

# Skalni podori ob potresu leta 1998 v Krnskem pogorju in možnost njihove uporabe za oceno seizmičnih intenzitet po Environmental Seismic Intensity lestvici (ESI 2007)

Andrej Gosar<sup>1</sup>

## Povzetek

Potres leta 1998 v Krnskem pogorju z navorno magnitudo 5,6 in največjo intenziteto VII-VIII po Evropski potresni lestvici (EMS-98) je povzročil obsežne učinke v naravnem okolju. Uporaba običajnih intenzitetnih lestvic, ki temeljijo predvsem na poškodbah objektov, je bila pri oceni intenzitet v nadžariščnem območju omejena, saj gre za redko poseljeno visokogorje. Uvedba nove Environmental Seismic Intensity lestvice (ESI 2007) je zato spodbudila raziskavo z namenom oceniti njeno uporabnost za ta potres. Vse okoljske učinke potresa smo opisali, razvrstili in ocenili na podlagi terenskih raziskav, analize letalskih posnetkov in makroseizmičnih vprašalnikov. Izkazalo se je, da so le podori dovolj razširjeni za določitev intenzitete. Porazdelitev velikih in zelo velikih podorov je jasno definirala eliptično območje, razpotegnjeno vzdolž seizmogenega Ravenskega preloma, za katero je bila opredeljena intenziteta VII-VIII ESI 2007. Ta se dokaj dobro ujema z območjem enake intenzitete opredeljenim po EMS-98 lestvici na podlagi podatkov iz le štirih naselij v različnih dolinah, ki se zajedajo v Krnsko pogorje. Raziskave so pokazale, da je ESI 2007 lestvica, ki se sicer uporablja predvsem za zelo močne potrese, v določenih primerih učinkovito orodje za oceno intenzitet v redko poseljenih goratih območjih tudi za srednje močne potrese.

**Ključne besede:** potres, intenziteta potresa, učinki potresa na naravno okolje, ESI 2007 lestvica, skalni podori, Krnsko pogorje

**Key words:** earthquake, seismic intensity, seismic effects on natural environment, ESI 2007 scale, rockfalls, Krn Mountains

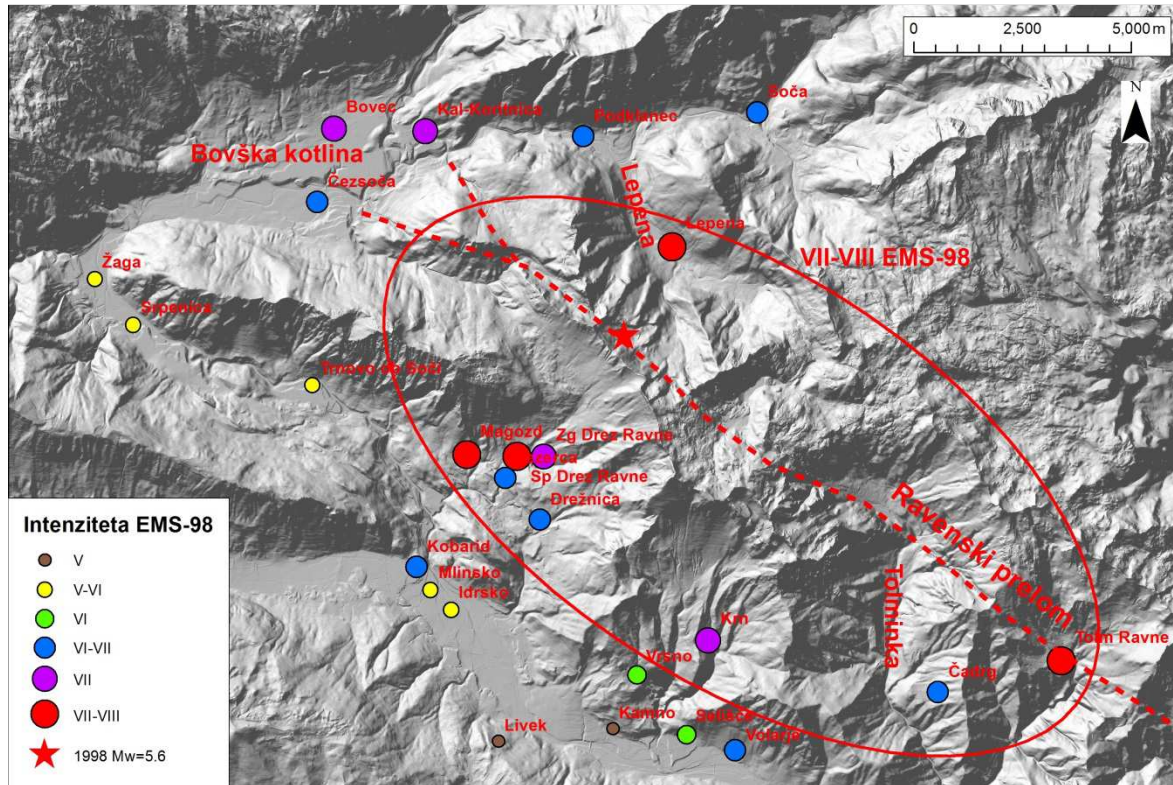
## Uvod

Potres 12. aprila 1998 z navorno magnitudo  $M_w=5,6$  v Krnskem pogorju in največjo intenziteto VII-VIII EMS-98 (Zupančič et al., 2001) je povzročil hude poškodbe objektov v Zgornjem Posočju ter imel obsežne učinke na naravno okolje v Julijskih Alpah. Prizadeto območje je zaradi goratosti razmeroma redko poseljeno. Pri oceni največje intenzitete potresa je bila zato uporaba običajnih intenzitetnih lestvic, ki temeljijo na analizi učinkov na ljudi, predmete in stavbe, omejena na samo nekaj naselij in vasi v nadžariščnem območju. Po drugi strani so bili učinki na naravno okolje (predvsem skalni podori) izraziti in zelo razširjeni. Opisani so bili kmalu po potresu (Vidrih & Ribičič, 1999), čemur je sledila prva ocena njihove uporabnosti za določitev intenzitet po Evropski potresni lestvici EMS-98 (Vidrih et al., 2001). V tej študiji se je pokazalo, da EMS-98 (Grünthal, 1998) ni dovolj natančna v opisu in analizi učinkov potresov na naravno okolje. Posebej nedorečena je v kvantitativnem opisu učinkov, ki so značilni za posamezne intenzitetne stopnje. Uvedba povsem nove lestvice, ki temelji le na učinkih na naravno okolje – Environmental Seismic Intensity scale (ESI 2007) (Guerrieri & Vittori, 2007), je predstavljala zato velik napredek pri makroseizmičnih analizah. Izraziti učinki potresa leta 1998 na naravno okolje ter nedavno predstavljena lestvica ESI 2007, sta predstavljala glavno spodbudo za izvedbo

---

<sup>1</sup> Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana in Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta

nove študije. Ta obsega podroben opis, klasifikacijo in analizo vseh učinkov tega potresa na naravno okolje, novo oceno največje intenzitete po ESI 2007 in primerjavo rezultatov z makroseizmično analizo, ki je temeljila na učinkih na ljudi, predmete in stavbe (slika 1) skladno z EMS-98 (Cecić et al., 1999). Ker gre za potres srednje moči, je bil cilj ovrednotiti uporabnost ESI 2007 tudi za tak potres, saj je znano da učinki na naravno okolje sicer prevladujejo pri močnih in zelo močnih potresih.



Slika 1 - Karta intenzitet (EMS-98) potresa 12. aprila 1998 z izoseisto VII-VIII EMS-98 (podatki Ine Cecić, Zupančič et al., 2001). Prikazan je tudi potek Ravenskega preloma.

### Učinki potresov na naravno okolje in intenzitetne lestvice

Različne dvanajstopenjske intenzitetne lestvice, ki so bile razvite tekom dvajsetega stoletja (MCS, MSK, EMS), so sicer temeljile na učinkih potresov na ljudi, predmete, stavbe in naravno okolje, vendar so bili slednji praviloma zelo pomanjkljivo obravnavani. Ta pomanjkljivost se je s časom še stopnjevala, verjetno zaradi kompleksnosti in spremenljivosti teh učinkov, ki sta zahtevali posebna znanja in izkušnje, zato se je dajalo prednost učinkom na ljudi in stavbe, ki jih je praviloma lažje ovrednotiti. Novejše študije pa so pokazale, da tudi koseizmični učinki na naravno okolje dajejo dokaj natančne podatke o intenzitetnem polju potresov in so komplementarni drugim makroseizmičnim podatkom (Guerrieri & Vittori, 2007). Čeprav je novejša Evropska potresna lestvica EMS-98 (Grünthal, 1998) sicer zelo izboljšala makroseizmične analize, pa so ostali učinki na naravno okolje razmeroma skopo opisani. V tej lestvici so razdeljeni na: a) hidrološke učinke, b) pobočne premike (zemeljski plazovi, podori itd.), c) učinke na ravnih tleh (razpoke) in d) kompleksne učinke (likvefakcija). Eden od glavnih problemov je, da je posamezen učinek (razvrščen kot možen, tipičen ali diagnostičen) pripisan zelo širokemu razponu intenzitet. Zato so Vidrih et al (2001) predlagal, da so tudi pri skalnih podorih in

zemeljskih plazovih, podobno kot pri stavbah, uporabi koncept ranljivosti terena ter pogostosti in stopnje poškodovanosti zaradi posameznih pojavov.

Nova Environmental Seismic Intensity lestvica (ESI 2007) (Guerrieri & Vittori, 2007) temelji, za razliko od predhodnih lestvic, le na učinkih potresov na naravno okolje, sledi pa osnovni strukturi dvanajststopenjskih lestvic in je namenjena za komplementarno rabo z njimi. Učinki so klasificirani v primarne in sekundarne. Primarni so površinske manifestacije seizmogenega tektonskega izvora in obsegajo površinske pretrge, dvige in ugreze. Mnogo številčnejši so sekundarni učinki, ki so posledica močnega tresenja tal: a) razpoke v tleh, b) pobočni premiki (skalni podori in zemeljski plazovi), c) likvefakcija, d) anomalni valovi (sejš), e) hidrogeološke anomalije in f) nihanje dreves. Za vsako vrsto učinka ESI 2007 opisuje njegove značilnosti in velikost kot diagnostični pojav za določen razpon intenzitet ter njegov geološki ali geomorfološki izraz. Za intenzitete manjše ali enake IX, je glavna naloga ESI 2007 lestvice, da učinke na naravno okolje vzporedi z drugimi indikatorji poškodb. Pri intenzitetah med X in XII pa postanejo učinki na naravno okolje najbolj diagnostični za oceno intenzitete, saj je večina stavb porušenih.

### **Analize učinkov potresa na naravno okolje**

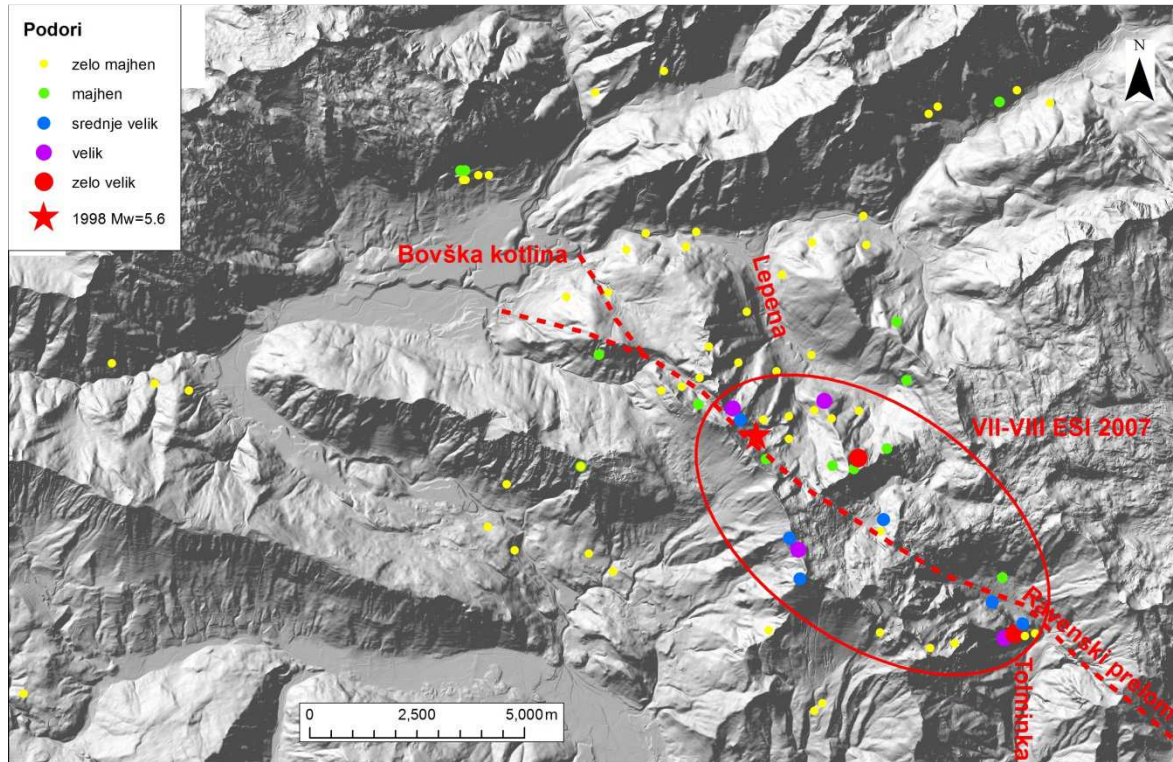
Pri raziskavah smo uporabili tri različne pristope: terenski ogled, analizo letalskih posnetkov in analizo makroseizmičnih vprašalnikov. Kmalu po potresu smo s terenskim delom sistematično skartirali in popisali vse podore in izdelali njihovo podatkovno bazo. Geodetska uprava RS je tri mesece po potresu izvedla že prej načrtovano ciklično letalsko snemanje tega dela Slovenije. To je bilo zelo koristno, saj smo brez dodatnih stroškov pridobili kvalitetne posnetke na katerih so sveži podori še zelo dobro vidni, kar bi se zaradi procesov preperevanja in vegetacije spremenilo, če bi med potresom in snemanjem preteklo dlje časa. Posnetke smo analizirali kot stereo pare, kasneje, ko so bili pretvorjeni v Digitalni Orto Foto (DOF), pa še z GIS programskimi orodji. Na podlagi DOF je bil izdelan tudi nov Digitalni Model Višin (DMV) z ločljivostjo 25 m. Pred tem je bil v Sloveniji na voljo le 100 metrski DMV. Kljub temu je primerjava obeh DMV, ki kažeta relief pred in po potresu, omogočala izračun prostornine dveh največjih skalnih podorov, kar je bilo pomembno pri njihovi kvantitativni opredelitvi (Gosar, 2012).

Po potresu smo na takratni Upravi RS za geofiziko razposlali makroseizmične vprašalnike vsem (4300) opazovalcem v Sloveniji, ki smo jih imeli v podatkovni bazi. Ti so vrnili 2900 izpolnjenih vprašalnikov (Cecić et al., 1999). Vprašalnik vsebuje dve vprašanji o hidroloških učinkih, poleg tega pa so bili opazovalci naprošeni, da sporočijo tudi vse druge učinke na okolje, ki so jih opazili ob potresu.

### **Skalni podori in drugi učinki potresa**

Podrobni terenski ogledi in analiza letalskih posnetkov so pokazali, da je potres povzročil 78 skalnih podorov (slika 2). Glede na njihovo ocenjeno prostornino sem jih klasificiral v pet skupin (preglednica 1). Celotno prizadeto območje na katerem so se pojavljali podori je bilo veliko približno 15 x 12 km (180 km<sup>2</sup>). Porazdelitev zelo majhnih podorov, ki prevladujejo (53) je zelo neenakomerna. To je pričakovano, saj je odvisna predvsem od geološke zgradbe in naklona pobočij. Po drugi strani so srednje veliki, veliki in zelo veliki podori jasno porazdeljeni na območju, ki je 5 km široko in 9 km dolgo, ter razpotegnjeno v smeri SZ-JV vzdolž seizmogenega Ravenskega preloma (slika 2). Tudi gostota podorov je neenakomerna, saj je odvisna od ranljivosti pobočij. Povprečno so bili

trije podori na km<sup>2</sup>, razpon pa od enega do petih podorov na km<sup>2</sup> (Zupančič et al., 2001). Zanimivo je, da je meja pojavljanja podorov zelo ostra na JZ, na območju doline Tolminke in bolj postopna proti SZ, Z in S. Iz seizmoloških podatkov je znano, da je potres povzročil globinski pretrg ob Ravenskem prelomu med Bovško kotlino in izviro Tolminke v dolžini 12 km. Vzdolž istega segmenta je nastalo tudi največ podorov.



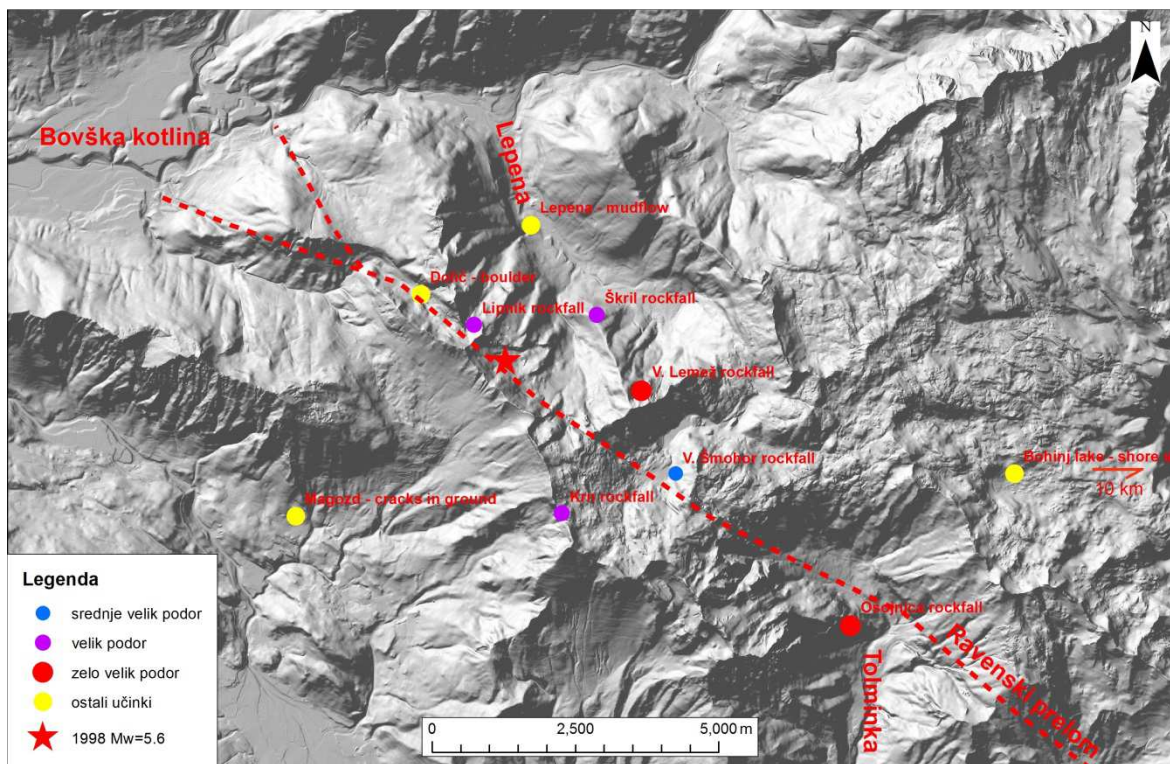
Slika 2 - Karta lokacij skalnih podorov, ki jih je povzročil potres 12. aprila 1998 z izoseisto VII-VIII ESI 2007 določeno na podlagi učinkov na naravno okolje.

Preglednica 1: Porazdelitev skalnih podorov glede na njihovo velikost.

velikost podora	ocenjena prostornina (m <sup>3</sup> )	število
zelo majhen	10 <sup>2</sup>	53
majhen	10 <sup>3</sup>	13
srednje velik	10 <sup>4</sup>	6
velik	10 <sup>5</sup>	4
zelo velik	>10 <sup>6</sup>	2

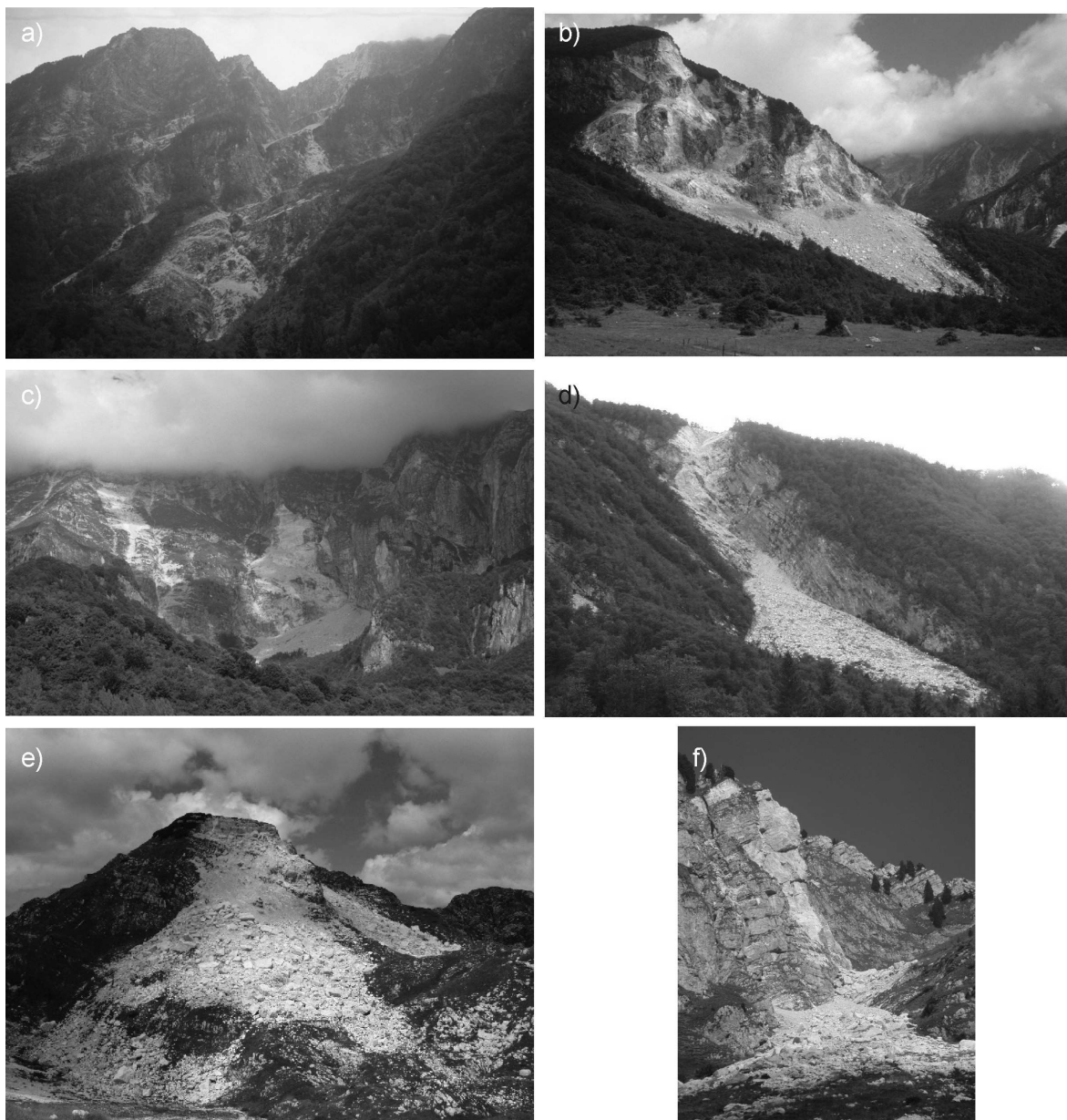


Večji skalni podori in nekateri drugi zanimivejši učinki potresa na naravno okolje so prikazani na slikah 4, 5 in 6, situacijska karta teh pojavov pa je na sliki 3.

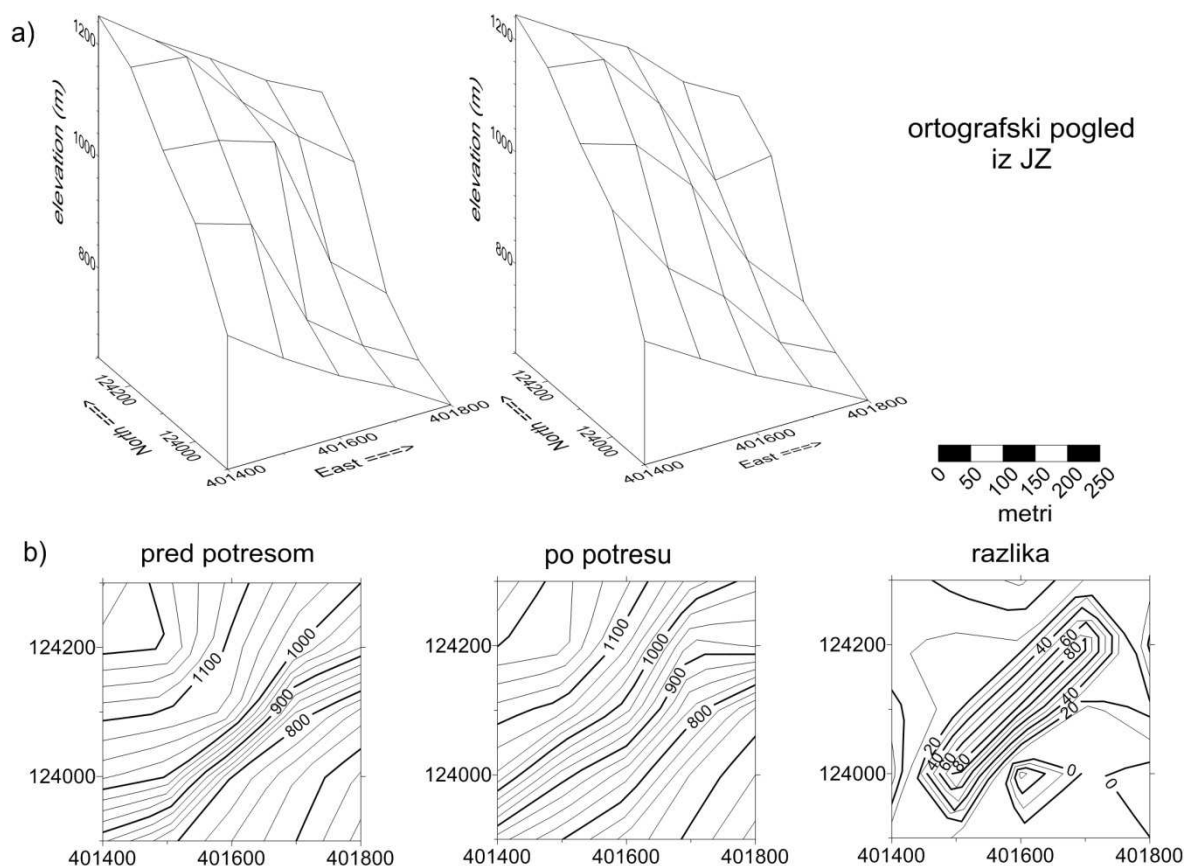


Slika 3 - Karta lokacij skalnih podorov in drugih učinkov na naravno okolje, ki so prikazani na slikah 4, 5 in 6.

Dva podora sem klasificiral kot zelo velika (preglednica 1). Največji je nastal na V. Lemežu nad Lepeno (slika 4a). S primerjavo obeh DMV sem izračunal njegovo prostornino na  $15 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Največja debelina odtrganih skalnih gnot je bila 120 m. Drugi največji podor se je zgodil na Osojnici nad dolino Tolminke (slika 4b). Primerjava DMV je dala prostornino  $3 \times 10^6 \text{ m}^3$  (slika 5). Štiri podore sem klasificiral kot velike in šest kot srednje velikih (slike 2, 3 in 4).

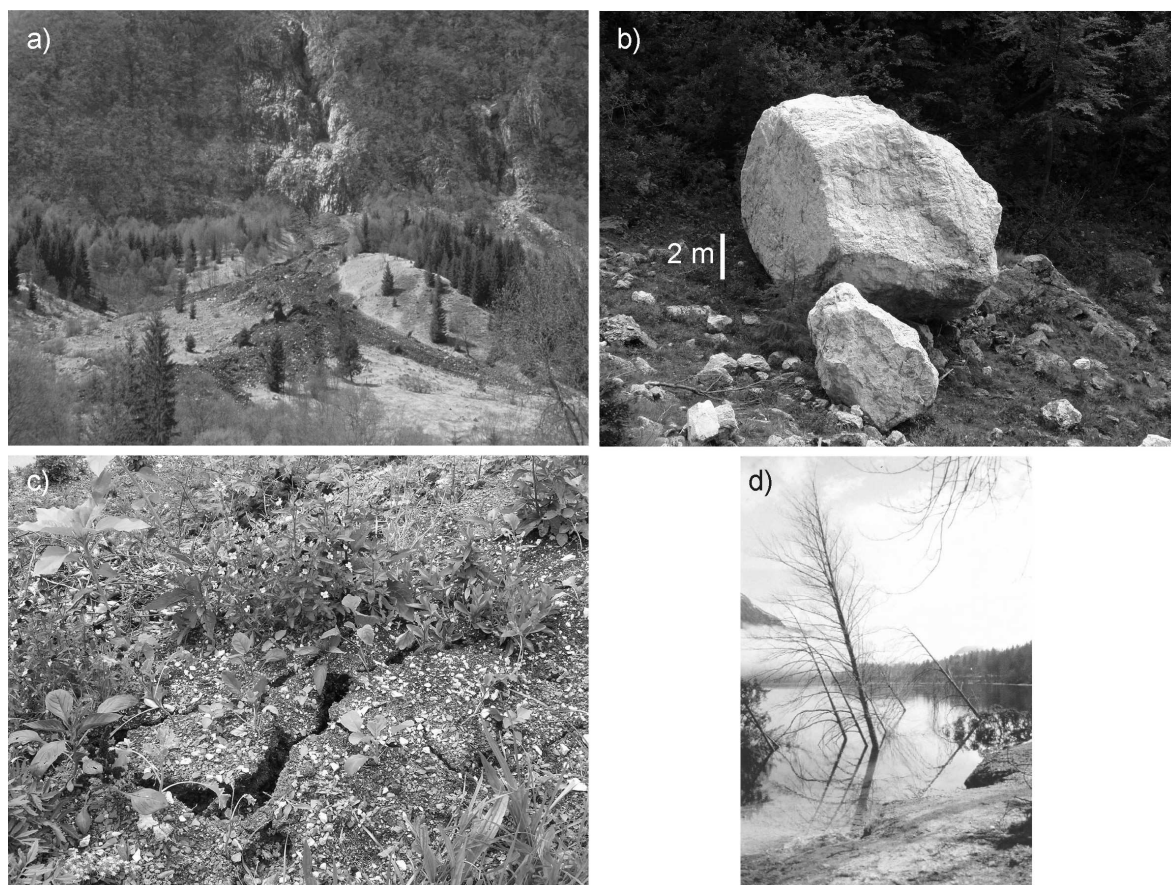


Slika 4 - Izbor največjih podorov v Krnskem pogorju z ocenjenimi intenzitetami po ESI 2007 (v oklepaju). (a) V. Lemež (VIII), (b) Osojnica (VIII), (c) Krn (VII), (d) Škril (VII), (e) V. Šmohor (VI), (f) Lipnik (VII).



Slika 5 - Digitalni model višin Osojnice nad dolino Tolminke, ki kaže topografijo površja pred in po potresu, (a) v perspektivi, (b) s konturami, skupaj z razliko med obema modeloma.

Poleg skalnih podorov, je potres povzročil tudi druge učinke na pobočjih ali ravnih tleh. Zemeljski plazovi so bili redki, saj je ozemlje zgrajeno predvsem iz karbonatnih kamnin, zato so nastali le na brežinah rek, v glaciofluvialnih sedimentih in na flišu. Zanimiv je pojav drobirskega toka v Lepeni (slika 6a). V času potresa je bilo v hribih zelo veliko novega snega, ki je bil dovzeten za plazenje. Drobirski tok je nastal kot mešanica skal, zemljin in snega in je zdrsel po strmi grapi kot zelo hiter plaz. Ko je dosegel ravno dno doline, se je drobir odložil v pahljačasti obliki. Po pobočjih se je zvalilo tudi veliko skalnih blokov, ki so zelo poškodovali gozd in celo uničili parkirane avto v dolini Soče. Največji skalni blok (slika 6b), ki je nastal pri podoru na Lipniku (slika 4f), je imel prostornino okoli 200 m<sup>3</sup>. Poročila o razpokah v tleh so bila redka (slika 6c), v vseh primerih je šlo za sekundarni pojav. Del obale Bohinjskega jezera (slika 6d), ki je oddaljeno 25 km od nadžarišča potresa, je spolzel v jezero. Terenski ogled je pokazal, da glaciofluvialni grušč ni bil podvržen likvefakciji, ampak je šlo za zdrs.



Slika 6 - Izbor drugih učinkov potresa na naravno okolje. (a) drobirski tok v dolini Lepene. (b) velik balvan v Doliču, (c) razpoke v tleh v Magozdu, (d) zdrs obale Bohinjskega jezera.

Pogovori z domačini in analize makroseizmičnih vprašalnikov so pokazali, da je potres povzročil tudi nekatere hidrološke učinke, predvsem spremembe v barvi vode, vendar ni bilo mogoče ugotoviti ali je do njih prišlo že pri samih izvirih ali šele kasneje zaradi zemeljskih plazov in podorov. Jasnih poročil o spremembah pretokov ali nivojev vode v vodnjakih ni bilo. Ker pa je pred in po potresu močno deževalo in so bili pretoki veliki, je to tudi razumljivo.

### Določitev intenzitete potresa

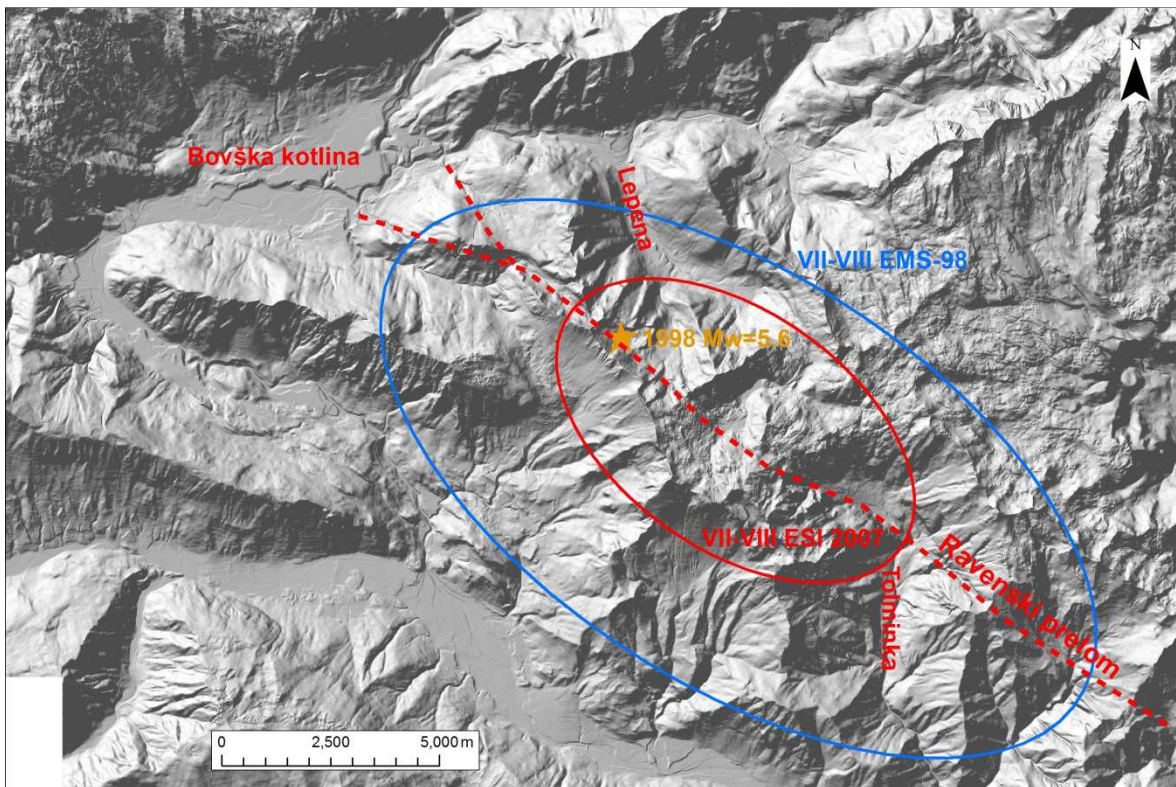
Analiza vseh učinkov potresa na naravno okolje je pokazala, da so bili le skalni podori dovolj razširjeni, da jih lahko uporabimo za oceno intenzitete, poleg tega pa še celotna velikost prizadetega območja. Po ESI 2007 ustreza redu velikosti prizadetega območja  $100 \text{ km}^2$  intenziteta VIII in redu velikosti  $1000 \text{ km}^2$  intenziteta IX. Po tem kriteriju, bi bila lahko intenziteta tega potresa VIII.

Zdi se, da je ESI 2007 nekoliko pomanjkljiva pri kvantitativnem opisu pobočnih pojavov. Le za intenziteto VIII razlikuje med pričakovano prostornino za "razširjene" zemeljske plazove ( $10^3\text{--}10^5 \text{ m}^3$ ) in "včasih velike" ( $10^5\text{--}10^6 \text{ m}^3$ ) podore. Za intenziteto VII je prostornina plazov in podorov kvalitativno in kvantitativno opredeljena skupaj kot "včasih pomembno" ( $10^3\text{--}10^5 \text{ m}^3$ ). Enako velja za intenziteto IX pri kateri so lahko plazovi in podori "pogosto veliki" ( $10^5 \text{ m}^3$ ) in "včasih zelo veliki" ( $10^6 \text{ m}^3$ ). Pri intenziteti X so



veliki ( $>10^5-10^6 \text{ m}^3$ ) plazovi in podori "pogosti" (Guerrieri & Vittori, 2007). Prostornina in pogostost podorov torej nista enoznačno diagnostični za oceno intenzitete v razponu VII-IX, kar je sicer razumljivo, saj so pojavi odvisni tudi od ranljivosti pobočij.

Z upoštevanjem teh omejitev, sem se v primeru potresa 1998 odločil za delovno hipotezo v kateri sem pripisal zelo velikim podorom VIII stopnjo, velikim VII, srednje velikim podorom pa VI stopnjo po ESI 2007. Ocenil sem tudi, da majhnih in zelo majhnih podorov v tem primeru ne moremo uporabiti kot diagnostične za oceno intenzitete. Z upoštevanjem tudi pogostosti podorov določenega velikostnega razreda sem izrisal izoseisto VII-VIII ESI 2007 (sliki 2 in 7). Ker sta se zgodila le dva zelo velika in štirje veliki podori, intenziteta VIII ne bi bila opravičena, zato je smiselna vmesna intenziteta VII-VIII. Izoseisto sem narisal tako, da vključuje vse velike in zelo velike podore ter ima izrazito eliptično obliko razpotegnjeno vzdolž poteka seizmogenega Ravenskega preloma. Dolžna elipse je 9,5 km in širina 5,5 km ter vključuje tudi vseh šest srednje velikih podorov. Na žalost se temu ni bilo mogoče izogniti, ker se slednji vsi nahajajo v bližini velikih in zelo velikih podorov. Pri tem potresu torej ni mogoče uporabiti srednje velikih podorov kot diagnostične za intenziteto VI, kot sem postavil v delovni hipotezi. Učinkov na naravno okolje samih tudi ni mogoče uporabiti za izris izoseiste VII ali nižjih intenzitetnih stopenj. Tudi kriterija velikosti celotnega prizadetega območja ni mogoče uporabiti samega za določitev največje intenzitete na VIII ESI 2007.



Slika 7 - Primerjava dveh izoseist za potres 12. aprila 1998: izoseista VII-VIII EMS-98 dobljena iz makroseizmičnih podatkov in izoseista VII-VIII ESI 2007 dobljena iz analize učinkov na naravno okolje.

Za intenzitete po EMS-98 v predhodnih raziskavah (Cecić et al, 1999) niso izrisali izoseist, so pa podali povprečne polmere in sicer 13 km za VII in 25 km za VI stopnjo, ne pa polmera za največjo intenziteto VII-VIII (Zupančič et al., 2001). To je sicer

metodološko pravilno, saj se "vmesne" intenzitete praviloma ne izrisujejo. Za namen te študije sem to vseeno naredil in sicer tako da izoseista VII-VIII EMS-98 (sliki 1 in 7) vključuje vse štiri naselja v nadžariščnem območju z intenziteto ocenjeno na VII-VIII. Tudi ta izoseista ima izrazito eliptično obliko in je 18 km dolga ter 9,5 km široka. Njena velikost pa je močno odvisna od ene same točke (Tolminske Ravne), ki ježi precej daleč od ostalih proti JZ. Pri tem je treba upoštevati, da se Tolminske Ravne nahajajo na ledeniški moreni, kjer lahko pričakujemo lokalne vplive na potresne valove, ki povečujejo intenziteto.

## Zaključki

Obe oceni intenzitete potresa 1998 v Krnskem pogorju, prva je temeljila na učinkih na ljudi, predmete in stavbe po EMS-98, druga pa na učinkih na naravno okolje (predvsem podorih) po ESI 2007, sta dali enako največjo intenziteto VII-VIII. Celotno prizadeto območje in dva zelo velika podora bi sicer lahko kazala tudi na intenziteto VIII, vendar menim, da samo ti kriteriji ne zadoščajo za pripis višje intenzitete. Raziskava je tudi potrdila, da ESI 2007 ne moremo uporabljati samostojno za intenzitete nižje od IX, ampak vedno v kombinaciji za drugimi lestvicami, predvsem EMS-98. Obe metodi določitve sta dali jasno razpotegnjeno obliko izoseiste največje intenzitete (slika 7), ki je vzporedna seizmogenemu Ravenskemu prelomu. Območji, ki ju obsegata se sicer razlikujeta, vendar je izoseista VII-VIII EMS-98 močno odvisna od ene same točke, ki je precej oddaljena in kjer so verjetni lokalni vplivi, ki povečujejo intenziteto. Raziskave so tudi pokazale, da je ESI 2007 lestvica učinkovito orodje za oceno intenzitete v redko poseljenih goratih območjih ne le za zelo močne, temveč tudi za srednje močne potrese.

**Zahvala.** Avtor se zahvaljuje Ini Ceciĉ za makroseizmiĉne podatke ter Mihaelu Ribiĉiĉu, Renatu Vidrihu, Marku Koĉevarju in Tomažu Begušu, ki so opravili veĉino dela pri terenskem popisu podorov. Sliki 6c in d je posnel Renato Vidrih.

## Literatura

- Ceciĉ, I., Godec, M., Zupanĉiĉ, P., Dolenc, D. (1999). Macroseismic effects of 12 April 1998 Krn, Slovenia, earthquake: An overview. XII General Assembly of the IUGG, Abstract Book B, Birmingham, p.189.
- Gosar, A. 2012: Application of Environmental Seismic Intensity scale (ESI 2007) to Krn Mountains 1998 Mw = 5.6 earthquake (NW Slovenia) with emphasis on rockfalls. Nat. hazards earth syst. sci. 12, 1959-1670.
- Grünthal, G. 1998: European Macroseismic Scale 1998. Conseil de L'Europe, Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, Luxemburg, 99 p.
- Guerrieri L., Vittori E. 2007: Intensity scale ESI 2007. Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia, 74. Servizio Geologico d'Italia, APAT, Rome, 41 p.
- Vidrih R., Ribiĉiĉ, M. 1999: Slope failure effects in rocks at earthquake in Posoĉje on April, 12 1998 and European Macroseismic Scale (EMS-98). Geologija 41, 365-410.
- Vidrih, R., Ribiĉiĉ, M., Suhadolc, P. 2001: Seismogeological effects on rocks during 12 April 1998 upper Soĉa Territory earthquake (NW Slovenia). Tectonophysics 330, 153-175.
- Zupanĉiĉ, P., Ceciĉ, I., Gosar, A., Placer, L., Poljak, M., Źivĉiĉ, M. 2001: The earthquake of 12 April 1998 in the Krn Mountains (Upper Soĉa valley, Slovenia) and its seismotectonic characteristics. Geologija 44, 169-192.