RAZISKAVE IDRIJSKEGA IN RAVENSKEGA PRELOMA Z LETALSKIM LASERSKIM SKENIRANJEM (LiDAR)
INVESTIGATIONS OF IDRIJA AND RAVNE FAULTS BY AIRBORNE LASER SCANNING (LiDAR)

Andrej Gosar

Povzetek. Letalsko lasersko skeniranje površja ali LiDAR je razmeroma nova metoda daljinskega zaznavanja, s katero izdelujemo zelo podrobne digitalne modele višin z ločljivostjo nekaj metrov. Ker tudi na površju, ki ga pokriva gozd, nekaj laserskih pulzov doseže tla, lahko tudi za tako površje izdelamo model višin golega površja, česar druge metode, na primer fotogrametrija, ne omogočajo. To pa je zelo pomembno pri geomofoloških analizah aktivnih prelomov na gozdnih območjih za študij njihovih seizmotektonskih značilnosti in pri ocenjevanju potresne nevarnosti. Metodo smo uspešno uporabili pri analizi tektonskih značilnosti Idrijskega in Ravenskega preloma v zahodni Sloveniji. Pri tem je bilo letalsko lasersko skeniranje prvič v Evropi uporabljeno za raziskavo aktivnih prelomov. Na Idrijskem prelomu smo z analizo zbranih podatkov določili območje, primerno za nadaljnje paleoseizmološke raziskave, na Ravenskem prelomu pa smo pridobili nove podatke o njegovi segmentiranosti. Oboje je pomembno za razumevanje pretekle seizmičnosti in oceno potresne zmogljivosti obeh prelomov.

Abstract. Airborne laser scanning, or LiDAR, is a relatively new method of remote sensing which is used to build very detailed digital elevation models with a resolution of a few meters. Since some laser beam pulses reach the ground even in areas covered by forest, it is also possible in this case to construct the bare ground elevation model, which is not possible with other techniques such as photogrammetry. This is very valuable in geomorphologic analyses of active faults in forested terrain, in order to study their seismotectonic characteristics and to assess the earthquake hazard. The method was successfully applied to study the tectonic characteristics of Idrija and Ravne faults in Western Slovenia. This was the first application of airborne laser scanning for the purpose of mapping active faults in Europe. On the Idrija fault, with the help of the data collected we identified the area suitable for further paleoseismological investigations and on the Ravne fault, we obtained new data about its segmentation. Both are important for understanding past seismicity and assessing the seismogenetic potential of the two faults.

Uvod

Ocenjevanje potresne nevarnosti nekega ozemlja temelji na poznavanju njegovih seizmoloških in strukturno-tektonskih značilnosti, ki jih povezujemo v seizmotektonske modele. V slovenskih geoloških razmerah s številnimi prelomi, katerih potek v večjih globinah, kjer nastajajo potresi (od 5 do 20 km), praviloma ni znan, pripisovanje tudi močnejših potresov posameznim prelomom večinoma ni mogoče. Poleg slabega poznavanja globinske geološke zgradbe ozemlja je to predvsem posledica slabe natančnosti določanja žarišč potresov v preteklosti, ko je bila državna mreža potresnih opazovalnic razmeroma redka. Slaba je tudi natančnost določanja položaja zgodovinskih potresov iz obdobja pred instrumentalnim opazovanjem potresov, ki v katalogu potresov prevladujejo, saj temelji le na preučevanju učinkov potresov, opisanih v pisnih virih.

Opredeljevanje potresne dejavnosti in seizmogenih značilnosti posameznih prelomov mora biti zato interdisciplinarno, torej seizmološko, geološko in geodetsko. S tako raziskavo

želimo dobiti dokaze o pretekli potresni dejavnosti, podatke o dolžini in površini posameznega preloma, ki opredeljujeta največjo možno magnitudo potresa, o hitrosti premikov ob prelomih in podobno. Vendar zbiranje geoloških podatkov na terenu s kartiranjem vzdolž prelomov v Sloveniji zelo otežuje dejstvo, da je površje večinoma prekrito s preperino in poraščeno. Delo geologa je tako omejeno na redke izdanke kamnine v grapah, cestnih usekih, kamnolomih in drugih izkopih. Zelo pomembne so tudi geomorfološke analize oblikovanosti površja, ki lahko odkrijejo pomembne obprelomne strukture. Pri tem se uporablja tudi daljinsko zaznavanje (predvsem letalski posnetki površja) in digitalni modeli višin.

Klasične metode daljinskega zaznavanja (fotogrametrija, satelitski posnetki itd.) je v tektonski geomorfologiji v zadnjih letih dopolnila nova metoda letalskega laserskega skeniranja površja ali LiDAR. Članek predstavlja to metodo in njeno uporabo pri raziskavah dveh pomembnih seizmogenih prelomov v zahodni Sloveniji.

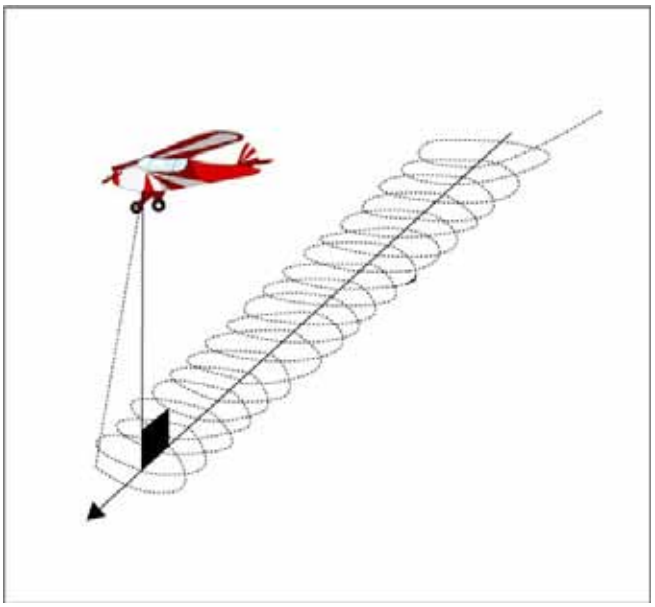
Letalsko lasersko skeniranje (LiDAR)

Lasersko skeniranje površja je relativno nova metoda, ki se je zaradi številnih odlik v nekaj letih zelo uveljavila v različnih vedah. Zanjo se pogosto uporablja tudi kratica LiDAR (angl. Light Detection And Ranging), ker podobno kakor RADAR (angl. Radio Detection And Ranging), ki uporablja radijske valove za določitev položaja in oddaljenosti npr. letal in ladij, uporablja svetlobni žarek za določanje oddaljenosti do objekta, od katerega se je žarek odbil (Flood in Gutelius, 1997).

Pri LiDAR-ju je na letalu ali helikopterju laserski oddajnik, ki oddaja zelo kratke pulze (do 33.000 pulzov v sekundi), in optično-mehanska naprava, ki zelo hitro odklanja žarek prečno na smer leta, tako da vsak pulz zadane drugo točko na površju v pasu, pokritem s spiralno črto (slika 1). Poleg oddajnika se nahajata senzor z majhnim teleskopom, ki zazna odbite žarke, in ura, ki zelo natančno izmeri čas potovanja žarka od letala do tal in nazaj do letala. Z znano hitrostjo laserskega žarka pretvorimo čas potovanja v razdaljo od letala. Za določitev koordinat točk odboja laserskega žarka moramo v vsakem trenutku poznati položaj in usmerjenost merilne naprave na letalu. To je omogočil šele razvoj diferencialnih sistemov GPS in inercialnih navigacijskih sitemov, ki so vgrajeni v letalo. V eni ali dveh referenčnih točkah na tleh morajo med snemanjem potekati vzporedne meritve z sprejemniki GPS. Natančnost določitve koordinat točk odbojev, ki jo lahko na ta način dosežemo, je v navpični smeri praviloma boljša od 15 cm in v vodoravni smeri boljša od 25 cm. Relativna natančnost pa je seveda še bistveno boljša. Razdalja med točkami odboja je od manj kakor en meter do nekaj metrov.

Prvi laserski skenerji so merili le razdaljo do prve ovire, ki je odbila žarek. V gozdnih območjih je to običajno vrh drevesne krošnje. Novejši sistemi pa zaznajo večkratne odboje vsakega radarskega pulza (Oštir, 2006). Širina laserskega žarka je na površju tal namreč okoli enega metra. Del tega žarka se v gozdu lahko odbije od listja, del od vej, del pa doseže tla. Posebej pomemben je zadnji odboj, ki najbolj verjetno predstavlja površje. Za prepoznavanje

odbojev od tal se uporabljajo dokaj zapleteni algoritmi. Na podlagi nepravilno razporejenih točk odbojev nato izdelamo digitalni model višin (DMV), ki predstavlja topografijo površja s podatki o nadmorski višini v pravilni mreži.



Slika 1. Potek letalskega laserskega skeniranja (LiDAR).
Figure 1. Principle of airborn laser scanning (LiDAR).

Za pridobivanje podrobnih podatkov o oblikovanosti površja in izdelavo DMV se sicer uporabljata stereo letalsko fotografiranje (fotogrametrija) in radarska interferometrija, ki se snema iz satelitov. Čeprav je lasersko skeniranje zaenkrat še precej dražje od fotogrametrije, ki se seveda uporablja predsem za izdelavo topografskih kart, pa ima pri izdelavi DMV številne prednosti, kakor so večja gostota in natančnost podatkov ter preprostejša obdelava. Najpomembnejša prednost laserskega skeniranja pa je vsekakor ta, da v gozdnih območjih edino omogoča izdelavo DMV golega površja, brez vegetacijskega pokrova. Prav to pa je najpomembnejša prednost v tektonski geomorfologiji, saj omogoča odkrivanje aktivnih prelomov pod strnjenimi gozdnimi področji, o katerih pred tem ni bilo nobenih geoloških podatkov. Ena prvih uspešnih tovrstnih raziskav je bila opravljena v ameriški zvezni državi Washington (Haugerud in sod., 2003).

Lasersko skeniranje se je v zadnjih letih zelo uveljavilo v različnih vedah. V gozdarstvu ga uporabljajo za analizo vertikalne strukture gozdnih krošenj in ocene letnih prirastkov, v arheologiji za prepoznavanje arheoloških ostalin v gozdnih območjih, v elektrogospodarstvu za načrtovanje tras daljnovodov, v urbanih območjih za izdelavo 3D modelov naselij in v geomorfologiji za analize sprememb na obalnih in poplavnih območjih ter študij tektonike.

Geološke in seizmološke značilnosti Idrijskega in Ravenskega preloma

Osnovne značilnosti aktivne tektonike in potresne dejavnosti na ozemlju Slovenije so posledica trka Evropske tektonske plošče in Jadranske mikroplošče. Ta se vrti v obratni smeri urinega kazalca in na svojem severovzhodnem robu, kjer se nahaja Slovenija, povzroča napetostno polje v smeri približno sever-jug. V kenozoiku so zato nastali trije sistemi

prelomov: v zahodni Sloveniji prevladujejo desno-zmični Dinarski prelomi, ki potekajo v smeri SZ-JV, v vzhodni Sloveniji levo-zmični prelomi, ki potekajo v smeri SV-JZ, na večini ozemlja pa tudi reverzni prelomi in narivi s smeri Z-V in narivanjem proti jugu.

Med Dinarskimi prelomi v zahodni Sloveniji je najbolj izrazit Idrijski prelomni sistem, ki se razteza v dolžini več kakor 120 km od Kaninskega pogorja do Gorskega kotarja. Morfološko je prelom zelo jasno izražen v obliki ravnega poteka dolin Soče, Idrijce, Kanomljice in Zale ter robov kraških polj (Planinsko, Cerkniško, Loško), ki so nanizana ob njem. Del Idrijskega rudišča je ob prelomu premaknjen za 2 km, vendar je bil celoten premik ob prelomu v geološki zgodovini še precej večji (Buser, 1986).

Z vidika potresne nevarnosti je Idrijski prelom zanimiv predvsem zato, ker se je na njegovem širšem območju leta 1511 zgodil domnevno najmočnejši potres na ozemlju Slovenije, in sicer znani "idrijski potres", za katerega je ocenjena magnituda 6,8 in največja intenziteta X. Kljub temu, da se imenuje idrijski potres, pa njegova natančnejša lokacija ni znana, saj je Ribarič (1979) domneval, da sta bila celo dva potresa v presledku nekaj ur, eden na Idrijskem in drugi v Furlaniji. Prvi potres naj bi po slovenskih in avstrijskih virih nastal popoldne, po italijanskih in nekaterih drugih evropskih virih pa zvečer. Domnevo o dveh potresih so privzeli tudi italijanski seizmologi (Gentile in sod., 1984). Kakor je pokazal Lapajne (1988), je do tega zaključka zelo verjetno pripeljalo napačno razumevanje srednjeveških italijanskih virov, ki navajajo liturgične ure nastanka potresa med osmo in deveto, kar so seizmologi razumeli kot večerni čas. Vendar v resnici omenjene liturgične ure pomenijo popoldanski čas. Ob pravilnem razumevanju liturgičnih ur bi morala nastati dva potresa v manj kakor eni uri, kar ustreza tudi napaki določitve časa po razpoložljivih zgodovinskih virih. Novejše modeliranje na podlagi raporeditve učinkov potresov je pokazalo, da je bilo žarišče "idrijskega potresa" najverjetneje na območju Idrijskega ali Ravenskega preloma (Fitzko in sod., 2005). Drugi močnejši potres z magnitudo 5,6 se je zgodil leta 1926 na jugovzhodnem koncu preloma. Obdobje instrumentalnega opazovanja potresov je pokazalo, da je seizmičnost na območju Idrijskega preloma majhna.

Ravenski prelom poteka vzporedno z Idrijskim prelomom v dolžini 40 km od Bovške kotline prek Krnskega pogorja do Cerknega. Ravenski prelom je primer napredujočega zmičnega preloma, ki seka gorato območje z zelo izrazito topografijo, saj je največja višinska razlika površja vzdolž preloma več kakor 1400 m. Ob Ravenskem prelomu sta nastala potresa 12. aprila 1998 in 12. julija 2004, ki sta povzročila veliko škode v Zgornjem Posočju. Seizmološki podatki so pokazali, da je v obeh primerih prišlo do desnega zmika ob skoraj navpični prelomni ploskvi, vendar pretrg ni segal do površja (Zupančič in sod., 2001). Pri potresu leta 1998, ki je bil močnejši, se je aktiviral 12 km dolg odsek preloma med Bovško kotlino in izvirom Tolminke v globini med 3 in 9 km (Bajc in sod., 2000). Katalog potresov kaže, da je bila potresna dejavnost na tem delu Julijskih Alp v preteklosti majhna.

Ravenski prelom je sestavljen iz več segmentov. Za oceno njegove potresne zmogljivosti (kako močan potres lahko ob njem nastane) je zato bistveno razumevanje tektonskih razmer na območjih, kjer se posamezni segmenti stikajo. Treba je namreč oceniti možnost, da ob

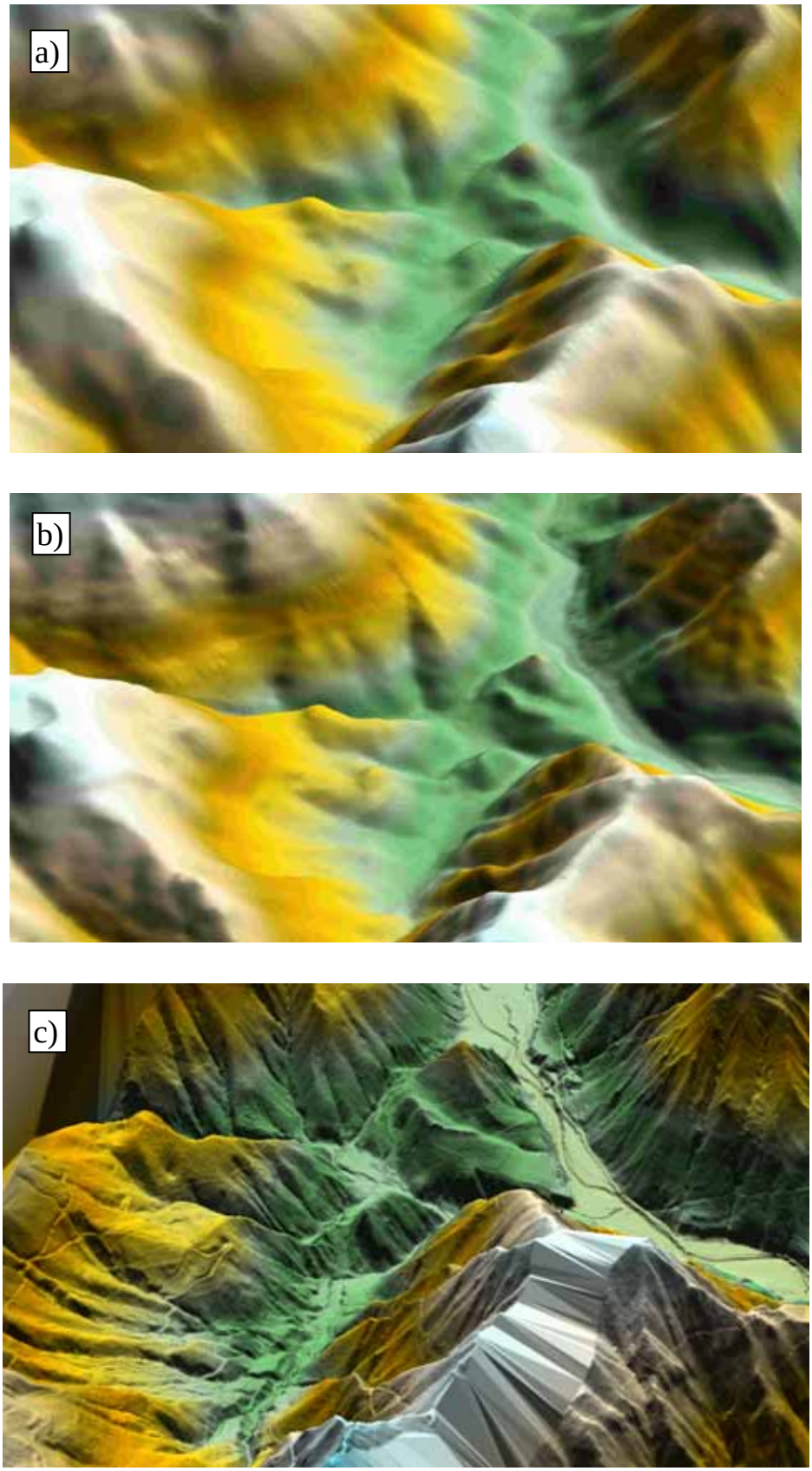
močnem potresu pride do "preskoka" pretrga med dvema sosednjima segmentoma, in poiskati morebitne pokazatelje, da se je to v geološki zgodovini preloma že kdaj zgodilo. Zato so v zadnjem času raziskave usmerjene predvsem na širše območje izvirov Tolminke (Kastelic in Cunningham, 2006), kjer se je pretrg ob potresu leta 1998 "ustavil".

Lasersko skeniranje Idrijskega in Ravenskega preloma

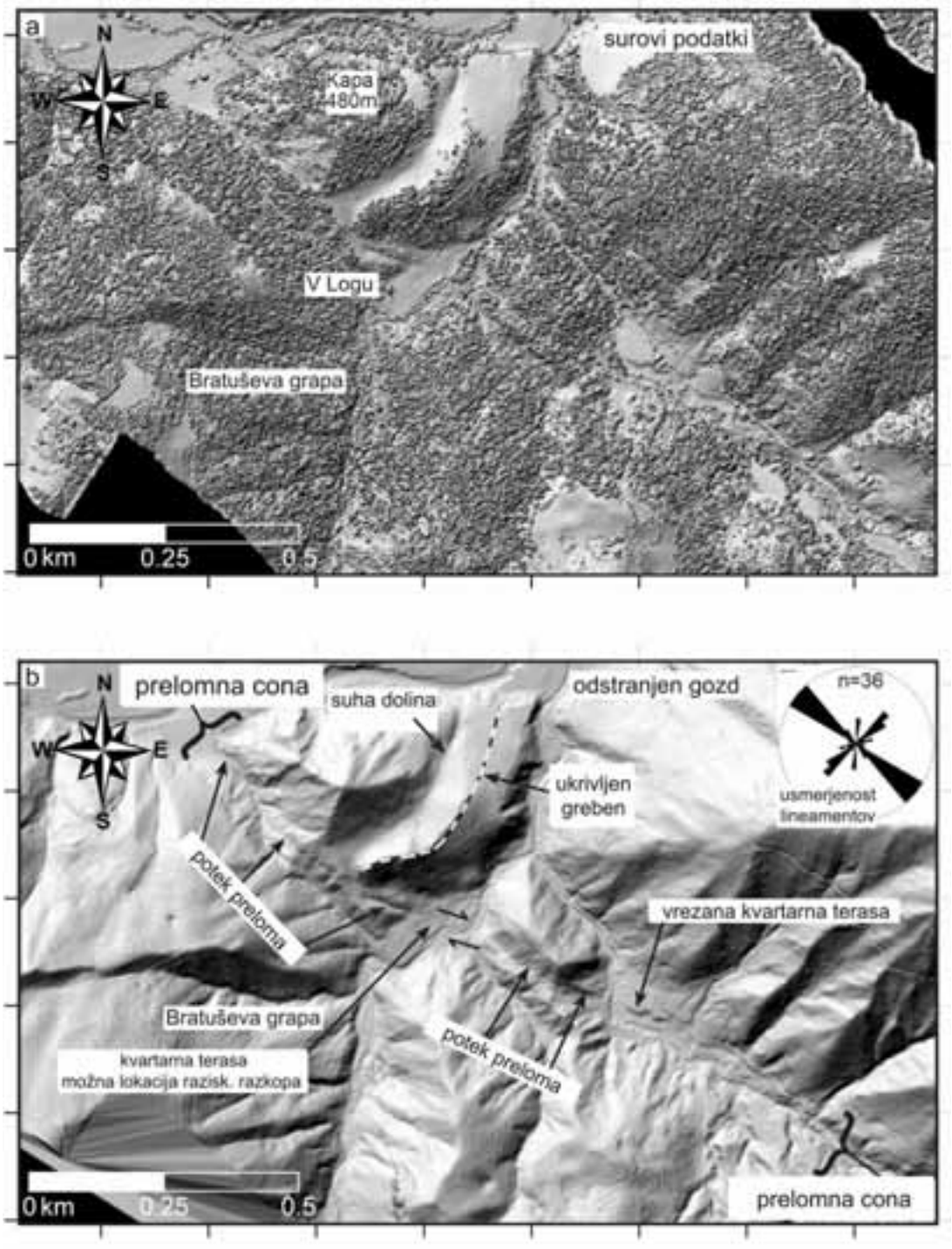
Priložnost za letalsko lasersko skeniranje Idrijskega in Ravenskega preloma se je ponudila ob razpisu angleške organizacije Natural Environment Research Council (NERC) za snemanja z različnimi metodami daljinskega zaznavanja na območju jugovzhodne Evrope, ki je bil objavljen jeseni 2003. S prof. Dicksonom Cunninghamom iz Univerze v Leicestru (Velika Britanija) sva prijavila projekt, ki je bil odobren (Cunningham in sod., 2006). Po pripravljalnih delih je potekalo snemanje Idrijskega preloma v 2,2 km širokem in 23 km dolgem pasu med Slapom ob Idrijci in Idrijo v začetku maja 2004. Letalo je meritve opravilo v petih vzporednih preletih. Zaradi slabega vremena v Julijskih Alpah ni bilo možno snemanje tudi vzdolž Ravenskega preloma. Ker je prav tako zaradi slabega vremena odpadlo še več drugih snemanj v sosednjih državah, so raziskave dokončali v maju 2005. Takrat so v šestih preletih izmerili 2,4 km širok in 17 km dolg pas Ravenskega preloma med Bovško kotlino in Kneškimi Ravnami.

Snemanje so izvedli z letalom Piper Navajo Chieftain, ki je letelo na višini med 600 in 1000 m nad površjem, in laserskim skanerjem Optech ALTM 3033 s frekvenco žarka 33 kHz. Za potrebe obdelave podatkov so med snemanjem potekale zvezne meritve z dvema sprejemnikoma GPS na referenčnih geodetskih točkah v Bovcu in na Šentviški gori. Te meritve sta zagotovila Geodetska uprava RS in Geodetski inštitut Slovenije. Osnovno obdelavo podatkov so opravili na Univerzi v Cambridgu in kot rezultat posredovali podatke o prvem in zadnjem odboju laserskega žarka in o jakosti odboja. Povprečna gostota žarkov je bila 1,4 m in ocenjena natančnost višin boljša kakor 15 cm.

Nato so bili izdelani digitalni modeli višin (DMV) z gostoto 2 m (slika 2c) in izbrana območja za nadaljnje raziskave. Na Idrijskem prelomu smo izbrali območje Kape v Srednji Kanomlji, na Ravenskem prelomu pa območje izvira Tolminke. Ker gre za pretežno gozdna območja, kjer tudi zadnji odboj pogosto ne predstavlja površja (slika 3a), smo uporabili poseben algoritem podjetja TerraSolid, ki omogoča izračun modela površja na podlagi znanih odbojev od tal (Cunningham in sod., 2006). Na ta način smo uspešno odstranili gozd (slika 3b), ne da bi pri tem izgubili topografske podrobnosti golega površja, ki so ključne za geomorfološko analizo. Kakšne podrobnosti v oblikovanosti površja so vidne v digitalnih modelih višin različnih ločljivosti kažejo primerjave prikazov območja Kape v Srednji Kanomlji na slikah 2a, 2b in 2c. Slika 2a kaže 25-metrski, slika 2b 12,5-metrski DMV Geodetske uprave RS, na sliki 2c pa je 2-metrski DMV iz laserskega skeniranja. Šele zadnji prikaže vse podrobnosti, kot so gozdne ceste, grape in rečne terase. Pri laserskem skeniranju se pri bolj razgibanem reliefu včasih zgodi, da del območja med dvema vzporednima preletoma ostane nepokrit. Takšno območje je vidno na grebenu v ospredju slike 2c.



Slika 2. 3D prikaz območja Idrijskega preloma pri Kapi in Srednji Kanomlji s tremi digitalnimi modeli višin različne ločljivosti: a) 25 m, b) 12,5 m, c) 2 m (LiDAR).
Figure 2. 3D view of the Idrija fault area near Kapa in the Srednja Kanomlja region with three digital elevation models of different resolution: a) 25 m, b) 12.5 m, c) 2 m (LiDAR).



Slika 3. Senčen relief dela Idrijskega preloma: a) surovi podatki laserskega snemanja in b) golo površje po uporabi algoritma za odstranitev gozda, s strukturno-tektonskim vrednotenjem prelomne cone.
Figure 3. Shaded relief map of Idrija fault segment: a) raw laser scanning data and b) bare ground after application of algorithm for removal of trees; the strucural-tectonic interpretation of fault zone is shown.

Idrijski prelom

V nadaljevanju so predstavljeni rezultati analize za območje Kape na Idrijskem prelomu. Po odstranitvi dreves so se na senčenem DMV jasno pokazale strukture v okoli 200 m široki

prelomni coni Idrijskega preloma (slika 3b). Znotraj te cone je vidnih več lineamentov, ki so po vnosu v diagram (slika 3b desno zgoraj) pokazali dve glavni smeri. Pričakovano je prevladujoča smer SZ-JV (dinarska smer) in podrejena smer SV-JZ (prečnodinarska smer) (Cunningham in sod., 2006). Na obravnavanem območju (slika 3b) so bili ugotovljeni naslednji geomorfološki pokazatelji, ki kažejo na tektonsko aktivnost Idrijskega preloma v najmlajšem geološkem obdobju:

- dvojni desni zmik struge potoka Bratuševa grapa za nekaj deset metrov,
- s prelomom prekinjena rečna terasa,
- potok, vrezan v kvartarno rečno teraso,
- zapleten drenažni vzorec,
- "suha" dolina, odrezana od aktivne rečne mreže,
- greben, ukrivljen zaradi desnega zmika in rotacije blokov ob prelomu.

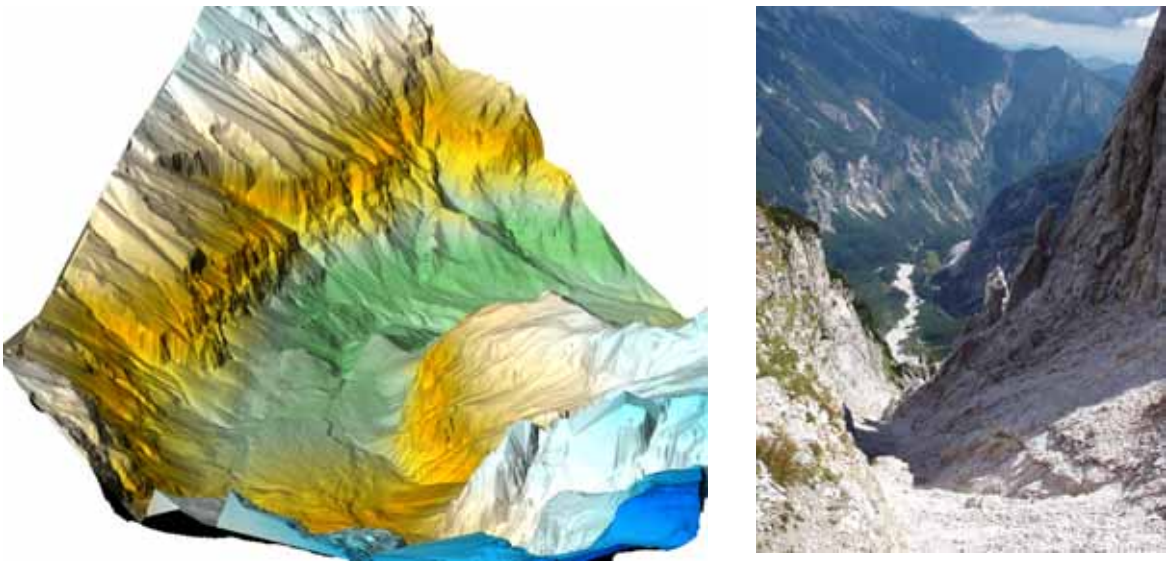
Geomorfološka analiza preloma, ki poteka tu nekoliko ukrivljeno, kaže, da je Idrijski prelom na tem delu segmentiran in da strmo vpada proti severovzhodu. Prelom na tem območju tudi nekoliko spremeni svojo splošno smer, kar pomeni, da lahko poleg vodoravnega zmika pričakujemo ob njem tudi narivne strukture.

Eden od ciljev geomorfološke analize podatkov laserskega skeniranja je tudi določiti območja, primerna za nadaljnje paleoseizmološke raziskave. Na posnetem območju Idrijskega preloma smo kot najprimernejšo izbrali kvartarno rečno teraso V Logu, južno od hriba Kapa (slika 3). Rahla upognjenost te terase, ki se pokaže pri ustreznem osenčenju digitalnega modela višin, kaže na možnost, da je v preteklosti prišlo ob prelomu do njenega pretrga, ki pa ga je erozija pozneje izravnala. Območje tega upogiba se ujema z območjem desnega zmika potoka Bratuševe grape. Predlagamo paleoseizmološke raziskave (Gosar, 2004), ki bodo obsegale podrobno strukturno-geološko kartiranje prelomne cone, visokoločljive geofizikalne raziskave (električna tomografija, refrakcijska in refleksijska seizmika). Če bodo te raziskave pokazale, da so kvartarne plasti na obeh straneh preloma premaknjene, bo izkopan nekaj metrov globok in okoli 100 m dolg raziskovalni jarek, v katerem bomo podrobno analizirali in dokumentirali morebitne sledi preteklih močnih potresov in z različnimi metodami datiranja opredelili, kdaj so se zgodili. Pri takšnih paleoseizmoloških raziskavah je v Evropi ustaljena praksa, da se v okviru mednarodnih projektov vključi v analize najboljše strokovnjake za posamezna raziskovalna področja. Ker je izdelava paleoseizmološkega izkopa zelo draga, je namreč treba zagotoviti, da se takšna enkratna raziskovalna priložnost izkoristi v najboljši možni meri.

Ravenski prelom

Na Ravenskem prelomu so bile analize podatkov laserskega skeniranja usmerjene predvsem na območje izvirov Tolminke (slika 4), kjer je zelo podroben digitalen model višin golega površja omogočil osvetliti zapletene odnose med tektonskimi procesi, sedimentacijo in erozijo (Cunningham in sod., 2006). Ravenski prelom je primer segmentiranega zmičnega preloma, ki se na območju izvirov Tolminke razcepi v več vej. Med njimi je ob sicer desnozmičnem prelomu prišlo do raztezanja (transtenzija), ki je povzročilo nastanek

sedimentacijskega bazena. Analiza je pokazala, da dva segmenta glavnega poteka Ravenskega preloma na tem območju nista v stiku in sta medseboj razmaknjena za okoli 300 m (Kastelic in Cunningham, 2006). Ugotovljena segmentacija na površju sega verjetno precej globoko, saj tudi seizmološki podatki kažejo, da je ob potresu 12 aprila 1998 pretrg v globini segal le do območja izvirov Tolminke, naprej proti jugovzhodu pa ne.



Slika 4. Ravenski prelom na območju izvirov Tolminke (pogled proti jugovzhodu) na 3D prikazu digitalnega modela višin iz podatkov LiDAR (levo) in na fotografiji (desno).
Figure 4. Ravne fault in the area of Tolminka springs (view towards south-east) on a 3D view of a digital elevation model from LiDAR data (left) and on a photograph (right).

Zaključek

Letalsko lasersko skeniranje površja (LiDAR) omogoča izdelavo zelo podrobnih digitalnih modelov višin golega površja, kar je zelo pomembno pri geomofoloških strukturno-tektonskih analizah. Metoda je bila uspešno uporabljena pri analizi tektonskih značilnosti dveh odsekov Idrijskega in Ravenskega preloma v zahodni Sloveniji. Pri tem je bilo letalsko lasersko skeniranje prvič v Evropi uporabljeno za raziskavo aktivnih prelomov. Na Idrijskem prelomu smo z analizo zbranih podatkov določili primerno območje za nadaljnje paleoseizmološke raziskave, na Ravenskem prelomu pa pridobili nove podatke o njegovi segmentiranosti. Oboje je pomembno za študij pretekle seizmičnosti in oceno potresne zmogljivosti obeh prelomov.

Zahvala

Med letalskim laserskim skeniranjem sta talne meritve z sprejemniki GPS zagotovila Geodetska uprava RS in Geodetski inštitut Slovenije. Obema hvala za sodelovanje.

Literatura

Bajc, J., Aoudia, A., Sarao, A., Suhadolc, P. 2000: The 1998 Bovec-Krn mountain (Slovenia) earthquake sequence. Geophys. Res. Lett., 28, 1839-1842.

Buser, S. 1986: Osnovna geološka karta 1 : 100.000, list Tolmin in Videm; tolmač. Zvezni geološki zavod, 103 str.

Cunningham, D., Grebby, S., Tansey, K., Gosar, A., Kastelic, V. 2006: Application of airborne LiDAR to mapping seismogenic faults in forested mountainous terrain, SE Alps, Slovenia. Geophys. Res. Lett., 33, L20308, 5 str.

Fitzko, F., Suhadolc, P., Aoudia, A., Panza, G.F. 2005: Constraints on the location and mechanism of the 1511 Western Slovenia earthquake from active tectonics and modeling of macroseismic data, Tectonophysics, 404, 77-90.

Flood, M., Gutelius, B. 1997: Commercial implication of topographic terrain mapping using scanning airborne laser radar. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 63, 327-329.

Gentile, G.F., Renner, G., Riggio, A.M., Slejko, D., Zacchigna, M. 1984: Il terremoto del 26 marzo 1511 nelle Alpi orientali. V: Finalita ed esperienza della rete sismometrica del Friuli – Venezia Giulia, Trst.

Gosar, A. 2004: Paleoseizmologija – izziv pri ocenjevanju potresne nevarnosti v Sloveniji. Ujma, 17-18, 257-264.

Haugerud, R., Harding, D.J., Johnson, S.Y., Harless, J.L., Weaver, C.S., Sherrod, B.L. 2003: High-resolution Lidar topography of the Puget Lowland, Washington – a bonanza for earth science, *GSA Today*, 13, 4-10.

Kastelic, V., Cunningham, D. 2006: Multi-disciplinary investigation of active strike-slip fault propagation in the Julian Alps: The Ravne fault, NW Slovenia, Geophysical Research Abstracts, 8, 05018.

Lapajne, J. 1988: Veliki potresi na Slovenskem — II. Ujma 2, 70-74.

Oštir, K., 2006: Daljunsko zaznavanje. Založba ZRC, 250 str.

Ribarič, V. 1979: The Idrija earthquake on March 26, 1611 – a reconstruction of some seismological parameters. Tectonophysics, 53, 315-324.

Zupančič, P., Cecić, I, Gosar, A., Placer, L., Poljak, M, Živčić, M. 2001: The earthquake of 12 April 1998 in the Krn Mountains (Upper Soča valley, Slovenia) and its seismotectonic characteristics. Geologija, 44, 169-192.