

# POPLAVE SEPTEMBRA 2010 – OBDELAVA NEMERSKIH FOTOGRAFIJ S FOTOGRAMETRIČNIM DMR IN LIDARSKIMI PODATKI

THE FLOODS OF SEPTEMBER 2010 – ACQUISITION OF DATA FROM NON-METRIC IMAGES WITH PHOTOGRAMMETRIC DTM AND LIDAR

*Mihaela Triglav Čekada, Matija Zorn*

UDK: 528.94:551.4.03:627:51

IZVLEČEK

Leta 2010 so zaradi obilnih padavin med 16. in 19. septembrom Slovenijo zajele velike poplave. Za evidentiranje njihovega obsega so na Geografskem inštitutu Antona Melika ZRC SAZU 20. septembra 2010 izvedli terestrično snemanje s Sv. Ane nad Podpečjo, 23. septembra 2010 pa še ročno snemanje iz helikopterja. Posneta so bila poplavljen območja na Ljubljanskem barju, Radenskem polju in Dobropolju. Terestrično snemanje je bilo izvedeno, ko so bile poplave na Ljubljanskem barju najboljše, snemanje iz helikopterja pa nekaj dni kasneje, ko so že upadale. V članku je predstavljena obdelava posnetkov, ki prikazujejo poplave na Ljubljanskem barju. Snemanje je potekalo z različnimi nemerskimi fotoaparati, v prispevku pa bo podrobneje obravnavana obdelava posnetkov, narejenih z nemerskim fotoaparatom Cannon PowerShot SX10 IS. Fotoaparat je bil naknadno kalibriran, vendar rezultatov kalibracije ne moremo neposredno uporabiti, saj ne vemo, kako je bil fotoaparat nastavljen med snemanjem. Rob poplavljenega območja je bil izmerjen z interaktivno metodo orientacije posnetka na podlagi DMR. Metoda je enoslikovna in omogoča zajem 3R-podatkov že z enega samega posnetka. V članku primerjamo rezultate interaktivne orientacije, pridobljene na podlagi fotogrametrično izdelanega DMR 5 m x 5 m in lidarskih podatkov. Ovrednotena je uporabnost navedenih podatkov za 3R-zajem obsega poplav z interaktivno metodo orientacije.

## KLJUČNE BESEDE

*interaktivna orientacija, obdelava nemerskih posnetkov, DMR, poplave 2010, Ljubljansko barje*

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.08

ABSTRACT

*In September 2010, one of the greatest floods in recent decades affected Slovenia, following intense rain between September 16th and 19th. Members of the Anton Melik Geographical Institute of the Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts made their first terrestrial oblique imaging of the floods on Ljubljansko Barje (the Ljubljana moor) from Sv. Ana hill over Podpeč on the September 20th, 2010. The floods on the Ljubljana moor, Radensko polje and Dobropolje were later also covered with handheld imaging made from helicopter on September 23rd, 2010. Terrestrial imaging was made in the time of the highest waters and the imaging from helicopter when the floods were retreating.*

*The floods on Ljubljana moor around Podpeč are presented. Images made with the Canon PowerShot SX10 IS non-metric camera were used. The camera was calibrated afterwards, but the calibration data could not be used directly due to not knowing the parameters of zoom in the time of imaging. The flooding boundary was measured from the non-metric images with the interactive orientation of image on the DEM. The results of interactive orientation of non-metric images made with the photogrammetrically derived DEM with a cell size of 5 m x 5 m and LiDAR derived DEM with a cell size of 1 m x 1 m are presented. The evaluation of the method for the 3D data acquisition is also made.*

## KEY WORDS

*interactive orientation, non-metric image processing, DTM, floods in 2010, Ljubljana moor*

## 1 UVOD

Naravne nesreče so geografska stalnica v številnih slovenskih pokrajinah (Zorn in Komac, 2011a). Zaradi tega večinoma tudi niso povsem nepričakovane, a nas kljub temu pogosto zalotijo nepripravljene, kar se kaže tudi v tem, da jih ne začnemo takoj fotografirati z merskimi fotoaparati. Nasprotno pa po navadi ne primanjkuje nemerskih posnetkov. Ker naključni fotografi niso fotogrametri in ne vedo, kako posneti stereopar, takšne posnetke le s težavo uporabimo v merske namene za izmero 3R-podatkov. Prav tako ni splošno poznano, da je treba pri fotografiranju za takšne namene imeti fotoaparati nastavljen na neskončnost, če želimo naknadno izvesti kalibracijo uporabljenih nemerskih fotoaparatorov. Tako moramo za izmero objektov iz nemerskih fotografij večinoma uporabljati nestandardne fotogrametrične metode.

V najboljšem primeru lahko, če poznamo parametre notranje orientacije posnetkov (goriščna razdalja, koordinate projekcijskega centra v slikovnem koordinatnem sistemu, distorzije slike) in položaj stojišča v prostoru, uporabimo klinometrijo za določitev relativnih višin na podlagi senc in osenčenj (Kirk in sod., 2003; Triglav Čekada, 2004). Za zajem podatkov iz aeroposnetkov lahko uporabimo še postopek monokartiranja (angl. *monoplotting*), pri katerem za transformacijo zajetih podatkov iz enega posnetka v prostor dodatno uporabimo digitalni model višin (Willneff in sod., 2005). Tudi če ne poznamo parametrov notranje orientacije posnetkov, lahko ob poznavanju geometrijskih značilnosti objekta na fotografiji posredno izmerimo nekatere vrednosti iz zaporedja posnetkov, na primer smer in hitrost podiranja dimnikov (D'Apuzzo in Willneff, 2001).

Pri uporabi posnetkov stranskega pogleda na objekte pa smo še bolj omejeni. Če poznamo lokacijo stojišča v prostoru, si lahko pomagamo s priorientacijo posnetka na merske posnetke, narejene z istega stojišča (Bitelli in sod., 2007; Alamouri in sod., 2008). Če posnetek stranskega pogleda prikazuje območje, za katero že imamo narejen zelo gost digitalni model reliefa (DMR), si lahko pomagamo z interaktivno metodo zunanje orientacije posnetka na podlagi DMR (Triglav Čekada in sod., 2007). Ob preučevanju posnetkov, ki prikazujejo večja območja s cestami, si na primer lahko pomagamo tudi z zunanjo orientacijo posnetkov na podlagi ravnih linij (ceste, vodotoki) (Karjalainen in sod., 2006).

V članku predstavljamo analizo dveh nizov nemerskih posnetkov poplav na Ljubljanskem barju leta 2010, ki smo jih izvedli z interaktivno orientacijo posnetkov na podlagi DMR. Prvi niz prikazuje okolico Podpeči na južnem robu Ljubljanskega barja, posnetih s Sv. Ane 20. septembra 2010. Drugi niz posnetkov pa je bil posnet iz helikopterja nekaj dni zatem, 23. septembra 2010. Posnetke smo primerjali z državnim DMR z velikostjo celice  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$  in DMR z velikostjo celice  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ , izdelanim iz oblaka lidarskih točk z gostoto  $10\text{ točk/m}^2$ .

Poplave (Komac in sod., 2008) so v Sloveniji med letoma 1994 in 2008 na leto povprečno povzročile 15 % vse škode zaradi naravnih nesreč. V tem obdobju so izstopale poplave leta 1994 (31,3 % škode zaradi naravnih nesreč v tem letu), 1995 (18,1 %), 1998 (51,9 %), 1999 (12,1 %), 2004 (15,2 %) in 2007 (64,8 %) (Zorn in Komac, 2011b). Poplave septembra 2010 so bile med obsežnejšimi naravnimi nesrečami v zadnjih desetletjih v Sloveniji. Prizadele so dobre tri petine slovenskih občin (137), škoda pa je bila ocenjena na več kot 240 milijonov evrov, kar je največ po

poplavah leta 1990. Bile so posledica obilnih padavin med 16. in 19. septembrom 2010 (Komac in Zorn, 2011). Za določanje obsega poplav so bile po poplavah uporabljene različne metode daljinskega zaznavanja: od satelitskih (Oštir in sod. 2011; Veljanovski in sod. 2011) in letalskih posnetkov (Globevnik in Vidmar 2010; Veljanovski in Kokalj, 2012), do nemerskih helikopterskih posnetkov (Triglav Čekada in Zorn, 2012).

## 2 METODA

Za evidentiranje obsega poplav septembra 2010 so na Geografskem inštitutu Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti 23. septembra 2010 izvedli ročno snemanje iz helikopterja. Snemanje je potekalo z več fotoaparati, v prispevku pa podrobneje predstavljamo posnetke, narejene z nemerskim fotoaparatom *Cannon PowerShot SX10 IS*. Iz helikopterja so bile posnete poplave na Ljubljanskem barju, Radenskem polju in Dobrepolju, pri čemer moramo vedeti, da je bil prelet opravljen po njihovem največjem obsegu, zato ga posnetki ne prikazujejo. Območje okrog Podpeči na južnem robu Ljubljanskega barja so terestrično posneli tudi nekaj dni pred helikopterskim snemanjem s Sv. Ane; uporabljen je bil isti fotoaparati. Terestrično fotografiranje poplav je bilo izvedeno med največjim obsegom poplav 20. septembra 2010. Ljubljansko barje se je takrat še polnilo, zato je bil lahko vodostaj na nekaterih delih Barja pozneje isti dan tudi višji.

Zaradi velikega obsega poplav smo se pri testnem zajemu v vsakem nizu snemanj omejili na dva posnetka, ki prikazujeta približno isto območje (slika 1).

Nemerski fotoaparati *Cannon PowerShot SX10 IS* smo kalibrirali s kalibracijskim poljem v programu *PhotoModeler* (medmrežje 1). Ker ima fotoaparati možnost spremenljivih nastavitvev, tudi različno goriščno razdaljo, kalibracijskih podatkov nismo mogli neposredno uporabiti v postopku obdelave, saj ne poznamo nastavitvev teh parametrov med snemanjem poplav. Pri obdelavi so bili bolj podlaga za oceno, ali lahko pričakujemo velika odstopanja na robovih slik zaradi distorzije objektiva. Glede na rezultate kalibracije menimo, da večjih odstopanj na robovih fotografij ni pričakovati.

Ker smo se odločili, da bomo analizo opravili v starem koordinatnem sistemu D48, smo kot osnovni DMR vzeli DMR 5 m × 5 m iz leta 2006, ki je bil narejen na podlagi aerofotografij cikličnega aerosnemanja Slovenije (CAS). Za primerjavo smo uporabili še lidarski DMR 1 m × 1 m, izdelan v okviru projekta Lasersko snemanje Slovenije (Triglav Čekada in sod., 2012), ki pa je bil izvorno narejen v novem koordinatnem sistemu D96. Pri analizi smo uporabili že transformiran lidarski DMR v star koordinatni sistem. Za izdelavo tega DMR je bil na našem testnem območju na voljo oblak točk z gostoto 10 točk/m<sup>2</sup> (medmrežje 2).

Rob poplavljenega območja smo s posnetkov izmerili z interaktivno metodo orientacije posnetka na podlagi DMR. To je enoslikovna metoda izmere, ki omogoča zajem 3R-podatkov že iz enega samega posnetka. Splošno jo lahko opredelimo kot različico monokartiranja za posnetke stranskega pogleda na objekt. Metoda temelji na iskanju najbolj ujemajoče se projekcije točk DMR na prikazano vsebino na posnetku, pri čemer z iskanjem ujemanja iščemo parametre

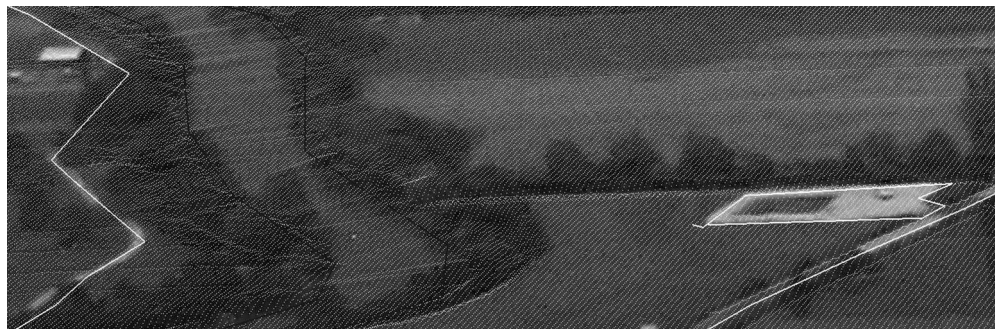


Slika 1: Zgoraj sta sliki, posneti s Sv. Ane (20. 9. 2010), spodaj pa sliki, posneti nekaj dni kasneje (23. 9. 2010) iz helikopterja. Sliki 1a in 1c prikazujeta pogled proti severozahodu (spredaj Podpeč, zadaj Notranje Gorice in Vnanje Gorice), sliki 1b in 1d pa pogled proti severovzhodu (spredaj Podpeč, zadaj Ljubljana) (fotograf: Matija Zorn).

zunanje orientacije posnetka (tri koordinate projekcijskega centra fotoaparata, tri kote zasukov, merilo). Metoda je interaktivna in temelji na operaterjevem dobrem poznavanju podrobnosti na posnetku ter védenju, kako naj bi se odražali na projekciji točk DMR na posnetek (Triglav Čekada in sod., 2007). Za pomoč pri orientaciji obsežnejših neizrazitih pojavov, kot so v našem primeru ravna travnata zemljišča, smo si pomagali tudi z vključitvijo lomnih linij med projicirane točke DMR. Lomne linije smo pridobili z vektorizacijo cest, kolovozov in glavnih vodotokov iz ortofotografij merila 1 : 5000, izdelanih v okviru CAS 2006 (slika 2).

Pri interaktivni metodi orientacije je v veliko pomoč vsaj delno poznana lokacija projekcijskega centra fotoaparata oziroma stojišča fotoaparata v času snemanja. Tako že na začetku zmanjšamo število neznank in lahko hitreje interaktivno poiščemo dobro ujemanje. Pri prvem nizu posnetkov s Sv. Ane je mogoče to lokacijo razmeroma enostavno določiti na podlagi ortofotografije. Pri drugem nizu posnetkov iz helikopterja pa je to težje, saj helikopter med snemanjem ni letel na stalni višini, prav tako ni letel v ravni liniji, kot po navadi letijo helikopterji/letala pri postopku aerofotografiranja ali lidarskega snemanja. Interaktivna orientacija helikopterskih posnetkov je bila zato bolj zamudna.





Slika 2: Podrobnost s fotografije s projekcijo vektorjev cest in vektorjev vodotokov na lidarski DMR 1 m × 1 m zgoraj in DMR 5 m × 5 m spodaj.

Ko z interaktivno metodo orientacije določimo parametre zunanje orientacije, lahko pričnemo izvajati meritve. V našem primeru smo merili obode vidno poplavljenih območij. Težava so nekatera kmetijska zemljišča (na primer polja koruze), ki zaradi visokega in gostega rastja na posnetkih navidezno niso poplavljena, čeprav so dejansko bila. Na podobno težavo sta naletela tudi Veljanovska in Kokalj (2012) pri opredeljevanju istih poplav na podlagi letalskih posnetkov.

Obod nekega objekta, vidnega na posnetku, določimo tako, da med projiciranimi točkami izberemo tiste, ki ta obod najbolj opisujejo (slika 2). Za čim boljši geometrični opis nekega objekta potrebujemo zato čim bolj gost DMR. V povezavi s tem v nadaljevanju predstavljamo razlike med uporabo fotogrametričnega DMR 5 m × 5 m in lidarskega DMR 1 m × 1 m.

### 3 TESTNO OBMOČJE – OKOLICA PODPEČI NA LJUBLJANSKEM BARJU

Ko iščemo parametre zunanje orientacije posnetkov, si pri interaktivni metodi orientacije najprej pomagamo z generalnim DMR, ki ga še razredčimo. Za naš primer smo izbrali fotogrametrični DMR 5 m × 5 m. Najprej proučimo večje topografske značilnosti prostora (vzpetine, ravnine, ceste) in ugotovljamo, kako se spreminja projekcija točk DMR, ko spreminjamo orientacijske parametre posnetka. Ko nam z generalnim in razredčenim DMR uspe najti dovolj dobro ujemanje s podloženo fotografijo, uporabimo še nerazredčen DMR, da lahko preverimo, kako se tudi druge pokrajinske podrobnosti odražajo v projekciji točk DMR (na primer kanali na spodnji sliki 2).

S temi podrobnostmi izboljšamo orientacijo in dobimo prvo oceno o njeni zadovoljivosti. Ker smo imeli v našem primeru na voljo tudi lidarski DMR  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ , smo naknadno uporabili še ta zelo podrobni DMR za dokončno izboljšanje orientacije (slika 2 zgoraj – vidimo občestne kanale). Žal kljub uporabi lidarskega DMR nismo mogli pričakovati popolnega ujemanja, saj v postopku nismo upoštevali napak posnetka. Ker se te najbolj kažejo na robovih, vsebina, prikazana na robovih posnetka oziroma območjih, ki so bolj oddaljena, ne sme biti uporabljena za detajlno orientacijo posnetka.

Končno oceno o zadovoljivosti orientacije dobimo iz prikaza zajetih vektorjev poplav na ortofotografijah  $1 : 5000$  (sliki 4 in 5). Na podlagi slike 4 vidimo, da posnetek 1b ni bil najbolj zadovoljivo orientiran, saj je rob poplav, ki je bil prikazan na njegovem zgornjem robu, prevelik. Sega namreč prek lokalne ceste proti Tomišlju, do katere je sicer segalo zajemanje na posnetku. Deloma lahko to napako pripišemo zelo poševnemu pogledu na območje poplav, kar spet otežuje izvedbo zelo dobre orientacije.



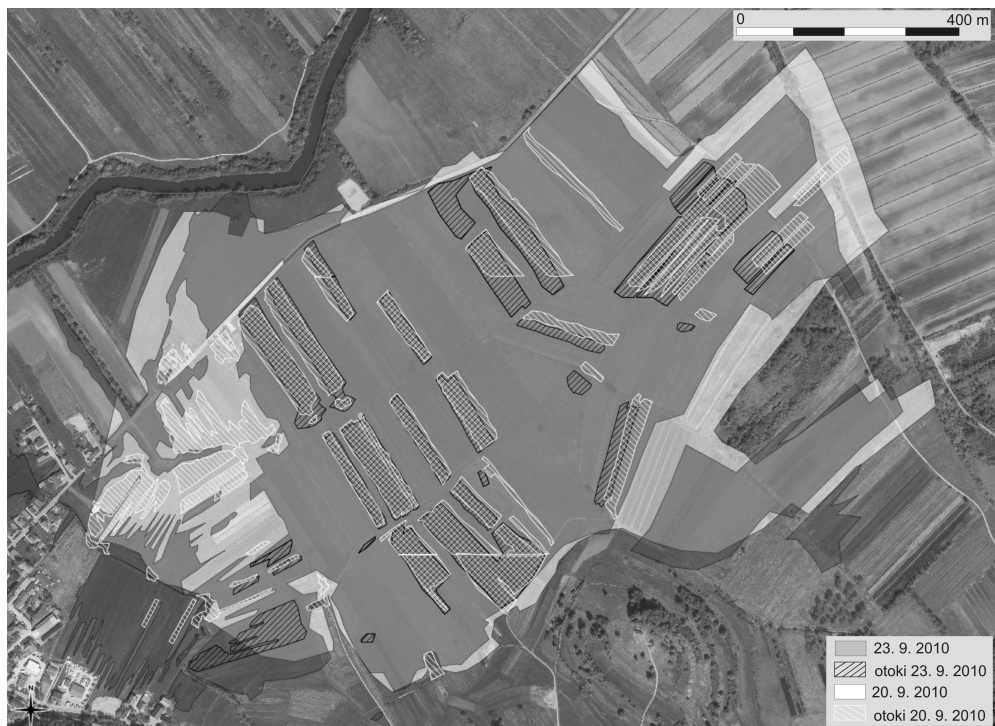
Slika 3: Projekcija zajetih vektorjev poplavljenih in nepoplavljenih območij na primeru slike 1d.

Po interaktivni orientaciji posameznega posnetka smo obseg poplavljenih območij določili na podlagi izbire najbližjih točk projiciranega DMR na posnetek. Poligone smo zajemali dvakrat, prvič na podlagi fotogrametričnega DMR in drugič na podlagi lidarskega DMR. Na sliki 2 vidimo, da je z lidarskim DMR mogoče zajeti večje podrobnosti iz posnetka, kar pa ni nujno prednost. Načeloma bi lahko detajle bližje stojišču fotoaparata (slika 3), ki so na posnetku prikazani v večjem merilu, z lidarskim DMR izmerili bolj podrobno. Nasprotno pa na objektih, ki so bolj

oddaljeni od stojišča fotoaparata, težko prepoznamo podrobnosti, saj so prikazani v manjšem merilu in jih zato kljub lidarskemu DMR ne moremo zajemati tako podrobno. Na podlagi tega smo se pri prikazu poplavljenih območij na ortofotografijah CAS odločili za določeno stopnjo generalizacije poplavnih linij, kar ustreza zajemu podatkov iz fotogrametričnega DMR (slike 5, 6, 7). Prav tako smo se odločili, da objektov, prikazanih v ozadju fotografije, ne bomo zajemali, saj so večinoma vidni še na drugih neobdelanih fotografijah in tam tudi prikazani v manjšem merilu. Obakrat smo se odločili za določeno antropogeno/naravno mejo, do katere smo zajemali podatke. Na slikah 1a in 1c je to na primer južni rob Vnanjih Goric, na slikah 1b in 1d pa lokalna cesta, ki se odcepi od ceste Podpeč–Črna vas proti Tomišlju.

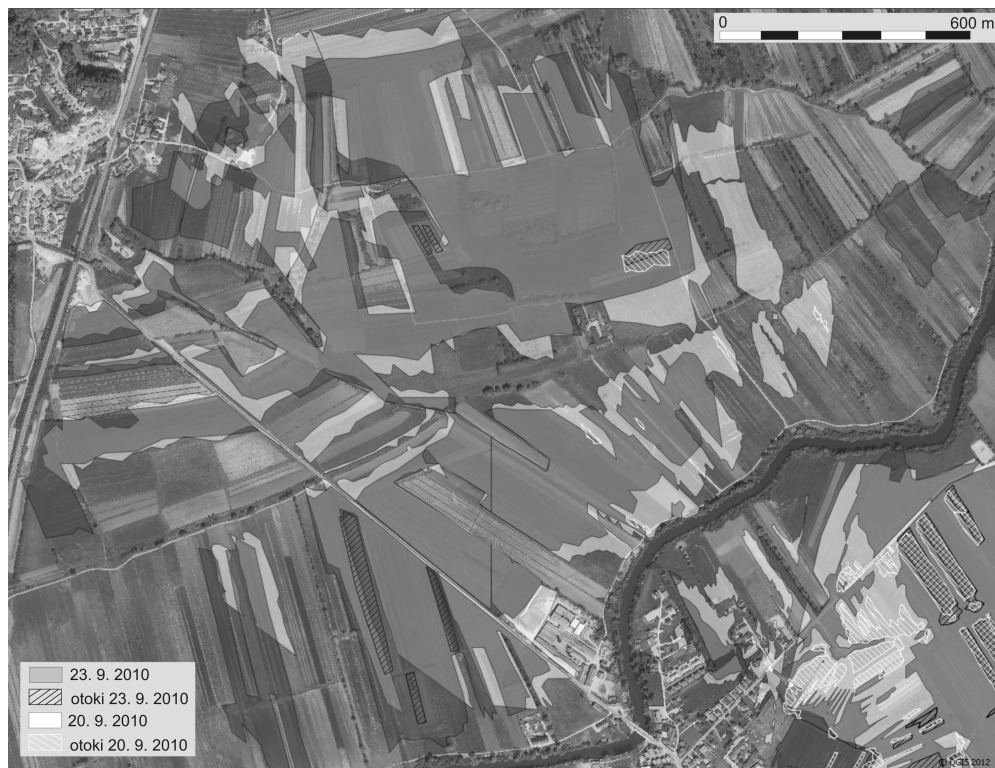
Zaradi lažjega prikaza smo rezultate razdelili na poplave ob desnem (slika 4) in levem bregu Ljubljanice (slika 5) (gledano iz smeri Podpeči oziroma v smeri toka Ljubljanice).

Ob desnem bregu Ljubljanice je osrednje poplavljenno območje z všteti »otoki«, ki povečini prikazujejo polja koruske, ob največjem vodostaju 20. 9. pokrivalo 10 hektarov (slika 4). Domnevamo, da so bili poplavljeni tudi »otoki«. Tri dni za tem, ko je del vode že odtekel, je osrednje poplavljenno območje obsegalo še 7 hektarov. Za del poplavljenega območja, ki je najbližji vasi Podpeč (spodnji levi vogal slike 4), o spremembah ne moremo soditi, saj to območje na prvem posnetku ni bilo vidno. Na podlagi slik 7 in 8 vidimo, da je osrednje poplavljenno območje v plitvi kotanji. Zato smo poskusili ugotoviti, do katere višine je bilo poplavljenno ob posameznem snemanju (slika 6).



Slika 4: Poplavljenno območje, prikazano na ortofotografiji 1 : 5000 – desni breg Ljubljanice pri Podpeči.





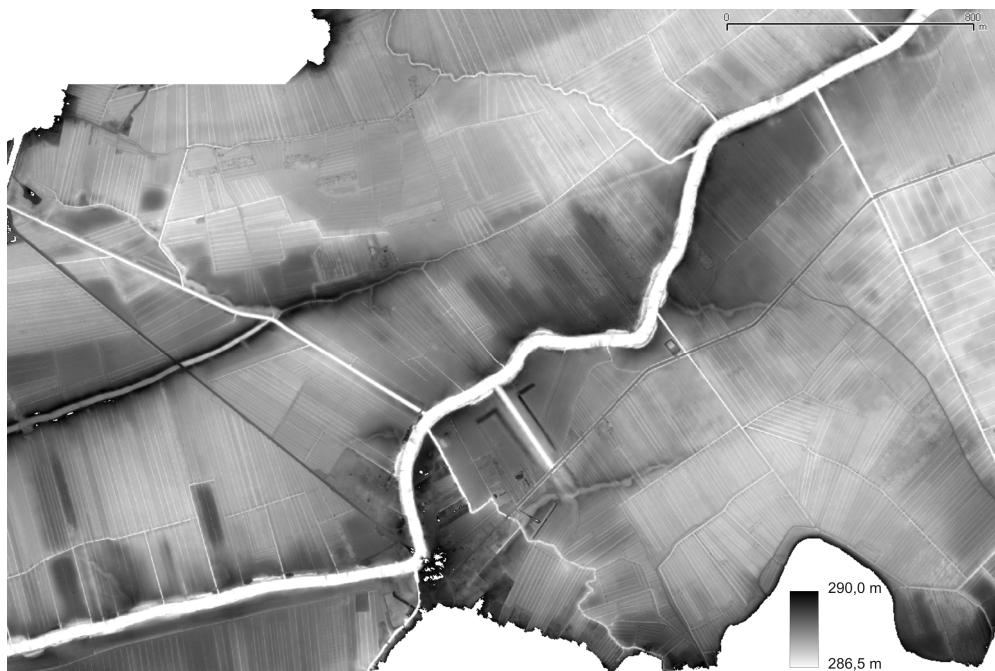
Slika 5: Poplavljen območje, prikazano na ortofotografiji 1 : 5000 – levi breg Ljubljanice pri Podpeči.

S fotogrametričnim DMR ne moremo zaznati višinske razlike med prvim in drugim snemanjem. Z lidarskim DMR pa smo to lahko ugotavljali, saj je bila zahtevana višinska natančnost lidarskega DMR 15 cm. Na slikah 7 in 8 vidimo razliko v podrobni višinski predstavitvi fotogrametričnega in lidarskega DMR. Na obeh slikah je predstavljen relief v sivinski barvni lestvici, kjer je razlika med najvišje (črno) in najnižje (belo) predstavljenimi deli le 3,5 metra. Struga Ljubljanice je izrezana, saj leži nižje od nadmorske višine 286,5 metra, ki pomeni najnižje prikazane višine. Na lidarskem DMR (slika 7) so lepo izraženi kanali za odvodnjavanje ter druge mikroreliefne značilnosti (na primer paleostruga Ljubljanice). Na sliki 8 se žal vidi tudi stik med dvema listoma fotogrametričnega DMR. Za določitev najvišje gladine poplavnih voda smo rob poplavljenih območij, pridobljen iz nemerskih posnetkov, položili na lidarski DMR in določili srednjo višino oboda. Ob najvišjem vodostaju 20. 9. 2010 je bil rob najvišje gladine poplavnih voda na srednji vrednosti višine  $288,3 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$ . Tri dni zatem, ko je del vode že odtekel, je bil rob poplavljenega območja na srednji vrednosti višine  $288,0 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$ .

Območja poplav na desnem bregu Ljubljanice so bolj razdrobljena (omejena z vegetacijo) kot na levem bregu. Na tem območju je večina poplavljenih območij v ozadju fotografije, kjer lahko, kot smo že navedli, izvajamo manj podrobno in torej tudi manj natančno izmero. Poleg tega je na tem območju veliko dreves in gozdov, ki še poslabšajo možnost interpretacije poplavljenih in nepoplavljenih območij. Nad cesto Podpeč–Notranje Gorice je približno 7 hektarov poplavljenih



Slika 6: Sivinski prikaz lidarskega DMR 1 m × 1 m s prikazanim največjim obsegom poplav dne 20. 9. 2010.



Slika 7: Sivinski prikaz lidarskega DMR 1 m × 1 m testnega območja.







**Prispelo v objavo: 2. oktober 2012**

**Sprejeto: 16. oktober 2012**

**dr. Mihaela Triglav Čekada, univ. dipl. inž. geod.**

Geodetski inštitut Slovenije,  
Jamova 2, SI-1000 Ljubljana  
e-pošta: mihaela.triglav@gis.si

**doc. dr. Matija Zorn, univ. dipl. geog. in prof. zgod.**

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti,  
Gosposka ulica 13, SI-1000 Ljubljana  
e-pošta: matija.zorn@zrc-sazu.si