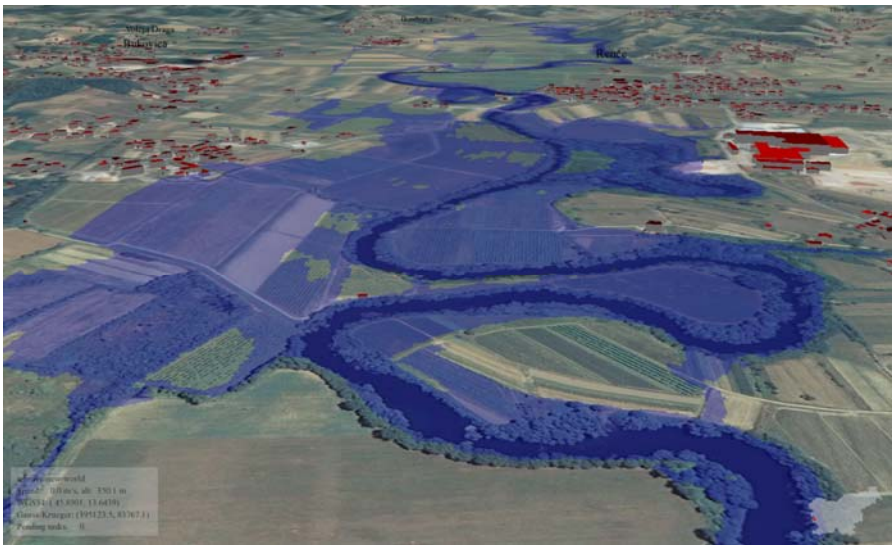
Slika 4: Prikaz terena in vegetacije z uporabo polnega oblaka točk (nefiltrirani podatki)

Pri razvoju postopkov modeliranja na podlagi podatkov višinskega modela reliefa, ki je pridobljen z LIDAR tehnologijo smo razvili niz orodij, ki omogočajo učinkovito rabo tako obsežnih struktur, sama izkušnja pri uporabi navedenih podatkov pa je izrazito pozitivna. Pri tem je potrebno izpostaviti potrebo, da je modeler usposobljen za delo z različnimi oblikami LIDAR podatkov (grid, full cloud), saj lahko le na ta način verificira različna stanja in topologije na katere naleti pri svojem delu.

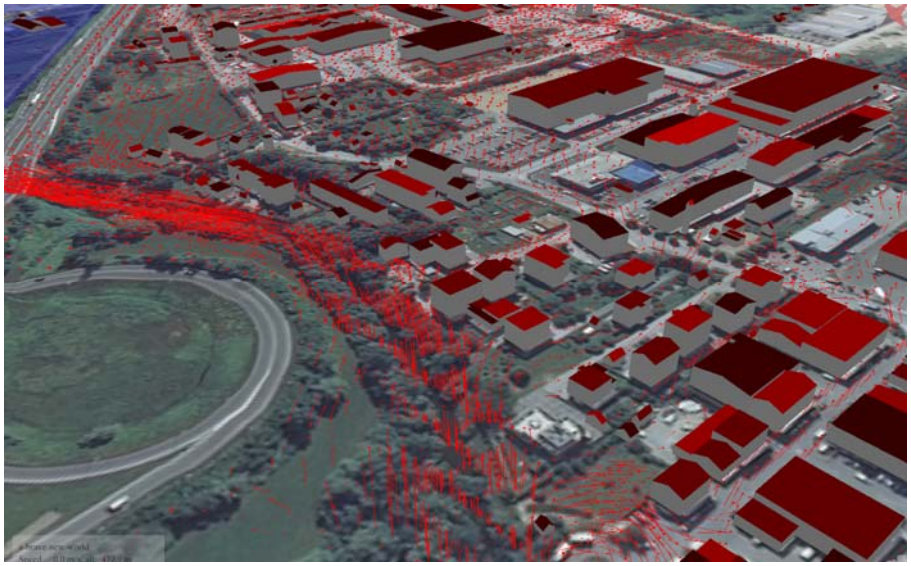
SISTEM ZA PODPORO ODLOČANJA

Integralni sistem za podporo odločanja povezuje samo vizualizacijsko okolje in podatke, ki se vključujejo vanj iz različnih virov. V nadaljevanju so prikazani različni elementi podatkov, ki so uspešno vključeni v vizualizacijsko okolje.

Na sliki 5 je prikazana vključitev poplavnega stanja na reki Vipavi ob pretoku 386 m3/s z vključenimi objekti iz katastra stavb.

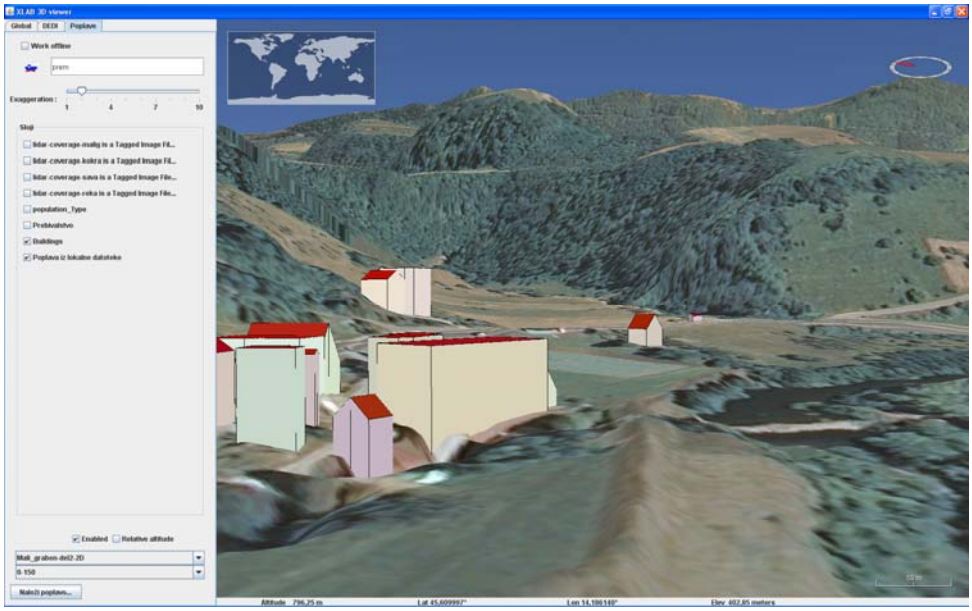


Slika 5: Prikaz vizualizacije poplavnih območij reke Vipave – podlaga enodimenzijski matematični model poplavnega območja.



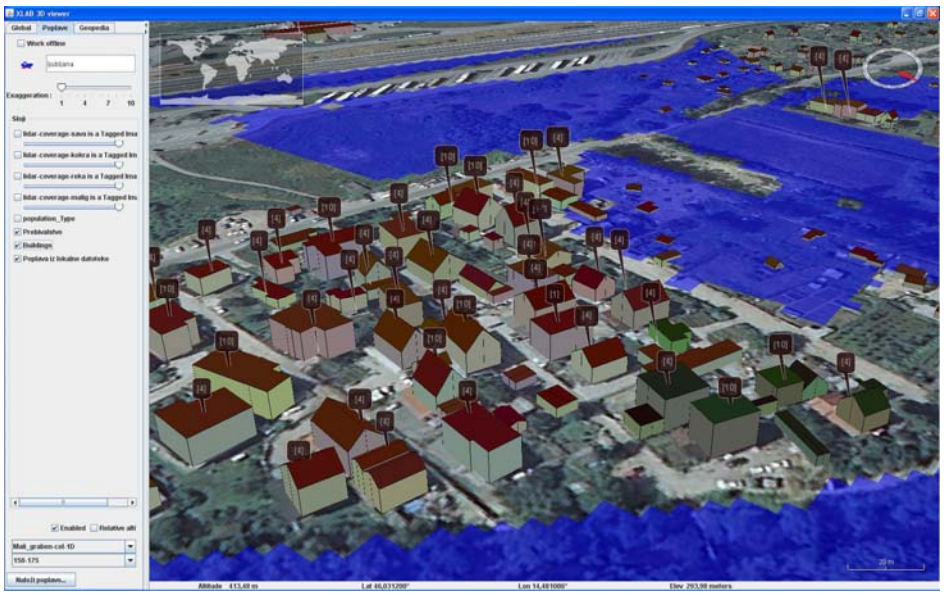
Slika 6: Prikaz vizualizacije poplavnega območja Malega grabna – podlaga dvodimenzijski matematični model poplavnega območja – prikazani so vektorji hitrosti.

V skladu s Pravilnikom o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (Ur.l. RS 60/2007) predstavlja tudi hitrost vode enega od elementov poplavne nevarnosti. Navedno hitrost vode je mogoče prikazati v vizualizacijskem okolju, bodisi kot samostojni element (Slika 6) lahko pa tudi kot mejno vrednost (zmnožek hitrosti in globine) za določitev razreda nevarnosti.



Slika 7 : Prikaz uporabe poudarjene vertikalne dimenzije (identifikacija nasipa)

Na sliki 7 je prikazana uporaba funkcije poudarjene vertikalne dimenzije (exaggregation) navedena funkcija je posebej primerna za identifikacijo poplavnih tokov na ravninskih območjih in identifikacijo posameznih vodnih objektov in vodne infrastrukture.



Slika 8: Vključevanje atributov ogroženosti v posamezne vizualizirane objekte – primer: število prebivalcev iz CRP, kot osnova za določitev ogroženosti (op.: vrednosti so zaradi varstva osebnih podatkov modificirane).

Na sliki 8 je prikazan eden od elementov identifikacije ogroženosti, ki so vključeni v vizualizacijsko okolje. Sistematično zbiranje podatkov o objektih, ki so posebej ogroženi zaradi poplav, ni organizirano, zato smo v sodelovanju z mestna upravo Mestne občine Ljubljana, Oddelek za zaščito, reševanje in civilno obrambo opredelili, katere objekte opredeljuje njihov sistem ukrepanja v izrednih razmerah kot posebej ogrožene objekte. Pri tem smo opredelili naslednje skupine objektov:

(1) Posebej varovani objekti (bolnice, zdravstveni domovi, domovi upokojencev ipd.) navedeno kategorijo objektov je potrebno v primeru njihove ogroženosti prioritetno varovati in po potrebi evakuirati. V ločeno skupino posebej varovanih objektov spadajo tudi drugi objekti, ki imajo identificirano visoko stopnjo ogroženosti (npr. SEVESO A in B lokacije) ali pa so zaradi svojega pomena (Ključna infrastruktura) predmet posebnega varovanja.

(2) Nastanitveni objekti (hoteli, dijaški in študentski domovi, osnovne in srednje šole, fakultete, vrtci). Identifikacija in spremljanje stanja nastanitvenih objektov je pomembna zaradi možnosti njihove rabe za potrebe začasnih namestitev.

(3) Objekti sil zaščite in reševanja (gasilski domovi, centri obveščanja, skladišča, centri za usposabljanje ipd.) varovanje navedenih objektov je posebnega pomena, da se, silam zaščite in reševanja sploh omogoči učinkovito in uspešno delo.

(4) Ključni transportni objekti (potencialno poplavljeni odseki cest, potencialno poplavljeni podvozi ipd.) pri opredelitvi ključnih transportnih objektov je potrebno poudariti, da ti še niso metodološko pokriti in zato predstavljajo identificirani odseki in lokacije šele osnovo za izboljšani metodološki pristop.

Poleg navedenih se v sistem podpore odločanja vključujejo tudi drugi objekti npr. objekti z lokacijami nevarnih odpadkov (SEVESO A in B objekti), ki so posebnega pomena za učinkovito izvajanje intervencij v času poplav.

Poseben element, ki je tudi predmet sistema za podporo odločanja predstavlja tudi identifikacija poplavne nevarnosti, katerih vzrok so zaledne vode. Identificirane zaledne vode so lahko po eni strani podlaga za interventno ukrepanje, po drugi strani pa za pričetek postopkov priprave podrobnejših programov upravljanja s povodji v skladu z Zakonom o vodah.

ZAKLJUČKI IN USMERITVE

Uporabnost navedenega orodja je bila v prvi vrsti namenjena podpori interventnemu ukrepanju. Potreba pa je, da se navedeni raziskovalni projekt sprejme kot standardno orodje v strukturah civilne zaščite, saj se bo sicer izdelani izdelek ustavil na tej stopnji razvoja.

Glede na to, da se podatki povezujejo tudi z sistemi za podporo odločanja, ki izhajajo iz Zakona o vodah (upravljanje z vodnimi objekti in vodno infrastrukturo, določanje poplavne in erozijske nevarnosti idr.).

Druga možna dimenzija rabe navedenega izdelka je ravno na področju sodelovanja z javnostmi in sodelovanja javnosti v procesih odločanja v skladu z poplavno direktivo in Zakonom o vodah.

ZAHVALA

Projekt je bil financiran v okviru ciljnih raziskovalnih projektov »ZNANJE ZA VARNOST IN MIR 2006 – 2010« pod številko M2-0135. Financerjem, ki so omogočili izvedbo navedenega projekta, se zahvaljujemo.

LITERATURA

Delovna literatura projekta »Interaktivna vizualizacija poplavnih območij«, maj 2008.

STEINMAN, Franci, KLASINC, Roman, BANOVEC, Primož. Ermittlung der erwarteten Schadengröße bei Überflutungen hochwassergefährdeter Gebiete unter Verwendung moderner Technologien = Determination of expected damage resulting from the inundation of areas exposed to flood risks, using up-to-date technologies. *Österr. Wasser- Abfallwirtsch.*. [Print ed.], 2001, jg. 53, h. 9/10, str. 242-247, ilustr., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 1482337]

STEINMAN, Franci, BANOVEC, Primož. Račun gladin v obraščenih vodotokih. *Acta hydrotech.*. [Tiskana izd.], 1996, 14, št. 12, str. 41-53. [COBISS.SI-ID 78337536]

STEINMAN, Franci, BANOVEC, Primož. Zmanjševanje tveganj pri gospodarjenju z vodami = Reducing risks in water management. *Ujma (Ljublj.)*, 2000/2001, št. 14/15, str. 313-318, ilustr. [COBISS.SI-ID 1425761]

BANOVEC, Primož, STEINMAN, Franci, TRČEK, Roman. Ukrepanje ob visokih vodah naj upošteva tudi ekonomsko ovrednotene poplavne škode = Flood damage response based on economically assessed flood damage. *Ujma (Ljublj.)*, 2000/2001, št. 14/15, str. 319-324, ilustr. [COBISS.SI-ID 1426273]

GOSAR, Leon, RAK, Gašper, STEINMAN, Franci, BANOVEC, Primož. Z LIDAR tehnologijo zajeta topografija v hidravličnih analizah vodotokov = Using LIDAR data in open channel hydraulic analysis. *Gradb. vestn.*, maj 2007, letn. 56, str. 115-123, graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 3752545]

GOSAR, Leon, RAK, Gašper, STEINMAN, Franci, BANOVEC, Primož. Upotreba LIDAR podataka za izračune poplavnog područja. *Voda mi*, 2007, let. 11, br. 55, str. 8-19, ilustr. [COBISS.SI-ID 3675745]

BANOVEC, Primož. Evaluation of flood damage costs and its use in the river basin managenent. V: RUSCONI, Antonio (ur.). *Piani di bacino e sicurezza idraulica*. Venezia: Istituto veneto di scienze lettere ed arti, 2003 (tiskano 2004), str. [89]-103, ilustr. [COBISS.SI-ID 2374497]

STEINMAN, Franci, KLASINC, Roman, BANOVEC, Primož. Berechnungen der erwarteten Schadensgröße bei Überflutungen hochwassergefährdeter Gebiete. V: MINOR, H. E. (ur.). *Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau*, (Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Eidgenössische Technische Hochschule, 174). Zürich: VAW, 2002, str. 561-571, ilustr. [COBISS.SI-ID 1813089]