

OPAZOVANJE PLAZENJA S KOMBINACIJO METOD RADARSKE INTERFEROMETRIJE IN GPS

Observation of slope mass movement with the combination of radar interferometry methods and the GPS

Marko Komac*, Blaž Milanič*, Jernej Jež*, Miloš Bavec*, Rachel Holley**, Pooja Mahapatra***, Ramon Hanssen***, Hans van der Marel***, Alan Fromberg**** UDK 550.348.435:681.787

Povzetek
Razvoj metod daljinskega opazovanja omogoča vedno novo uporabo teh metod na različnih področjih raziskovanja Zemljinega površja. V zadnjem desetletju se metode daljinskega opazovanja in zaznavanja usmerjajo na področje spremljanja naravnih in drugih nesreč ter preprečevanja posledic in njihovega upravljanja. Eno izmed področij, na katerih združitev podatkov daljinskega zaznavanja in podatkov terenskih opazovanj omogoča boljše razumevanje pojavov, so meritve premikov zemeljskih plazov. V mednarodnem projektu *Integrated Interferometry and GNSS for Precision Survey* (I2GPS) smo projektni partnerji razvili novo, kombinirano enoto za opazovanje premikov v trirazsežnem prostoru. Metoda temelji na združenih merilnih napravah radarske interferometrije in GPS. Testno območje za razvito opremo je bilo na plazu nad Koroška Belo pri Jesenicah.

Abstract
The development of remote sensing techniques enables the application of new methods for monitoring the Earth's surface almost on a daily basis. As a result, remote sensing has been intensively used, especially in the last decade, in the field of monitoring, and mitigation and prevention of natural and anthropogenic disasters. One of the fields that profits from combining remote sensing and in-situ data is monitoring surface displacements due to slope mass movement processes. Six partners have joined knowledge, expertise and technology in the framework of the European project called *Integrated Interferometry and GNSS for Precision Survey* (I2GPS) to develop a unique unit that combines two existing techniques – radar interferometry and GPS – and thus enables displacement monitoring in three dimensions. The landslide area above Koroška Bela near Jesenice was chosen for the testing of the developed unit.

Uvod

Slovensko ozemlje je močno podvrženo pojavom premikov zemeljskih gmot na pobočjih, kot so zemeljski plazovi, drobirski tokovi in skalni podori (Komac, 2009). Ti pojavi nemalokrat ogrožajo prebivalstvo, objekte in in-

frastrukturo. Njihovo sistematično terensko prepoznavanje, opazovanje in spremljanje so zaradi prostorske razpršenosti skoraj nemogoča, delo pa lahko olajšajo orodja oziroma metode daljinskega zaznavanja. V Sloveniji je bilo opravljenih že več opazovanj površja s podatki PSInSAR (Komac in Bavec, 2007a, 2007b, 2007c; Oštir in Komac, 2007; Komac in sod., 2008; Milanič in sod., 2009; Jemec Aulfič in Komac, 2010, 2011; Jemec in sod., 2011; Žibret in sod., v tisku). V okviru projekta I2GPS (angl. *Integrated Interferometry and GNSS for Precision Survey*), ki je potekal od februarja 2010 do septembra 2011 in ga je sofinanciral program *Galileo*, smo s šestimi evropskimi partnerji razvili napravo, ki omogoča natančno skupno zapisovanje radarskih (metoda interferometrije permanentnih sipalcev – PSI,

* dr., Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, marko.komac@geo-zs.si

** Fugro NPA Limited, Edenbridge, United Kingdom, R.Holley@fugro-npa.com

*** Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, P.S.Mahapatra@tudelft.nl; H.vanderMarel@tudelft.nl

**** Systems Engineering and Assessment Limited, Bristol, United Kingdom, Alan.Fromberg@sea.co.uk

ki uporablja kompaktne aktivne oddajnike oziroma umetne sipalce; angl. CAT – *Compact Active Transponder*) in GPS/GNSS (angl. *Global Positioning System/Global Navigation Satellite System*) podatkov (slednje sprejema GPS-antena, zapisuje pa GPS-sprejemnik). Prva metoda da natančne podatke o navpičnih premikih (v smeri potovanja radarskega signala, ki je od vertikalne odklonjen za do 28,8°; angl. LOS – *Line-Of-Sight*), druga pa natančne podatke o vodoravnih premikih. Prednost našega prototipa sta zapisovanje premikov v treh smereh in možnost postavitve na območja brez naravnih odbojnikov, ki so sicer nujni za delovanje radarske interferometrije. Ob primerni umeritvi obeh nizov podatkov bi bilo torej teoretično mogoče izračunati trirazsežne (3-R), časovno odvisne premike na merilnih mestih (mestih, kamor smo postavili prototipe enot). Več prototipov (enot I2GPS) smo preskusili na resnični težavi z zemeljskim plazom, ki bi se lahko po predhodni geološki oceni ob neugodnih razmerah razvil v drobirski tok in ogrozil naselje na razlivnem območju (Jež in sod., 2008).

Glavni oviri razvite naprave sta omejitev zaznavanja premikov do največ 2,8 cm v 35 dneh in pridobivanje podatkov z zamudo, saj so dostopni šele po tem, ko so po meritvah periodično »ročno« preneseni iz enote k uporabniku. Odprava komunikacijskih pomanjkljivosti je stvar prihodnjih nadgrajevanj in izpopolnitev enot I2GPS.

Območje preskusa naprave – geološki in geografski opis

Eno izmed dveh območij, na katerih smo preskusili razvito napravo, je bilo v Sloveniji, drugo pa v Delftu na Nizozemskem (Mahapatra in sod., 2011). Na območju zemeljskega plazu na Potoški planini (slika 1), kjer smo v preteklih raziskavah (Jež in sod., 2008) že ugotovili sledi premikov površja ter več dogodkov drobirskih tokov v geološki preteklosti tudi dokazali z dvema izkopoma na vršaju v Koroški Beli, smo postavili osem opazovalnih točk (slika 1) z različno opremo, tri referenčne točke zunaj območja plazu (Ref1 v obliki CAT-a, Ref2 v obliki enote I2GPS in Ref3 v obliki CAT-a), štiri točke na območje plazu (CAT1 v obliki enote I2GPS, CAT2 v obliki CAT-a, CAT3 v obliki enote I2GPS in CAT4 v obliki CAT-a). Ena točko smo postavili v bližino Blejske Dobrave (CAT5 v obliki enote I2GPS), torej na jugozahodno krilo Savskega preloma, da bi opazovali tektonske premike ob tem pomembnem aktivnem regionalnem prelomu. Lokacija zemeljskega plazu je še posebno zanimiva, saj so izsledki izkopov dokazali (Jež in sod., 2008), da so se v nedavni geološki zgodovini na istem območju zgodili vsaj štirje pojavi drobirskih tokov, od katerih se je zadnji zgodil ob koncu 18. stoletja in je uničil 40 hiš. Zemeljski plaz podobnih razsežnosti, ki bi se ob neugodnih razmerah v drugi fazi razvil v drobirski tok, bi lahko ogrozil večji del spodaj ležečega naselja. Glede na dejstvo, da drobirski tokovi predstavljajo resno grožnjo infrastrukturi in

prebivalstvu v Alpah (Mikoš in sod., 2012), so rezultati, ki so stranski produkt preskusa razvite opreme, zelo pomembni za preprečevanje, zgodnje obveščanje in/ali omilitev nevarnosti zaradi premikov zemeljskih gmot na pobočjih v primeru konkretnega plazu, v Sloveniji in drugod po svetu.

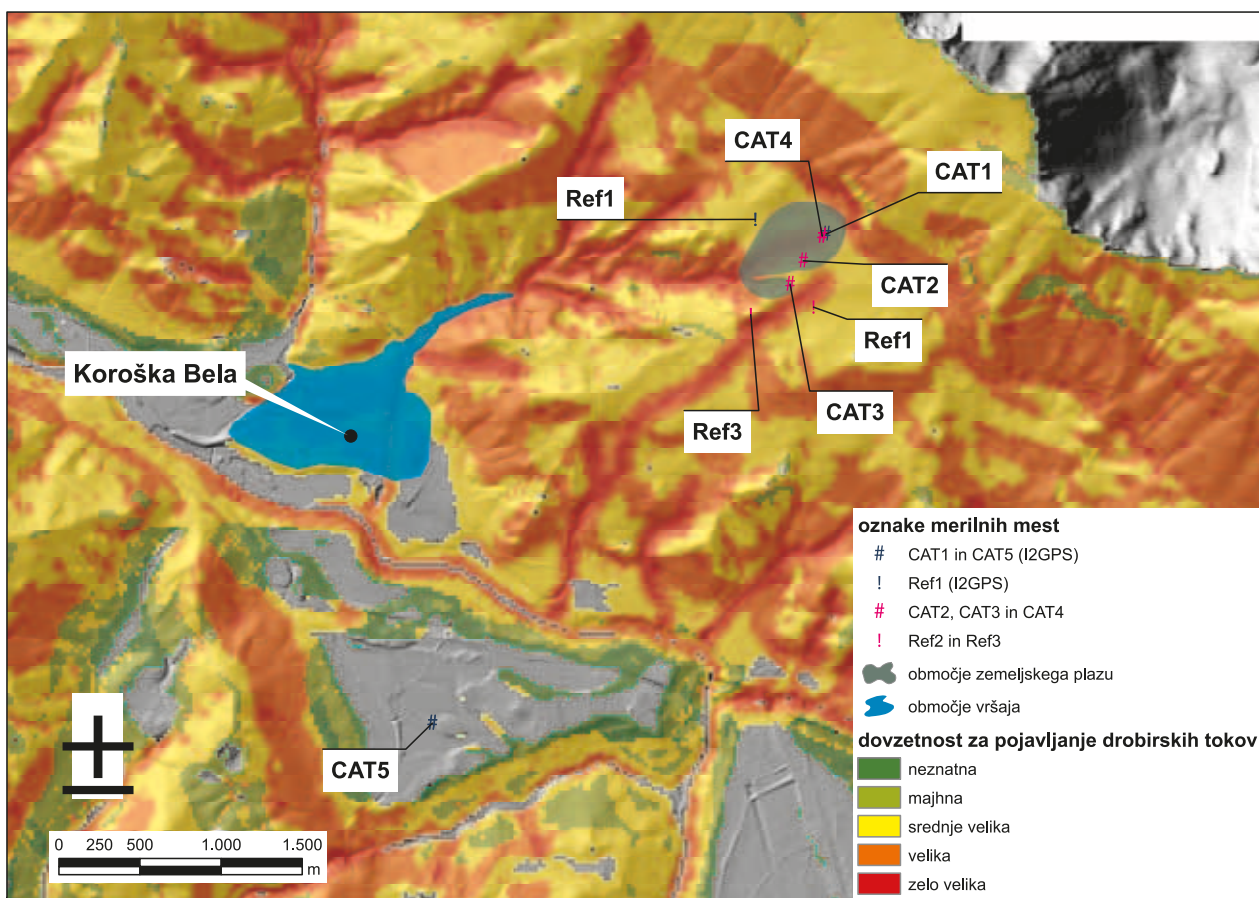
Glavnina plazljivega območja leži pod strmim apnenčevim grebenom Vajneža (2104 m nadmorske višine) in z rahlim nagibom vpada proti južni jugozahodni smeri. Nižji, jugovzhodni del območja zemeljskega plazu se konča s strmo morfološko stopnjo, ki se navzgor razširi v glavno telo plazu. Material, ki bi zdrsel čez to stopnjo, bi potoval po dolini do gosto poseljenega vršaja ob vznožju Karavank (na sliki 1 označen s sinjo barvo). Širše območje plazu sekajo številni manjši prelomi, ki povezujejo dva večja preloma oziroma prelomna sistema, Periadijski prelomni sistem na severu in Savski prelom na jugu, zaradi česar je tudi geološka zgradba območja zelo pisana. Posledica tektonskih premikov so tudi močno porušene kamnine, ki so zaradi svojih geomehanskih lastnosti podvržene pojavljanju skalnih podorov v zgornjem, zemeljskih plazov v srednjem in drobirskih tokov v spodnjem delu območja. Premiki pobočja so večinoma posledica površinske in podzemne vode, ki omenjene kamnine in sedimente obilno namaka. Prostornino plazeče se mase ocenjujemo na največ $1,8 \times 10^6 \text{ m}^3$. Zemeljski plaz je aktiven, njegova trenutna hitrost pa je ocenjena kot »počasno drsenje«, to je do 10 cm na leto.

Postavitev merilne opreme na opazovalne točke

Tri referenčne točke (Ref1, Ref2 in Ref3) smo postavili na domnevno stabilna območja v bližini zemeljskega plazu, da bi zagotovili čim natančnejšo oceno relativnega premikanja plazu. Glavno referenčno točko (Ref2) smo postavili na območje pašnika severozahodno od plazu. Od referenčnih točk je bila oprema na tej točki edina, ki je združevala CAT in GPS ter je zato omogočala hkratno opazovanje v treh razsežnostih. Drugi dve referenčni točki (Ref1 in Ref3) sta bili opremljeni le s CAT-oma, s katerima smo opazovali premike v smeri potovanja radarskega signala. Približna postavitve opazovalnih točk je prikazana na sliki 1.

Eno točko opazovanja (CAT5) smo postavili na desni breg Save oziroma na jugozahodno krilo Savskega preloma, približno 3,5 km južno in 600 m nižje od plazu, da bi opazovali morebitne tektonske premike ob enem največjih prelomov v Sloveniji. Zaradi velike oddaljenosti točke CAT5 od glavne referenčne točke (Ref2) in zaradi atmosferskih vplivov je bila obdelava podatkov InSAR velik izziv. Točka CAT5 je združevala CAT in GPS.

Opazovalne točke na plazu (CAT1, CAT2, CAT3 in CAT4) smo postavili, kot prikazuje slika 1. Točki CAT1 in CAT3 sta združevali CAT in GPS, točki CAT2 in CAT4 pa zgolj CAT-a.



Slika 1: Lokacija območja zemeljskega plazu na Potoški planini, nad vasjo Koroška Bela v bližini Jesenic v severozahodni Sloveniji, kjer je bila preizkušena v okviru projekta razvita oprema. Referenčne točke (Ref1 – Ref3) ležijo zunaj plazljivega območja, točke CAT1 – CAT4 na plazljivem območju, točka CAT5 pa na desnem bregu reke Save, na jugozahodnem krilu Savskega preloma. V podlagi je prikazan model dovzetnosti za pojavljanje drobirskih tokov v Sloveniji v merilu 1 : 250.000 [Komac in sod., 2009]. Širina daljše osi ovala, ki označuje območje zemeljskega plazu, meri okoli 2 km.

Figure 1: Landslide location at the Potoška planina mountain pasture, above the village of Koroška Bela near Jesenice, in northwestern Slovenia, where the project-developed equipment was tested. Reference points [Ref1 – Ref3] are located outside the landslide area, points CAT1 – CAT4 in the landslide area, and the CAT5 point on the right bank of the Sava River, in the southwest wing of the Sava fault. The cartographic base presents the model of susceptibility to the occurrence of debris flows in Slovenia at scale 1 : 250,000 [Komac et al., 2009]. The longer axis of the oval indicating the landslide location measures about 2 km in width.

Enote smo na opazovalne točke pritrdili na dva načina: z betonskim temeljem [CAT2 in CAT3] ali pa smo jih pritrdili na večje skale na plazu [CAT1 in CAT4] oziroma na izdanke trdnih kamnin [Ref1 – Ref3 in CAT5]. Postopek je podrobneje opisan v Komac in sod. (2012).

Metodi interferometrija permanentnih sipalcev PSI in GPS

Interferometrija permanentnih sipalcev (angl. *Persistent Scatterer Interferometry – PSI*) je radarska metoda, ki temelji na analizi stabilnih odbojnikov (tarč oziroma objektov), katerih odbojni signal je stabilen skozi daljše časovno obdobje oziroma imajo visoko stopnjo koherence. Taki objekti so zato prepoznavni na vseh podobah InSAR, kar omogoča sledenje njihovim

premikom v smeri potovanja radarskega signala skozi dolgo časovno obdobje. Sipalci so navadno izdanki kamnin, objekti ali infrastruktura. Na neposeljenih, redko poseljenih ali poraslih območjih je sipalcev malo, zato je mogoče za opazovanje uporabljati namensko izdelane kotne oddajnike ali kompaktne aktivne oddajnike oziroma sipalce. Ti so programirani tako, da med preletom satelita najprej sprejmejo, nato pa oddajo ojačene radarske signale, ki jih satelit zapiše. Tako sta zagotovljena najmočnejši odboj signala v okolici CAT-a in njegova opaznost na podobah InSAR. Prednost »naravnih« pred umetnimi sipalci je, da so bili (vsaj večina njih) prisotni na območju opazovanja že pred ugotovitvijo zanimanja za opazovanje premikov površja na nekem območju. Ker so od leta 1992 podobe InSAR dostopne za javno uporabo, je tako mogoče analizirati tudi premike površja za nazaj. Ker je opazovanje z radarsko metodo aktivno opazovanje, ni odvisno od vira energije (v naravi je to Sonce) in je uporabno tudi za nočno opazovanje, obenem pa je

tudi neodvisno od vremenskih razmer, saj lahko signali prodrejo skozi oblake in meglice. Pripravo in obdelavo surovih podatkov InSAR in GPS/GNSS so opisali Komac in sod. (2012).

Ker je najpogosteje uporabljena valovna dolžina radarskega signala (v pasu C) 5,6 cm, je meja zaznavanja premikov polovica valovne dolžine, torej 2,8 cm v obdobju med dvema merjenjema. To je navadno dolgo 35 dni. Premiki, večji od 2,8 cm, v obdobju med dvema snemanjema se izkažejo z dvoumnimi rezultati, kar je prikazano na sliki 2. S hkratno uporabo GPS/GNSS-meritev lahko minimiziramo take napake, obenem pa pridobimo tudi horizontalne premike, izmerjene z GPS.

Arhiv podob InSAR je bil ustvarjen z dvema tipoma satelitov, ERS (1 in 2, noben ni več delujoč) in Envisat (delujoč do konca leta 2013). Radarski podatki pa so še vedno dostopni prek drugih radarskih satelitov, na primer Radarsat-1 in 2 ter Sentinel.

Podatki GNSS/GPS so bili na enotah I2GPS zapisani skoraj zvezno, v 30-sekundnem intervalu in preneseni z enote ob vsakem obisku terena. Premiki, izmerjeni z GPS-anteno na opazovanih točkah, so bili umerjeni s sedmimi permanentnimi GPS-postajami v mednarodni mreži IGS, med njimi tudi s postajo z oznako GSR1, ki je postavljena v Ljubljani. Te postaje imajo v okviru standarda ITRF2008/IGSO8 zelo natančno določene koordinate

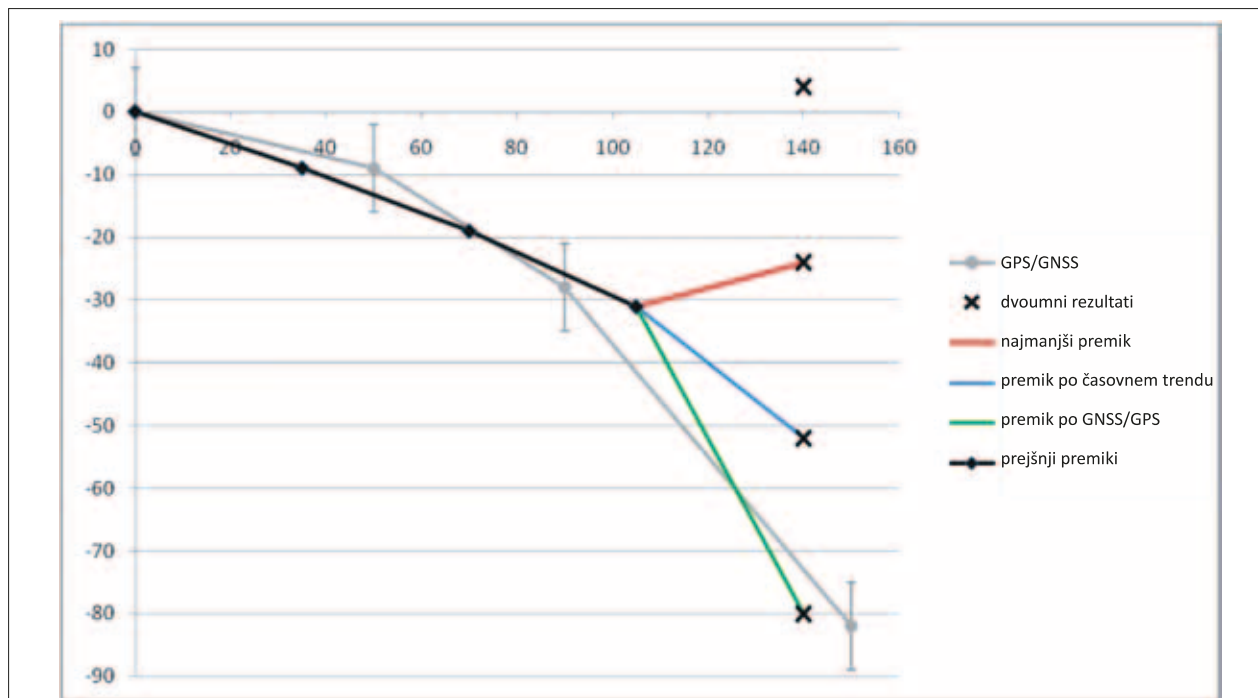
ter hitrosti premikov zaradi potovanja tektonskih plošč. Podrobnejši postopek obdelave podatkov GNSS/GPS je opisan v Komac in sod. (2012).

Združitev podatkov InSAR in GPS/GNSS

Ker je bil glavni cilj našega projekta združitev podatkov InSAR in GPS/GNSS, je konzorcij razvil enoto I2GPS, ki omogoča skupno zapisovanje obeh tipov podatkov (slika 3). Potencialne prednosti združenih podatkov so podajanje premikov v treh razsežnostih v mednarodnem absolutnem koordinatnem sistemu ITRF2008/IGSO8, odstranjevanje atmosferskih napak podatkov InSAR s pomočjo GPS-zenitnih zakasnitev (angl. *GPS Zenith Delays*) in reševanje nejasnosti premikov InSAR (z vidika premikov, večjih od polovice valovne dolžine radarskega signala) v daljšem časovnem obdobju (slika 2).

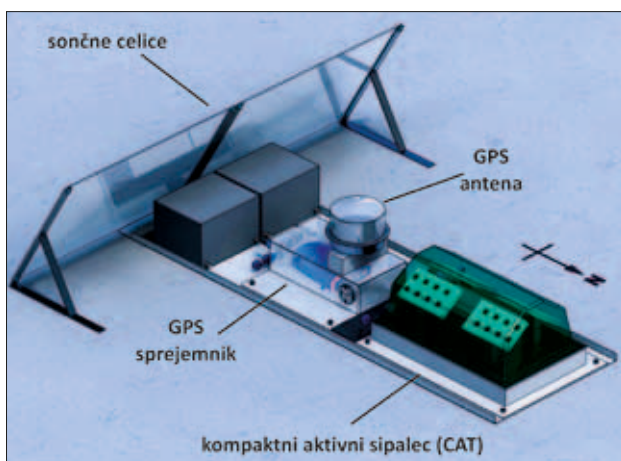
Rezultati meritev in razprava

Izmerjene premike smo primerjali z glavno referenčno točko Ref2, ki v izračunih velja za razmeroma stabilno (čeprav z absolutnega vidika točka ni stabilna). Primerjava združenih podatkov je bila možna le za enote I2GPS, primerjali pa smo tudi podatke premikov CAT-ov (slika 4), pri čemer smo premike v smeri potovanja



Slika 2: Prikaz teoretične meritve deformacije s CAT-om (črna črta), pri čemer križci prikazujejo zadnje meritve (v modulu 2π). Možni rezultati premikov za dvoumne rešitve (križci) so a) minimalna deformacija glede na zadnje meritve (rdeča črta), b) sledenje trendu preteklih premikanj (modra črta) ali c) izbira rezultata, najbližjega GPS/GNSS-meritvam (zelena črta).

Figure 2: Display of theoretical deformation measurements with CAT (black line), the crosses showing the latest measurements (in the 2π model). Possible movement results for ambiguous solutions (crosses) are a) minimal deformations with regard to the last measurements (red line); b) following the trend of past movements (blue line); or c) results closest to the GPS/GNSS measurements (green line).

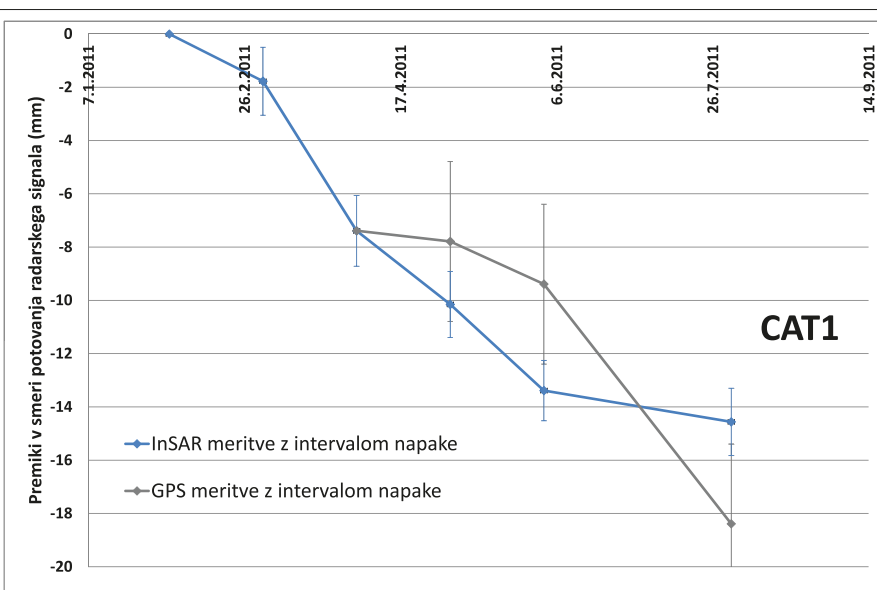


Slika 3: Enota I2GPS, ki omogoča skupno (koregistrirano) zapisovanje podatkov InSAR in GPS/GNSS

Figure 3: The I2GPS unit which enables collective (co-registered) recording of InSAR and GPS/GNSS data.

radarskega signala (Δ LOS) projicirali na padnico terena, ki predstavlja največji padec pobočja in vzdolž katere smo predvideli drsenje plaz. Spodnja preglednica (preglednica 1) podaja končne vrednosti premikov posameznih točk opazovanj v treh razsežnostih.

Točke CAT1–CAT4 se premikajo približno proti zahodu, kar sovпада z usmerjenostjo (ekspozicijo) pobočij. Smeri premikov točk so pričakovane za vse, razen za točko CAT5, kjer je interpretirana smer horizontalnega premika v popolnem nasprotju s pričakovanimi premiki vzdolž Savskega preloma. Ta anomalija je verjetno posledica večkilometrskе oddaljenosti CAT5 od referenčne točke Ref2. Premiki na točki CAT3, ki leži na plazu, kažejo dviganje točke, kar bi si lahko razlagali le z dejstvom, da gre v tistem delu plaz za zelo kompleksno plazenje po krožni drsini in ne zgolj za planarno drsenje. Zaradi dvoumnosti rezultatov premikanj CAT5 tudi ni smiselno enakovredno obravnavati vertikalnih premikov za taisti CAT. Grafično so premiki prikazani na sliki 5.

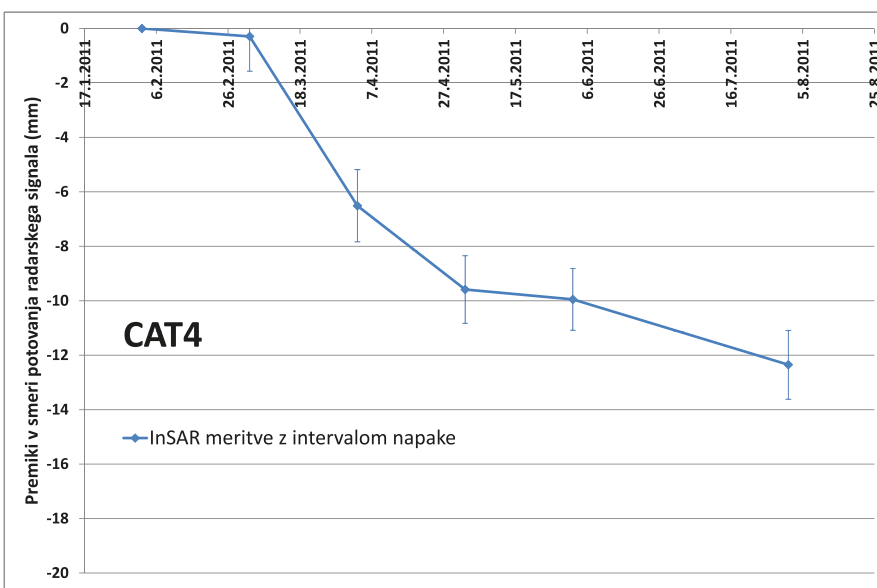


Slika 4:

Primer prikaza premikov v smeri potovanja radarskega signala za merilni mesti CAT1 (a) in CAT4 (b). Os x prikazuje časovno sosledje meritev, os y pa premike v milimetrih na merilnem mestu glede na referenčno točko Ref2. Poleg vrednosti meritev so dani tudi intervali napake meritev.

Figure 4:

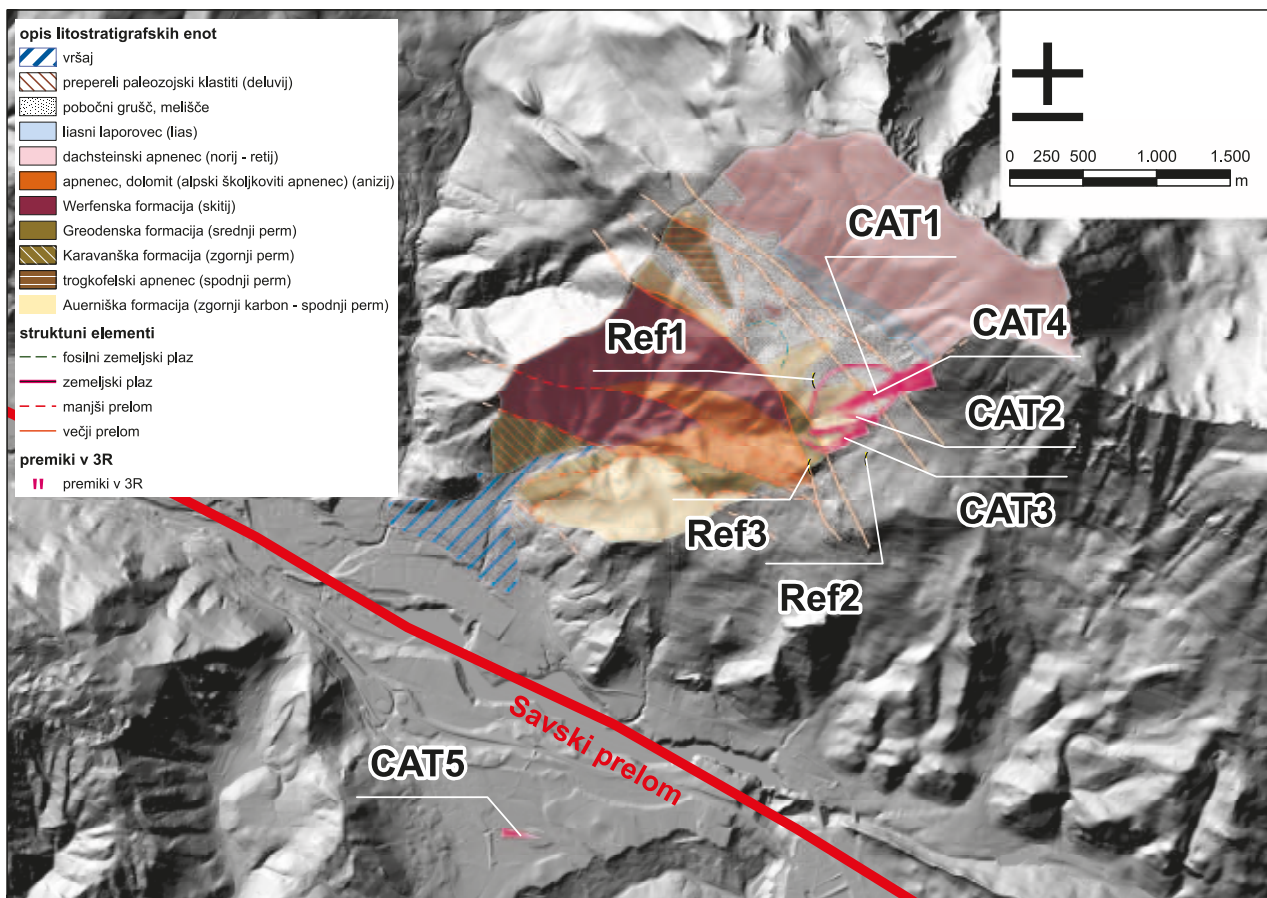
Example of movements in the direction of radar signal travel for CAT1 (a) and CAT4 (b) monitoring sites. The x-axis shows the time sequence of measurements, while the y-axis shows movements in millimetres at the monitoring site in relation to the Ref2 reference point. In addition to measurement values, measurement error intervals are also given.



Oznaka enote	Premiki v vertikalni smeri (mm/leto) ($\Delta z = \Delta \text{LOS} \times \cos 28,8^\circ$)	Premik v 3R (mm/leto)	Azimut premika (°)
CAT1	-25,54	66,91 (I2GPS)	249
CAT2	-8,3	~12,6 (CAT)	~282
CAT3	3,02 (dviganje)	14,64 (I2GPS)	245
CAT4	-21,66	~32,8 (CAT)	~240
CAT5	4,99 (dviganje)	9,83 (I2GPS)	98

Preglednica 1: Vertikalni premiki (premiki v vertikalni smeri) so bili izračunani iz premikov v smeri signala (LOS), celotni premiki v prostoru (premiki v 3R) podajajo dolžino skupnega vektorja premika, azimut premika podaja azimut smeri vektorja premikanja za posamezno točko. Vse vrednosti predstavljajo opazovane premike za obdobje enega leta in so relativne glede na lokacijo Ref2 (slika 2). V drugem stolpcu so bili 3R-premiki merilnih enot določeni na podlagi združitve podatkov InSAR in GPS/GNSS, premiki CAT-ov pa so bili izračunani na podlagi predpostavke, da se plazeča masa premika vzdolž največjega padca pobočja.

Table 1: Vertical movements (movements in the vertical direction) were calculated from movements in the direction of the signal (LOS); total movements in space (movements in a 3D space) give the total length of the displacement vector, while the "azimuth movement" gives the azimuth direction of the displacement vector for each point. All values represent movements observed in the period of one year and are relative to the Ref2 location (Figure 2). In the second column, 3D movements of measurement units were determined by integrating the InSAR and GPS/GNSS data, while CAT movements were calculated on the assumption that the mass moves along the largest drop in the slope.



Slika 5: Smeri in velikosti premikov v 3R na opazovalnih točkah (vijolične puščice). V podlagi je prikazana podrobna geološka karta ožjega območja opazovanja.

Figure 5: Direction and size of movements in a three-dimensional space at the observation points (purple arrows). The cartographic base shows a detailed geological map of the area of observation.

Premiki, ki smo jim na podlagi padca terena (in ne izmerjenih premikov) določili vektor premikanja v vseh treh razsežnostih, pokažejo, da CAT1, CAT2 in CAT4 nakužejo drsenje navzdol. Premiki na točki CAT1 kažejo na premike, velike 67 mm/leto, 33 mm/leto na točki

CAT4 in 13 mm/leto na točki CAT2. Upoštevajoč napačno meritev, ki je bila za InSAR podatke ocenjena na okoli $\pm 1,2$ mm/leto v smeri signala ter za GPS podatke $\pm 1,6$ mm/leto za premike v smeri severa in $\pm 2,25$ mm/leto za premike v smeri vzhoda, lahko potr-

dimu premike plazu na Potoški planini in da so največji blizu 7 cm na leto. Največja skupna napaka meritev premikov v prostoru znaša ± 3 mm/leto, torej 25 odstotkov pri najmanjših premikih in skoraj 5 odstotkov pri največjih premikih. Ta ocena velja za premike v obdobju od januarja do avgusta 2011, ko je bila povprečna mesečna količina padavin pod večletnim povprečjem [splet 1].

Sklepne misli

Na območju Koroške Bele oziroma zemeljskega plazu na Potoški planini nad tem naseljem smo preskusili prototip enote, s katero je mogoče meriti premike v treh razsežnostih. Hkrati z razvojem prototipa smo opazovali premike na plazu na Potoški planini. Ugotovili smo, da se gmota plazu premika s hitrostjo med 12 in 67 mm/leto z možnostjo napake ± 3 mm/leto. Predhodne raziskave terena so pokazale, da so v preteklosti že nastali štirje drobni tokovi, ki so prenesli veliko materiala s plazečega se območja na Potoški planini v dolino. Plaz je še vedno potencialno izvorno območje drobnega toka, ki bi lahko ogrozil spodaj ležeče naselje Koroška Bela. Preiskave v smeri boljšega razumevanja pojava in določitve morebitne nevarnosti za lokalno prebivalstvo potekajo naprej.

Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo Evropski Global Navigation Satellite System Agenciji za sofinanciranje projekta I2GPS – *Integrated Interferometry and GNSS for Precision Survey* v 7. okvirnem programu EU: FP7-GALILEO-2008-GSA-1 Collaborative project 7.4.1 – Exploiting the full potential.

Viri in literatura

1. Jemec Auflič, M., Čarman, M., Komac, M., 2011. Assessing of spatio-temporal factors influencing landslides using PSInSAR data. V: Catani, F. (ur.). Abstract book: The Second World Landslide Forum: Putting Science into Practice: Under the High Patronage of the President of the Italian Republic: FAO Headquarters, Roma, 3–9 October 2011. Rome: ISPRRA, str. 226.
2. Jemec Auflič, M., Komac, M., 2010. Properties of PSInSAR measurements in the region of the Cerkljansko and Škofja Loka hills. V: Košir, A. (ur.), Horvat, A. (ur.), Zupan Hajna, N. (ur.), Otoničar, B. (ur.). 3. Slovenski geološki kongres, Bovec, 16.–18. september 2010. Povzetki in ekskurzije. Postojna: Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa; Ljubljana: Paleontološki inštitut Ivana Rakovca, str. 24.
3. Jemec Auflič, M., Komac, M., 2011. Detecting landslides with PSInSAR method. V: Trauner, L. (ur.), Škrabl, S. (ur.), Žlender, B. (ur.), Dolinar, B. (ur.), Macuh, B. (ur.), Vrecl-Kojc, H. (ur.). 3rd YELGIP International Workshop on Landslides, 18 January 2011, Maribor, Slovenia. 3rd YELGIP International Workshop on Landslides, 18 January 2011, Maribor, Slovenia. Maribor: Faculty of Civil Engineering, 33–38.
4. Jež, J., Mikoš, M., Trajanova, M., Kumelj, Š., Bavec, M., 2008. Vršaj Koroška Bela – Rezultat katastrofičnih pobočnih dogodkov. *Geologija*. 51/2: 219–227.
5. Komac, M., 2009. Geološko pogojene nevarnosti = Geohazard. V: Pleničar, M. (ur.), Ogorelec, B. (ur.), Novak, M. (ur.), Bavec, M. *Geologija Slovenije*. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 589–596.
6. Komac, M., Bavec, M., 2007a. Application of PSInSAR for observing the vertical component of the recent surface displacement in Julian Alps. *Geologija*. 50/1: 97–110.
7. Komac, M., Bavec, M., 2007b. Detection of mass movements in Alpine Slovenia using PSInSAR data. V: 32nd International Symposium on Remote Sensing of Environment, San José, 25-29 June 2007. Sustainable development through global earth observations. San José: [Org. odb.], 5 str.
8. Komac, M., Bavec, M., 2007c. PSInSAR data analysis - an insight into active tectonics and mass movements in west Slovenia. V: Kortnik, J. (ur.), Bajželj, U. (ur.), Grilc, V. (ur.), Hrast, K. (ur.), Ivanc, M. (ur.), Jelen, B. (ur.), Leskošek, M. (ur.), Leskovar, J. (ur.), Podlipnik, B. (ur.), Vovk, M. (ur.). International Conference Waste Management, Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development - ICWMEGGSD'07 - GzO'07, August 28-30, 2007, Ljubljana, Slovenia. Minimizacija količin odpadkov in trajnostni razvoj: book of abstracts = Zbornik povzetkov Mednarodne konference Gospodarjenje z odpadki, okoljska geotehnologija in trajnostni razvoj - ICWMEGGSD'07 in 8. strokovnega posvetovanja z mednarodno udeležbo Gospodarjenje z odpadki - GzO'07. Ljubljana: Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Geotechnology and Mining; = Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo, str. 5.
9. Komac, M., Bavec, M., Sušnik, A., 2008. Analysis of the surface deformation based on PSInSAR method in the area of Ljubljana Marsh in the frame of the Terrafirma campaign: final report. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 40 str.
10. Komac, M., Kumelj, Š., Ribičič, M., 2009. Model dovzetnosti za pojavljanje drobnih tokov v Sloveniji v merilu 1 : 250.000. *Geologija* 52/1, 87–104.
11. Komac, M., Milanič, B., Mahapatra, P., Hanssen, R., Van der Marel, H., Holley, R., Fromberg, A., 2012. I2GPS – a new approach to 3D surface displacement monitoring. V: The 10th Anniversary Meeting [of] the International Consortium on Landslides (ICL), 17-20 January 2012, Kyoto, Japan : ICL strategic planning for 2012-2021, 119–133.
12. Mahapatra, P., Hanssen, R., Van der Marel, H., Chang, L., Dheenathayalan, P., Delgado Blasco, J-M., Esteves Martins, J., Holley, R., Komac, M., Prior, C.,

- Fromberg, A., 2011. A comparative study of corner reflectors, compact active transponders and I2GPS for monitoring deformation in areas with low spatial density of persistent scatterers: the Delft field experiment. In: Proceedings of FRINGE2011, 8th International Workshop on "Advances in the Science and Applications of SAR Interferometry", 19–23 September 2011, Frascati, Italy (ESA, September 2011). European Space Agency, pp. 106–107.
13. Mikoš, M., Sodnik, J., Podobnikar, T., Fidej, G., Bavec, M., Celarc, B., Jež, J., Rak, G., Papež, J., 2012. PARAMount - European research project on transport infrastructure safety in the Alps. V: The 10th Anniversary Meeting [of] the International Consortium on Landslides (ICL), 17-20 January 2012, Kyoto, Japan : ICL strategic planning for 2012-2021, 111–118.
14. Milanič, B., Vrabec, M., Oštir, K., Komac, M., Bavec, M., 2009. Ocena recentnih tektonskih premikov v severozahodni Sloveniji na podlagi primerjave PSINSAR podatkov in nivelmanske izmere. V: Horvat, A. (ur.). 19. posvetovanje slovenskih geologov = 19th Meeting of Slovenian Geologists, Ljubljana, marec 2009. Razprave, poročila, (Geološki zbornik, 20). Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 102–106.
15. Oštir, K., Komac, M., 2007. PSInSAR and DInSAR methodology comparison and their applicability in the field of surface deformations - a case of NW Slovenia = Primerjava uporabe metodologije PSInSAR in DInSAR za opazovanje premikov površja – primer SZ dela Slovenije. Geologija 50/1, 77–96.
16. Splet 1 - Državna meteorološka služba - Podatkovni portal meteo.si, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija Republike Slovenije za okolje. (<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/>, 15. 5. 2012).
17. Žibret, G., Komac, M., Jemec, M., (in print). Assessing the relation between PSInSAR displacements (related to soil creep) on unstable slopes and rainfall intensities in western Slovenia.