

Pomen mreže prenosnih potresnih opazovalnic RI-SI-EPOS jugovzhodno od Postojne

Martina Čarman*, Tamara Jesenko*, Stanka Šebela**, Polona Zupančič*, Danijela Birko*, Mladen Živčić*

POVZETEK

Območje jugovzhodno od Postojne je potresno eno bolj aktivnih v Sloveniji. Z novo postavljeno opremo lokalne mreže RI-SI-EPOS ne bomo le določali lokacije in globine potresov z večjo natančnostjo, temveč locirali številne šibke potrese, katerih z dosedanjo mrežo nismo bili zmožni locirati zaradi nezadostnega števila zapisov. Začasne opazovalnice so v obdobju od maja do konca novembra 2020 zabeležile 92 potresov. Na vzorcu 46 smo pokazali, da so izračuni lokacij in globin žarišč izboljšani. Pričakujemo, da bomo s še večjim številom zabeleženih potresov lahko raziskali aktivne strukture tega območja, kar posledično prispeva k izdelavi bolj natančne karte potresne nevarnosti.

Ključne besede: RI-SI-EPOS, seizmologija, Zunanji Dinaridi, Slovenija.

Keywords: RI-SI-EPOS, seismology, External Dinarides, Slovenia.

Uvod

V okviru projekta »RAZVOJ RAZISKOVALNE INFRASTRUKTURE ZA MEDNARODNO KONKURENČNOST SLOVENSKEGA RRI PROSTORA – RI-SI-EPOS«, je vodilni partner ZRC SAZU kupil seizmološko opremo za spremljanje potresne aktivnosti v severozahodnem delu Zunanjih Dinaridov v Sloveniji, v področju jugovzhodno od Postojne (RI-SI-EPOS, 2018, Šebela et al. 2020, Šebela, 2021).

Namen mreže je beležiti potresno aktivnost v opazovanem območju in prispevati zapise, ki bodo omogočili podrobne študije aktivnih tektonskih struktur tega dela ozemlja. S takšno mrežo bomo zagotovili določanje lokacije in drugih parametrov potresov z zadostno natančnostjo za opredelitev kinematike in dinamike aktivnih prelomov v tem področju.

Strateški cilj seizmološkega dela projekta je pridobiti in domači ter svetovni strokovni in raziskovalni skupnosti omogočiti uporabo sodobnih seizmoloških zapisov zajetih na ozemlju Slovenije in s tem pospešiti raziskave procesov v potresnih žariščih in strukturi Zemljine notranjosti, tako globalno kot tudi na območju Slovenije.

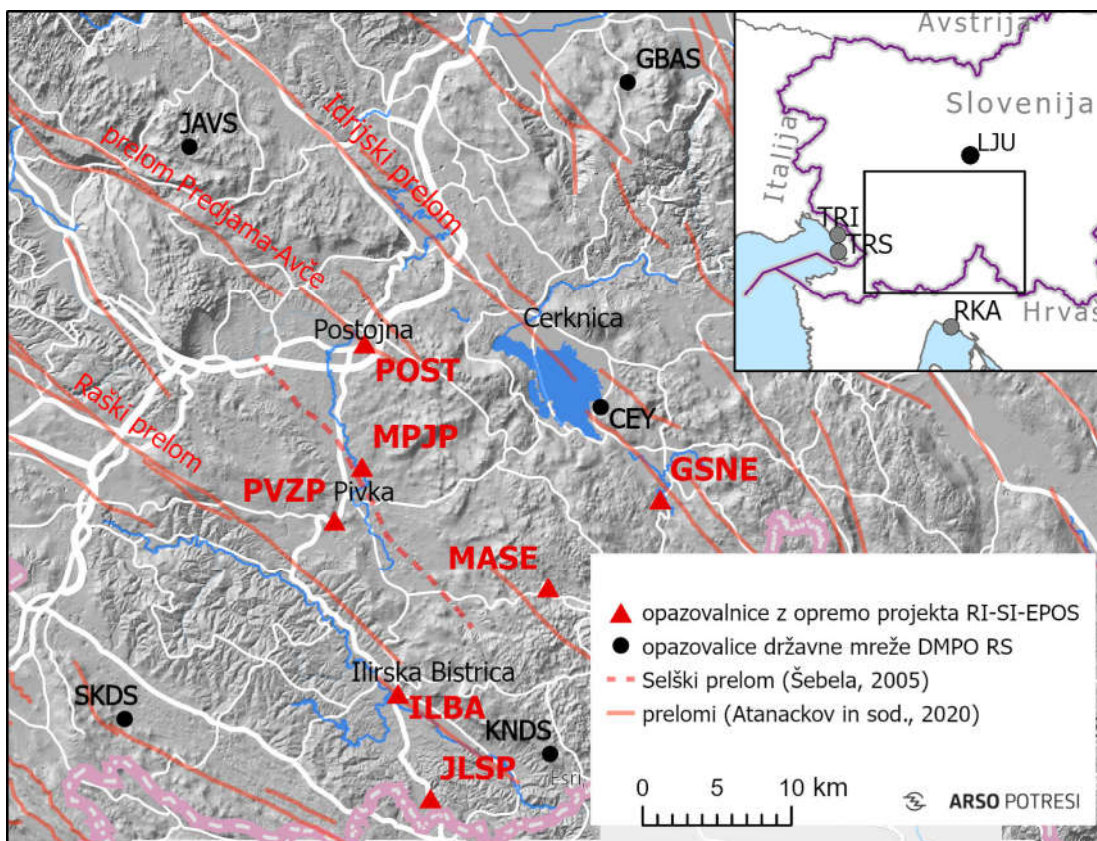
Tektonika

V tektonskem smislu pripada jugovzhodna Slovenija Zunanjim Dinaridom (Placer 1981, Placer, 1999; Poljak, 2000), ki se nahajajo na aktivnem stiku Jadranske mikroplošče z Evrazijsko ploščo. Aktivne deformacije na tem delu se v največji meri dogajajo vzdolž desno-zmičnih prelomov dinarske smeri (SZ-JV) in ob narivih proti jugozahodu. V reliefu

* Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana

** ZRC SAZU Inštitut za raziskovanje krasi, Titov trg 2, 6230 Postojna

najbolj opazen in najdaljši je Idrijski prelom. To je desno-zmični prelom dožine približno 100 km, njegova trasa je segmentirana in poteka v smeri severozahod-jugovzhod. V zadnjih letih in desetletjih ni bil najbolj potresno aktiven, leta 1511 pa je mogoče na njem nastal najmočnejši potres do sedaj v Sloveniji (Živčič in sod., 2011a). Številne raziskave preloma kažejo, da se povprečne hitrosti premikov ob prelomu spreminjajo glede na lokacijo, pa tudi glede na časovno okno (Moulin in sod. 2014-, Moulin in sod., 2016). Atanackov in sod. (2020) ocenjujejo povprečno hitrost premikov ob prelomu 1mm/leto. V okolici sta pomembna še Raški prelom in prelom Predjama-Avče, ki sta tudi prepoznana kot aktivna preloma, na katerih lahko nastanejo potresi magnitude 5,8 ali več (Atanackov in sod., 2020, slika 1). Skozi Pivško kotlino poteka Selški prelom, ki ga je določil Gospodarič (1989). Prelom se iz Prestranskega ravnika nadaljuje proti JV vse do Koritnic in domnevno še naprej proti JV v zahodno pobočje Snežnika. JV od Prestranka je potek Selškega preloma skladno z Gospodaričem (1989) določil tudi Poljak (2000). Na sliki 1 je prikazan potek Selškega preloma povzet po Šebela (2005). Številne potrese, ki so se v zadnjih 25-ih letih zgodili na tem območju, lahko pripišemo tem prelomom (npr. Vičič in sod., 2019). Vendar so tudi potresi in potresni nizi, ki jih dinarsko usmerjeni prelomi ne morejo razložiti. Tak je na primer niz potresov, ki je sledil potresu 22. aprila 2014 (Živčič in sod., 2016) in kaže na nastanek ob levo-zmičnem prelomu v smeri SV-JZ. Prelomi prečno-dinarske smeri na tem območju niso bili kartirani in prepoznani kot aktivni. Gospodarič (1989) jih omenja kot krajše, a zato številnejše v območju Slavine, Selc in Pivke, kjer sečejo narivnico, delijo karbonatne sklade v posamezne bloke in dajejo strukturno zasnovo številnim grapam,



Slika 1 – Položaji potresnih opazovalnic nameščenih v letu 2020 v okviru projekta RI-SI-EPOS (RI-raziskovalna infrastruktura, SI-Slovenija, EPOS-European Plate Observing System/Sistem opazovanja Evropske plošče). Opazovalnice so POST (IZRK ZRC SAZU, Postojna), MPJP (Ekomuzej Pivških presihajočih jezer, Slovenska vas), PVZP (Park

vojaške zgodovine, Pivka), JLSP (OŠ Jelšane, Jelšane), MASE (Mašun), GSNE (Grad Snežnik), ILBA (Ilirska Bistrica). Aktivni, verjetno in potencialno aktivni prelomi daljši od 5 km na katerih lahko nastanejo potresi magnitude 5.8 ali več po Atanackov in sod. (2020).

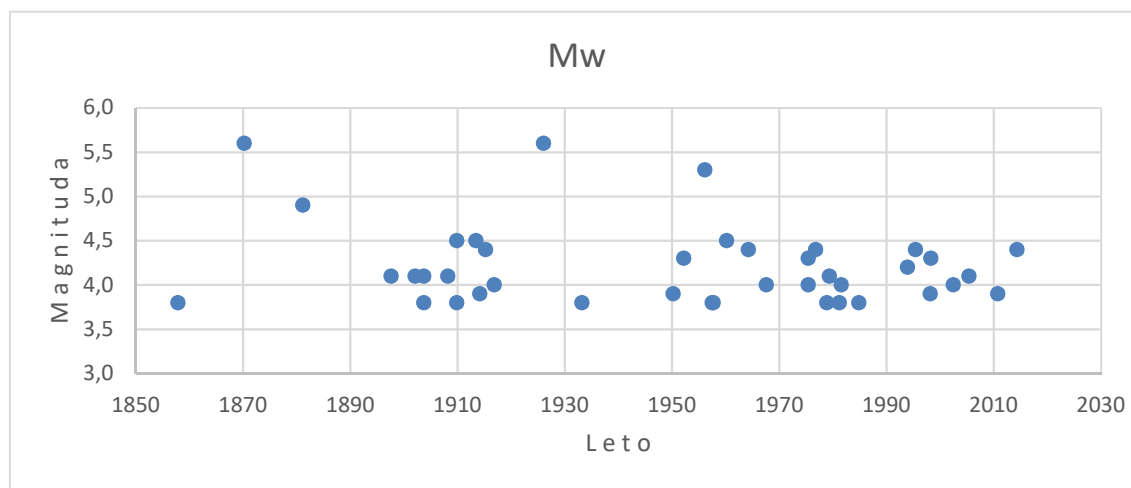
Trasa Selškega preloma je povzeta po Šebela (2005).

ki se stekajo v Pivško kotlino. V članku Poljak in sod. (2010) je poimenovan Pivški prelom, ki je omenjen kot sekundarna struktura med Idrijskim in Raškim prelomom, vendar trasa preloma ni opisana. Novo postavljene potresne opazovalnice v Pivški kotlini (POST, MPJP in PVZP na sliki 1) bodo bistveno pripomogle k natančnejšemu spremljanju potresne aktivnosti na tem območju in k bolj natančnemu prostorskemu lociranju ter posledično k odkrivanju novih aktivnih struktur na tem območju. To so pomembni podatki za razumevanje tektonike tega območja in za izdelavo karte potresne nevarnosti.

Na območju Jelšan deluje potresna opazovalnica JLSP, ki je pomembna za spremljanje in lociranje potresov na območju južno od Snežnika. Potresna opazovalnica MASE na Mašunu pokriva širši predel severno od Snežnika, opazovalnica GSNE v gradu Snežnik pa južni del Idrijske prelomne cone.

Seizmičnost

Območje jugovzhodno od Postojne vse do slovensko-hrvaške meje sodi med seizmično bolj dejavna območja v Sloveniji. Letno z napravami Državne mreže potresnih opazovalnic RS (DMPO RS) (Vidrih in sod., 2006) na tem območju zabeležimo povprečno trideset potresov magnitude 1,5 in večje. V katalogu potresov v Sloveniji (ARSO, 2020) sta kot najmočnejša potresa tega območja navedena potres leta 1870 pri Klani na Hrvaškem in leta 1926 potres pod Javorniki, oba z magnitudo 5,6. Dinamika pojavljanja potresov magnitude 3,8 in večjih je prikazana na sliki 2. V zadnjih 120 letih, za katera lahko domnevamo, da imamo zbrane podatke o vseh potresih te jakosti in močnejših, se izmenjujejo obdobja večje in manjše aktivnosti.



Slika 2 – Potresi magnitude 3,8 in močnejši, ki so se zgodili na območju jugovzhodno od Postojne in so zavedeni v katalogu potresov v Sloveniji (ARSO, 2020).

V začetku 20. stoletja sta bili temu področju najbližji potresni opazovalnici na Reki (začela delovati 1901) in v Trstu (začela delovati 1898). Delovali sta do leta 1918, vendar

zapisi niso ohranjeni. Leta 1931, po več kot desetletni prekinitvi, je v Trstu začela delovati opazovalnica TRS, ki je delovala do leta 1965. V Trstu od leta 1963 neprekinjeno deluje opazovalnica TRI. Na slovenskih tleh je bila vse do leta 1975 temu področju najbližja opazovalnica na Astronomsko-geofizikalnem observatoriju v Ljubljani z oznako LJU, ki je začela potrese beležiti leta 1958. Opazovalnica CEY, nameščena na jugovzhodnem robu Cerknškega jezera, neprekinjeno deluje od leta 1975. Med izgradnjo DMPO RS v letih 2001–2006 je bila opazovalnica CEY posodobljena, dodatno pa sta bili zgrajeni opazovalnici KNDS (leta 2003) in SKDS (leta 2006), ki sta sedaj temu področju najbližji opazovalnici DMPO RS (Slika 1).

Za zanesljivo določitev lokacije potresa, ki bi omogočala ugotoviti, na katerem prelomu je potres nastal, so za večino opazovanega območja te opazovalnice še vedno preveč oddaljene. To še posebej velja za opredelitev globine potresnega žarišča, točnost katere je bistveno pogojena z oddaljenostjo najbližje opazovalnice od nadžarišča potresa. Zato so delavci tedanje Uprave RS za geofiziko (URSG) v začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja dobavili tudi nekaj prenosnih potresnih opazovalnic, namenjenih začasnemu opazovanju v primeru povečane potresne aktivnosti. Prva taka postavitvev na tem območju je bila po dveh močnih potresih leta 1995 (magnituda $M_w = 4,0$ in $M_w = 4,2$), ki sta se v razmaku ure in pol zgodila v bližini Ilirske Bistrice. Opazovalnica, takrat »začasno« nameščena v Ilirski Bistrici, deluje še danes in je sedaj s posodobljeno opremo del mreže potresnih opazovalnic RI-SI-EPOS. V kasnejših letih so zaposleni na URSG in pozneje ARSO še večkrat postavili prenosne opazovalnice, takoj po močnejšem potresu ali v primeru povečane potresne aktivnosti. V preglednici 1 smo zbrali nekaj primerov začasnih postavitvev z opisom potresnega niza in dinamiko postavljanj potresnih opazovalnic.

Pomen prenosnih potresnih opazovalnic

Namen postavitve mreže potresnih opazovalnic jugovzhodno od Postojne je dopolniti mrežo DMPO RS in tako omogočiti čim natančnejšo opredelitev potresnih parametrov ter hkrati zagotoviti, da imamo v primeru povečane potresne aktivnosti v zadostni bližini vsaj eno opazovalnico, ki zabeleži celoten niz potresov. Pomen goste mreže potresnih opazovalnic, ki kontinuirano beleži potrese območja, bomo v nadaljevanju prikazali na primeru potresa magnituda $M_w = 4,3$, ki se je zgodil 22. aprila 2014 ob 9.58 UTC nekaj km jugovzhodno od Pivke.

Potres se je zgodil med delovnim časom na delovni dan v času, ko je bila na Uradu za seizmologijo na ARSO na razpolago le ena delujoča prenosna opazovalnica. Ostale so bile še vedno začasno nameščene na območju Suhe Krajine, kjer so beležile popotresno aktivnost po potresu, ki se je tam zgodil marca 2014. Delavci Urada za seizmologijo so se v najkrajšem možnem času odpravili v Suho Krajino, demontirali opremo dveh opazovalnic ter se z njo odpravili na področje Pivke. Prva potresna opazovalnica je potrese začela beležiti že 3 ure in 45 minut po glavnem potresu na lokaciji v Trnju. To lokacijo smo že koristili, ko smo beležili roj potresov v začetku leta 2013. Tako je bil dogovor o postavitvi z lastnikom stavbe lažji in hitrejši. Ostali dve opazovalni mesti je bilo treba še določiti, poiskati primerno stavbo ter se dogovoriti z lastnikom ali upravnikom. Za vse to je bil potreben čas. Kljub temu nam je v petih urah in pol po potresu uspelo zagotoviti še dve mesti in skupno postaviti tri potresne opazovalnice, ki v oddaljenosti do pet km lepo obkrožajo nadžarišče glavnega potresa.

Hitro postavljanje in hiter začetek beleženja popotresne aktivnosti je izjemno pomemben. Znano je, da je v večini primerov popotresni niz časovno razporejen po tako imenovanem modificiranem Omorijevem zakonu (Utsu, 1992; Utsu in Ogata, 1997), po katerem število

popotresov v enoti časa eksponentno pada. Pri modeliranju zakonitosti časovnega pojemanja števila popotresov smo zajeli 227 zabeleženih popotresov magnitude M_{LV} enake 0,7 ali večje v obdobju 94 dni po glavnem potresu. Ta magnituda predstavlja spodnji prag, za katerega smo ocenili, da smo zabeležili vse potrese nad njim. Prileganje modelirane krivulje

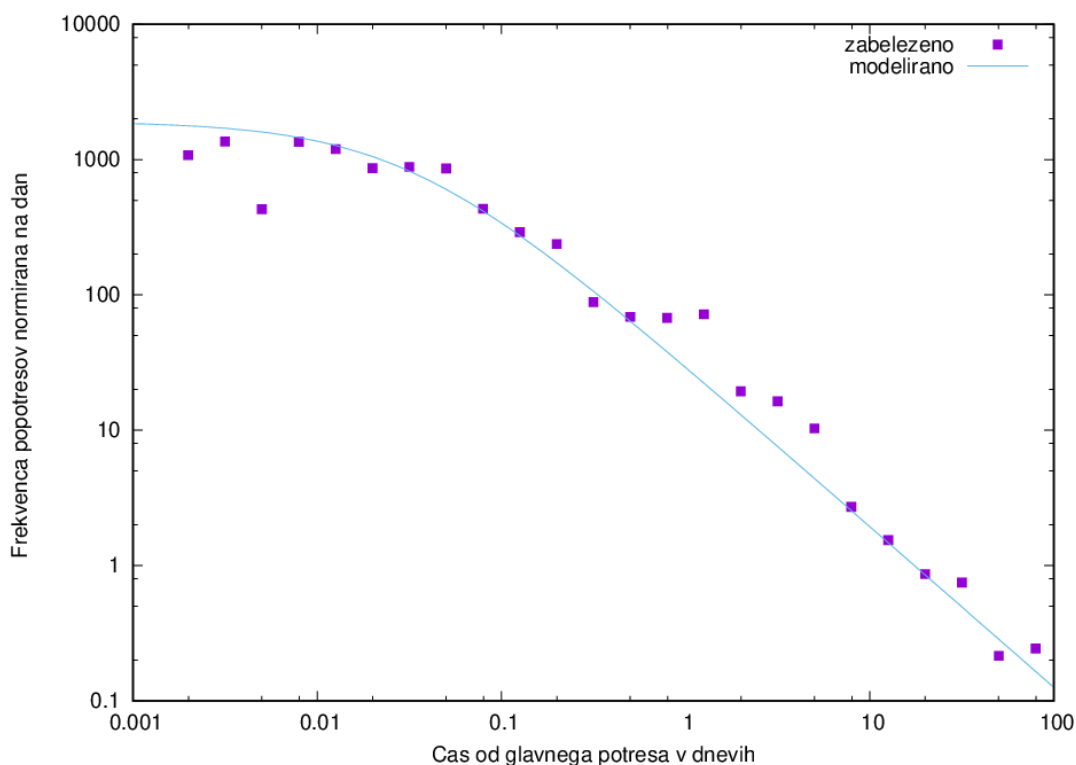
Preglednica 1 – Potresni nizi in prenosne opazovalnice, ki so bile postavljene v bližino niza takoj po močnejšem potresu ali v primeru povečane potresne aktivnosti.

Datum najmočnejšega potresa v nizu	Lokacija potresnega niza	Trajanje povečane potresne aktivnosti [dnl]	Število lociranih potresov	Magnituda M_{LV} najmočnejšega potresa	Spodnja M_{LV} meja lociranih potresov	Začasne potresne opazovalnice (od tega nove)	Novečasne potresne opazovalnice in čas postavitve
22. 5. 1995	Koritnice	8	16	4,7	1,6	2 (2)	ILBA (isti dan) KRTS (isti dan), PDGS (naslednji dan)
2. 6. 2002	Ratečevo Brdo - Koritnice	25	18	3,8	0,4	2 (1)	KRTS (6 ur in 14 min po potresu)
24. 4. 2005	Jasen – Ilirska Bistrica	99	37	3,8	0,1	3 (2)	NOKE (18 ur in 6 min po potresu), GZME (16 ur in 10 min po potresu)
15. 1. 2010	Veliki Otok	155	396	3,7	-0,4	3 (3)	POST (13.1. 2010), STUP (15. 1. 2010) VGPJ (27. 1. 2010)
6. 1. 2013	Slovenska vas	18	11	2,9	-0,2	3 (1)	TRNP (3 dni 23 ur in 24 min po potresu)
22. 4. 2014	Drskovče	94	435	4,3	-0,4	6 (3)	JURE (4 ure in 48 min po potresu), TRNP (3 ure in 45 min po potresu), ZAGP (5 ure in 35 min po potresu)
5. 12. 2018	Juršče	24	22	3,4	-0,3	2 (2)	JURE (17 ur in 24 min po potresu), MASP (15 ur in 53 minut po potresu)
14. 2. 2019	Juršče	14	53	1,7	-0,3	2 (2)	KRTS (isti dan), PVZP (15. 2. 2020 ob 11.00)
1. 10. 2019	Snežnik	6	90	3,4	-0,4	1(1)	MASP (11 ur po potresu)

dejanskemu pojemanju števila zabeleženih popotresov je prikazano na sliki 3. Do postavitve začasne mreže potresnih opazovalnic se je zgodilo že 86 potresov (od 227), vendar so lokacije teh potresov določene z večjo negotovostjo kot lokacije potresov, ki so jim sledili. Če bi opazovalnice postavili naslednji dan, 30 ur po glavnem potresu, bi bilo potresov s

slabše določenimi parametri 148, torej bi zamudili več kot polovico vseh lociranih potresov. Dodatna vrednost začasnih potresnih opazovalnic je tudi, da lahko s pomočjo dobro opredeljenih parametrov potresov zabeleženih na le-teh z npr. relativno metodo časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Double-Difference Hypocenter determination – HypoDD, Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) popravimo tudi parametre potresov, ki jih začasne opazovalnice zaradi poznejše postavitve še niso mogle zabeležiti, vendar so jih zabeležile stalno delujoče potresne opazovalnice DMPO RS.

Pri začasno postavljenih opazovalnicah se je v primeru tega potresa izkazalo, kako pomembno je beležiti potrese kontinuirano. Ena od treh opazovalnic, JURE, je potrese beležila v prožilnem načinu, kar pomeni, da se shrani le tisti del zapisa, kjer amplituda zapisa preseže mejno vrednost. Ta način delovanja je bil nujen dokler so bili zapisi hranjeni na za današnji čas majhnih spominskih enotah. Vendar pa je zato opazovalnica JURE zgrešila številne šibke potrese ter zabeležila bistveno manj popotresov, kot sta jih začasni potresni opazovalnici ZAGP in TRNP, ki sta seizmičnost beležili kontinuirano. Vse opazovalnice mreže RI-SI-EPOS beležijo potresno aktivnost kontinuirano.

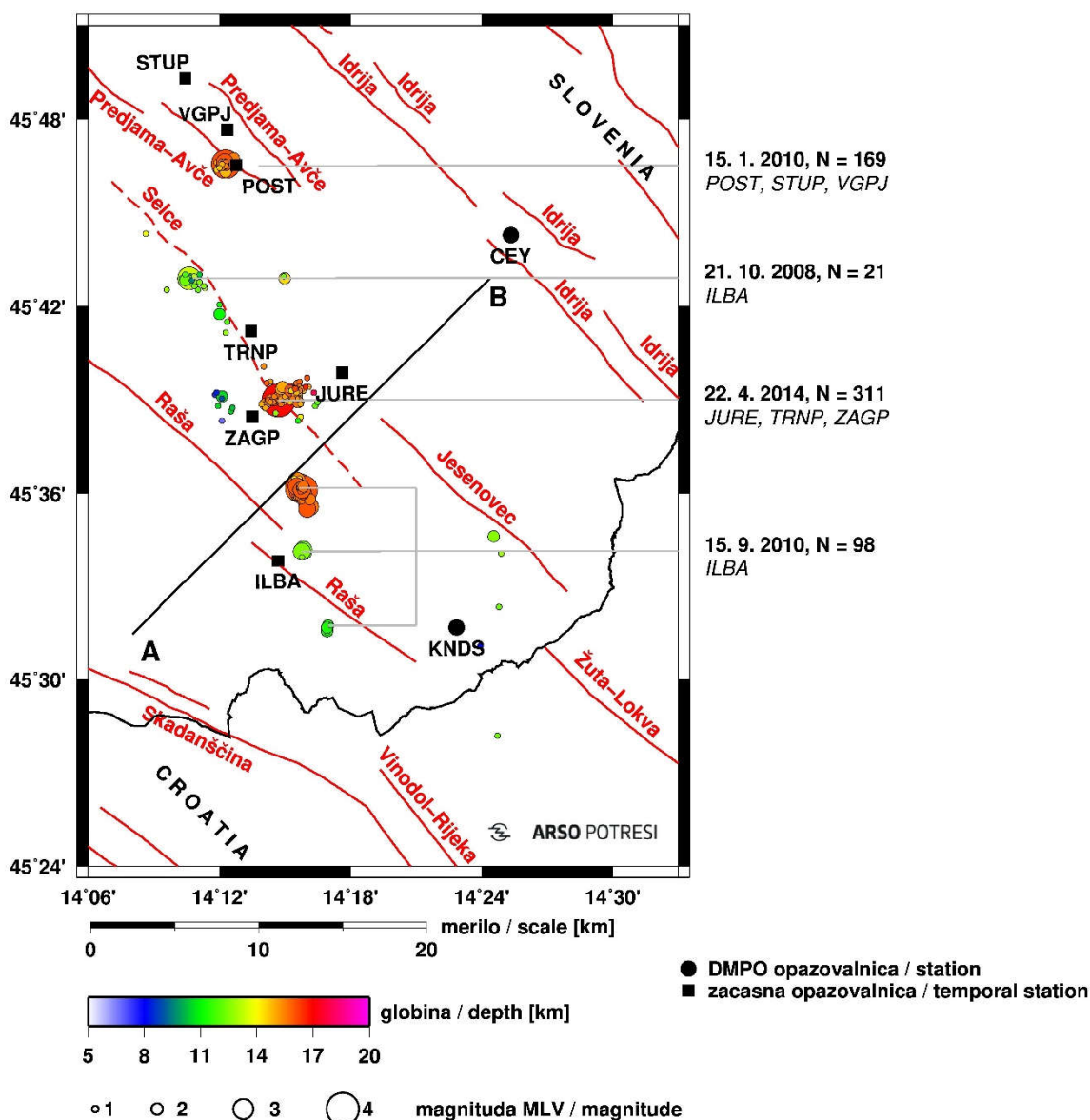


Slika 3 – Časovno pojevanje števila popotresov po glavnem potresu pri Pivki dne 22. 4. 2014 magnitude večje ali enake 0,7 normirano na en dan (viola kvadratki) in pojevanje števila popotresov po modificiranem Omorijevem zakonu (modra črta).

Hitra postavitve začasnih opazovalnic na nadžariščno območje nam je v primeru tega potresa omogočila vpogled v žariščno dogajanje. Prostorska porazdelitev žarišč popotresnega niza 311-ih potresov kaže na skoraj navpičen potresno dejaven del preloma na globini med 15 in 17,5 kilometri. Prelomna ploskev ima prečno-dinarsko smer JZ-SV

(približno N70°E), ob glavnem potresu pa je prišlo ob njej do levega znika (Živčić in sod., 2016).

Od leta 2003, ko je na raziskovanem območju v okviru izgradnje DMPO RS posodobljena potresna opazovalnica CEY in na novo postavljena potresna opazovalnica KNDS, se je



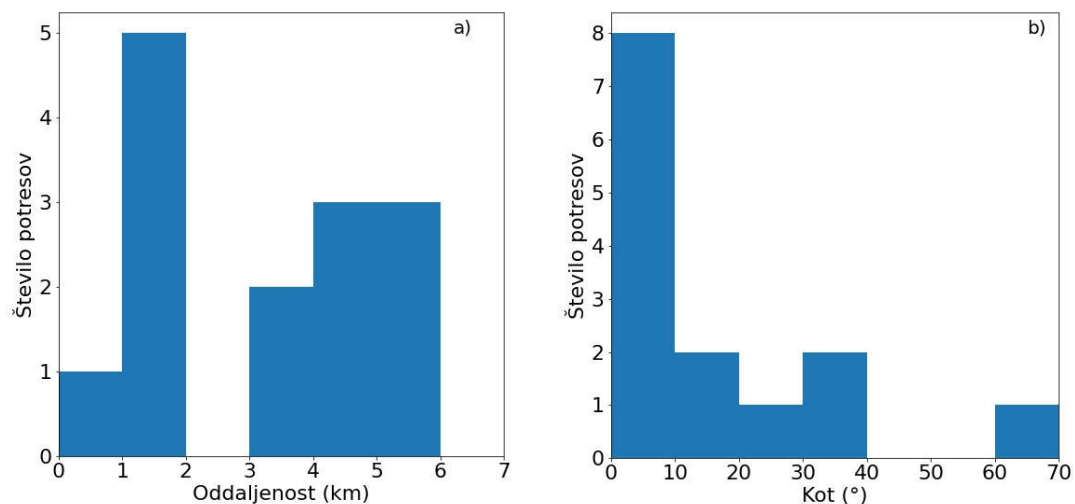
Slika 4 – Potresni nizi na raziskovanem območju, ki so bili relocirani v študijah Ložar Stopar in sod. (2009), Čarman in sod. (2011), Živčić in sod. (2011b, 2016). Poleg opazovalnic DMPO RS so na sliki označene začasno postavljene potresne opazovalnice. Ob desni strani zemljevida je za vsako gručo naveden datum glavnega potresa v gruči, število potresov in začasno postavljene opazovalnice, ki so seizmičnost po potresu beležile. Rdeče polne črte prikazujejo trase prelomov v Sloveniji in prelomnih potresnih izvorov na Hrvaškem po Atanackov in sod. (2020). Rdeča prekinjena črta predstavlja traso Selškega preloma povzeto po Šebela (2005).

zgodilo nekaj številčnejših potresnih nizov. Nekatere smo podrobneje opisali v Ložar Stopar in sod. (2009), Čarman in sod. (2011), Živčić in sod. (2011, 2016). Rezultati študij so zbrani

in prikazani na sliki 4. Vsaka gruča je bila podrobno proučena, medsebojne lokacije potresov v gruči pa izboljšane z relativno metodo časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001). Boljšo opredelitev globine potresnega niza so nam omogočile opazovalnice postavljene v bližini potresnega niza, saj v primeru, da se opazovalnica nahaja skoraj nad žariščem, celotno oddaljenost žarišča od opazovalnice lahko pripišemo žariščni globini. Tako smo potresom leta 2010 na območju Ilirske Bistrice globino določili s pomočjo opazovalnice ILBA v Ilirski Bistrici, ki je tam delovala od leta 1995. V dveh primerih, to je po potresu 15. januarja 2010 pri Postojni in po potresu 22. aprila 2014 pri Pivki, pa smo v bližino potresnih nizov začasno postavili po tri potresne opazovalnice. Dodatno so po potresu v Postojni 27. januarja 2010 seizmologi z Dipartimento di geoscienze z Univerze v Trstu v sodelovanju z ARSO ter z IRK ZRC SAZU ter ob privolitvi takratnega upravljavca Postojnske jame Turizma Kras d.d. v Postojnski jami postavili prenosno potresno opazovalnico VGPI. Na zemljevidu slike 4 so poleg potresov, za katere menimo, da so potresni parametri zanesljivo določeni, izrisani tudi začasno – za čas povečane seizmične aktivnosti - postavljene potresne opazovalnice.

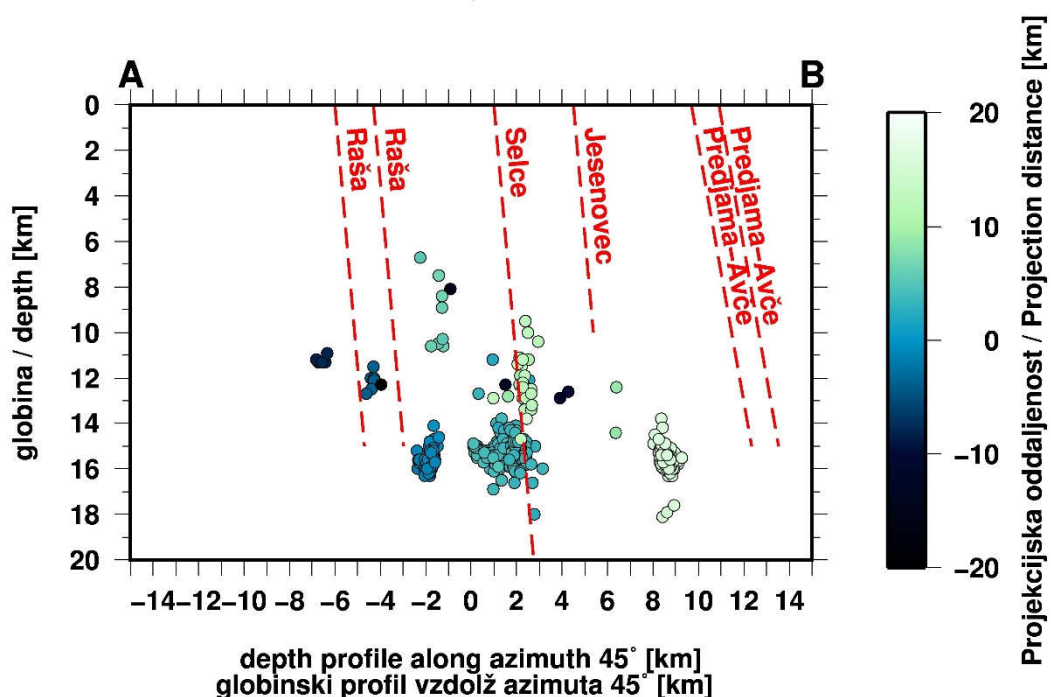
Prvi rezultati delovanja prenosnih potresnih opazovalnic RI-SI-EPOS

Območje med Postojno in slovensko-hrvaško mejo je nenehno seizmično aktivno. Gostota opazovalnic DMPO RS omogoča točnost določanja lege žarišč le na nekaj kilometrov natančno, kar je premalo, da bi žarišča lahko povezovali s potresnimi izvori. Na sliki 5 smo pokazali porazdelitev oddaljenosti žarišč potresov, za katere imamo določene žariščne mehanizme, od najbližjega preloma (slika 5a) in oceno razlike (predstavljeno s kotom po Kagan, 1991) med predvidenim premikom na prelomu in rešitvijo žariščnega mehanizma (slika 5b). Oddaljenosti več kot polovice potresov so med 3 in 6 km. V nekaterih primerih so oddaljenosti in ustrezne napake do dveh najbližjih prelomov podobne, zato ne moremo z gotovostjo trditi, na katerem prelomu se je potres zgodil. Razlike v mehanizmih so majhne kljub precejšnji oddaljenosti večine žarišč potresov od najbližjega znanega preloma.



Slika 5 – a) Histogram oddaljenosti žarišč z opredeljenimi žariščnimi mehanizmi od najbližjega aktivnega preloma v KAP (Atanackov in sod., 2020); b) Razlika v žariščnem mehanizmu in parametri (slemenitev, naklon, premik) prideljenimi potresu najbližjemu prelomu.

Šele lokacije predstavljenih potresnih nizov, ki so bili zabeleženi na opazovalnicah v neposredni bližini, so določene dovolj zanesljivo, da bi jih lahko povezali z aktivnimi prelomi. Na zemljevidu slike 4 so prikazani položaji prelomov kot so določeni na karti aktivnih prelomov v Sloveniji (Atanackov in sod., 2020). Označeno traso globinskega profila (daljica AB na sliki 4) smo izrisali na sliki 6. Vidimo lahko, da potresov zaenkrat ne moremo pripisati nobenemu sedaj opredeljenemu prelomu. Gruč je premalo, da bi njihovi položaji orisali potek preloma. Glede na nenehno potresno aktivnost območja pa pričakujemo, da bo lokalna mreža RI-SI-EPOS omogočila spoznati aktivne prelomne strukture predvsem prek šibke seizmičnosti.



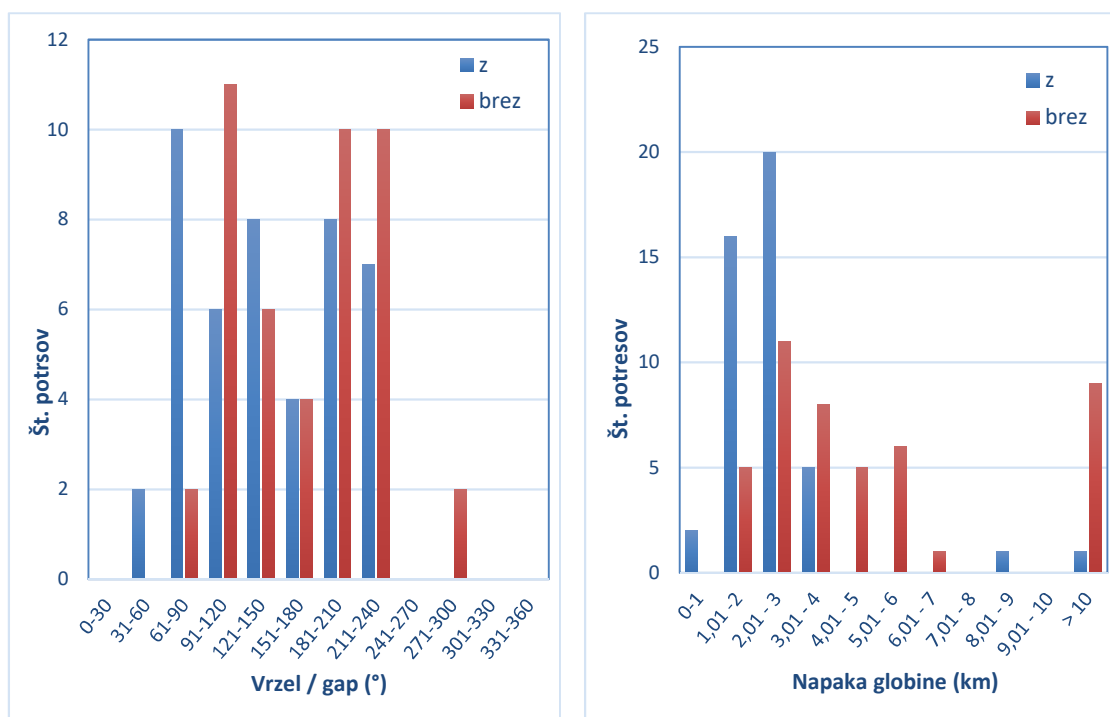
Slika 6 – Žarišča izbranih potresnih nizov, prikazanih na sliki 4, izrisana na globinskih prerezih vzdolž daljice AB oziroma azimuta $N45^{\circ}E$. Trasa globinskega profila je označena na sliki 4. Barva krogcev ponazarja oddaljenost potresa od projekcijske ravnine. Rdeče prekinjene črte označujejo globinski potek prelomov z upoštevanjem najboljše ocene naklona po Atanackov in sod. (2020). Pri tem ni interpretirano verjetno spreminjanje naklona ploskev z globino. Globinski prerez seka Raški prelom, medtem ko je prelom Jesenovec od prereza oddaljen 2 kilometra, prelom Predjama-Avče pa 14 kilometrov. Naklon Selškega preloma smo povzeli po Vičič in sod. (2019).

Od maja do konca novembra 2020 se je v raziskovanem območju zgodilo 92 potresov, katere je zabeležila vsaj ena od začasno postavljenih opazovalnic. Izbrali smo tiste (46), pri katerih je bila ena izmed teh opazovalnic najbližja nadžarišču potresa. Nato smo primerjali rezultate, ki jih dobimo, če podatke z začasnih opazovalnic upoštevamo ali ne. Brez podatkov opazovalnic mreže RI-SI-EPOS enemu potresu nismo mogli izračunati lokacije, saj smo imeli podatke le z dveh opazovalnic, za izračun lokacije pa potrebujemo vsaj tri.

Cilj je natančnejši izračun lokacije, kar dosežemo tudi z zgotovitvijo mreže. Za natančnejši izračun lokacije žarišča je ugodno, da so mu opazovalnice blizu in enakomerno razporejene okoli njega. Če potegnemo daljice med nadžariščem in opazovalnicami, želimo, da je

največji kot med dvema sosednjima daljicama za posamezen potres čim manjši (vrzel ali angl. gap). Ker tokratčasne opazovalnice niso, kot npr. v primeru potresa 22. aprila 2014, razporejene okoli določenega nadžarišča potresa, ampak so postavljene približno enakomerno na območju, ki ga raziskujemo, nas je zanimalo, če se temu cilju približujemo. Na levem histogramu slike 7 lahko vidimo, da se, če pri izračunu upoštevamo opazovalnice do 50 km od nadžarišča, vrzel brez začasnih opazovalnic poveča. Pri 22 potresih je večja od 180°, kar zelo slabo vpliva na natančnost lokacije. V dveh primerih se je vrzel povečala celo za več kot 160°, izračunana lokacija nadžarišča pa, zaradi neugodne razporeditve opazovalnic, zamaknila za več kot 30 kilometrov.

Naslednji cilj, ki ga z mrežo želimo doseči je boljša določitev globine žarišča. V ta namen morajo biti opazovalnice nameščene čim bližje žarišču, v najboljšem primeru tik nad žariščem. Mreža RI-SI-EPOS ima tudi v tem primeru pomemben prispevek (desni histogram na sliki 7), saj se je napaka pri izračunu globine žarišča z upoštevanjem podatkov s teh opazovalnic precej zmanjšala.



Slika 7 – Porazdelitev vrzeli (levo) oz. napake globine (desno) potresov, ki so bili leta 2020 zabeleženi na mreži RI-SI-EPOS in je bila ena izmed njenih opazovalnic najbližja nadžarišču potresa. Z modro so predstavljeni rezultati izračuna z opazovalnicami mreže RI-SI-EPOS, z rdečo pa brez njih.

Že v preteklosti smo na tem območju opažali, da se potresi pogosto dogajajo v gručah, kar pomeni v zelo omejenem prostoru in času, ter so si med seboj podobni. Tudi v obdobju delovanja mreže RI-SI-EPOS sta se zgodili dve manjši gruči šibkih in podobnih potresov, prva 10. in 11. oktobra 2020 pod južnim pobočjem Snežnika in druga od 12. do 19. novembra 2020 južno od Jelšan. Za take primere smo pripravili orodje, ki z navzkrižno korelacijo seizmičnih zapisov išče podobne potrese (Čarman, 2021). Pri tem uspešno najde tudi zelo šibke potrese na posamezni opazovalnici. Ker nam lokalna mreža danes omogoča, da so tudi šibkejši potresi zabeleženi na več opazovalnicah, jih tako lahko zanesljivo lociramo. V zgornjih dveh primerih gruč smo z navzkrižno korelacijo odkrili vse potrese v posamezni

gruči, ki jih je predhodno že analiziral seizmolog, obenem pa še številne šibkejše. Vsaka gruča potresov, bodisi popotresi po močnem potresu bodisi roj šibkih potresov brez močnega potresa, običajno aktivira le del preloma. Vendar pa je gruč šibkih potresov bistveno več, zato si obetamo, da bo predvsem šibka seizmičnost tista, s katero bomo iz fragmentov aktiviranih delov prelomne ploskve hitreje ugotovili traso preloma.

Zaključek

Zapisi mreže potresnih opazovalnic dobavljenih v okviru projekta »RAZVOJ RAZISKOVALNE INFRASTRUKTURE ZA MEDNARODNO KONKURENČNOST SLOVENSKEGA RRI PROSTORA – RI-SI-EPOS«, ki v področju jugovzhodno od Postojne delujejo od maja 2020, bodo omogočili natančnejše opredelitve lokacij nadžarišč potresov in žariščne globine. S kontinuiranim beleženjem potresne aktivnosti bomo zabeležili celotne potresne nize in s tem prispevali k poznavanju globlje zgradbe Zemeljske skorje in medsebojne interakcije prelomov v sistemu tega dela Zunanjih Dinaridov. S pričakovano izboljšano natančnostjo določanja lokacij žarišč potresov in možnostjo kakovostne obdelave tudi manjših potresov bomo v prihodnje poskušali ugotoviti obstoj manjših seizmično aktivnih prelomov in lastnosti medsebojnih povezav med večjimi prelomi v sistemu.

Zahvala

Za možnost namestitve prenosnih potresnih opazovalnic se zahvaljujemo Občini Pivka (Ekomuzej Pivških presihajočih jezer in Park vojaške zgodovine), OŠ Jelšane, Narodnemu muzeju Slovenije (Grad Snežnik), Geoinformatiki Črt Rudman s.p. in Občini Ilirska Bistrica. RI-SI-EPOS operacijo sofinancirata Republika Slovenija, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.

Literatura

- ARSO (2020). Katalog potresov na ozemlju Slovenije za obdobje 1511-2020. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.
- Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Celarc, B., Jež, J., Novak, M., Milanič, B., Markelj, A. (2020). Izdelava seizmotektonskih kart za leto 2020 - Seizmotektonska parametrizacija aktivnih prelomov in potresnih virov Slovenije, 7. del (1/2), rev 0. Geološki zavod Slovenije, 224 p.
- Čarman, M. (2021). Uporaba navzkrižne korelacije za detekcijo potresov v potresnih nizih. V: Kuhar, M. (ur.). Raziskave s področja geodezije in geofizike 2020: zbornik predavanj, 26. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Čarman, M., Živčič, M., Ložar Stopar, M. (2011). Potresi pri Ilirski Bistrici leta 2010, Potresi v letu 2010 (ur. A. Gosar). Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 97–109. https://www.arso.gov.si/potresi/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/potresi%20v%20letu%202010_I.pdf (11. 12. 2020)
- Gospodarič, R. (1989). Prispevek k vodnogospodarskim osnovam Pivke. Acta carsologica 18, 21–38, Ljubljana.
- Kagan, Y.Y. (1991). 3-D rotation of double-couple earthquake sources, Geophys. J. Int., 106, 709–716.
- Ložar Stopar, M., Živčič, M., Zupančič, P. (2009). Potresi pri Pivki septembra in oktobra 2008, Potresi v letu 2008 (ur. R. Vidrih). Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 66–73.

- <https://www.arso.gov.si/potresi/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Potresi%20v%20letu%202008.pdf> (11. 12. 2020)
- Moulin, A., Benedetti, L., Gosar, A., Jamšek Rupnik, P., Rizza, M., Bourlès, D., Ritz, J.-F. (2014). Determining the present-day kinematics of the Idrija fault (Slovenia) from airborne LiDAR topography, *Tectonophysics*, Volume 628, p. 188-205.
- Moulin, A., Benedetti, L., Rizza, M., Jamšek Rupnik, P., Gosar, A., Bourlès, D., Keddadouche, K., Aumaître, G., Arnold, M., Guillou, V., Ritz, J.-F. (2016). The Dinaric fault system: Large-scale structure, rates of slip, and Plio-Pleistocene evolution of the transpressive northeastern boundary of the Adria microplate, *Tectonics*, 35, 2258–2292, doi:[10.1002/2016TC004188](https://doi.org/10.1002/2016TC004188).
- Placer, L. (1981). Geologic structure of southwestern Slovenia. *Geologija* 24/1, 27–60, Ljubljana.
- Placer, L. (1999). Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides.- *Geologija* 41, 223–255 (1998), Ljubljana.
- Poljak, M. (2000). Strukturno-tektonska karta Slovenije, izdelana po podatkih Osnovne geološke karte SFRJ 1:100.000, Mladinska knjiga tiskarna d.d., Ljubljana.
- Poljak, M., Gosar, A., Živčič, M. (2010). Active tectonics in Slovenia: *GeoActa*, 3, 15–24.
- RI-SI-EPOS (2018). <https://izrk.zrc-sazu.si/sl/programi-in-projekti/ri-si-epos#v> (4.12.2020)
- Šebela, S. (2005). Tectonic sights of the Pivka basin. *Acta carsologica*, 34, 3, 566-581.
- Šebela, S. (2021) Raziskovalna infrastruktura RI-SI-EPOS na področju krasoslovja. V: Kuhar, M. (ur.). *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2020: zbornik predavanj*, 26. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Šebela, S., Tasič, I., Živčič, M., Mali, M., Krebelj, M., Čeligoj, J., Pančur, L., Pahor, J., Čarman, M., Zupančič, P. in Gosar, A. (2020). Mreža prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne - "RI-SI-EPOS". [Postojna: ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa]. https://izrk.zrc-sazu.si/sites/default/files/prenosne_potresne_opazovalnice_a3_format.pdf. (15. 12. 2020)
- Utsu, T. and Y. Ogata (1997). Statistical analysis of seismicity. V: Healey, J.h., V.I. Keilis-Borok and W.H.K. Lee, *Algorithms for earthquake statistics and prediction*. IASPEI software library, Vol. 6, 13–94.
- Utsu, T. (1992). On the nature of three Alaskan aftershock sequences of 1957 and 1958. *Bull. Seis. Soc. Am.* 52(2), 279–297.
- Vičič, B., Aoudia, A., Javed, F., Foroutan, M., in Costa, G. (2019). Geometry and mechanics of the active fault system in western Slovenia. *Geophysical Journal International* 217 (3), 1755–1766.
- Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M. (2006). Državna mreža potresnih opazovalnic = Seismic network of Slovenia. Ur. Vidrih, R. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 287 p.
- Waldhauser, F. (2001). HypoDD – A Program to Compute Double-Difference Hypocenter Locations. U. S. Geol. Surv. Open File Rep. 01–113, 25 p.
- Waldhauser, F., Ellsworth, W. L. (2000). A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault. *Bull. Seism. Soc. Am.* 90, 1353–1368.
- Živčič, M., Čarman, M., Gosar, A., Jesenko, T. in Zupančič, P., (2011a) Potresi ob Idrijskem prelomu, Idrijski razgledi, LVI-1, 119–126.
- Živčič, M., Čarman, M., Ložar Stopar, M. (2011b). Potres 15. januarja 2010 pri Postojni, Potresi v letu 2010 (ur. A. Gosar). Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 76–86. https://www.arso.gov.si/potresi/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/potresi%20v%20letu%202010_I.pdf (11. 12. 2020)
- Živčič, M., Čarman, M., Ložar Stopar, M. (2016). Potres 22. aprila 2014 pri Pivki in popotresi. Potresi v letu 2014 (ur. A. Gosar). Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 76–84. <https://www.arso.gov.si/potresi/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Potresi%20v%20letu%202014.pdf> (11. 12. 2020)