

dr. Katarina ZABRET*

mag. Andrej VIDMAR*

Klaudija SAPAČ*

Petra PERGAR**

Kristina KLEMEN**

Blaž IVANUŠA***

izr. prof. dr. Aleksander KEŠELJEVIČ****

dr. Rok SPRUK****

doc. dr. Andrej KRYŽANOWSKI*

RAZVOJ ENOTNE METODE ZA OCENO KORISTI GRADBENIH IN NEGRADBENIH UKREPOV ZA ZMANJŠANJE POPLAVNE OGROŽENOSTI

POVZETEK

V prispevku so predstavljeni preliminarni rezultati raziskovalnega programa razvoja metodologije in aplikacije za ocenjevanje koristi gradbenih in negradbenih ukrepov zmanjševanja poplavne ogroženosti na območju Republike Slovenije za pripravo investicijske dokumentacije. Pri načrtovanju varstvenih ukrepov je osnovni cilj zmanjševanje škode, ki bi jo poplava lahko povzročila in čim večja dejanska korist realiziranih ukrepov, ki je ovrednotena kot razlika med pričakovano škodo pred izvedenim ukrepom in pričakovano škodo po izvedbi. Ukrepi so lahko fizične narave z realizacijo gradbenih objektov, lahko pa so tudi zgolj organizacijske narave z realizacijo negradbenih ukrepov. Prvi cilj projekta je nadgradnja izhodiščne metode IzVRS (2014) za oceno koristi gradbenih in negradbenih ukrepov zmanjševanja poplavne ogroženosti. Drugi cilj projekta je izdelava aplikacije, ki temelji na geografskem informacijskem sistemu, preko katerega so v metodologiji ocene koristi ukrepa upoštevani razpoložljivi lokacijski podatki v prostoru. Metoda in aplikacija omogočata oceno koristi tako gradbenih kot negradbenih ukrepov zmanjševanja poplavne ogroženosti z upoštevanjem predmetne in nepredmetne škode za štiri skupine ogroženecov: zdrave ljudi, okolje, kulturno dediščino in gospodarske dejavnosti. Uporabnost metode in aplikacije bo v sklopu naloge testirana na treh poplavnih območjih v Sloveniji.

1 UVOD

Leta 2014 je bila v okviru projekta »Priprave strokovnih podlag za izvajanje poplavne direktive« in naloge »Priprava ekonomskih vsebin načrtov zmanjševanja poplavne ogroženosti« izdelana »Metoda za oceno koristi ukrepov zmanjševanja poplavne ogroženosti« (metoda IzVRS). V metodi so obravnavani štirje sektorji: zdrave ljudi, okolje, kulturna dediščina in gospodarske dejavnosti. Za vsak sektor so bile določene vrednosti faktorjev, ki so podajali lastnosti poplavnega dogodka (**jakost**), obseg, število ali velikost gradnikov prostora na izbranem območju (**razsežnost**), verjetnost prisotnosti ogroženecov (gradnikov) na izbranem območju v določenem obdobju (**izpostavljenost**), poškodovanost gradnikov prostora na izbranem območju ob nastopu nevarnega dogodka določene jakosti (**ranljivost**), čas trajanja nevarnosti ob poplavi (**trajanje**) in ekonomske vrednosti, ki so potrebne za povrnitev gradnikov prostora v prvotno stanje pred poplavo (**vrednost**). Ti faktorji so bili upoštevani v splošni enačbi za račun pričakovane škode na določenem območju pri pojavu referenčnega poplavnega dogodka:

* asist. dr. Katarina ZABRET, univ. dipl. ing. gr., viš. pred. mag. Andrej VIDMAR, univ. dipl. ing. gr., asist. Klaudija SAPAČ, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž., doc. dr. Andrej KRYŽANOWSKI, univ. dipl. inž. gradb., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana; **Petra PERGAR, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž., Kristina KLEMEN, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž., Inštitut za prostorski razvoj, Verovškova ulica 64, 1000 Ljubljana, ***Blaž IVANUŠA, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž., VGP Ptuj, Žnidaričevo nabrežje 11, 2250 Ptuj, ****izr. prof. dr. Aleksandar KEŠELJEVIČ, univ. dipl. ekon., doc. dr. Rok SPRUK, univ. dipl. ekon., Univerza v Ljubljani, Ekonomska Fakulteta, Kardejeva ploščad 17, 1000 Ljubljana

***Pričakovana škoda na določenem območju pri $Q_T =$
jakost dogodka \times razsežnost \times izpostavljenost \times ranljivost \times trajanje nevarnosti \times vrednost***

V letu 2018 je bil pričet projekt »Razvoj enotne metode za oceno koristi gradbenih in negradbenih ukrepov za zmanjšanje poplavne ogroženosti«, ki poteka v sklopu ciljnega raziskovalnega programa in ga sofinancirata ARRS in MOP. Rezultat raziskovalnega projekta je razvoj programskega orodja - aplikacije, ki bo delovala na podlagi nadgraditve metode IzVRS in bo enotno uporabljiva za ocenjevanje koristi gradbenih in negradbenih ukrepov zmanjševanja poplavne ogroženosti na območju Republike Slovenije za pripravo investicijske dokumentacije, skladno z Uredbo o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ (UL RS, št. 60/06, 54/10 in 27/16). Aplikacija bo služila kot podpora odločanju, saj bo na podlagi aplikacije mogoče izbrati ukrepe, ki bodo predstavljali najvišje koristi na enoto stroškov ukrepa. S tem se bo z vidika učinkovitosti izboljšalo stanje porabe sredstev iz različnih proračunov, ki zagotavljajo finančni vir za umestitev oziroma udejanjenje nekega ukrepa. Še več, z uporabo enotne metodologije se bodo postopki za pripravo ekonomskih delov investicijskih dokumentacij skrajšali, predvsem pa poenostavili. Trenutno je projekt v fazi testiranja metode in aplikacije na testnih primerih. Projekt bo zaključen konec marca 2019.

Ocena koristi posameznih ukrepov bo možna za štiri vrste ogrožencev: zdravje ljudi, okolje, kulturno dediščino in gospodarske dejavnosti. Korist ukrepa je ovrednotena kot razlika med pričakovano škodo pred ukrepom in pričakovano škodo po uresničitvi ukrepa. Pri tem so pri oceni pričakovane škode upoštevane razsežnosti poplav, ki se pojavljajo z različnimi verjetnostmi (povratne dobe). Aplikacija, ki je eden od pričakovanih rezultatov projekta, temelji na geografskem informacijskem sistemu, preko katerega so v metodologiji ocene koristi ukrepa upoštevani lokacijski podatki o vseh tipih ogrožencev v prostoru. Izračun škode z aplikacijo temelji na metodi IzVRS, ki je preverjena in nadgrajena, saj so upoštevani tudi dopolnjeni podatki o popisani škodi zaradi poplav po letu 2012, ki so potrebni predvsem za analize škod za gospodarsko javno infrastrukturo, vodotoke, vodne objekte in kulturno dediščino. Razvita metodologija in aplikacija s tem temeljita na večjem vzorcu podatkov, kar omogoča točnejšo oceno oziroma utež posameznega parametra izdelane metode.

2 RAZVOJ PROGRAMSKEGA ORODJA

Programsko orodje za izračun škode pri poplavah **KRPAN** (Kumulativni Računi Poplavnih škod in **AN**alize) temelji na geografsko informacijskem sistemu. Zajem vhodnih podatkov v programskem orodju temelji na treh osnovnih gradnikih baz geografskih informacijskih sistemov (poligon, linija, točka).

2.1 Vhodni podatki

Za vzpostavitev aplikacije v GIS okolju je v prvem koraku nujna razdelitev vhodnih podatkov na tri podatkovne tipe in sicer na poligonske, linijske in točkovne:

- **Poligonski sloji** z zajemom podatkov, kot so: kataster stavb, raba tal, vodna zemljišča, ki so podlaga za določitev škode na posameznih entitetah, izražena na površinsko enoto. V programskem orodju je vključen tudi izračun škode za podatke za entitete za katere ni mogoče določiti natančne lokacije v prostoru - tu gre za podatke, ki niso geolocirani (število avtomobilov, turisti,..) ali jih zaradi zakonskih omejitev pri rabi podatkovnih baz ni mogoče posamično vključiti v programsko okolje (število rezidentov na posamezno stavbo,..). Za ta namen je uporabljen podatkovni sloj prostorski okoliš, ki omogoča povezavo z ostalimi statističnimi enotami (E-hiš, ulica, naselje, občina, statistična regija, šolski okoliši). Navedenoomogoča enostavnejšo analizo in prikaze rezultatov glede na posamezne obravnavane entitete.
- **Linijski sloji** z zajemo podatkov temeljijo na podatkih iz katastra gospodarske javne infrastrukture, kot so: javne ceste (državne, lokalne, gozdne), elektroenergetsko omrežje (podzemni del), vodovodno in kanalizacijsko omrežje in so osnova za določitev škode na posameznih entitetah, izražene na dolžinsko enoto. Kot linijski sloj bodo za izračun v aplikaciji upoštevani tudi vodotoki – za pričakovano škodo na vodotokih. Na podlagi linijskih slojev temelji tudi izračun pričakovane škode za udeležence v prometu. V linijskem sloju so vsebovane tudi škode na objektih, ki so sestavni del posamezne entitete

in se ne obravnavajo kot posamezni samostojne enote, temveč se škoda preračuna na dolžinsko enoto pripadajoče prostorske entitete.

- **Točkovni podatki**, ki so vključeni v programsko orodje temeljijo na točkovnih podatkih katastra stavb in se nanašajo predvsem na zdravje ljudi, ki se zadržujejo v teh stavbah, ki se razvrščajo na: stanovanjske stavbe, poslovne in industrijske stavbe, šole, vrtce, bolnišnice in domove za ostarele. Zajem oziroma določitev števila oseb je možen z neposredno določitvijo števila oseb (na primer: z uporabo evidenc prebivalstva za stanovanjske zgradbe, ali števila zaposlenih za poslovne in industrijske zgradbe) ali posredno, preko skupnega števila oseb na statistično enoto (na primer: podatki o številu otrok v šolskem okolišu se pripišejo šoli v tem okolišu). Pri uporabi podatkov, ki se navezujejo na osebne podatke (evidence prebivalstva, zaposleni) in za katere veljajo zakonska določila o varstvu osebnih podatkov je razpoložljivost baz omejena. Za izvedbo testnih izračunov in analizo občutljivosti je sicer omogočen vpogled v podatkovne baze, za splošno rabo pa, zaradi varstva osebnih podatkov, to ne bo mogoče. Na samo funkcionalnost delovanja programskega orodja to ne predstavlja tako velike ovire, saj aplikacija omogoča zajem števila oseb neposredno na posamezno stavbo, ali posplošeno preko skupnega števila oseb, ki se nahajajo na posameznem prostorskem okolišu s pripadajočimi statističnimi enotami (na primer: podatki o številu otrok v šolskem okolišu se pripišejo šoli v tem okolišu). Na ta način je omogočeno bistveno bolj enostavno vzdrževanje in posodabljanje podatkov.

Kot posebna entiteta je obravnavan podatkovni sloj registra **nepremične kulturne dediščine**. Ločena obravnava prostorskega sloja je bolj primerna tudi zaradi vključitve dodatnih parametrov po posodobljeni metodi za izračun, ki bodo omogočali tudi določitev nepredmetne škode na kulturni dediščini.

2.2 Priprava prostorskih podlag

Na osnovi gradnikov baz GIS so v programski orodju za posamezne izračune izdelana naslednja podprogramska orodja:

- **KrpaP** za izračune na poligonskih tipih podatkov
- **KrpaL** za izračune na linijskih tipih podatkov
- **KrpaT** za izračune na točkovnih tipih podatkov
- **KrpaK** za izračune pričakovane škode na kulturni dediščini

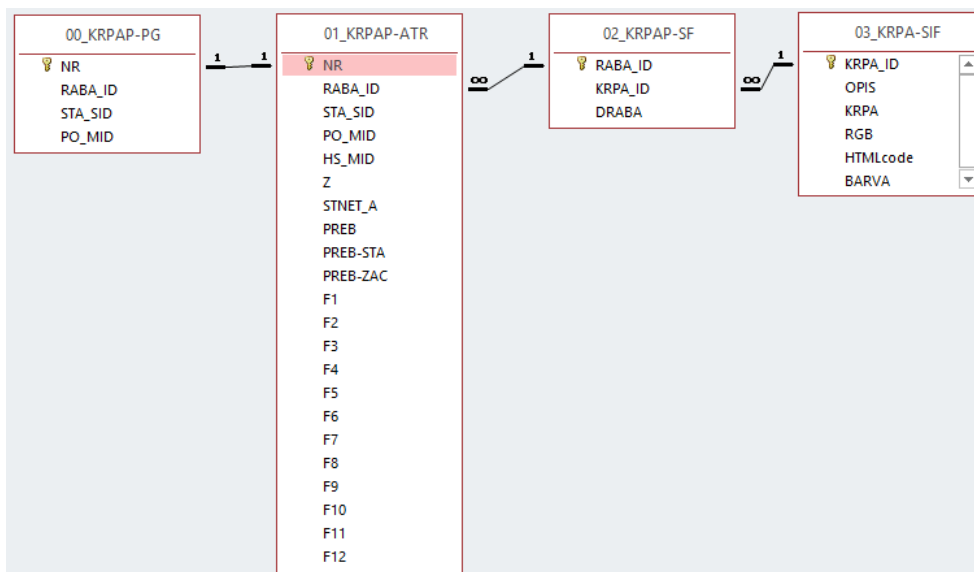
Del aplikacije poimenovane KrpaK je namenjen izračunom pričakovane škode na kulturni dediščini. Na podoben način je izdelano tudi poimenovanje podatkovnih baz in generiranih slojev za prikaze rezultatov. Podatkovne baze za izračun točkovnih tipov podatkov so zaradi pridobivanja podatkov trenutno še v pripravi. V testni fazi pa so točkovni podatki upoštevani na nivoju podatkovnih slojev prostorskih okoliših.

Programsko orodje temelji na javno dostopnih podatkih ali podatkih, ki so bili pridobljenih za namen projekta. Za delovanje aplikacije je vzpostavljena relacijska baza podatkov, ki na optimalen način omogoča obdelavo velike količine podatkov, na katerih je bila zasnovana že metoda IzVRS.

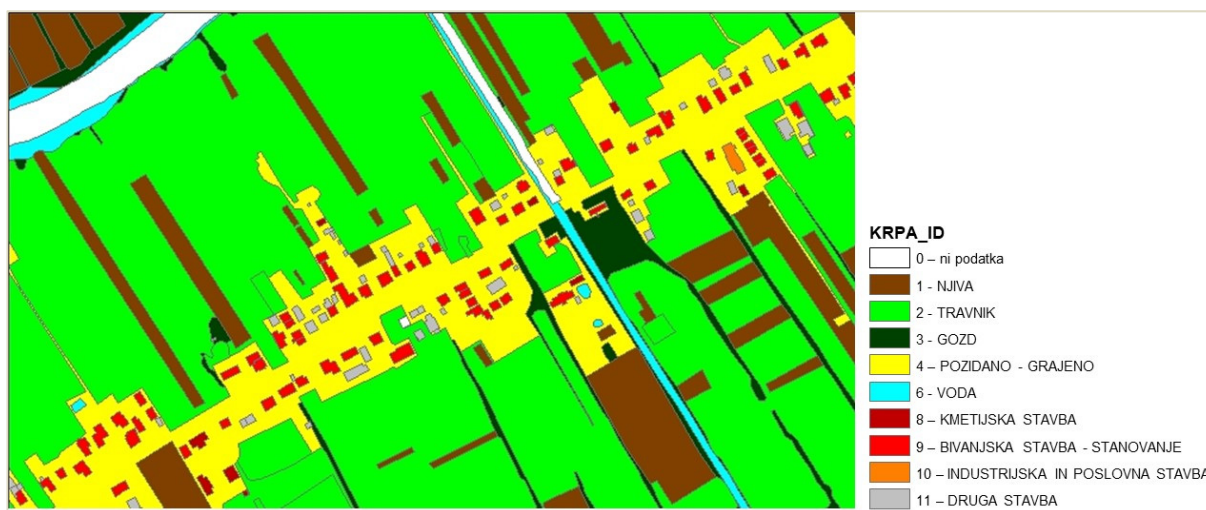
2.2.1 podatkovne baze za poligonske tipe podatkov

Za celotno državo je vzpostavljen prostorski sloj **KrpaP**. Z namenom zmanjšanja količine podatkov v sloju **KrpaP** je edini atributni podatek **NR**, ki predstavlja zaporedno številko posameznega poligonskega elementa, prostorskega okoliša. Pri izračunu v aplikaciji se nato ostali atributi za izračun dodajo le za izbrano območje. Takšen način oziroma optimizacija je bila nujno potrebna za zmanjšanje količine podatkov na obseg, ki omogoča obdelavo podatkov na običajnih novejših osebnih računalnikih. Skupaj je v tem prostorskem sloju upoštevanih **1.343.060** kompleksnih poligonov. Osnovna atributna tabela (**KRPAP-PG**) vsebuje naslednje podatke: (1) zaporedno številko, (2) informacijo o rabi zemljišča, (3) informacijo o stavbi (če je del pripadajočega zemljišča, drugače je pripisana vrednost brez stavb) in (4) številko prostorskega. Za določitev razredov škode je za vsak element **NR** določen atributni podatek škodni razred (skupaj 12 razredov) na podlagi združenih slojev (**KRPAP-ID**): rabe zemljišč (5 razredov),

katastra stavb (5 razredov) in vodnih zemljišč (2 razreda), ki povezuje informacijo o rabi zemljišča in identifikacijsko številko rabe v atributno tabelo (**KRPAP-SF**) **slika 1**. Za enotni grafični prikaz so škodni razredi (**KRPAP-ID**) prikazani z določenimi parametri (barvami) v atributni tabeli (**KRPAP-SIF**) **slika 2**. Za vključitev tako določenih elementov v enačbe je treba posameznemu elementu pripisati tudi tip enačbe, po katerem se izračunava pričakovana škoda. V aplikaciji je v testni fazi vgrajenih 12 tipov enačb, ki se vključujejo preko faktorjev F1 do F12 (**KRPAP-ATR**). Ti faktorji so namenjeni tudi kalibraciji modela. Za testiranje in analizo možnosti upoštevanja škodnih krivulj je za posamezne stavbe že določena višina pritličja na podlagi razpoložljivih podatkov o višinah in velikost neto tlorisne površine objektov iz katastra stavb. Če ta vrednost ni na voljo, se izračun izvede na podlagi površine stavbišča, kot je bil nastavljen v izračunu v metodi IzVRS. Na osnovi predstavljenih atributnih tabel je vzpostavljena relacijska baza, ki je osnova za izračun pričakovane škode na poligonskih elementih v aplikaciji.



Slika 1: Relacijska baza podatkov za poligonske elemente

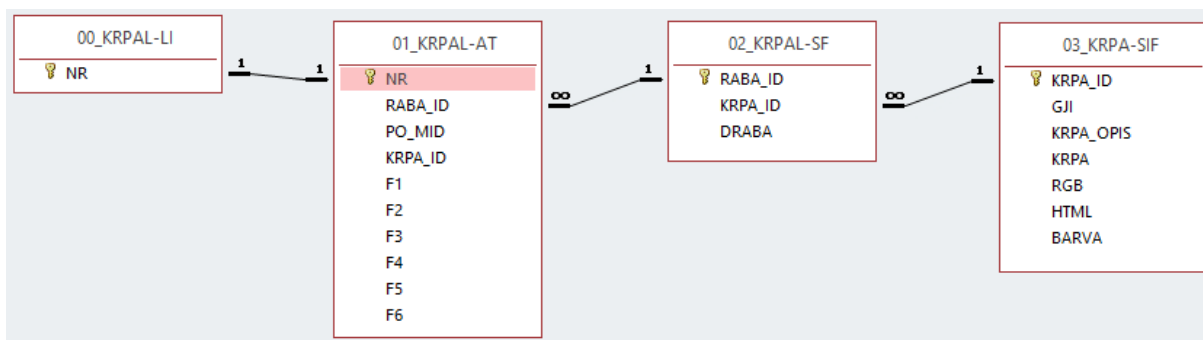


Slika 2: Izsek poligonskega sloja za testni primer

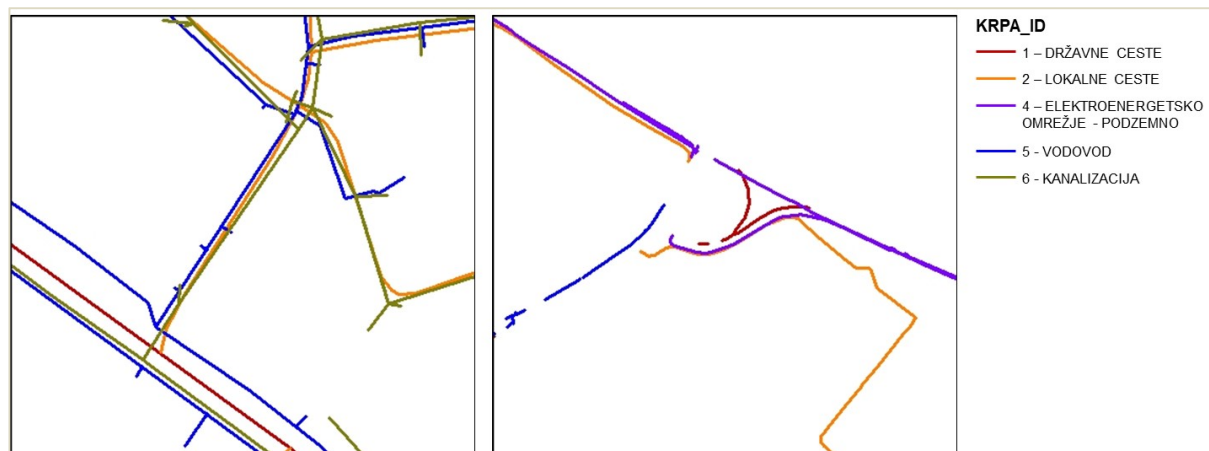
2.2.2 podatkovne baze za linijske tipe podatkov

Podobno kot za poligonski ti podatkov, je tudi za linijski tip podatkov vzpostavljen prostorski sloj z edinim atributnim podatkom **NR**, ki predstavlja zaporedno številko posameznega linijskega elementa. Pri izračunu se ostali atributni podatki dodajo le za izbrano območje, kar zmanjša količine podatkov in omogoča obdelavo na običajnih novejših računalnikih. Skupaj je v tem prostorskem sloju upoštevanih

110.095 linijskih elementov. Osnovna atributna tabela (**KRPAL-AT**) vsebuje naslednje podatke (**slika 3**): (1) zaporedno številko, (2) informacijo o rabi (tipu) linijskega elementa in (3) številko pripadajočega prostorskega okoliša – skupno atributna tabela vsebuje **110.095** zapisov. V tej tabeli so že dodani faktorji F1 – F6 za priklic posamezne enačbe v izračun. Ti faktorji so namenjeni tudi kalibraciji modela. Za določitev razredov škode je za vsak element NR določen atributni podatek škodni razred (skupaj 8 razredov) na podlagi združenih slojev posameznih linijskih elementov iz zbirnega katastra (**KRPA-ID**): ceste (4 razredi), elektroenergetsko omrežje (1 razred), vodovodno omrežje (1 razred) in kanalizacijsko omrežje (1 razred). V nadaljevanju bodo dodani še linijski podatki in razredi za določitev škode na vodotokih (predvidoma 5 razredov). Osnovni šifranti iz podatkovnih slojev ostanejo nespremenjeni - povezavo atributnega računskega podatka in rabe se izvede v atributni tabeli (**KRPAL-SF**). Za enotni grafični prikaz so škodni razredi (**KRPAL-ID**) prikazani z določenimi parametri (barvami) v atributni tabeli (**KRPA-SIF**) **slika 4**. Na osnovi predstavljenih atributnih tabel je vzpostavljena relacijska baza, ki je osnova za izračun pričakovane škode na linijskih elementih v aplikaciji.



Slika 3: Relacijska baza podatkov za linijske elemente



Slika 4: Izsek linijskega sloja za testni primer

2.3 Izračun pričakovane škode

Izračun pričakovane škode temelji na poligonskih, linijskih in točkovnih vhodnih podatkih. Pri preračunu je uporabljena osnovna enačba po metodi IzVRS z upoštevanjem naslednjih faktorjev pri vsaki entiteti: razsežnost, izpostavljenost, ranljivost, jakost in vrednost. Enačbe so vgrajene v testni aplikaciji in je predvideno, da se tekom kalibracije modela parametri še lahko spreminjajo, kasneje v končni aplikaciji pa to ne bo več možno. Račun škode temelji na posebej pripravljenem podatkovnem sloju (**KrpaPi** za poligonske podatke in **KrpaLi** za linijske elemente) po enačbah. Stanje aplikacije je trenutno v fazi kalibracije računskih parametrov na testnih primerih.

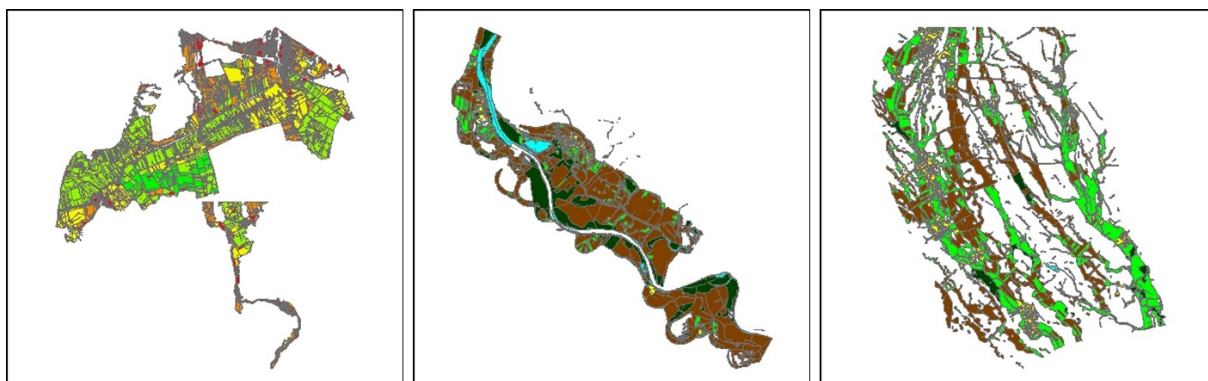
2.4 Testiranje aplikacije

Območje za izračun lahko izberemo na dva načina: prvič, neposredno iz poplavne študije, če je območje določeno kot poligon in drugič, z neposrednim vrisom območja preko aplikacije GoogleEarth ali drugih

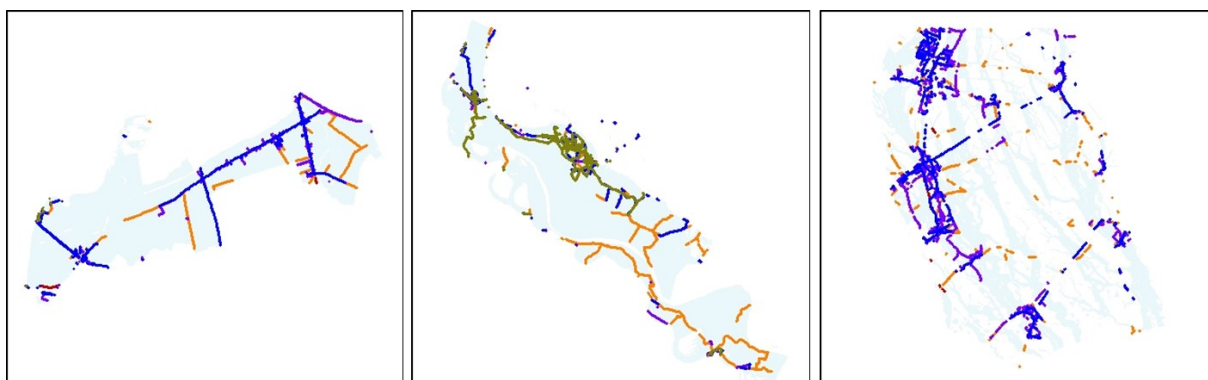
GIS ali CAD orodij. Za izvoz poligona v programsko okolje mora biti poplavno območje v shp obliki. Aplikacija je bila testirana na treh različnih poplavnih območjih: (1) Barje v Ljubljani, (2) dolina Drave in (3) kompleksni primer določitve poligona poplavnih območij (**slika 5**). Poplavna območja so bila izbrana na osnovi poplavnih kart (Q_{100}) območij in uporabljena v neposredni obliki, brez dodatnih korekcij. S pomočjo aplikacije so bila določena podatkovna sloja za poligonske podatke (**slika 6**) in za linijske podatke (**slika 7**). Rezultati računa so podani lahko v tabelarični obliki (MS Excel), kar omogoča nadaljnje analize in prikaze rezultatov z različnimi diagrami (**slika 8**) in pa s prostorskim prikazom stroškov za posamezni element na enoto površine, kar omogoča nadaljnje prostorske analize (**slika 9**).



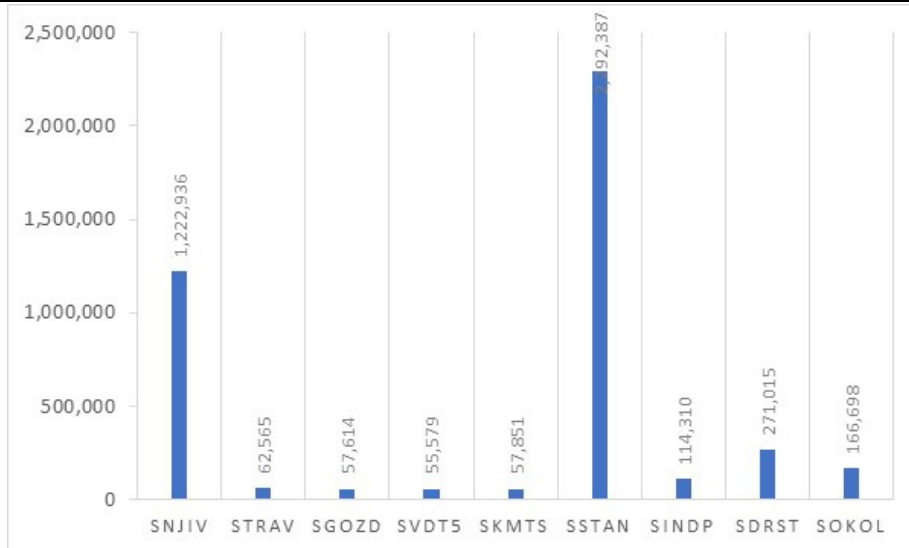
Slika 5: Primer poplavnih območij za testiranje aplikacije (Ljubljansko polje, Dravsko polje,



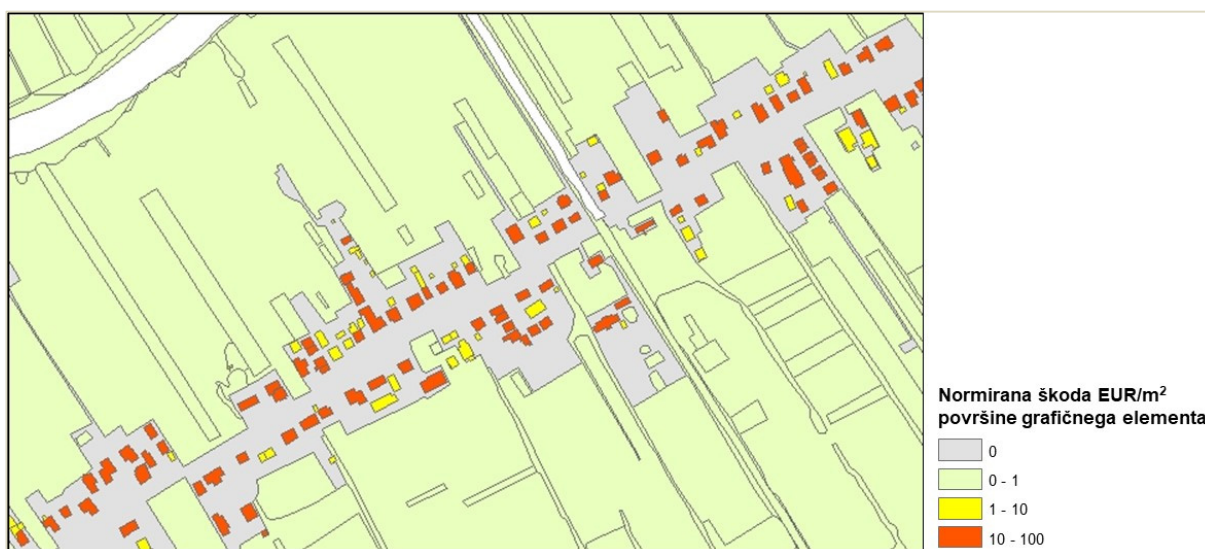
Slika 6: Prikaz podatkovnega sloja (KrpaPi) za poligonske podatke na testnih primerih



Slika 7: Prikaz podatkovnega sloja (KrpaLi) za linijske podatke na testnih primerih



Slika 8: Prikaz škode na območju izračuna z diagramom



Slika 9: Prikaz normirane škode za poligonske podatke

3 ZAKLJUČEK

V prispevku so prikazani delni rezultati raziskovalnega projekta »Razvoj enotne metode za oceno koristi gradbenih in negradbenih ukrepov za zmanjšanje poplavne ogroženosti« katerega rezultat je razvoj programskega orodja, ki bo služilo kot pomoč pri izdelavi investicijske dokumentacije pri oceni koristi gradbenih in negradbenih ukrepov za zmanjševanje poplavne ogroženosti. Projekt je bil pričet v aprilu 2018 in poteka v okviru ciljnega raziskovalnega programa in ga sofinancirata ARRS in MOP.

Programsko orodje, aplikacija temelji na metodologiji, ki je bila razvita v sklopu izvajanja strokovnih nalog za izvajanje poplavne direktive in ekonomskih vsebin načrtov zmanjšanja poplavne ogroženosti in jo je izdelal IzVRS leta 2014, ki je bila za potrebe izdelave aplikacije dopolnjena in nadgrajena z dodatnimi vsebinami. Aplikacija temelji na predhodno postavljenih podatkovnih slojih v GIS okolju preko katerih z izbranimi atributnimi podatki lahko prikažemo škodo na izbranem območju, ki ga lahko predstavlja območje poplav ali kako drugače poljubno izbrano območje. Aplikacija je trenutno v testni fazi. Predviden zaključek projektnih aktivnosti je konec marca 2019, ko bo aplikacija na voljo vsem zainteresiranim uporabnikom.

VIRI

FGG. 2018. Razvoj enotne metode za oceno koristi gradbenih in negradbenih ukrepov za zmanjšanje poplavne ogroženosti, 1. fazno poročilo junij 2018.

FGG. 2018. Razvoj enotne metode za oceno koristi gradbenih in negradbenih ukrepov za zmanjšanje poplavne ogroženosti, 2. fazno poročilo september 2018.

IzVRS. 2014. Priprava ekonomskih vsebin načrtov zmanjševanja poplavne ogroženosti. Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije.