

# ANALIZA VIŠIN POPLAVNE VODE V LJUBLJANI IN NA LJUBLJANSKEM BARJU

ANALYSIS OF THE FLOOD IN LJUBLJANA AND ON THE LJUBLJANA MOOR

*Božo Koler, Tilen Urbančič, Andrej Vidmar, Lidija Globevnik*

**UDK: 528.3:627.51(497.4 Ljubljansko barje)**

**Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.08**

## IZVLEČEK

*Po poplavah, ki so prizadele Slovenijo v septembru 2010, je Inštitut za vode Republike Slovenije z GNSS-višinomerstvom določil višino geodetskih točk, ki so bile uporabljene za določitev višine poplavne vode na Ljubljanskem barju in v Ljubljani. Višine točk, določene z GNSS-višinomerstvom, smo kontrolirali s trigonometričnim višinomerstvom, z navezavo na reperje mestne nivelmanske mreže Ljubljana. Analizirana je natančnost določitve višin točk in določena razlika med višinami točk, ki so bile določene z GNSS- oziroma trigonometričnim višinomerstvom.*

## ABSTRACT

*After the floods that hit Slovenia in September 2010, the Institute for Water of the Republic of Slovenia measured the heights of geodetic points (with the GNSS levelling method) used to determine the height of flood water on the Ljubljana moor and Ljubljana. The heights of these points were controlled by trigonometric levelling with connections to the benchmarks of the city levelling network of Ljubljana. An analysis of the accuracy of determining the heights of the points and the differences between the heights of the points, which were determined by GNSS and trigonometric levelling, are presented.*

## KLJUČNE BESEDE

*poplave, geodetske točke, GNSS-višinomerstvo, trigonometrično višinomerstvo, razlike višin, analiza natančnosti*

## KEY WORDS

*floods, geodetic points, GNSS levelling, trigonometric levelling, differences of heights, analysis of accuracy*

## 1 UVOD

Vsakoletne poplave na nekaterih predelih Ljubljanskega barja so stalen pojav. Tako so poplave najpomembnejši naravni dejavnik, ki oblikuje površino Ljubljanskega barja, vpliva na lastnosti prsti ter z načinom zadrževanja in odtekanja vode tudi na vegetacijo. Čeprav se sliši nenavadno, imajo poplave tudi pozitivne in ne le negativnih učinkov, s katerimi jih običajno povezujemo. Poplavna je tudi reka Ljubljanica, saj s svojimi pritoki povzroča poplave predvsem v južnem delu Ljubljane na območju Črne vasi in Ilovice.

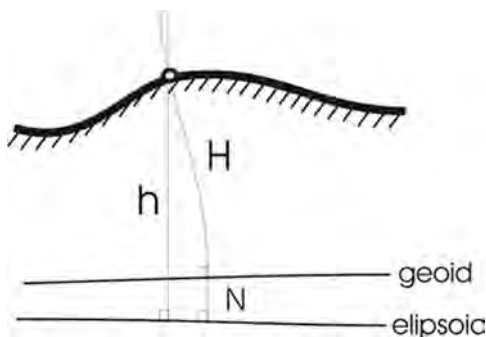
Poplavni dogodki vedno znova pokažejo velike potrebe po vzpostavitvi varovalnih in omilitvenih ukrepov, ki preprečujejo škodo in varujejo zdravje ljudi. Za prepoznavanje poplavnih tveganj izdelujemo karte poplavne nevarnosti, ki morajo vsebovati podatke o globinah poplavne vode in hitrostih vodnega toka. Poplavne karte izdelujemo z matematičnim modeliranjem toka vode po površini. Za umirjanje modelov in njihovo verifikacijo potrebujemo merjene podatke o pretokih in višinah vode. Višine točk na terenu in višino vode lahko določimo z različnimi merskimi

tehnikami. Sodobne merske tehnike temeljijo na višinerstvu GNSS (angl. global navigation satellite system), katerega rezultat so tako imenovane elipsoidne višine. Te niso primerne za uporabo v praksi, saj pomenijo geometrijsko količino, ki ni povezana s težnostnim poljem Zemlje. Povezavo med geometričnimi višinami in fizikalnimi višinskimi sistemi, ki povezujejo nivelmansko in gravimetrično izmero, nam omogoča dobro določen višinski sistem (Kuhar et al., 2011). Elipsoidne ( $h$ ) in nadmorske višine - ortometrične ( $H$ ) ali normalne višine ( $H^N$ ) - povezuje enačba:

$$h = H + N$$

$$h = H^N + \zeta,$$

pri čemer je  $N$  geoidna višina (ali ondulacija) oziroma  $\zeta$  kvazigeoidna višina (glej sliko 1). Kakovostno GNSS-višinerstvo je izvedljivo samo, če imamo na voljo model geoida (kvazigeoida) enakovredne natančnosti, kot je natančnost določitve elipsoidnih višin.

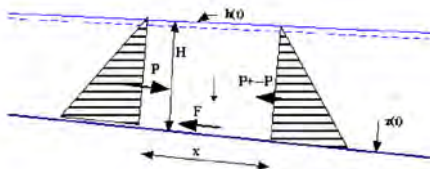


Slika 1: Elipsoidna višina  $h$ , nadmorska višina  $H$  in geoidna ondulacija  $N$

## 2 MODELIRANJE POPLAVNIH VODA

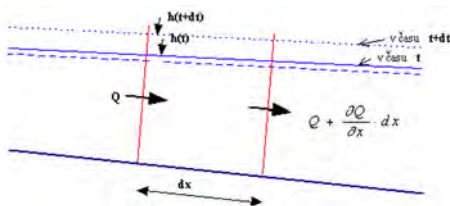
Rečne poplave je mogoče obravnavati kot pomembno spremembo oziroma motnjo običajnega toka voda (Price, 1982). Motnja se prenaša po toku reke navzdol, to je v smeri negativnega naklona dna struge. Postopno spreminjanje toka v odprtih strugah in širjenje poplav opišemo s Saint Venantovima enačbama, to je enačbo ohranitve momenta in enačbo ohranitve mase.

Enačba ohranitve momenta ponazarja fizikalno zakonitost, da je neto povečanja momenta v nekem času enak skupnemu neto prilivu (fluksu) v kontrolno prostornino tekočine in vsoti zunanjih sil, ki na tekočino delujejo v tem času (slika 2). Zunanje sile so hidrostatični pritisk (na sliki 2 oznaka »P«, ki je odvisen od višine vode »H«), sila trenja ( $F$ ) in sila gravitacije, ki ponazarja prispevek zemeljskega pospeška po vzdolžni razdalji kontrolne prostornine struge ( $x$ ).



Slika 2: Koncept enačbe ohranitve momenta (povzeto po DHI Software, 1D Dynamic Modeling, 2012)

Po zakonu o ohranitvi mase je neto povečanje mase vode v izbranem časovnem obdobju v kontrolni prostornini enako neto masnemu prilivu v kontrolno prostornino in masnemu odlivu iz nje. V matematičnem izrazu za zakon ohranitve mase pri toku vode v reki, ki je parcialna diferencialna enačba, nastopata dva parametra, pretok in prečni omočeni presek struge oziroma višina vodne gladine, ki se spreminja glede na spremembo pretoka (slika 3).



Slika 3: Koncept enačbe ohranitve mase (povzeto po DHI Software, 1D Dynamic Modeling, 2012)

Z numeričnimi metodami reševanja sistema dveh parcialnih Saint Venantovih enačb simuliramo višine vodne gladine v strugi reke ob izbranem pretoku, podanih topografskih podatkih struge in predpostavljenimi koeficienti trenja.

Za računsko simulacijo toka vode v strugi (prosta gladina), kjer tok prevladuje v eni smeri, se največ uporabljajo enodimenzionalni (1D) hidrodinamični modeli. Za simulacijo nestalnega toka v rekah, lokalnih tokov v rekah velikih širin in za simulacijo poplavnih tokov pa se uporabljajo dvodimenzionalni (2D) hidrodinamični modeli. Pri 1D-modeliranju so torej upoštewane hitrosti vodnih delcev v smeri toka (vzdolžna smer, na primer smer »Y«), pri 2D pa tudi v prečni smeri (na primer smer »X«). Pri obeh načinih je pomembna višinska komponenta, to je višina vode. V rečnih strugah, kjer prevladuje enodimenzionalni tok, velja namreč zakon hidrostatične porazdelitve pritiskov po vertikali, ki so odvisni od višine vode (zakon ohranitve momenta). Na poplavnih površinah pa se prek višine vode odraža zakon o ohranitvi mase.

Za modeliranje poplavnih voda potrebujemo topografske in hidravlične podatke. Topografski podatki so horizontalni višinski položaj struge in vodnih ter drugih objektov v strugi ali na njenih brežinah. Enako pomembni so podatki o topografiji poplavnih površin. Vsi podatki morajo biti določeni v istem vertikalnem datumu oziroma navezani na isto izhodiščno – referenčno višinsko točko. Hidravlični podatki so podatki o velikosti pretokov, o višini vodnih gladin ob določenih pretokih, znan odnos med višino vode v strugi in pretoki, ki jih povezujejo tako imenovane pretočne krivulje. Pri modeliranju večinoma izračunamo višino vode ob nekem pretoku. Pri velikih pretokih modeliramo tudi območja poplav, globine poplavne vode in hitrosti toka vode. Za dober rezultat potrebujemo ne le dobre topografske podatke terena, temveč predvsem dobre podatke o višinah vode ob znanih pretokih. Na območjih majhnih padcev terena in velikih poplavnih površin, kot je primer na Ljubljansko barje, je izjemno pomembna natančnost izmerjenih višin poplavnih voda.

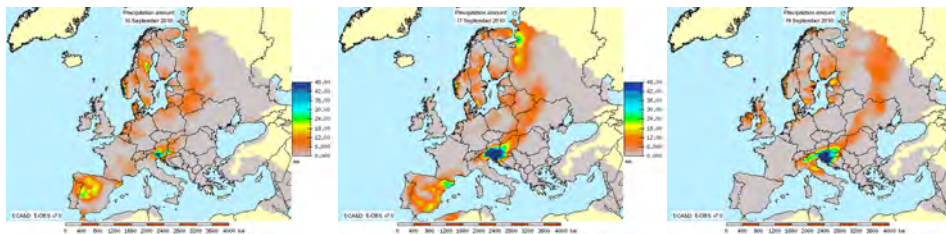
Pri analizah verjetnosti za pojav poplav ter njihove prostorske in časovne razporejenosti je poleg poznavanja količin padavin in območja s temi padavinami treba poznati najvišje pretoke (konice) in prostornine poplavne vode. S temi podatki določimo odtočne koeficiente in parametre verjetnosti pojava. Če pri višinah poplavne vode na velikih površinah, recimo na Ljubljanskem

barju, pogrešimo za več kot pet centimetrov, to lahko pomeni napako več milijonov kubičnih metrov vode, ki je poplavljala. Tako lahko zmotno sklenemo, da je imela poplava na primer 5-odstotno in ne 1-odstotno (če podcenimo višine) ali 10-odstotno (če precenimo višine) verjetnost. Ker te ugotovitve upoštevamo pri pripravi kart poplavne nevarnosti in pogojevanju posegov v prostor, je to napaka, ki je ne smemo tolerirati.

Ker na Inštitutu za vode Republike Slovenije razvijamo matematični model za karakteriziranje poplavnih tokov reke Ljubljanice s pritoki, potrebujemo zanesljive podatke o višinah poplavnih voda, ki so že nastopile. Za analizo smo izbrali poplavni dogodek, ki se je na Ljubljanskem barju zgodil v septembru 2010.

### 3 OPIS POPLAVNEGA DOGODKA NA LJUBLJANSKEM BARJU

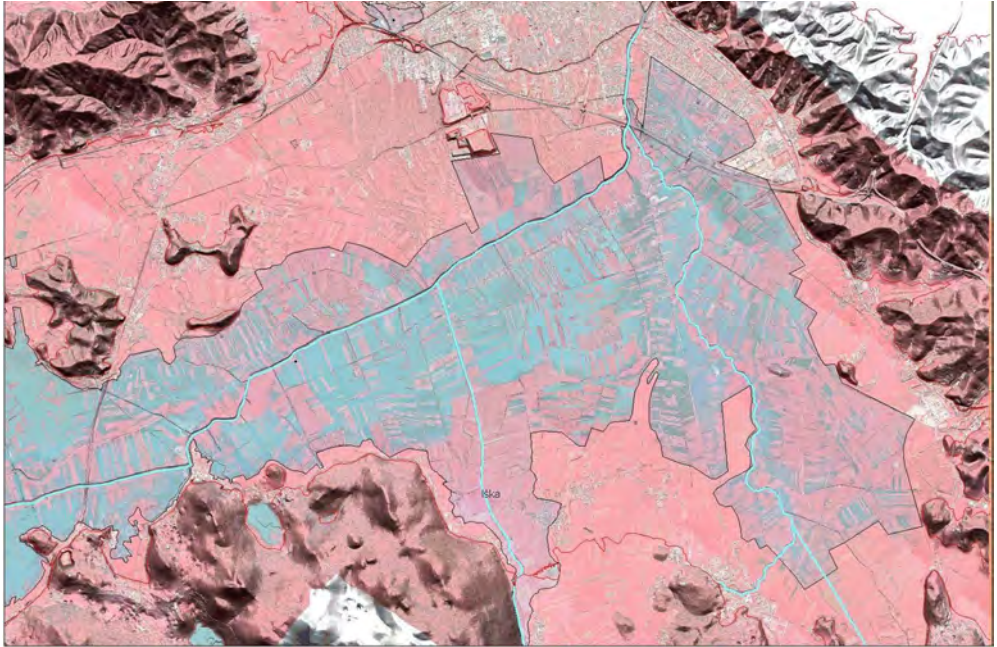
Poplave Ljubljanskega barja, Ilovice in Črne vasi so posledica padavin med četrtkom, 16. 9. 2010, in soboto, 18. 9. 2010. Padavine so najprej zajele zahodno Slovenijo. V treh dneh je v širšem zaledju Ljubljanice padla skoraj četrtina letne vsote padavin, ponekod tudi več kot 300 mm (Globevnik in Vidmar, 2010). V Ljubljani je padlo 271 mm in v Postojni 235mm (vir podatka: ARSO). V Otlici nad Ajdovščino je v treh dneh padlo celo 539 mm (vir podatka: ARSO) in v Zadlogu (Črni Vrh nad Idrijo) rekordnih 647,6 mm (vir podatka: MKO FURS). Po podatkih evropskega vremenskega podatkovnega niza European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) so se obilne padavine razvile ravno nad Slovenijo.



Dnevna količina padavin 16. 9. 2010 Dnevna količina padavin 17. 9. 2010 Dnevna količina padavin 18. 9. 2010

Slika 4: Karte dnevni količin padavin od 16. 9. do 18. 9. 2010 za Slovenijo (vir: ECA&D)

Reke so začele naraščati 17. septembra dopoldne, najprej v zgornjem Posočju. Ljubljansko barje je začelo poplavljeni v soboto, 18. 9. 2010, popoldne, ko so se napolnile podzemne vode kraškega zaledja. K visokim vodam je dodatno pripomogla še arteška podtalnica, ki je izdatno namočila barjanska tla. Hitrost dviganja vode je bila približno en centimeter na uro. Največji obseg so poplave dosegle v ponedeljek, 20. 9. 2010, in v torek, 21. 9. 2010 (slika 5). Poplavna voda na vzhodnem delu Ljubljanskega barja, tj. na območju med Ižansko in Črnovaško cesto, območju med Ižansko cesto in južno obvoznico ter na območju med obvoznico in Jurčkovo cesto, je bila ponekod visoka tudi do 95 centimetrov (Globevnik in Vidmar, 2010). Voda je začela odtekat v četrtek, 23. 9. 2010.



Slika 5: Obseg poplav v septembru 2010 (infrardeči posnetek, podlaga slika digitalnega modela višin).

## 4 METODA RAZISKAVE

### 4.1 Določitev lokacij evidentiranja sledi poplavnih voda

V obdobju med 18. in 20.11.2010 smo na terenskem ogledu poiskali, popisali in označili oziroma zabeležili sledi najvišje gladine vode ob poplavih septembra 2010. Lokacije smo izbrali na podlagi dobro vidnih in verodostojnih sledi poplavnih voda, lahke dostopnosti in primerne bližine stabilnih objektov (slika 6). Določili smo 27 lokacij (slika 7).



Sled na zunanji strani objekta v Lipah. Zid je že pobeljen, lastnik objekta je sam označil sled



Sled v notranjosti objekta na Ižanski cesti. Sledi so dobro vidne.



Na električnem drogu zabiti žebliček, ki označuje najvišjo vodo.



Sledi na ograji

Slika 6: Primeri evidentiranja poplavnih voda na različnih lokacijah



Slika 7: Lokacije izmerjenih geodetskih višinskih točk (glej preglednico 1)

#### 4.2 Izmera višin referenčnih geodetskih točk

Referenčne geodetske točke smo stabilizirali s čepi v bližnje pilotirane objekte, kot so stavbe in mostovi, ki so običajno stabilnejši kot teren na Ljubljanskem barju. Označene sledi poplavne

vode smo na referenčne geodetske točke navezali z metodo geometričnega nivelmana. Izmero smo izvedli z nivelirjem Leica NA 730, za katerega proizvajalec navaja natančnost  $\sigma_{\text{ISO 17123-2}} = 1.2$  mm na kilometer obojstransko nivelirane nivelmanske linije.

Prostorske koordinate geodetskih referenčnih točk smo določili z metodo izmere GNSS. Izmero GNSS je Inštitut za vode Republike Slovenije (IzVRS) izvedel 23. 11. 2010, 30. 11. 2010, 8. 12. 2010 in 20. 4. 2011. Izmera GNSS je bila izvedena s sprejemnikom GNSS Leica GPS900CS, ki deluje na frekvencah L1 in L2 z metodo izmere RTK. Višinska izmera je bila navezana na fundamentalni reper mestne nivelmanske mreže Ljubljana FR 9, ki je stabiliziran v Logu pri Brezovici (glej sliko 8).



Slika 8: Fundamentalni reper FR 9 – Log pri Brezovici

Za kontrolo določitve višin z GNSS-višinomerstvom smo v izmero vključili tudi več drugih reperjev na območju mesta Ljubljane in Črne vasi (glej preglednico 3). Hkrati z določitvijo višine referenčne geodetske točke smo na območju stabilizirane točke navezali tudi še vidne ali predhodno označene sledi poplavne vode. Sledi poplavne vode smo določili z GNSS-višinomerstvom in/ali z navezavo sledi poplavne vode na referenčno geodetsko točko z geometričnim nivelmanom. Navezava je bila izvedena z nivelirjem ZEISS NI 020A z večkratnim merjenjem višinskih razlik. Proizvajalec za nivelir navaja natančnost  $\sigma_{\text{ISO 17123-2}} = 2$  mm na kilometer obojstransko nivelirane nivelmanske linije.

V preglednici 1 so zbrane položajne koordinate in nadmorske višine 36 referenčnih geodetskih točk, ki jih je določil IzVRS z GNSS-metodo izmere. Tako določene referenčne točke so bile podlaga za navezavo sledi poplavnih vod, ki so zajele Ljubljano in Ljubljansko barje septembra 2010 (glej sliko 7).

Izmera Inštituta za vode Republike Slovenije							
Točka	Y (m)	X (m)	H (m)	Točka	Y (m)	X (m)	H (m)
70001	462665.539	96453.916	289.359	70012	458466.729	94317.444	288.150
70002	462893.171	95388.762	288.651	70013	461856.894	96377.074	288.733
70003	461680.639	94872.201	287.995	71013	461856.516	96376.795	288.728
70004	461628.269	95181.416	287.276	72013	461853.151	96383.742	288.581
71004	461628.186	95181.559	287.661	70014	462488.471	96740.976	288.806
70005	460704.462	95034.273	288.640	71014	462482.200	96745.924	288.682
70006	460665.247	93428.336	288.705	71015	459238.279	95160.422	288.998
71007	460651.080	93443.780	288.788	60005	459365.665	94961.937	288.444
72007	460653.409	93440.636	288.524	70016	461990.668	95897.862	288.686
73007	460665.257	93428.344	288.687	70021	463064.001	95149.528	289.275
71006	460654.572	93427.816	288.690	70019	462356.055	99107.611	290.247
70007	460588.372	91707.604	294.665	70026	465110.676	101356.661	286.932
70008	459935.974	92907.235	291.396	70025	453719.831	92098.627	288.961
70009	459926.279	92994.789	291.661	70022	462623.616	99673.743	290.22
70010	459642.653	94101.739	288.725	70031	463094.000	100777.203	285.492
71010	459642.263	94101.596	288.704	70027	462386.842	99810.642	287.475
70011	459497.769	94550.706	288.195	70023	464838.536	101217.035	287.36
90175	459548.296	94405.996	288.241	70024	464349.755	101318.795	288.032

Preglednica 1: Položajne koordinate in nadmorske višine referenčnih geodetskih točk na območju Ljubljane in Ljubljanskega barja

### 4.3 Kontrola višin referenčnih geodetskih točk

V dogovoru z IzVRS je Katedra za inženirsko geodezijo na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FG - KIG) na območju Ljubljane in Ljubljanskega barja izvedla kontrolo določitve višin posameznih referenčnih geodetskih točk. V kontrolo je bilo vključenih 16 (44 %) točk, katerih višine so bile določene z metodo trigonometričnega višinomerstva (glej sliki 9 in 10). Dolžine in zenitne distance so bile izmerjene z elektronskim tahimetrom Leica Geosystems TCRP1201 in reflektorji Leica GPR1. Proizvajalec elektronskega tahimetra je predpisal natančnost merjenja kotov  $\sigma_{\text{ISO-17123-3-THEO-HZ.V}} = 1$  in natančnost merjenja dolžin  $\sigma_{\text{ISO-17123-4-EDM}} = 1,5 + 2 \text{ ppm}$ . Poligonske točke so bile prisilno centrirane, višinske razlike so bile izmerjene obojestransko. Navezava na reper mestne nivelmanske mreže in referenčno geodetsko točko je bila izvedena enostransko. Na terenu smo merili tudi temperaturo zraka in zračni tlak. Dolžine poligonskih stranic so znašale od 3,60 metra do 360,93 metra. Povprečna



dolžina merjene poligonske stranice je znašala 99,80 metra. Merjeno višinsko razliko med dvema poligonskima točkama si izračunamo po znanih enačbah:

$$\Delta h_{12} = d_{12} \cdot \text{ctg } z_{12} + \frac{(1-k)}{2 \cdot R} \cdot d_{12}^2 + i_1 - l_2,$$

kjer so:

$\Delta h_{12}$  ...merjena višinska razlika med točkama  $P_1$  in  $P_2$ ,

$d_{12}$  ... horizontalna dolžina med točkama  $P_1$  in  $P_2$ ,

$z_{12}$  ... merjena zenitna distanca  $P_1$  in  $P_2$ ,

$k$  ... koeficient ukrivljenosti ( $k = 0.13$  za območje Slovenije),

$R$  ... polmer Zemlje ( $R = 6381$  km),

$i_1$  ... višina instrumenta,

$l_2$  ... višina signala.

Natančnost določitve višinske razlike s trigonometričnim višinomerstvom ocenimo po naslednji enačbi (Haessler in Wachmuth, 1994):

$$\sigma_{\Delta h_j} = \sqrt{\left(\sigma_{d_j} \cdot \text{ctg } z_j\right)^2 + \left(d_j \cdot \frac{\sigma_{z_j}}{\text{rad}}\right)^2 + \sigma_i^2 + \sigma_l^2},$$

Natančnost določitve višinske razlike trigonometrične stranice, kjer imamo merjenih  $j = 1, \dots, n$  višinskih razlik  $\Delta h_j$  pa izračunamo z uporabo enačbe:

$$\sigma_{\Delta H} = \sqrt{\sigma_{\Delta h_1}^2 + \dots + \sigma_{\Delta h_n}^2},$$

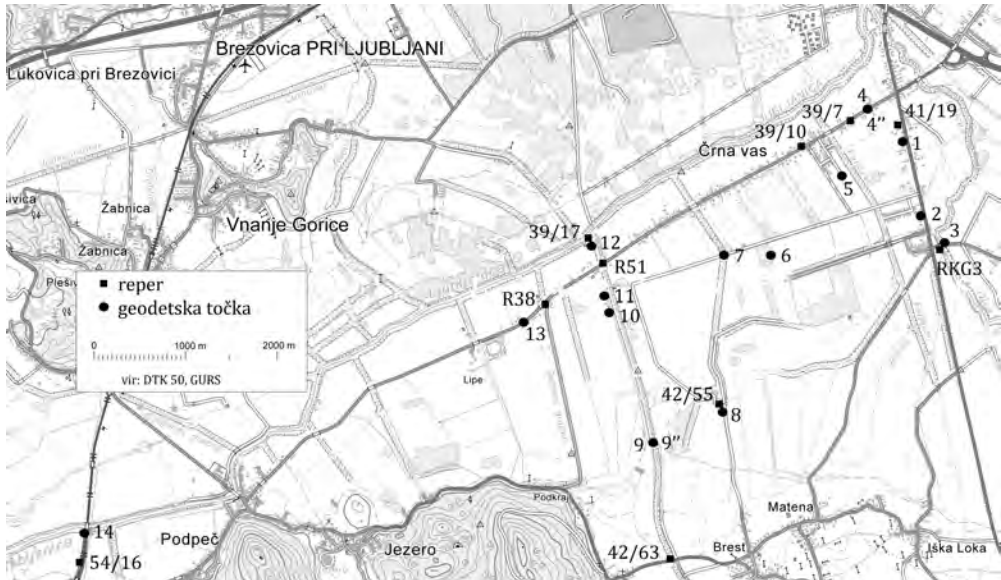
kjer so:

$\sigma_{d_j}$  ... standardni odklon merjenja dolžin,

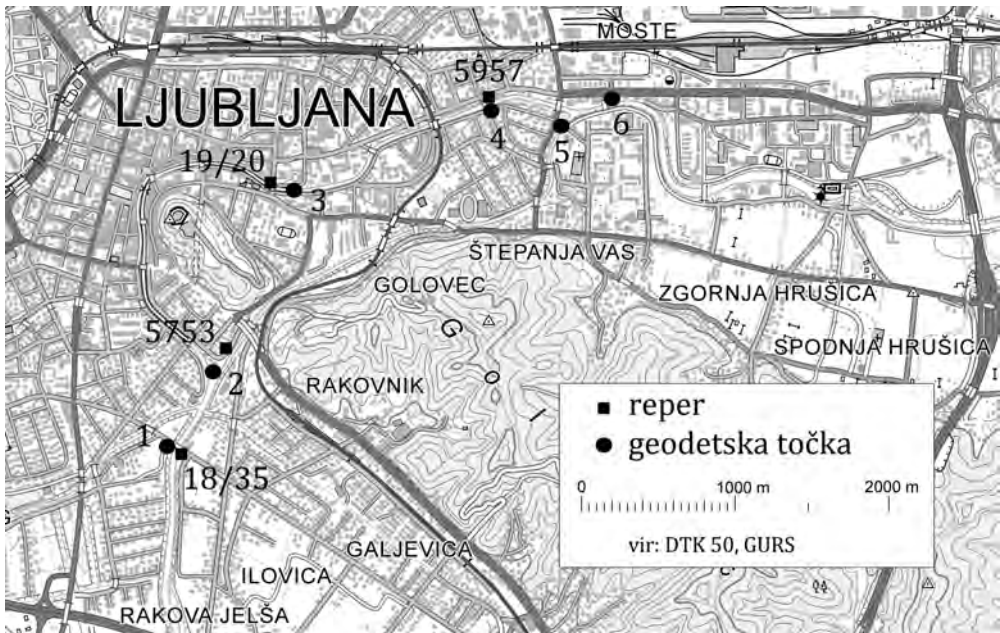
$\sigma_{z_j}$  ... standardni odklon merjenja zenitnih distanc (v našem primeru  $2''$ ),

$\sigma_i$  ... standardni odklon merjenja višine instrumenta (v našem primeru 0 mm, saj je višina instrumenta enaka višini reflektorja),

$\sigma_l$  ... standardni odklon višine signala (v našem primeru 2 mm, za navezavo začetne in končne točke s pomočjo reflektorja na togem grezilu).



Slika 9: Referenčne geodetske točke, ki so bile zajete v kontrolo na območju Ljubljanskega barja.



Slika 10: Referenčne geodetske točke, ki so bile zajete v kontrolo na območju Ljubljane.

Referenčne geodetske točke so bile navezane na različne reperje (glej preglednici 3 in 4 ter sliki 9 in 10), katerih nadmorske višine so bile določene iz zmerami mestne nivelmanske mreže na območju Ljubljane v letih 1963 oziroma 1972 (Vodopivec, 1976) in Ljubljanskega barja v letih 1993, 1996 (Vodopivec, Koler in Breznikar, 1994 in 1997), 2000/01 (Vodopivec in Jakljič, 2002)

in 2011 (Kogoj et al., 2011). Razlike v določitvi nadmorskih višin v posameznih izmerah, so predstavljene v spodnji preglednici.

Reper	Leto izmere	H (m)	$\sigma_H$ (mm)	Leto izmere	H (m)	$\sigma_H$ (mm)	$\Delta$ (mm)	$\sigma_\Delta$ (mm)	Stabilen	v (mm/leto)
41/19	1993	289,2287	0,9	2011	289,1867	0,9	-42,0	1,3	ne	-2,3
RKG3				2011	289,1566	0,8				
39/7	1996	289,1635	2,3	2011	289,1551	0,8	-8,4	2,4	ne	-0,6
39/10	1996	288,6220	2,3	2011	288,6015	0,8	-20,5	2,4	ne	-1,4
42/55	1993	288,3353	1,1	2011	288,2396	0,9	-95,7	1,4	ne	-5,3
42/63	1993	296,8476	1,0	2011	296,8391	0,7	-8,5	1,2	ne	-0,5
R51				2011	288,7864	0,8				
39/17	1993	289,4868	0,8	1996	289,4689	2,1	-17,9	2,2	ne	-6,0
R38				2011	288,2191	0,7				
54/16	1991	293,0038	1,3	1993	292,9941	0,9	-9,7	1,6	ne	-4,8
5957	1972	288,1064	0,8	1963	288,1068	0,8	0,4	1,1	da	0,0
19/20	1972	290,9777	0,8	1963	290,9777	0,8	0,0	1,1	da	0,0
5753	1963	291,4778	0,8	1993	291,4409	0,6	-36,9	1,0	ne	-1,2
18_35	1993	290,0649	0,7	2000	290,0577	2,14	-7,2	2,2	ne	-1,0

Preglednica 2: Višine navezovalnih reperjev in vertikalni premiki navezovalnih reperjev

Iz zgornje preglednice lahko vidimo, da so reperji, stabilizirani v objekte na Ljubljanskem barju, nestabilni, saj je premik reperja več kot trikrat večji od natančnosti določitve njegovega premika (Koler et al., 2010). Ker je med posameznimi izmerami minilo različno število let, smo izračunali hitrost premika na leto, ki je primerljiva količina za vse reperje. Hitrost posedanja reperjev znaša od -0,5 mm/leto do -6,0 mm/leto. Navezovalna reperja 5957 in 19/20, ki sta stabilizirana na območju Ljubljane, sta stabilna.

V preglednici 3 in 4 so zbrani podatki kontroliranih referenčnih geodetskih točk. Iz preglednice 3 in 4 lahko vidimo, da razlike višin, določenih z GNSS-višinomerstvom in trigonometričnim višinomerstvom, nimajo sistematičnega značaja, saj znašajo od nekaj milimetrov do nekaj decimetrov. Poleg tega se razlike razlikujejo v predznaku in znašajo od -163 mm do 277 mm, kar znaša v absolutnem smislu 440 mm.

Posebej je treba opozoriti na točke 70019, 70025 in 71015 (glej preglednici 3 in 4), ki so bile navezane na nestabilne reperje (18/35, 54/16 in 39/17). Hitrosti posedanj na navedenih reperjih znašajo od -1 do -6 mm/leto (glej preglednico 2), kar pomeni, da trigonometrično določena višina GT-točke ni zanesljiva oziroma je razlika posledica tudi vertikalnega premika navezovalnega reperja.

Številka na sliki 7	Številka IzVRS	Mesto stabilizacije	Navezava	H <sub>GNSS</sub> (m)	σ <sub>H</sub> (mm)	Navezava	Δh (m)	d (m)	σ <sub>Ah</sub> (mm)	H <sub>Trig</sub> (m)	Δ (mm)
1	70001	GT na mostu	FR9, 39/11	289,393	21	41/19	0,197	82,280	2,9	289,383	-10
2	70002	GT na mostu	FR9, 39/11	288,685	19	RKG3	-0,463	460,399	3,2	288,723	38
3	70021	GT na mostu	FR9, 39/11	289,275		RKG3	0,136	8,000	1,0	289,293	18
4	70014	GT na mostu	FR9, 39/11	288,840	24	39/7	-0,165	162,606	3,1	288,990	150
4"	71014	GT na mostu	FR9, 39/11	288,716	16	39/7	-0,326	159,355	3,1	288,829	113
5	70016	Stopnica	FR9, 39/11	288,703	16	39/10	0,003	677,741	4,0	288,605	-98
6	70004	Teren	FR9, 39/11	287,310	16	39/10	-1,454	1691,609	5,6	287,147	-163
7	70005	Most čez Zidarjev graben	FR9, 39/11	288,901	18	39/10	0,199	2373,298	7,0	288,800	-101
8	70006	Betonski podstavek	FR9, 220	288,739	14	42/55	0,518	24,453	2,8	288,758	19
9	71007	Krilo mostu	FR9, 220	288,788	17	42/55	0,389	28,648	2,8	288,629	-159
9"	72007	Teren	FR9, 220	288,558	16	42/55	0,352	29,729	2,8	288,591	33
10	70009	Iška most	FR9, 220	291,695	18	42/63	-5,114	1320,165	5,6	291,725	30
11	70011	GT na mostu	FR9, 220	288,229	26	R51	-0,464	439,589	3,9	288,323	94
12	71015	GT na objektu	FR9, 220	289,032	12	39/17	-0,282	29,850	2,0	289,187	155
13	70012	GT na mostu	FR9, 220	288,15	18	R38	0,208	334,752	3,8	288,427	277
14	70025	GT na mostu čez Ljubljano	FR9, 54/16	288,961	21	54/16	-3,878	152,793	4,3	289,116	155

Preglednica 3: Primerjava višin referenčnih geodetskih točk, ki so bile zajete v kontrolo na območju Ljubljanskega barja.

Številka na sliki 8	Številka vodarji	Mesto stabilizacije	Navezava	H <sub>GNSS</sub> (m)	σ <sub>H</sub> (mm)	Navezava	Δh (m)	d (m)	σ <sub>Ah</sub> (mm)	H <sub>Trig</sub> (m)	Δ (m)
1	70019	GT na mostu čez Ljubljano	FR9, 220	290,247	15	18/35	0,176	11,766	2,0	290,234	-13
2	70022	GT na brvi čez Grubarjev kanal	FR9, 39/17	290,22	20	5753	-1,225	71,496	2,9	290,216	-4
3	70031	GT pod Plečnikovo zapornico na Ljubljani	FR9, 39/17	285,492	14	R 19/20	-5,484	152,793	4,3	285,494	2
4	70024	Brv čez Ljubljano v Mostah	FR9, 39/17	288,032	16	5957	-0,078	91,335	2,1	288,028	-4
5	70023	Brv čez Grubarjev kanal v Štepanjskem naselju	FR9, 39/17	287,36	19	5957	-0,736	695,606	2,5	287,371	11
6	70026	Na mostu čez Ljubljano pri v.p. Moste	FR9, 39/17	286,932	16	5957	-1,150	1121,086	5,1	286,956	24

Preglednica 4: Primerjava višin referenčnih geodetskih točk, ki so bile zajete v kontrolo na območju Ljubljane.

## 5 SKLEP

Kontrola določitve višin referenčnih geodetskih točk z GNSS-višinomerstvom je še enkrat pokazala, da so razlike v določitvi višin točk s sodobnimi merskimi tehnikami glede na klasične geodetske merske metode lahko velike. Višine, ki so neodvisno določene z obema metodama višinomerstva, se med seboj razlikujejo od nekaj milimetrov do nekaj decimetrov. Da bi lahko ugotovili razloge za tako velike razlike, bi bilo treba opraviti podrobno analizo izvedenih GNSS-meritev, vključno z izbiro navezovalnih reperjev, pogojev v času GNSS-izmere, itd. Čeprav analize, ki bistveno presega obseg prispevka in predmet kontrole določitve višin reperjev, nismo opravili, lahko ugotovimo:

- GNSS-višinomerstvo, glede na trenutno stanje višinskega sistema na območju Republike Slovenije, je treba, odvisno od zahtevane natančnosti, uporabljati izredno pazljivo.
- Višine, določene z GNSS-višinomerstvom, je treba nujno kontrolirati s klasičnimi geodetskimi merskimi metodami, saj lahko le tako zagotovimo ustrezno zanesljivost določitve višin točk. Zanesljive višine točk so vhodni podatek, na katerem slonijo nadaljnje analize, ki zagotavljajo korektne rezultate.
- Če višine, določene z GNSS-višinomerstvom, navežemo na reperje, potem morajo biti navezovalni reperji stabilni.
- Modeliranje poplavnih vod in izdelava poplavnih kart na podlagi višin referenčnih geodetskih točk, ki so določene iz nezanesljivih in nekontroliranih višin, določenih z GNSS-višinomerstvom ali iz LIDAR posnetkov, so lahko izrazito problematični in lahko privedejo do napačnih ugotovitev.

Ne glede na razvoj sodobnih merskih tehnik, ki nam omogočajo dokaj enostavno zajemanje množice podatkov na terenu in kasneje obdelavo s številnimi programi, ki nam omogočajo izrazito všečno prikazovanje rezultatov, nas zgoraj predstavljeni primer opozarja, da brez ustrezne kontrole sodobnim merskim tehnikom ne moremo povsem zaupati.

Na površini 40 km<sup>2</sup> razlika v določitvi višine poplavne vode 5 centimetrov na območju Ljubljanskega barja predstavlja 2 milijona m<sup>3</sup> vode. Vsak si lahko predstavlja, kaj pomeni ugotovljena absolutna razlika 44 cm za navedeno območje. Odgovor na vprašanje, kakšna je zanesljivost modeliranja poplavnih vod in izdelava poplavnih kart na podlagi nezanesljivih podatkov, je enostaven – nikakršna. Sprejemanje odločitev na državni ali lokalni ravni na podlagi tako izdelanih poplavnih kart pa je neodgovorno. Ali torej potrebujemo sodoben višinski sistem? Odgovori na vprašanje da ali ne in zakaj so zapisani v nekaterih prispevkih, ki so bili objavljeni in predstavljeni v preteklosti (glej Koler, Medved in Kuhar, 2007; Stopar, Kuhar in Koler, 2008; Koler, Vardjan in Urbančič, 2011; Kuhar et al., 2011).

Ne glede na sedanje stanje višinskega sistema na območju Slovenije, ta ne more biti izgovor za slabo opravljeno geodetsko delo. Naloga vsakega geodeta je, da rezultate svojega dela kontrolira z neodvisnimi meritvami. Poleg tega mora opraviti analizo natančnosti določitve prostorskih koordinat točk in drugih izvedenih količin, ne glede na uporabljeno mersko metodo, saj je ocena natančnosti nenadomestljivo merilo za oceno zanesljivosti in kakovosti opravljenega geodetskega dela. To je strokovni minimum, ki ga mora zagotoviti vsak geodetski izvajalec.

## ZAHVALA

Prispevek je nastal kot rezultat izvajanja letnega programa dela IzVRS 2010, 2011 in 2012 za Ministrstvo za okolje in prostor oziroma Ministrstva za kmetijstvo in okolje, ter kot rezultat znanstveno-raziskovalnega dela Katedre za inženirsko geodezijo na UL FGG v okviru raziskovalnega programa P2-227 »Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije«. Avtorji prispevka se zahvaljujemo za finančno podporo.

## Literatura in viri:

*DHI Software (2012). Mathematical Background MIKE. 1D Dynamic Modeling.*

*Globevnik, L., Vidmar, A. (2010). Poplave na Ljubljanskem barju v septembru 2010. Mišičev vodarski dan, 2010.*

*Haessler, J., Wachmuth, H. (1994). Formelsammlung fuer den Vermessungsberuf. Korbach: Wilhelm Bing Verlag.*

*Kogoj, D., Ambrožič, T., Koler, B., Marjetič, A., Kregar, K., Urbančič, T., Stegenšek, B., Goršič, J. (2011). Opazovanje morebitnih poseđanj zaradi črpanja podzemne vode v vodarni Brest. Tehnično poročilo. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.*

*Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. (2007). Uvajanje sodobnega višinskega sistema v Sloveniji. Geodetski vestnik, 51(4), 777–792.*

*Koler, B., Savšek, S., Ambrožič, T., Sterle, O., Stopar, B., Kogoj, D. (2010). Realizacija geodezije v geotehniki. Geodetski vestnik, 54(3), 450–468.*

*Koler, B., Vardjan, N., Urbančič, T. (2011). Analiza stanja pri uvajanju sodobnega višinskega sistema. Geodetski vestnik, 55(2), 215–225.*

*Kuhar, M., Berk, S., Koler, B., Medved, K., Omang, O. C. D., Solheim, D. (2011). Vloga kakovostnega višinskega sistema in geoida za izvedbo GNSS-višinomerstva. Geodetski vestnik, 55(2), 226–234.*

*Price, R. K. (1982). A non-linear theory of flood wave propagation, Appl. Math Modelling, 6, 338–342.*

*Stopar, B., Kuhar, M., Koler, B. (2008). Novi koordinatni sistem v Sloveniji. V: M. Kuhar (ur.). Raziskave s področja geodezije in geofizike 2007: Zbornik predavanj (str. 37-50). Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.*

*Vodopivec F. (1976). Raziskava stabilnosti nivelmanskih reperjev Ljubljanske mestne mreže. Ljubljana: Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo.*

*Vodopivec F., Koler, B., Breznikar, A. (1994). Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja. Ljubljana: Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Katedra za geodezijo.*

*Vodopivec, F., Koler, B., Breznikar, A. (1997). Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za geodezijo.*

*Vodopivec, F., Jaklič, S. (2002). Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za geodezijo.*

**Prispelo v objavo: 3. oktober 2012**

**Sprejeto: 29. oktober 2012**

**doc. dr. Božo Koler, univ. dipl. inž. geod.**

UL FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

e-pošta: [Bozo.Koler@fgg.uni-lj.si](mailto:Bozo.Koler@fgg.uni-lj.si)

**asist. Tilen Urbancič, univ. dipl. inž. geod.**

UL FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

e-pošta: [Tilen.Urbancic@fgg.uni-lj.si](mailto:Tilen.Urbancic@fgg.uni-lj.si)

**mag. Andrej Vidmar, univ. dipl. inž. grad.**

UL FGG, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

e-pošta: [Andrej.Vidmar@fgg.uni-lj.si](mailto:Andrej.Vidmar@fgg.uni-lj.si)

**dr. Lidija Globevnik, univ. dipl. inž. grad.**

Inštitut za vode Republike Slovenije, Hajdrihova 28c, SI-1000 Ljubljana

e-pošta: [Lidija.Globevnik@guest.arnes.si](mailto:Lidija.Globevnik@guest.arnes.si)