

Nov model potresne nevarnosti Slovenije (2021)

Barbara Šket Motnikar¹, Polona Zupančič¹, Mladen Živčić¹, Jure Atanackov², Petra Jamšek Rupnik², Martina Čarman¹, Vanja Kastelic³, Andrej Gosar¹

Povzetek

Na Agenciji za okolje (ARSO) in Geološkem zavodu Slovenije (GeoZS) smo razvili nov model potresne nevarnosti Slovenije. Najpomembnejši rezultat je karta vršnega pospeška tal (PGA), ki je v postopku za zamenjavo uradne karte projektnega pospeška tal. Ta karta je priloga Nacionalnega dodatka standarda za potresno odporno projektiranje Evrokod 8 (EC8). Največja vrednost PGA na novi karti (0,325 g) je zahodno od Bovca na meji z Italijo, kar je povezano z veliko potresno aktivnostjo bližnje Furlanije. Velika potresna nevarnost (0,3 g) je ocenjena tudi na območju Dinarskega prelomnega sistema v zahodni Sloveniji, v okolici Idrije pa je bilo najbolj verjetno tudi nadžarišče najmočnejšega zgodovinskega potresa iz leta 1511. Enako vrednost pospeška dosega območje Brežic, kjer se zmerni potresi, ki lahko povzročijo manjše poškodbe, pojavljajo najbolj pogosto. Med nevarna območja (0,275 g) spada tudi Ljubljana z okolico, ki ga izpostavlja zaradi velike gostote naseljenosti. Prvič doslej smo sistematsko in celovito opredelili in parametrizirali aktivne prelome ter na podlagi teh razvili model prelomnih potresnih izvorov. Drugi model potresnih izvorov smo ocenili na podlagi pretekle seizmičnosti, geometrijsko pa ga predstavljajo središča celic mreže. Tretji model, sestavljen iz ploskovnih potresnih izvorov, smo opredelili na podlagi združenih geoloških in seizmoloških podatkov. Za ocenjevanje potresne nevarnosti smo uporabili referenčni (backbone) model pojevanja pospeška, ki je bil razvit za izračun evropske karte potresne nevarnosti, pri čemer pa so parametri prilagojeni regionalnim tektonskim razmeram. Epistemično negotovost najvplivnejših parametrov smo modelirali v logičnem drevesu s 1377 vejami. V nekaj letih pričakujemo spremembe evropskega standarda EC8 za potresno odporno gradnjo, med drugim namesto vršnega pospeška tal predlagajo kot temeljna parametra dva spektralna pospeška. V novo oceno potresne nevarnosti smo zato poleg karte vršnega pospeška tal vključili še karte spektralnega pospeška za 10 nihajnih časov (od 0 s do 2 s) ter spektre in krivulje potresne nevarnosti za izbrane lokacije. S tem smo gradbeni stroki za nadaljnje raziskave zagotovili najnovejše strokovne podlage, izračunane s sodobnimi pristopi in trenutnim geološkim in seizmološkim znanjem.

Ključne besede: potresna nevarnost, pospešek tal, Slovenija, standard Evrokod 8

Keywords: seismic hazard, ground acceleration, Slovenia, standard Eurocode 8

Uvod

Karta potresne nevarnosti Slovenije - projektni pospešek tal (Lapajne in drugi, 2001, 2003) je priloga Nacionalnega dodatka standarda Evrokod 8 (EC8) (SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005), ki opredeljuje slovensko zakonodajo o potresno odporni gradnji. EC8 kot osnovni parameter potresne nevarnosti določa projektni pospešek tal za povratno dobo 475 let za trdna tla (tip tal A po EC8). Za druge tipe tal pa je treba pospešek tal pomnožiti z ustreznim koeficientom tal S. Projektni pospešek tal, (angl. *design ground acceleration*) je po EC8 enak vršnemu (ali največjemu) pospešku tal (angl. *peak ground acceleration PGA*).

¹ Agencija RS za okolje (ARSO), Vojkova 1b, Ljubljana

² Geološki zavod Slovenije (GeoZS), Dimičeva 14, Ljubljana

³ National Institute of Geophysics and Volcanology (INGV), Section of Seismology and Tectonophysics, L'Aquila, Italija

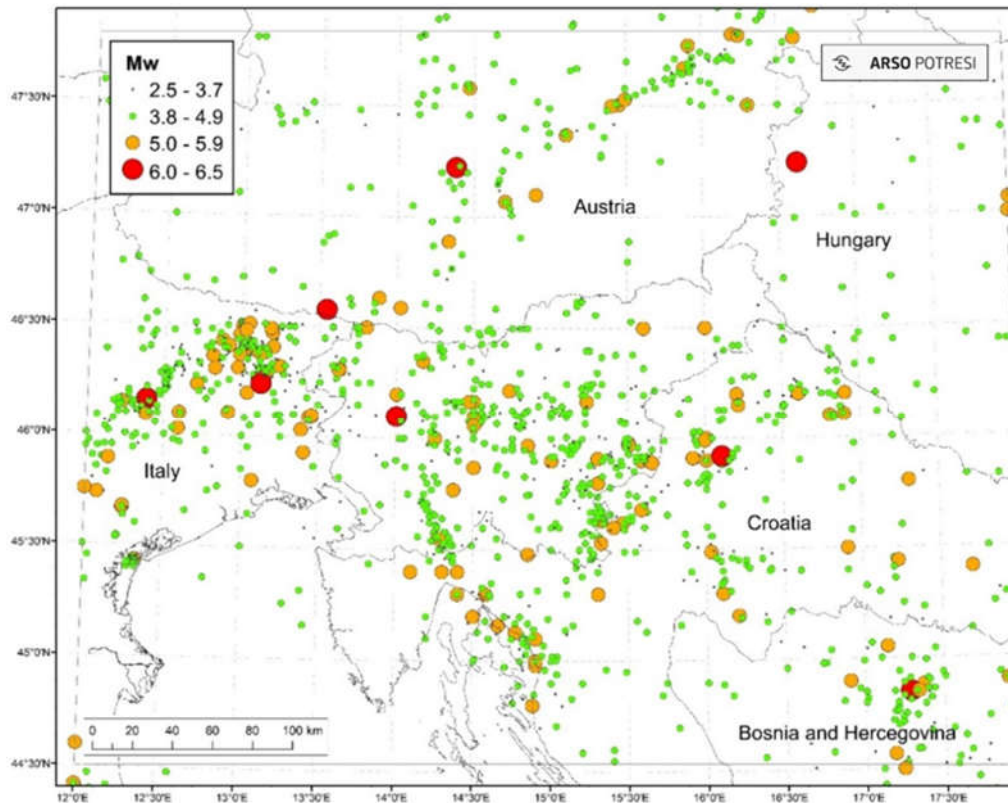
To je največja absolutna vrednost pospeška na prostem površju. Povratna doba je povprečen čas med prekoračitvami vrednosti pospeška tal na dani lokaciji, priporočena doba 475 let pa ustreza 90 % verjetnosti, da vrednosti na karti ne bodo presežene v 50 letih, kar je predvidena življenjska doba navadnih objektov. V pripravi so večje spremembe standarda EC8 (CEN, 2021), po katerem temeljni parameter potresne nevarnosti ne bo več vršni pospešek tal oz. PGA, ampak spektralni pospešek pri nihajnem času, ki predstavlja vrh elastičnega spektra odziva, ter spektralni pospešek pri nihajnem času 1 s.

Od izdelave sedanje uradne karte potresne nevarnosti Slovenije (Lapajne in drugi, 2001, 2003) je minilo že 20 let in v tem času smo pridobili številne nove podatke, modele in relacije, posodobljene so metode ocenjevanja parametrov, razviti so novi računalniški programi. Ocenjevanje potresne nevarnosti je doslej temeljilo skoraj izključno le na potresni zgodovini (katalogu potresov), brez upoštevanja možnosti nastanka močnejših potresov na opredeljenih aktivnih prelomih. Pomemben vpliv na oceno potresne nevarnosti ima model pojemanja pospeška tal z oddaljenostjo od (nad)žarišča potresa. V sedanji uradni karti uporabljen model pojemanja (Sabetta-Pugliese, 1996) je podcenil razpršenost pospeška tal, saj je bilo takrat na voljo še premalo meritev. Številne nove potresne opazovalnice in potresi v zadnjih 25 letih so omogočile razvoj natančnejših modelov pojemanja pospeška tal. Sodobni postopek ocenjevanja potresne nevarnosti zahteva modeliranje negotovosti vplivnih parametrov z logičnim drevesom, medtem ko smo doslej obravnavo negotovosti omejili le na različice kataloga potresov. Vse naštetu nas je spodbudilo v razvoj novega modela potresne nevarnosti Slovenije in izračun nove karte vršnega pospeška tal, s katero bi lahko nadomestili 20 let staro uradno karto potresne nevarnosti Slovenije.

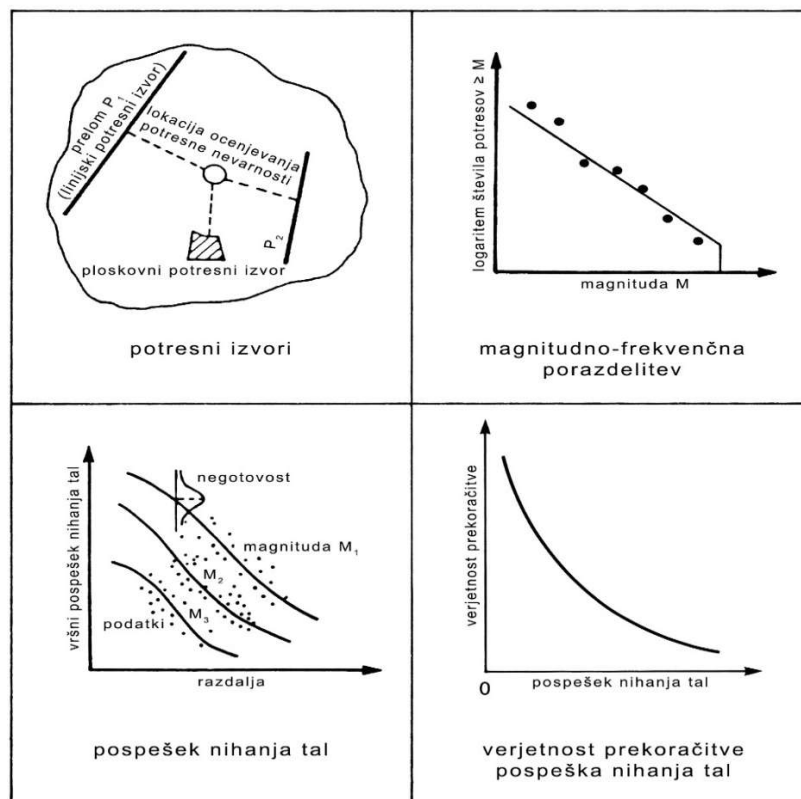
Predpogoj za ocenjevanje potresne nevarnosti je priprava geološko-tektonskih in seizmoloških podatkov ter modelov. Geološko-tektonske podatke smo zbrali v podatkovni zbirki aktivnih prelomov (Atanackov in drugi, 2021a), nastali z obširnim pregledom in nadaljnjo obdelavo vseh objavljenih ali drugače dostopnih podatkov. Na območju Slovenije in okolice je kot posledica kolizijskega stika Jadranske in Evropske tektonske plošče aktivnih več prelomnih sistemov. Reverzni prelomi prevladujejo na stiku med Dinaridi in nedeformiranim delom Jadranske plošče ter v italijanskem delu Južnih Alp, medtem ko regionalni zmični prelomi prevladujejo v Dinaridih in v jugovzhodnih Alpah v Sloveniji.

Temeljni vir seizmoloških podatkov je poenoten katalog potresov Slovenije in sosednjih dežel, ki zajema obdobje od leta 456 do leta 2018 in površino okoli 170.000 km². Katalog potresov smo posodobili z novimi spoznanji zgodovinske seizmičnosti in razširili s potresi zadnjih 20 let (Živčič in drugi, 2018). Zaradi zahtevane predpostavke o med seboj neodvisni porazdelitvi potresov smo iz kataloga izločili pred- in popotrese (slika 1). Za oceno povprečne letne aktivnosti potresnih izvorov moramo upoštevati le komplet del kataloga, torej obdobje, v katerem smo zabeležili vse potrese nad izbrano spodnjo mejo magnitude. Za spodnjo mejo magnitude smo izbrali navorno magnitudo 3,8, ki približno ustreza intenziteti V EMS-98, pri kateri že lahko nastanejo manjše poškodbe na stavbah. Ocenili smo, da je katalog potresov z navorno magnitudo vsaj 3,8 kompletan od leta 1875 dalje.

Za izračun potresne nevarnosti smo uporabili Cornellov postopek (Cornell, 1968) verjetnostnega ocenjevanja potresne nevarnosti (slika 2), ki vsebuje štiri glavne korake: opredelitev potresnih izvorov, ocena aktivnosti potresnih izvorov in največje magnitude, opredelitev modela pojemanja pospeška ter izračun letne verjetnosti prekoračitve referenčnih pospeškov.



Slika 1: Katalog potresov za območje Slovenije in okolice brez pred- in popotresov (obdobje 456 – 2018). Največji potres v katalogu se je zgodil leta 1976 v Furlaniji z navorno magnitudo 6,5.



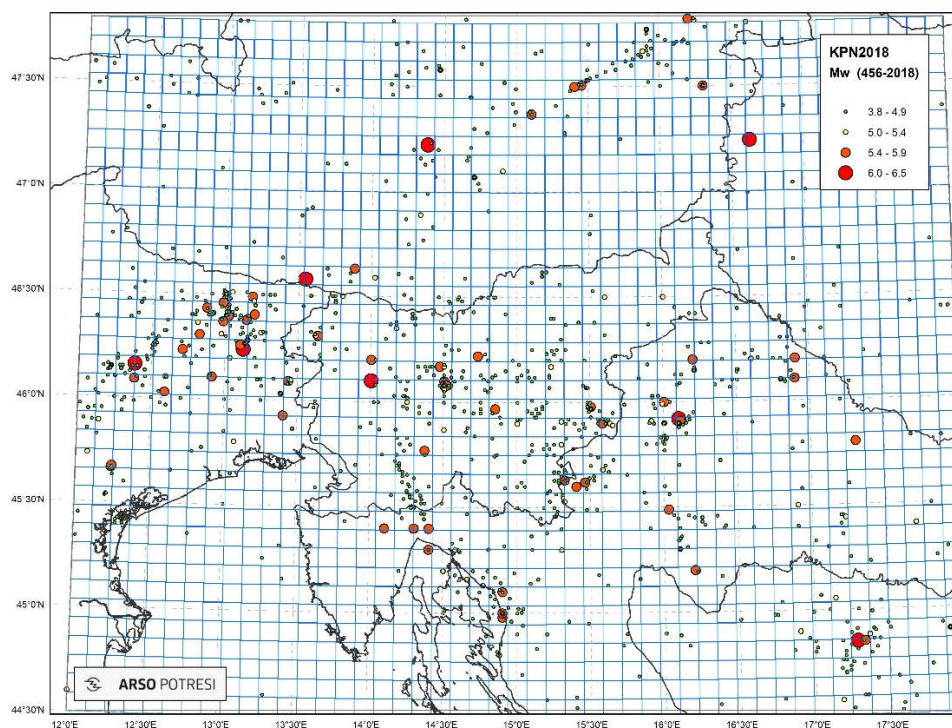
Slika 2: Glavni koraki verjetnostnega ocenjevanja potresne nevarnosti (Reiter, 1990)

Potresni izvori

Potresni izvor je geografsko območje, v katerem predpostavljamo enake strukturno-geološke in kinematske značilnosti ter homogeno seizmičnost. To pomeni, da ima vsaka točka potresnega izvora enako verjetnost za nastanek potresa dane magnitude. V novem modelu potresne nevarnosti Slovenije smo razvili tri modele potresnih izvorov: točkovni (P), ploskovni (A) ter prelomni model z ozadjem (F+B). Za vsak potresni izvor je poleg geometrijske opredelitve potrebno oceniti številne parametre, npr. povprečna letna aktivnost, največja možna magnituda, seizmogeno in žariščna globina, prelomni mehanizem). Geometrija ploskovnih in prelomnih potresnih izvorov ter vrednosti njihovih parametrov so podane v spletni podatkovni zbirki Pangaea*.

Točkovni model potresnih izvorov (P)

Najpreprostejši je točkovni model oziroma model glajene pretekle seizmičnosti (slika 3). Točkovni potresni izvori so središča celic mreže 10 x 10 km. Model večinoma temelji na seizmoloških podatkih in je postopkovno primerljiv z uradno karto potresne nevarnosti iz leta 2001. Lokacije nadžarišč potresov so zaradi negotovosti porazdeljene po celicah okrog nadžarišča. Uporabili smo krožno Gaussovo ter eliptično glajenje (Lapajne in drugi, 2001, 2003), pri čemer so osi elipse obrnjene v smeri prevladujočih prelomov. Potresna aktivnost točkovnega izvora je ocenjena s številom zglatjenih potresov kompletnega kataloga v pripadajoči celici, ali pa je izračunana iz sproščene energije na podlagi magnitude močnih potresov (Lapajne in drugi, 2003).

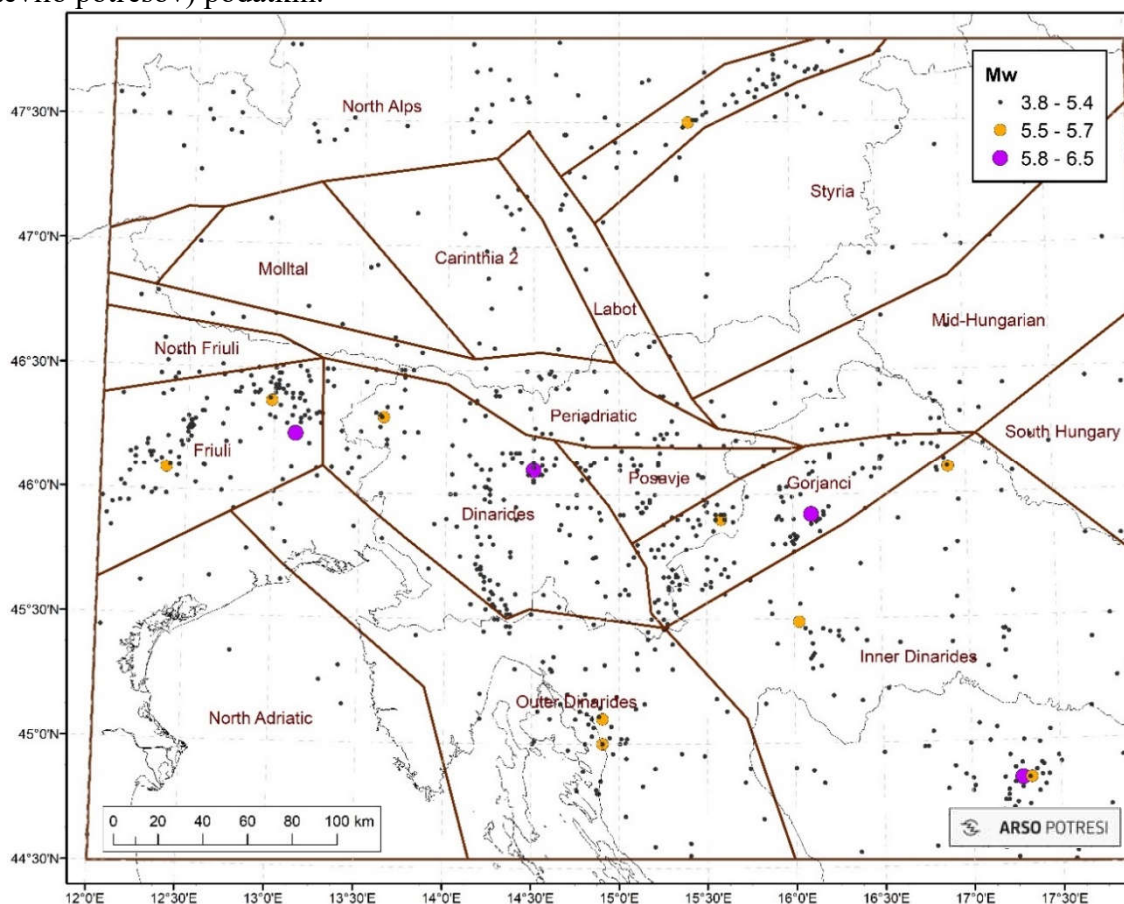


Slika 3: Model glajene pretekle seizmičnosti v točkovnih izvorih – središčih celic mreže 10 x 10 km. S krogi so označene lokacije nadžarišč potresov celotnega kataloga.

* Spletno objavo pričakujemo v kratkem, doi bomo sporočili naknadno.

Ploskovni model potresnih izvorov (A)

Model ploskovnih izvorov (slika 4) predstavlja najbolj standarden tip potresnih izvorov. Opredelili smo 18 ploskovnih izvorov, ki popolnoma pokrivajo vplivno območje ($12\text{--}18^\circ \text{V}$ in $44,5\text{--}47,8^\circ \text{S}$). Ocenjevanje parametrov temelji na geoloških (geometrija in kinematske značilnosti) in seizmoloških (seizmogena globina, največja magnituda, povprečno letno število potresov) podatkih.

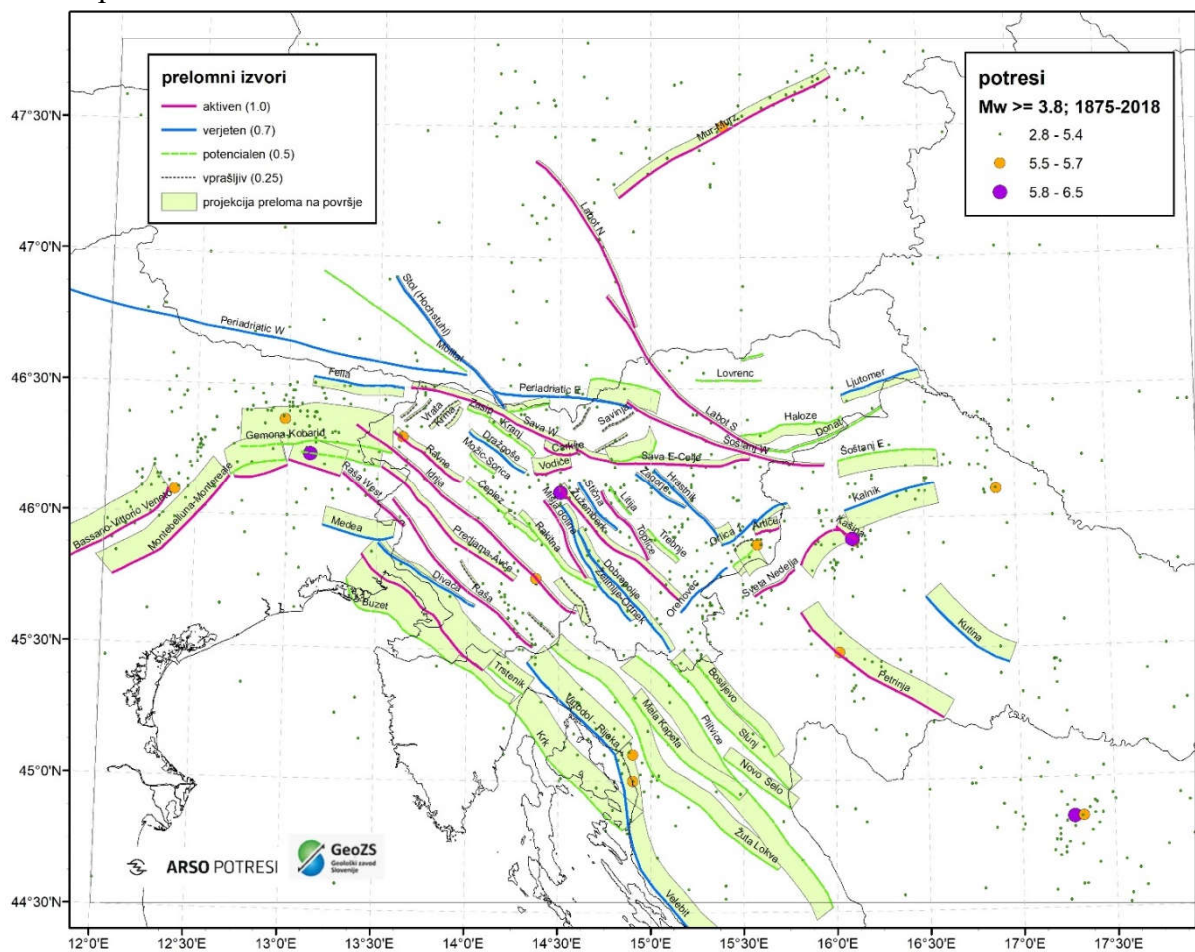


Slika 4: Model ploskovnih potresnih izvorov in potresi iz kompletnega kataloga (navorna magnituda vsaj 3,8 od leta 1875 naprej).

Prelomni model potresnih izvorov z ozadjem (F+A, F+P)

Najbolj kompleksen je geološko-seizmotektonski model 89 prelomnih potresnih izvorov (slika 5), ki je bil izpeljan iz podatkovne baze aktivnih prelomov (Atanackov in drugi, 2021a). Nekatere prelomne izvore izven Slovenije smo privzeli iz podatkovne zbirke DISS (DISS 2018) in SHARE (Basili in drugi, 2013). Prelomni potresni izvor je 3D struktura, ki jo opišemo s traso preloma, naklonskim kotom, smerjo premika ob prelomu in seizmogeno globino. Glede na verjetnost, da je prelomni izvor aktiven, smo opredelili štiri kategorije (v oklepajih so verjetnosti): aktivni (1.0), verjetno aktivni (0.7), potencialno aktivni (0.5) in vprašljivi (0.25) prelomni izvor (Atanackov in drugi, 2021b). Geometrijo in vse parametre prelomnih izvorov smo večinoma ocenili na podlagi geoloških in tektonskih značilnosti. Opredelili smo prelomne potresne izvore, ki so zmožni generirati potrese z magnitudo vsaj 5,8. Manjši potresi (pod magnitudo 5,8) so modelirani v ozadju kot ploskovni ali točkovni potresni izvori. S prelomnim modelom potresnih izvorov predvidimo možnost potresov

vzdolž celotne površine prelomnega izvora in ne le na območjih, kjer smo že zabeležili močne potrese.



Slika 5: Model prelomnih potresnih izvorov, aktivnost prelomnih izvorov (Atanackov in drugi, 2021a in 2021b) in potresi iz kompletnega kataloga (navorna magnituda vsaj 3,8 od leta 1875 naprej).

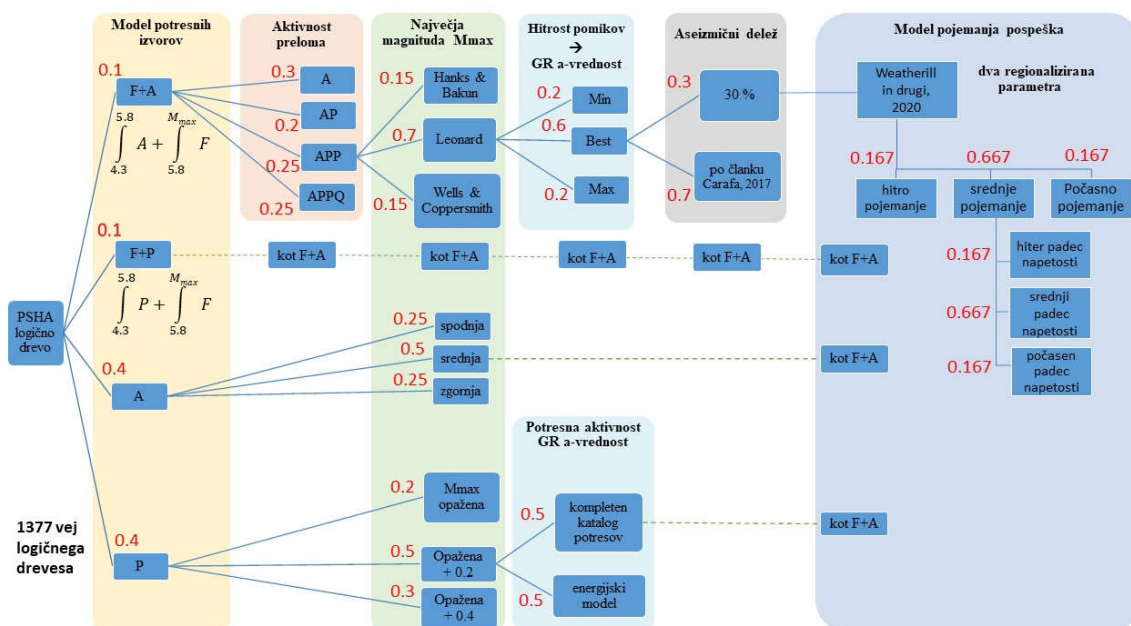
Model pojemanja pospeška tal

Eden od najvplivnejših dejavnikov v izračunu potresne nevarnosti je model, ki opisuje pojemanje pospeška tal z oddaljenostjo od (nad)žarišča potresa. V zadnjem desetletju so meritve pospeškov na novih potresnih opazovalnicah omogočile razvoj številnih novih modelov po vsem svetu (Douglas 2021). Hkrati se namesto tradicionalne uporabe nabora alternativnih modelov uveljavlja t.i. 'backbone' princip (Douglas 2018), s katerim privzamemo le en, referenčni model pojemanja, parametre kalibriramo na podlagi regionalnih značilnosti, njihovo porazdelitev pa modeliramo v logičnem drevesu.

Za model pojemanja pospeška tal smo uporabili model (Weatherill in drugi, 2020; Kotha in drugi, 2020), ki je bil razvit za izračun nove evropske karte potresne nevarnosti. Poleg razdalje so upoštevani še številni drugi parametri (npr. magnituda, žariščni mehanizem, vrsta tal). Dva parametra (hitrost pojemanja ter lokalni napetostni režim) sta bila na evropskem nivoju ocenjena regionalno. Velika večina ozemlja Slovenije in bližnje okolice spada v območje (označeno kot prva regija), kjer je pojemanje pospeška počasno do zmerno. Po priporočilu avtorjev modela smo oba parametra ocenili s tremi vejami logičnega drevesa.

Izračun potresne nevarnosti

V izračunu potresne nevarnosti nastopajo številni parametri. Vrednosti parametrov so nepoznane in jih lahko le ocenimo na podlagi vseh razpoložljivih podatkov in interpretacij. Ker so ocene negotove, smo za najvplivnejše parametre ocenili več vrednosti. Epistemično negotovost parametra (ki ima nepoznano, a samo eno možno vrednost) modeliramo v logičnem drevesu. Struktura logičnega drevesa za slovenski model potresne nevarnosti ima 1377 vej (slika 6), ki predstavljajo alternativne vrednosti najvplivnejših parametrov v modelu potresnih izvorov in modelu pojemanja pospeška.



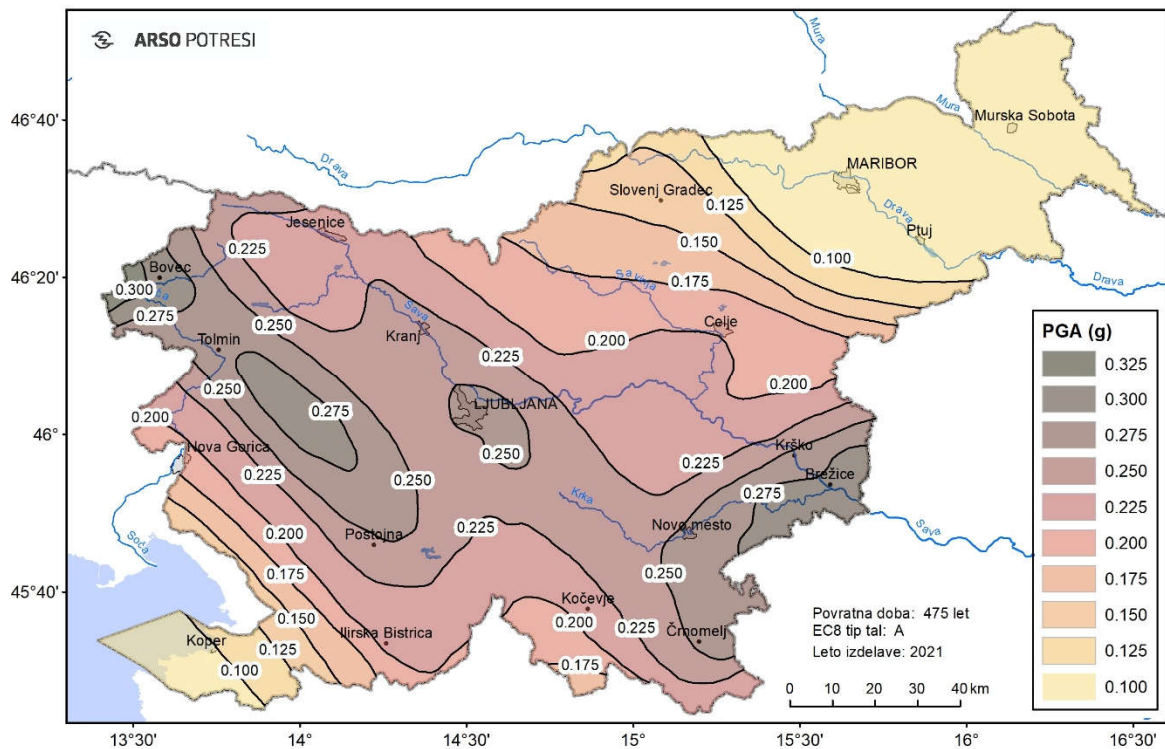
Slika 6: Logično drevo za slovenski model potresne nevarnosti ima 1377 vej; njihove uteži so podane z rdečimi vrednostmi.

Potresno nevarnost smo ocenili po standardnem Cornellovem (1968) postopku, kjer upoštevamo vse potresne izvore in integriramo po vseh možnih magnitudah in vplivnih razdaljah med potresnim izvorom in točko izračuna. Najprej izračunamo letno verjetnost prekoračitve vnaprej izbranih referenčnih vrednosti pospeška, nato pa dobljene vrednosti interpoliramo glede na izbrano povratno dobo (475 let). Za izračun verjetnosti in pospeškov smo uporabili računalniški program OpenQuake (Pagani in drugi, 2014), za glajenje pretekle seizmičnosti v točkovnem modelu potresnih izvorov pa program OHAZ (Zabukovec, 2000).

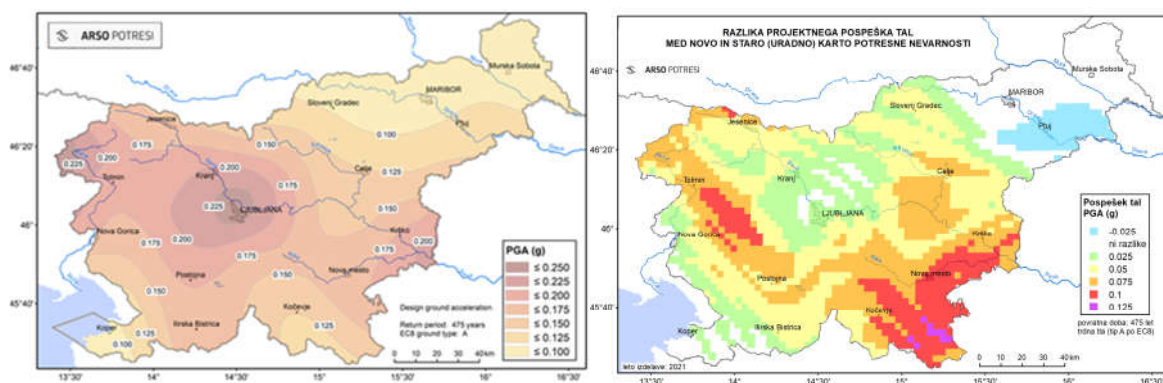
Potresno nevarnost Slovenije smo predstavili s karto vršnega pospeška tal (PGA) in z desetimi kartami spektralnih pospeškov za trdna tla (tla vrste A po EC8) in za povratno dobo 475 let. Za izbrane lokacije smo izračunali tudi krivulje potresne nevarnosti in spektre enotne potresne nevarnosti. Izračunane so povprečne (mean) in srednje (mediana) vrednosti glede na logično drevo, negotovost rezultatov pa podajamo kot (5., 16., 84. in 95.) percentilne vrednosti. V okviru tega prispevka prikazujemo le karto vršnega pospeška tal.

Nova karta potresne nevarnosti Slovenije

Najpomembnejši rezultat novega modela potresne nevarnosti Slovenije je karta vršnega pospeška tal za trdna tla (tla vrste A po EC8) za povratno dobo 475 let, ki je usklajena z zahtevami EC8 za potresno odporno projektiranje (slika 7). Izračunane povprečne vrednosti pospeška (glede na logično drevo) smo razdelili na deset razredov širine 0,025 g (od 0,1 do 0,325 g) in jih zaokrožili na zgornjo mejo razreda. Sprožili smo postopek za spremembo Nacionalnega dodatka EC8 (SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005), v katerem predlagamo zamenjavo uradne karte potresne nevarnosti (Lapajne in drugi, 2001).



Slika 7: Nova karta potresne nevarnosti Slovenije (2021): vršni pospešek tal na trdnih tleh za povratno dobo 475 let



Slika 8: Uradna karta potresne nevarnosti Slovenije (levo) in karta razlik (desno) med vrednostmi novega in sedaj veljavnega vršnega pospeška tal.

Vršni pospešek tal (slika 7) doseže največjo vrednost (0,325 g) na meji z Italijo zahodno od Bovca, kar je posledica velike potresne aktivnosti v Furlaniji. Pospešek 0,3 g zajema območje okrog Idrije, ki sovпада z najpomembnejšimi dinarskimi prelomi in z najbolj verjetno lokacijo najmočnejšega zgodovinskega potresa v Sloveniji ter SV dela Slovenije okrog Brežic, kjer se v Sloveniji zgodi največ zmernih potresov. Tako kot na stari karti potresne nevarnosti, ki je v barvah nove karte prikazana na sliki 8 (levo), je tudi na novi karti potresna nevarnost znatna v osrednjem delu Slovenije, ter v pasu od SZ do JV. Najpomembnejše razlike v postopku izračuna nove in stare karte potresne nevarnosti Slovenije so podane v preglednici 1, na sliki 8 (desno) pa je prikazana karta razlik med novimi in starimi vrednostmi. Nove vrednosti so v večini Slovenije večje, predvsem na območju Dinarskega prelomnega sistema in v JV Sloveniji, z največjim prirastkom 0,125 g v Beli Krajini. V severnem delu osrednje Slovenije (Ljubljana, Kranj, Kamnik) ter na jugozahodu Slovenije so vrednosti na obeh kartah primerljive. Le v okolici Ptuja se je vršni pospešek tal nekoliko zmanjšal.

Preglednica 1: Metodološke razlike pri izdelavi nove in stare (uradne) karte potresne nevarnosti Slovenije

	stara (uradna) karta (2001)	nova karta (2021)
Modeli potresnih izvorov	Pet različic glajenja pretekle seizmičnosti	Glajenje pretekle seizmičnosti, ploskovni izvori in prelomni izvori z ozadjem
Model pojemanja pospeškov z razdaljo	Sabetta & Pugliese (1996); podcenjen razpon pospeškov	Weatherill in drugi (2020); nov evropski model pojemanja, regionalizacija, logično drevo
Obravnavanje negotovosti in variabilnosti	Enolična vrednost parametrov	Modeliranje negotovosti in variabilnosti vplivnih parametrov
Tip magnitude in spodnja meja magnitude	Lokalna magnitude Ml = 3,7	Navorna magnitude Mw = 4,3 za ploskovne in točkovne izvore Mw = 5,8 za prelomne izvore
Katalog potresov	Kompletnost: 1880 za Ml 3,7 in 1690 za Ml 5,0	Kompletnost: 1875 za Mw 3,8 Razširjen in posodobljen katalog
Računalniški program	OHAZ	OpenQuake in OHAZ

Sklep

Z novim modelom potresne nevarnosti Slovenije smo omogočili izračun nove karte vršnega pospeška tal, ki je v skladu z zahtevami evropskega standarda EC8 za potresno odporno gradnjo. Z novim modelom in oceno potresne nevarnosti Slovenije omogočamo nadaljnje raziskave v procesu spreminjanja zakonodaje o potresno odporni gradnji in za pričakovano posodobitev EC8.

Prvič doslej smo v izračunu slovenske karte upoštevali aktivne prelome in prelomne potresne izvore. Ocenjevanje potresne nevarnosti z uporabo teh podatkov ne temelji več le na potresni zgodovini, temveč se v izračunu upošteva tudi možnost, da na opredeljenih prelomih, izven znanih območij pretekle seizmičnosti, nastane močnejši potres. Model potresnih izvorov tako vsebuje prelomne, ploskovne in točkovne izvore. Z logičnim drevesom smo modelirali epistemično negotovost najvplivnejših parametrov.

Katalog potresov Slovenije in bližnje okolice smo posodobili z novimi spoznanji raziskav zgodovinske seizmičnosti in razširili s potresi zadnjih 20 let.

Uporabili smo model pojemanja pospeška, ki temelji na najnovejših spoznanjih in je bil razvit za izračun nove evropske karte potresne nevarnosti, parametri pa so prilagojeni razmeram v Sloveniji.

Razvoj slovenske karte potresne nevarnosti je potekal vzporedno s projektom posodobitve evropske karte (Danciu in drugi, 2019). Skupaj s strokovnjaki evropskega projekta smo usklajevali metodologijo in vhodne podatke za ozemlje Slovenije. Zaradi različnega merila karte so vhodni parametri za model potresne nevarnosti Slovenije bolj podrobni.

Zahvala

Razvoj slovenskega modela potresne nevarnosti in izračun novih kart sta potekala sočasno s projektom nadgradnje evropskega modela potresne nevarnosti, kar je omogočilo izmenjavo in usklajevanje vhodnih podatkov ter razpravo o podrobnostih postopka z evropskimi strokovnjaki. Najlepše se zahvaljujemo Laurentiu Danciu za dolgoletno podporo pri razvoju slovenskega modela in uporabi računalniškega programa OpenQuake. Michele Carafa nam je svetoval o določitvi seizmičnega deleža premikov ob prelomih, Graeme Weatherill pa je prijazno posredoval podrobnosti o modelu pojemanja. Hvala tudi Gregorju Rajhu za izdelavo uporabnih python programov, ki so olajšali pretvorbo podatkov v standardizirano obliko.

Literatura

- Atanackov J., Jamšek Rupnik P., Jež J., Celarc B., Novak M., Milanič B., Markelj A., Bavec M., Kastelic V. (2021a). Database of Active Faults in Slovenia: Compiling a New Active Fault Database at the Junction Between the Alps, the Dinarides and the Pannonian Basin Tectonic Domains. *Front. Earth Sci.* 9. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.604388>
- Atanackov J., Jamšek Rupnik P., Celarc B., Jež J., Novak M., Milanič B., Markelj A. (2021b). Tolmač potresnih virov in ocenjevanje geološko določenih parametrov za karto potresne nevarnosti Slovenije. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, 139 str.
- Basili R., Kastelic V., Demircioglu MB, Garcia Moreno D, Nemser ES, Petricca P, Sboras SP, Besana-Ostman GM, Cabral J, Camelbeeck T, Caputo R, Danciu L, Domac H, Fonseca J, García-Mayordomo J, Giardini D, Glavatovic B, Gulen L, Ince Y, Pavlides S, Sesetyan K, Tarabusi G, Tiberti MM, Utkucu M, Valensise G, Vanneste K, Vilanova S, Wössner J (2013). The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>. <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF>
- CEN (2021). Eurocode 8: Earthquake resistance design of structures, EN1998-1-1_version_01-10-2021, Working draft
- Cornell, C.A. (1968). Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.* 58, 1583-1606.
- Danciu L., Hiemer S.; Nandan S., Weatherill G., Lammers S., Rovida A., Antonucci A., Basili R., Carafa M.M.C., Kastelic V., Maesano F., Tiberti M., Sesetyan K., Vilanova S., Beauval C., Bard P.-Y., Cotton F., Wiemer S., Giardini D. (2019). Status, Milestones and Next Activities on the

- Development of the 2020 European Seismic Hazard Model (ESHM20), (2019), *Geophys Res Abstr*, Vol. 21, p1-1. 1p.
- DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; <http://diss.rm.ingv.it/diss/> (30. 11. 2021). <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1>
- Douglas J. (2018.) Calibrating the backbone approach for the development of earthquake ground motion models. Paper presented at Best Practice in Physics-based Fault Rupture Models for Seismic Hazard Assessment of Nuclear Installations: Issues and Challenges Towards Full Seismic Risk Analysis, Cadarache, France
- Douglas J. (2021). Ground motion prediction equations 1964-2020, Department of Civil and Environmental Engineering University of Strathclyde, <http://www.gmpe.org.uk/gmpereport2014.html>. (30. 11. 2021)
- Kotha, S.R., Weatherill, G., Bindi, D. (2020). A regionally-adaptable ground-motion model for shallow crustal earthquakes in Europe. *Bull Earthquake Eng.* <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00869-1>
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P. (2001). Nova karta potresne nevarnosti – projektni pospešek tal namesto intenzitete. *Gradbeni vestnik* 50, 140-149.
- Lapajne, J.K., Šket Motnikar, B., Zupančič, P. (2003). PSHA methodology for distributed seismicity, *BSSA*, Vol. 93, No. 6, str. 2502-2515.
- Pagani M, Monelli D, Weatherill G, Danciu L, Crowley H, Silva V, Henshaw P, Butler L, Nastasi M, Panzeri L, Simionato M, Vigano D (2014) OpenQuake Engine: An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model. *Seismol Res Lett* 85:692-702. <https://doi.org/10.1785/0220130087>
- Reiter, L. (1990). *Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights*. Columbia University Press.
- Sabetta, F., Pugliese, A. (1996). Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 337-352.
- SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005 - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, angl. standard, I.
- SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe - Nacionalni dodatek, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005.
- Weatherill, G., Kotha, S.R., Cotton, F. (2020). A regionally-adaptable “scaled backbone” ground motion logic tree for shallow seismicity in Europe: application to the 2020 European seismic hazard model. *Bull Earthquake Eng* 18, 5087–5117, <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00899-9>
- Zabukovec B. (2000). OHAZ – A computer program for spatially smoothed seismicity approach. V (J. K. Lapajne, ur.): *Seismicity modeling in seismic hazard mapping*, Workshop proceedings, Ministry of the Environment and Spatial Planning, Geophysical Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia, 135-140.
- Živčič, M., Cecić, I., Čarman, M., Jesenko, T., Ložar Stopar, M., Pahor, J. (2018). Earthquake catalogue KPN2018 of Slovenia and surrounding, rev. 3, Slovenian Environment Agency (ARSO), Seismology and geology office, Ljubljana