

UPORABA SATELITSKE INTERFEROMETRIJE INSAR ZA SPREMLJAVO PREMICOV KOMPLEKSNEGA PLAZOVITEGA OBMOČJA NA REBRNICAH VZDOLŽ HITRE CESTE RAZDRTO-VIPAVAL

dr. Timotej Verbovšek

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo
timotej.verbovsek@ntf.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1908-5759>

Galena Debevec Jordanova

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo; Univerza v Trstu, Oddelek za matematiko, informatiko in geoznanosti
galena.debevecjordanova@units.it, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0499-8395>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610508885_06

UDK: 551.435.62(497.47)

528.8(497.47)

IZVLEČEK

Uporaba satelitske interferometrije InSAR za spremljavo premikov kompleksnega plazovitega območja na Rebrnicah vzdolž hitre ceste Razdrto-Vipava

Hitra cesta H4 Razdrto-Vipava poteka po problematičnem ozemlju, ki je podvržen različnim tipom plazjenja. Širše območje Rebrnic je sestavljeno iz mezozojskih karbonatov, ki so narinjeni preko paleocenskega in eocenskega fliša, posledica te zgradbe pa so velike debeline gruščev in breč, ki plazijo, poleg tega pa je problematična tudi preperina fliša. Hitra cesta seka več plazov, katerih premike smo preučili z metodo satelitske interferometrije. Rezultati tako originalnih kalibriranih podatkov kot tudi interpoliranih podatkov vzdolž hitre ceste kažejo na zelo dobro povezavo med območji plazov in premiki, kar dokazuje aktivnost plazov, kljub njihovi različni geološki sestavi. Uporabnost podatkov spuščajoče se orbite je zaradi usmerjenosti pobočij proti JZ večja kot za dvigajočo se orbito.

KLJUČNE BESEDE

plazovi, InSAR, hitra cesta H4, Razdrto, Vipava, Slovenija

ABSTRACT

Use of satellite interferometry InSAR for monitoring of movements of complex landslide-prone area of Rebrnice along the Razdrto-Vipava highway, SW Slovenia

The H4 Razdrto-Vipava highway runs through a problematic region prone to various types of mass movements. The Rebrnice area consists of Mesozoic carbonates which are thrust over younger flysch. The result of this structure is large thicknesses of scree and breccias subjected to landslides and creep, and the weathered flysch also poses a problem. The highway crosses several landslides whose movements were studied using satellite interferometry. The results of the original calibrated and interpolated data along the highway show a very good correlation between the landslide areas and the displacements, which confirms the activity of the landslides. The suitability of the data from the descending orbit is greater than that of the ascending orbit due to the SW orientation of the slopes.

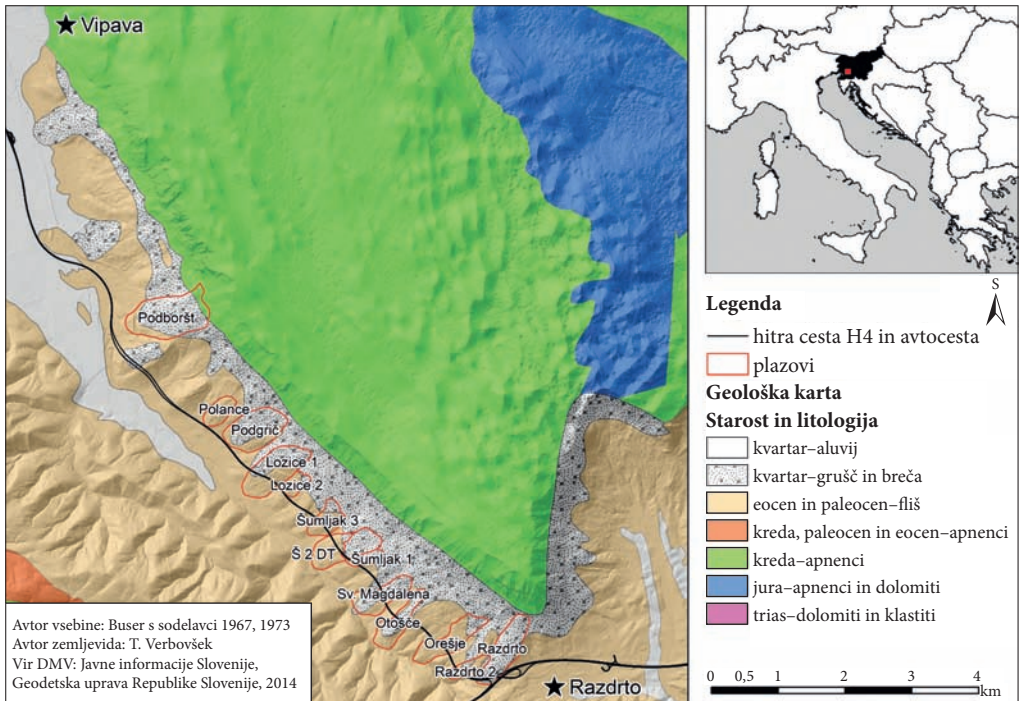
KEY WORDS

landslides, InSAR, highway H4, Razdrto, Vipava, Slovenia

1 Uvod

Hitra cesta H4 Razdrto-Vipava, ki poteka skozi območje Rebrnic v Vipavski dolini, je speljana po ozemlju, ki je bil oz. je še podvržen različnim tipom plazenja – fosilnih kamninskim plazovom, padanju skal in kamenja, drobirskim tokovom in zemeljskim plazovom. Ponekod je prihajalo tudi do več različnih tipov plazenja na istih območjih (npr. drobirskega toka in kamninskega plazua, v vrhnjem delu pa še danes na te nanose pada nevezan in posledično labilen karbonatni grušč) in njihovim kombinacijam, večji del območja pa je izpostavljen tudi lezenju (Jež 2007; Zorn in Komac 2008; Popit in Košir 2010; Kočevar 2011; Ribičič 2014; Popit 2016; Jemec Auflič s sodelavci 2017). Razlog za plazenje je kompleksna geološka zgradba ozemlja, ki je bila preučevana (Jež 2007; Popit in Košir 2010;) že pred izgradnjo same hitre ceste (ta je bila v gradnji med letoma 2002 in 2009). Preučevano območje je na območju zgornje Vipavske doline, kjer so triasni, jurski in kredni karbonati (predvsem apnenici) narinjeni preko paleocenskega in eocenskega fliša, ki je zastopan z menjavanjem peščenjakov in laporovcev (Habič 1968; Janež s sodelavci 1997; Buser s sodelavci 1967; 1973). Ozemlje tektonsko pripada Zunanjim Dinaridom (Placer 1981; 2008), tektonske faze pa so povzročile intenzivno razpokanje karbonatov. Zaradi narinjanja je relief morfološko zelo razgiban in razpokani karbonati tvorijo strma pobočja, iz katerih nastajajo aktivna karbonatna melišča, ki se kot grušč odlagajo na preperel fliš. Debelina gruščev se giblje od nekaj metrov do skoraj 50 m, in ti sedimenti predstavljajo največjo težavo glede plazenja zaradi svoje precejšnje debeline, poleg tega pa plazi oz. leze tudi preperina fliša (Mikoš, Petkovšek in Majes 2009; Petkovšek s sodelavci 2013), ki je na tem območju lahko debela tudi do 4 m (Ribičič 2014).

Preko teh sedimentov in preperine je zgrajena državna hitra cesta H4, ki na Rebrnicah prečka več kot 10 večjih plazov (Popit 2016) s površinami od 10 do 65 ha, ki si sledijo od Razdrtega proti Vipavi



Slika 1: Splošna geološka zgradba ozemlja, poenostavljeno po Osnovni geološki karti 1:100.000, lista Gorica (zahodni del karte) in Postojna (vzhodni del karte) (Buser s sodelavci 1967; 1973).

v naslednjem vrstnem redu: Razdrto, Orešje, Otošče, Sv. Magdalena, Šumljak, Lozice, Podgrič, Polance in Podboršt. Nekateri od teh plazov so interno razdeljeni tudi na manjše plazove, npr. Šumljak 1, 2 in 3 ter Lozice 1 in 2 (Popit 2016). Plazove na območju Rebrnic so preučevali številni avtorji, tako v splošnih pregledih problematike plazenja na Rebrnicah (Jež, Popit in Maček 2017; Placer 2007; Ribičič 2014; Popit, Kokalj in Verbovšek 2011; Popit s sodelavci 2014a; 2014b; 2016; 2022; Jemec Auflič s sodelavci 2017; Verbovšek in Popit 2018; Verbovšek, Popit in Kokalj 2019; Debevec Jordanova in Verbovšek 2023) in tudi specifično za posamezne plazove, npr. za plaz Sv. Magdalena (Popit in Verbovšek 2013), plaz Lozice (Novak, Verbovšek in Popit 2017) in plaz Šumljak (Popit 2017). Nekaj od slednjih pregledov del je objavljenih kot diplomska dela (Ulamec 2009; Žakelj 2009).

2 Metode dela

Za analizo premikov površja smo uporabili podatke satelitov Sentinel 1-A in 1-B, ki sta bila lansirana v sklopu programa Evropske unije Copernicus, namenjenega visoko kakovostnemu opazovanju našega planeta. Med storitvami tega programa je na voljo tudi javno dostopni portal European Ground Motion Service EGMS (Medmrežje 1; Crosetto s sodelavci 2021; Costantini s sodelavci 2021), ki omogoča pregled in dostop do podatkov meritev satelitske interferometrije InSAR z omenjenima satelitoma (Ferretti, Prati in Rocca 2001; Oštir 2006; Ferretti 2014). Ti podatki so izredno uporabni pri spremljavi geoloških procesov, npr. erozije, tektonskih premikov, vulkanskih sprememb površja, pa tudi pri analizah poplav, antropogenih sprememb, npr. rudarjenja, posedanja površja zaradi črpanja podzemne vode oz. kateregakoli vplivnega dejavnika, ki povzroči spremembe samega površja. V zadnjem času se uporabljajo čedalje več tudi v Sloveniji za preučevanje plazov (Debevec Jordanova s sodelavci 2021; 2022; 2023; Jemec Auflič s sodelavci 2023).

Pri analizi smo uporabili kalibrirane točkovne podatke (angl. »Calibrated product«) dvigajoče se orbite (angl. *ascending*, v nadaljevanju ASC, kjer satelit meri med premikanjem od južnega pola proti severnemu) in spuščajoče se orbite (angl. *descending*, v nadaljevanju DSC, kjer satelit meri med premikanjem od severnega pola proti južnemu), ki so na voljo v prostorski mreži 5×20 m. Portal omogoča izvoz in pregled tudi preračunanih »Orto« podatkov (angl. »Ortho product«). Ti podatki za razliko od kalibriranih nudijo dodatne komponente premikov; premiki kalibriranih podatkov (ASC in DSC) so namreč izvorno merjeni v smeri potovanja satelita (LOS), torej pod določenim kotom na površje. Podatki »orto« pa so iz slednjih preračunani tako, da sta na voljo komponenta v vertikalni smeri pravokotno na površje (angl. U–D oz. up–down) ter komponenta v smeri vzhod–zahod. Oba sloja »orto« podatkov sta ob tem revzorčena na mrežo 100×100 m, da sovpadata z drugimi izdelki Copernicus (Capes in Passera 2023). Zaradi lažje interpretacije pomikov v navpični smeri so ti podatki precej bolj primerni za interpretacijo posedanja ozemlja, kot je npr. posedanje Ljubljanskega Barja (Verbovšek in Brenčič 2023), izvorni oz. kalibrirani podatki pa so bolj primerni za interpretacijo zaradi svoje večje prostorske ločljivosti in posledično večjega števila točk, ki jih lahko uporabimo pri interpretaciji. Premikov v smeri sever–jug (angl. N–S) pa večinoma ne moremo določiti, saj satelit potuje približno v tej smeri tako pri obeh orbitah (kot opisano zgoraj) in posledično podatkov v tej smeri snemanja ne more zajeti. Časovni razpon podatkov, ki smo ga uporabili, je od februarja 2015 do konca leta 2021, premiki pa so podani kot povprečje vseh premikov merjenih točk v tem obdobju in imajo posledično enoto mm/leto. Poleg omenjenih omejitev pri določitvi premikov le v smeri LOS je dodatna slabost InSAR metode tudi slaba uporabnost oz. celo neuporabnost na območjih z vodo ali vegetacijo, saj se mora radarski žarek odbiti od površine na Zemlji, da se vrne do satelita, ki odboj zazna. Zato je hitra cesta relativno dobro »pokrita« s točkovnimi podatki, medtem ko so okoliška pobočja skorajda brez podatkov zaradi velike poraščenosti. Ker je gostota interpoliranih »orto« podatkov precej majhna in ne zadošča za kvalitetno interpolacijo, smo uporabili le kalibrirane podatke dvigajoče in spuščajoče se orbite.

Ti točkovni podatki v 30 m pasu okoli linije hitre ceste so bili nato interpolirani z metodo krigiranja v nov podatkovni poligonski sloj. Ta razdalja je bila izbrana kot kompromis med najmanjšo razdaljo, pri kateri so točke v neposredni bližini hitre ceste še zajete v interpolacijo ter dejstva, da bo poligonski sloj okoli hitre ceste še viden na sliki, ter med razdaljo, pri kateri izvirne točke sipalcev ne bodo zajete predaleč od hitre ceste, tako da se bo interpretacija nanašala na ozemlje, relevantno na hitro cesto. Metoda krigiranja je bila izbrana v primerjavi z drugo metodo interpolacije IDW (metode interpolacije z inverzno razdaljo, angl. Bull's eye effect) – koncentrična območja enake vrednosti točk (Medmrežje 2). Sloja sta bila izdelana ločeno za dvigajočo (ASC) se in spuščajočo se (DSC) orbito. Sicer so izvorni podatki kalibriranih podatkov podani v prostorski mreži 5×20 m, toda gostota točk je ponekod precej večja kot samo ena točka v celici s to velikostjo. Razloga sta dva: prvi je ta, da so pri tej analizi vključeni podatki več preletov in je zato število točk večje, poleg tega pa pri močnejših radarskih odbojih prihaja do efekta »nadzorčenja« (angl. oversampling), da podatki ene celice lahko vplivajo tudi na sosednje in je tako na voljo več podatkov (natančnejše je to razloženo v tehničnem poročilu EGMS; Ferretti, Passera in Capes, 2023). Rezultati so prikazani ločeno za ti orbiti na slikah 2 in 3 za izvirne točkovne podatke ter na slikah 4 in 5 za interpolirane podatke. Interpolirana poligonska sloja sta bila v nadaljevanju uporabljena za izdelavo vzdolžnega prereza po trasi hitre ceste, kjer so zvezno prikazani premiki površja na horizontalni razdalji vzorčenih točk na približno 10 m. S tem sta bila narejena ločena prereza za ASC in DSC podatke (slika 6), ki sta s prekritjem karte plazov služila za interpretacijo premikov. Izhodišče interpoliranega prereza (točka 0) je na hitri cesti pri Vipavi in vrednosti stacionaže naraščajo proti Razdrtem.

3 Rezultati in razprava

Rezultati kažejo na precejšnje razlike v premikih vzdolž hitre ceste. Precej je »šuma« oz. hitro se spreminjajočih podatkov na kratkih razdaljah, ki jih je težko razložiti z geološko zgradbo ali antropogenimi vplivi, in te hitre spremembe nastanejo zaradi majhnih razlik med posameznimi točkami vzdolž hitre ceste, ki so interpolirane na kratke razdalje. Ne glede na to pa je očitno, da se največji premiki pojavljajo ravno na območjih plazov (sliki 2 in 3 ter 4 in 5).

Očitna je tudi razlika med podatki dvigajoče se (ASC) in spuščajoče se (DSC) orbite, ki so na prvi videz kontradiktorni (kjer se pojavlja pri eni orbiti premik proti satelitu, se pri drugi orbiti pojavi premik stran od satelita, seveda oboje v smeri LOS). To navidezno neujemanje lahko razložimo z geometrijo, saj rdeča barva (negativne vrednosti) na slikah 2 in 3 ter 4 in 5 predstavlja premik stran od satelita, ki pri dvigajoči se orbiti (ASC) pomeni premik navzdol ali proti vzhodu ali kombinacijo teh dveh premikov. Pri spuščajoči se orbiti (DSC) pa rdeča barva prav tako pomeni premik stran od satelita, ki pa tokrat pomeni premik navzdol ali proti zahodu (ali kombinacijo teh dveh premikov). Premik plazov je zaradi usmeritve pobočij pričakovano (in tudi na nekaterih mestih izmerjen) v smeri proti jugozahodu. Zato so podatki spuščajoče se orbite bolj primerni za analizo in interpretacijo, saj merijo premike v pričakovani smeri, medtem ko podatki dvigajoče se orbite merijo premike bolj pravokotno na pobočje, kjer ni nujno, da se premiki sploh opazijo - če je premik popolnoma pravokoten na linijo LOS, ga meritev dvigajoče se orbite sploh ne bo zaznala.

Pri dvigajoči se orbiti (sliki 3 in 5) so premiki na plazovih večinoma pozitivni (modra barva), kar torej kaže na premike ali navzgor (kar za plaz na pobočju ni logična razlaga) ali proti zahodu, kar dobro sovпада s pričakovanimi premiki plazov. Pri spuščajoči se orbiti (sliki 2 in 4) pa so premiki na območjih plazov negativni, torej navzdol ali proti zahodu, kar je oboje možno in pričakovano. Absolutne vrednosti premikov so tudi večje pri podatkih spuščajoče se orbite, kar je v skladu s prejšnjima ugotovitvama. Razpon barv na slikah 2 in 3 je prilagojen na $\pm 3,7$ mm/leto oz. na ± 4 mm/leto na slikah 4 in 5 tako, da je vidna večina premikov.

Premiki posameznih plazov so precej različni. Zanimivo je dejstvo, da so premiki večji proti vzhodu, torej vzdolž hitre ceste od Vipave proti Razdrtem. Na dnu doline pri Vipavi in bližnji okolici, kjer

pričakujemo stabilno ozemlje brez kakršnihkoli premikov, so vertikalni premiki velikostnega reda do $-1,5$ mm/leto (torej gre v splošnem za posedanje), kar je posledica regionalnih geoloških oz. tektonskih razmer na širšem območju in ni vezano na plazenje oz. premike po pobočjih. Za podatke spuščajoče se orbite, ki je torej bolj relevantna za interpretacijo premikov, v nadaljevanju podajamo vrednosti premikov, ki se pojavljajo znotraj posameznih plazov. Naj opozorimo, da so te vrednosti približne, saj so interpolirane, in pri tem se zabrišejo največje in najmanjše vrednosti, poleg tega pa interpolacija zaradi različne gostote točk tudi ni povsem enake »kvalitete«. Natančnost meritev je ustrezna, saj so premiki večinoma večji, kot je sama napaka meritev; ta je boljša kot 1 mm/leto (Capes in Passera 2023).

Premiki na plazu Razdrto so najvišji (preko 13 mm/leto, slike 2 do 6), ki jih lahko razložimo predvsem s sestavo plazu – gre za ogromne količine (okoli 12 do 15 milijonov m^3) karbonatnega grušča, ki je ponekod sprjet v breče, povprečna globina grušča je 11 m, največja debelina pa celo preko 50 m (Žakelj 2009; Ribičič 2014). Grušč in breča drsita po flišu, kjer ima pomembno vlogo tudi podzemna voda, ki se hitro pretaka skozi grušč in se zadržuje na stiku z bistveno manj prepustnim flišem, ter tako teče po drsni ploskvi. Izrazit je odlomni robu plazu, kjer je vidna aktivna ogromna razpoka širine 20 do 30 m, ki bi bila globoka po oceni več kot 20 m, če ne bi bila zapolnjena s kosi padajočega apnenca (Ribičič 2014). Plaz je očitno zelo aktiven. Po novejši klasifikaciji Hungra in sod. (Hungar, Leroueil in Picarelli 2014) ga uvrščamo med kamninske plazove. Podobne premike ima tudi plaz Orešje (Popit 2016), skoraj 10 mm/leto. Večje premike, preko 6 mm/leto, opazimo tudi na plazu Šumljak (oz. na delu plazu Šumljak 2), ki je podobno sestavljen iz menjavanja karbonatnega grušča in karbonatne breče, čeprav ima ta plaz tudi bolj kompleksno sestavo in zgodovino nastanka (Popit 2017). Omembe vredni in jasno izraženi premiki so tudi na plazovih Šumljak 3, Sv. Magdalena in delno tudi Polance, Podgrič ter Lozice, manjši pa so premiki na plazovih Podboršt in Otošče. Razlogov je več, nekateri plazovi so bili prepoznani kot fosilni in so danes delno reaktivirani, poleg tega pa nekatere plazove sestavljajo tudi sedimenti drobirskih tokov oz. blatno-drobirskih tokov, npr. Sv. Magdalena in Otošče (slednji je nastal z dvema sedimentacijskima dogodkoma), delno tudi plazovi Šumljak (Popit 2016) ter Lozice in Podgrič (Popit in Košir 2010), na slikah 2 do 5 označeno z oznako DT za drobirski tok) in so ti plazovi zato precej bolj kompleksne sestave.

5 Sklep

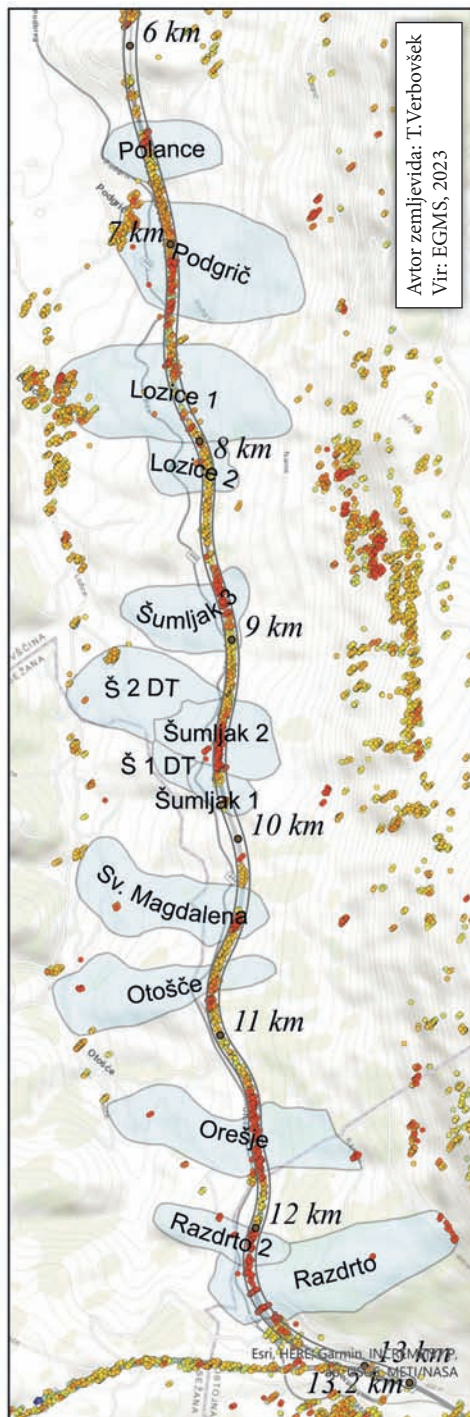
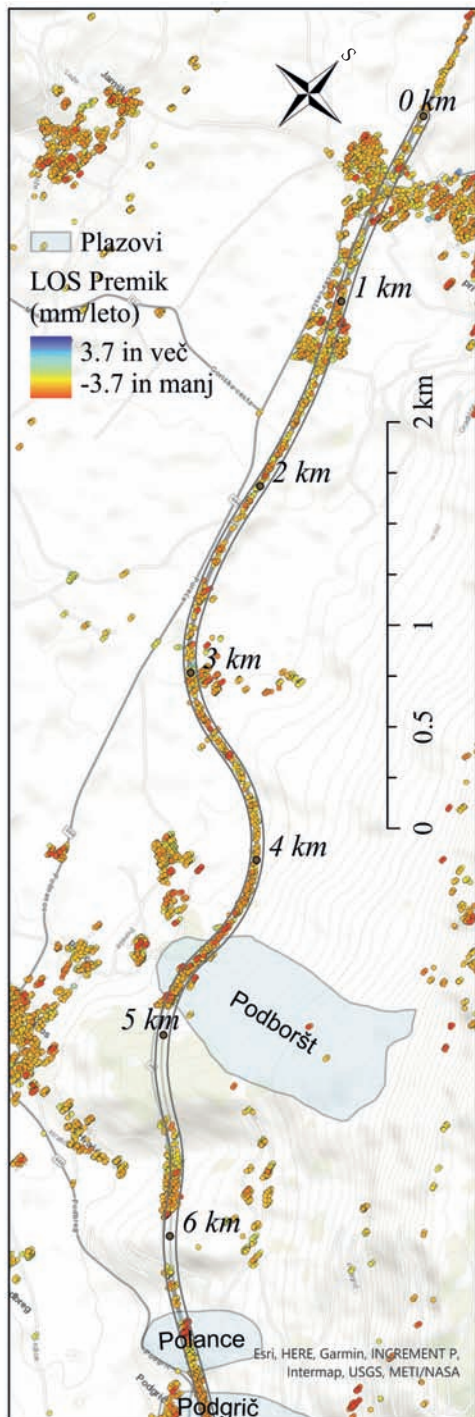
Metoda satelitske interferometrije InSAR je na podlagi prikazanih rezultatov torej zelo uporabna pri študiji premikov plazov, saj kvalitetno in natančno pokaže premike milimetrskih velikosti v daljšem časovnem obdobju. Nekajdnevni časovni interval meritev je zadovoljiv, sploh za bolj počasne plazove, ki se pojavljajo v Vipavski dolini. Zaradi usmerjenosti pobočij proti jugozahodu so za interpretacijo bolj primerni podatki spuščajoče se orbite, saj bolje pokažejo premike v smeri plazenja. Interpolacija premikov z metodo kriganja v pasu vzdolž hitre ceste se je pokazala kot primerna metoda za interpretacijo, saj omogoča zvezen prikaz premikov tudi na območjih, kjer je originalnih podatkov bistveno manj kot drugod ali jih ni. Največji premiki, tudi preko 13 mm/leto v smeri LOS za spuščajočo se orbito, so bili zabeleženi na plazu Razdrto, premiki pa padajo proti zahodu oz. vzdolž hitre ceste proti Vipavi. Večji premiki so na plazovih, ki so sestavljeni iz grušča in karbonatnih breč, ki se lahko premikajo kot celota (grušč) ali kot posamezni bloki (breče). Interpretacijo otežuje dejstvo, da je večina plazov kompleksnih ter reaktiviranih (danes so potrjeni procesom lezenja) in niso nastali samo v enem časovnem dogodku, temveč v več, in tudi njihova sestava je izredno kompleksna ter natančna analiza vsakega

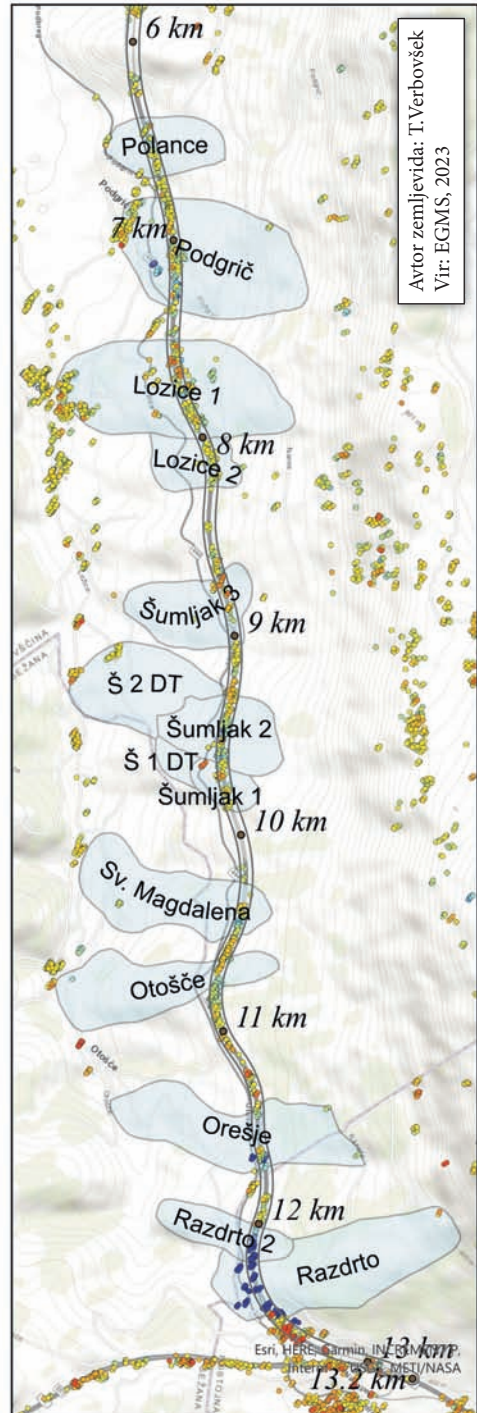
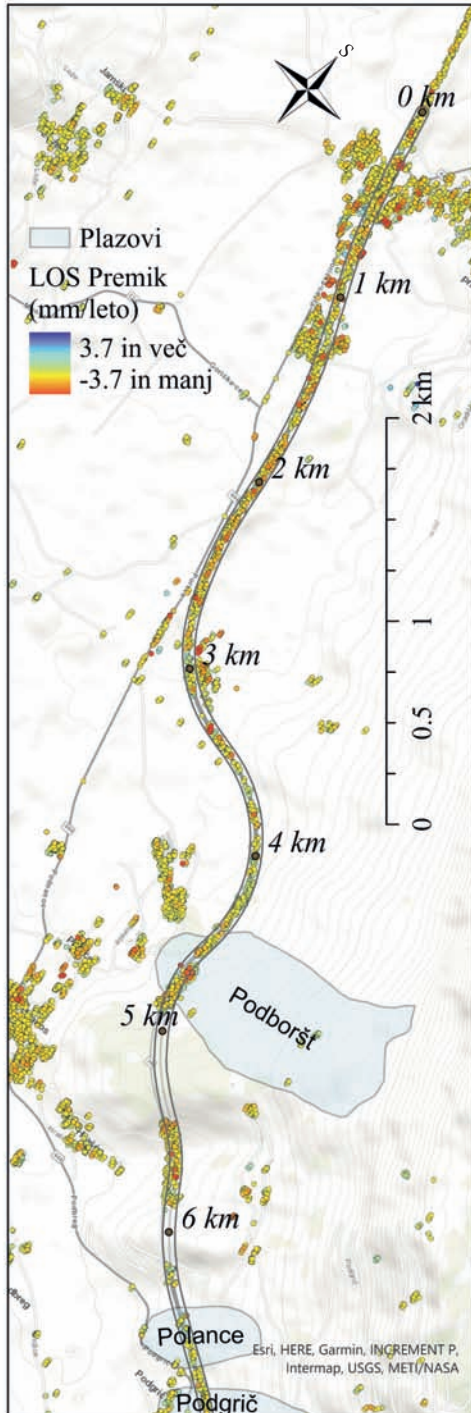
Slika 2: Premiki spuščajoče se (DSC) orbite z izvornimi točkovnimi podatki. ► (str. 76)

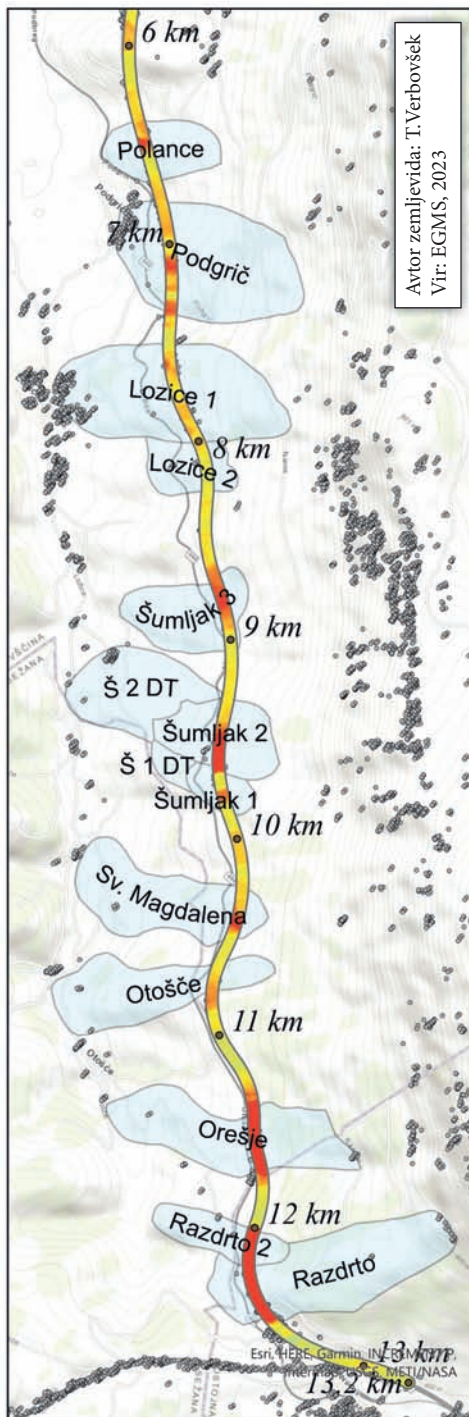
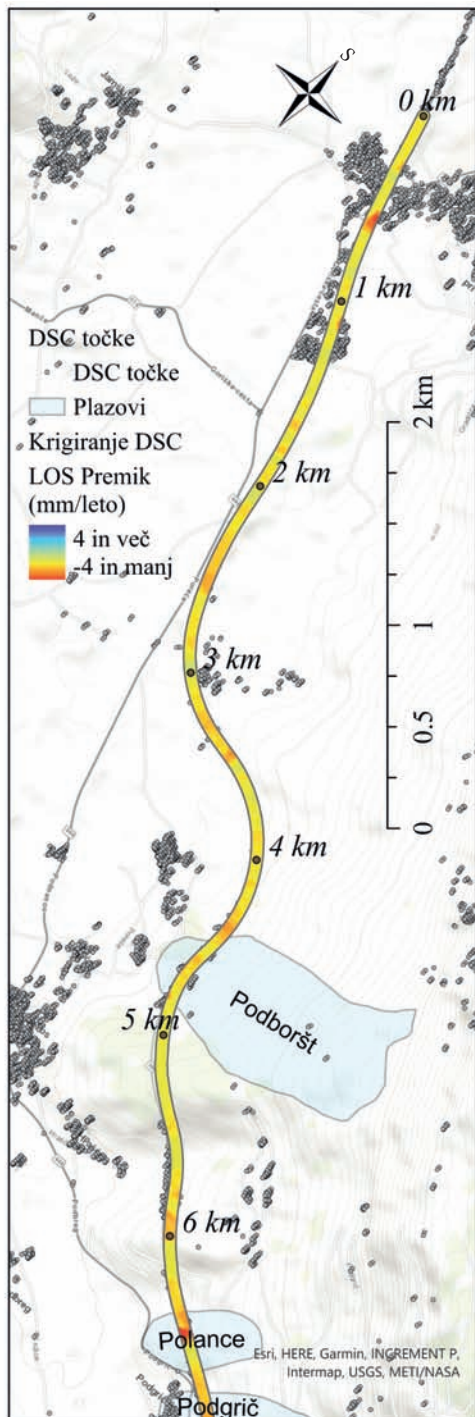
Slika 3: Premiki dvigajoče se (ASC) orbite z izvornimi točkovnimi podatki. ► (str. 77)

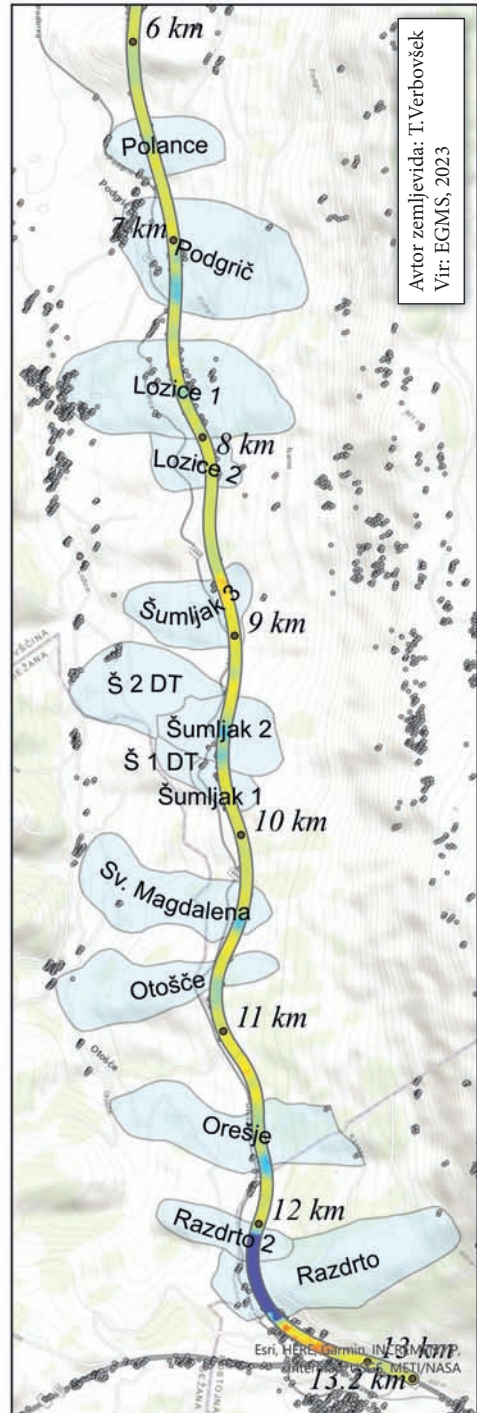
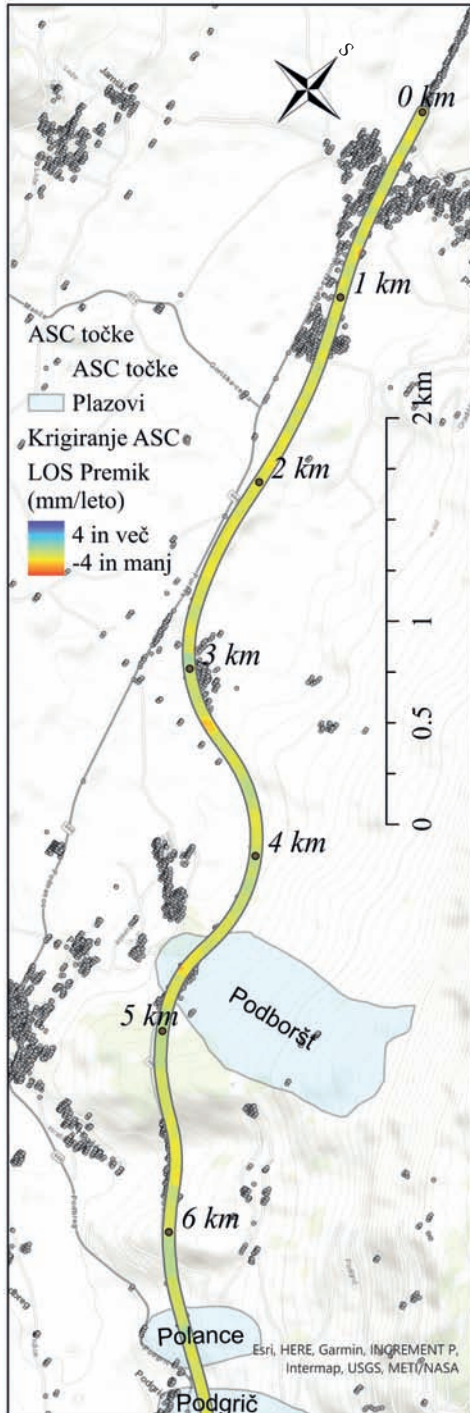
Slika 4: Premiki spuščajoče se (DSC) orbite z interpoliranimi vrednostmi vzdolž hitre ceste. ► (str. 78)

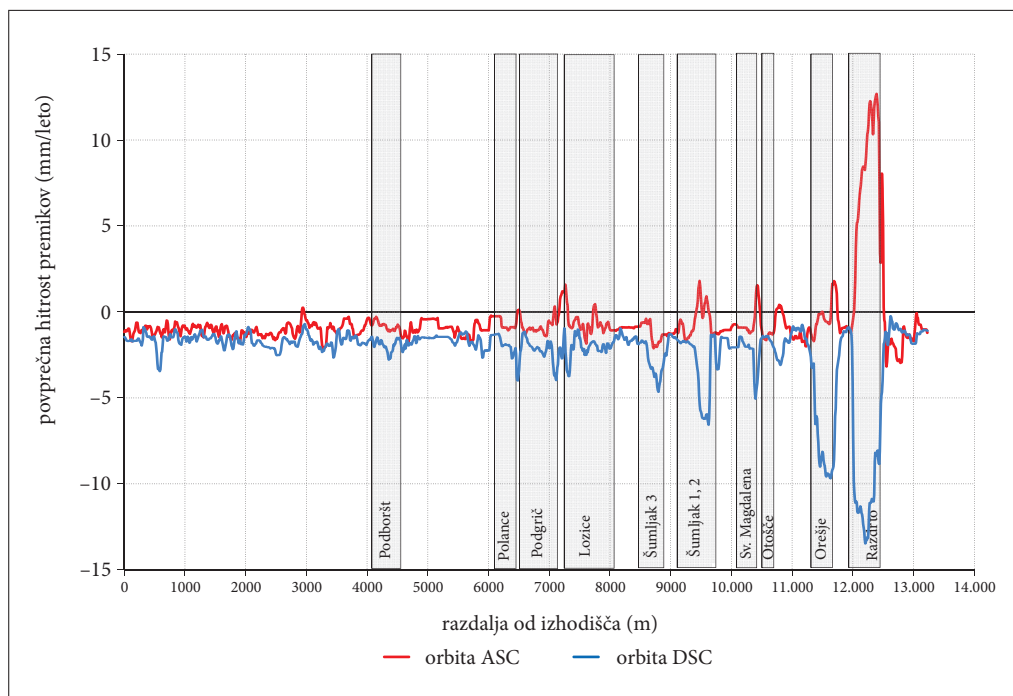
Slika 5: Premiki dvigajoče se (ASC) orbite z interpoliranimi vrednostmi vzdolž hitre ceste. ► (str. 79)











Slika 6: Interpolirani premiki za dvigajočo se (ASC) in spuščajočo se (DSC) orbito z označenimi območji plazov na Rebrnicah.

posebej presega obseg tega prispevka. Trenutne aktivnosti so usmerjene v primerjavo rezultatov satelitske interferometrije s terenskimi geotehničnimi meritvami, predvsem inklinometriških meritev v vrtinah, GNSS premikov ter analiz podzemne vode, ki ima prav tako pričakovan vpliv na procese plazanja. Poleg tega nameravamo natančneje preučiti zgradbo posameznih plazov in s tem izboljšati interpretacijo premikov.

6 Viri in literatura

- Buser, S., Cajhen, J., Ferjančič, L., Gadžič, S., Gospodarič, R., Hinterlechner-Ravnik, A., Mioč, P., Orehek, S., Pavlovec, R., Pavlovič, B., Pleničar, M., Pohar, V., Pohar, J., Prestor, M., Šribar, L. 1973: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Gorica. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Buser, S., Ferjančič, L., Grad, K., Turnšek, D., Mencej, Z., Orehek, A., Pavlovec, R., Pleničar, M., Prestor, M., Rijavec, J., Šribar, L. 1967: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Postojna. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Capes, R., Passera, E. 2023: End-to-end implementation and operation of the European Ground Motion Service (EGMS). Product Description and Format Specification. Consortium ORIGINAL (OpeRational Groundmotion INsar ALLiance), <https://land.copernicus.eu/en/products/european-ground-motion-service> oz. <https://land.copernicus.eu/en/technical-library/egms-product-description-document/@@download/file> (20. 2. 2024)
- Costantini, M., Minati, F., Trillo, F., Ferretti, A., Novali, F., Passera, E., Dehls, J., Larsen, Y., Marinkovic, P., Eineder, M., Brcic, R., Siegmund, R., Kotzerke, P., Probeck, M., Kenyeres, A., Proietti, S., Solari, L.,

- Andersen, H.S. 2021: European Ground Motion Service (EGMS). 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS. Bruselj. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553562>
- Crosetto, M., Solari, L., Balasis-Levinsen, J., Bateson, L., Casagli, N., Frei, M., Oyen, A., Moldestad, D. A., Mróz, M. 2021: Deformation monitoring at European scale: The Copernicus Ground Motion Service. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLIII-B3-2021: 141-46. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-141-2021>
- Debevec Jordanova, G., Oštir, K., Jemec Auflič, M., Verbovšek, T. 2021: Uporaba PSInSAR metode za spremljanje aktivnosti večjih plazov: preliminarni rezultati za plaz Slano blato (JZ Slovenija). 25. posvetovanje slovenskih geologov. Ljubljana.
- Debevec Jordanova, G., Popović, Z., Yastika, P.E., Shimizu, N., Oštir, K., Stepišnik, U., Verbovšek, T. 2023: Spremljanje dinamike plazu Šumljak (JZ Slovenija) z daljinskim zaznavanjem in in-situ meritvami. 26. posvetovanje slovenskih geologov. Ljubljana.
- Debevec Jordanova, G., Vrabec, M., Oštir, K., Verbovšek, T. 2022: Monitoring the Slano blato mudflow using InSAR and UAV photogrammetry (preliminary results). *Landslide Modelling & Applications: Proceedings of the 5th Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region*. Rijeka.
- Debevec Jordanova, G., Verbovšek, T. 2023: Improved Automatic Classification of Litho-Geomorphological Units by Using Raster Image Blending, Vipava Valley (SW Slovenia). *Remote Sensing* 15 (2). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15020531>
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2001: Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 39 (1). DOI: <https://doi.org/10.1109/36.898661>
- Ferretti, A. 2014: Satellite InSAR Data: Reservoir Monitoring from Space. DB Houten, The Netherlands.
- Ferretti, A., Passera, E., Capes, R. 2023: End-to-end implementation and operation of the European Ground Motion Service (EGMS). Algorithm Theoretical Basis Document. Consortium ORIGINAL (Operational Groundmotion INsar ALLiance), https://land.copernicus.eu/en/products/european-ground-motion-service_oz. <https://land.copernicus.eu/en/technical-library/egms-algorithm-theoretical-basis-document/@@download/file> (20. 2. 2024)
- Habič, P. 1968: Kraški svet med Idrijco in Vipavo: prispevek k poznavanju razvoja kraškega reliefa. Vol. 21. Dela / Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Razred za prirodoslovne in medicinske vede. Ljubljana.
- Hung, O., Leroueil, S., Picarelli, L. 2014: The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides* 11 (2). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>
- Janež, J., Čar, J., Habič, P., Podobnik, R. 1997: Vodno bogastvo Visokega krasa: Ranljivost kraške podzemne vode Banjšic, Trnovskega gozda, Nanosa in Hrušice. Idrija.
- Jemec Auflič, M., Jež, J., Popit, T., Košir, A., Maček, M., Logar, J., Petkovšek, A., Mikoš, M., Calligaris, C., Boccali, C., Zini, L., Reitner, J.M., Verbovšek T. 2017: The variety of landslide forms in Slovenia and its immediate NW surroundings. *Landslides* 14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-017-0848-1>
- Jemec Auflič, M., Oštir, K., Šegina, E., Peternel, T., Ivačić, M., Beden, A. 2023: Ground deformation detection and assessment of landslide potential damage with support of Copernicus. *Landslide Science for Sustainable Development: Proceedings of the 6th World Landslide Forum*. Firenze.
- Jež, J. 2007: Reasons and mechanism for soil sliding processes in the Rebrnice Area, Vipava Valley, SW Slovenia. *Geologija* 50 (1). DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2007.005>
- Jež, J., Popit, T., Maček, M. 2017: Rebrnice landslides. Living with slope mass movements in Slovenia and its surroundings: post forum study tour guide book for 4th World Landslide Forum. Ljubljana.
- Kočevar, M. 2011: Problem stabilnosti terena ob naravnem robu mezozojskih karbonatnih kamnin na eocenske fliše v jugozahodni Sloveniji. Zbornik referatov, 12. Šukljatovi dnevi. Ajdovščina. Medmrežje 1: <https://egms.land.copernicus.eu/> (11. 4. 2024).
- Medmrežje 2: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.1/tool-reference/geostatistical-analyst/idw.htm> (12. 4. 2024).

- Mikoš, M., Petkovšek, A., Majes, B. 2009: Mechanisms of landslides in over-consolidated clays and flysch. *Landslides* 6 (4). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-009-0171-6>
- Novak, A., Verbovšek, T., Popit, T. 2017: Heterogeneously composed Lozice fossil landslide in Rebrnice area, Vipava Valley. *Geologija* 60 (1). DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2017.011>
- Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
- Petkovšek, A., Maček, M., Mikoš, M., Majes, B. 2013: Mechanism of Active Landslides in Flysch. *Landslides: Global Risk Preparedness*. Berlin, Heidelberg.
- Placer, L. 2007: Vzroki nastajanja recentnih in subrecentnih plazov na Rebrnicah - geohazard z vidika kompleksnosti geoloških procesov. *Geološki zbornik*, 18. posvetovanje slovenskih geologov, Ljubljana.
- Placer, L. 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. *Geologija* 24 (1).
- Placer, L. 2008: Principles of the tectonic subdivision of Slovenia. *Geologija* 51 (2). DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2008.021>
- Popit, T. 2016: Mehanizmi transporta in sedimentacijski procesi kvartarnih pobočnih sedimentov na območju Rebrnic. Doktorska disertacija, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Popit, T. 2017: Origin of planation surfaces in the hinterland of Šumljak sedimentary bodies in Rebrnice (Upper Vipava Valley, SW Slovenia). *Geologija* 60 (2). DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2017.021>
- Popit, T., Jež, J., Košir, A., Fifer Bizjak, K., Ribičič, M. 2014a: Kvartarni pobočni sedimenti severnega in vzhodnega roba Vipavske doline. 4. Slovenski geološki kongres. Ankaran.
- Popit, T., Kokalj, Ž., Verbovšek, T. 2011: Uporaba lidarja pri proučevanju geomorfoloških oblik na območju Rebrnic in Vipavskih Brd. *Geološki zbornik*, 20. posvetovanje slovenskih geologov. Ljubljana.
- Popit, T., Košir, A. 2010: Kvartarni paleoplazovi na Rebrnicah. 3. Slovenski geološki kongres, Povzetki in ekskurzije. Bovec.
- Popit, T., Rožič, B., Šmuc, A., Kokalj, Ž., Verbovšek, T., Košir, A. 2014b: A lidar, GIS and basic spatial statistic application for the study of ravine and palaeo-ravine evolution in the upper Vipava valley, SW Slovenia. *Geomorphology* 204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.09.010>
- Popit, T., Rožič, B., Šmuc, A., Novak, A., Verbovšek, T. 2022: Using a lidar-based height variability method for recognizing and analyzing fault displacement and related fossil mass movement in the Vipava Valley, SW Slovenia. *Remote Sensing* 14 (9). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14092016>
- Popit, T., Supej, B., Kokalj, Ž., Verbovšek, T. 2016: Comparison of methods for geomorphometric analyzes of surface roughness in the Vipava valley. *Geodetski vestnik* 60 (02). DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2016.02.227-240>
- Popit, T., Verbovšek, T. 2013: Analysis of surface roughness in the Sveta Magdalena paleo-landslide in the Rebrnice area = Analiza hrapavosti površja fosilnega plazov Sveta Magdalena na območju Rebrnic. *RMZ - Materials and Geoenvironment* 60 (3).
- Ribičič, M. 2014: Zemeljski plazovi. Vipavska dolina. Neživi svet, rastlinstvo, živalstvo, zgodovina, umetnostna zgodovina, gmotna kultura, gospodarstvo in naravovarstvo. Ljubljana.
- Ulacec, D. 2009: Inženirskogeološke preiskave terena z georadarjem na izbranih primerih. Diplomsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Verbovšek, T., Brenčič, M. 2023: Analiza posedanja Ljubljanskega barja z metodo satelitske interferometrije. 26. posvetovanje slovenskih geologov. Ljubljana.
- Verbovšek, T., Popit, T. 2018: GIS-assisted classification of litho-geomorphological units using Maximum Likelihood Classification, Vipava Valley, SW Slovenia. *Landslides* 15 (7). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1004-2>
- Verbovšek, T., Popit, T., Kokalj, Ž. 2019: VAT method for visualization of mass movement features: An alternative to hillshaded DEM. *Remote Sensing* 11 (24). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11242946>
- Zorn, M., Komac, B. 2008: Zemeljski plazovi v Sloveniji. Ljubljana.
- Žakelj, B. 2009: Inženirsko – geološke značilnosti fosilnega plazov Razdrto. Diplomsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.