

## **Tolmač karte**

**Nova karta potresne nevarnosti Slovenije (2021) za namen projektiranja potresno odpornih stavb**

**Izdajatelj karte:** Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje  
**Leto izdelave:** 2021

**Avtorji karte in Tolmača:** Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Mladen Živčič, Jure Atanackov, Petra Jamšek Rupnik, Martina Čarman, Vanja Kastelic, Andrej Gosar

**Oblikovna izdelava karte:** Polona Zupančič

Nova karta »Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal« je veljavna od 1. maja 2022 naprej. V prehodnem obdobju (od 1. maja 2022 do 1. maja 2024) je bila hkrati veljavna tudi dosedanja uradna karta za potresno odporno projektiranje (Lapajne in drugi, 2001).

## Vsebina

Uvod .....	3
Postopek izdelave nove karte.....	3
Potresni izvori .....	4
Model pojemanja pospeška tal .....	6
Izračun potresne nevarnosti.....	7
Nova karta potresne nevarnosti Slovenije (2021) in primerjava z uradno karto iz leta 2001.....	8
Drugi parametri ocene potresne nevarnosti Slovenije .....	10
Razlogi za zamenjavo uradne karte potresne nevarnosti Slovenije.....	10
Literatura .....	11

## Uvod

Slovensko zakonodajo o potresno odporni gradnji opredeljuje Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov (Ur. l. RS, št. 101/2005), ki predpisuje obvezno uporabo standarda Evrokod 8 (EC8) (SIST EN 1998-1:2005/AC:2009) in Nacionalnega dodatka (SIST EN 1998-1:2005/A101:2005/A101:2009/AC:2022) k standardu EC8. Karta potresne nevarnosti Slovenije - projektni pospešek tal je priloga Nacionalnega dodatka in je kot del predpisov obvezna za projektiranje stavb.

V prehodnem obdobju (od 1. maja 2022 do 1. maja 2024) je bila poleg dosedanje uradne karte (Lapajne in drugi, 2001, 2003) veljavna tudi nova karta »Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal« (ARSO, 2022; Šket Motnikar in drugi, 2022a, 2022b). Po koncu prehodnega obdobja pa je nova karta nadomestila dosedanje uradno karto za potresno odporno projektiranje in postane edina priloga Nacionalnemu dodatku (SIST EN 1998-1:2005/A101:2005/A101:2009/AC:2022) k EC8 (SIST EN 1998-1:2005/AC:2009).

EC8 določa, da je osnovni parameter potresne nevarnosti projektni pospešek tal za povratno dobo 475 let in za trdna tla (tip tal A po EC8). Projektni pospešek tal (*angl. design ground acceleration*) je po EC8 enak vršnemu (največjemu) pospešku tal (*angl. peak ground acceleration*) PGA. 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 ustreza 90 % verjetnosti, da vrednosti na karti ne bodo presežene v 50 letih, kar je predvidena življenjska doba navadnih objektov. Za pomembne objekte (npr. šole, bolnišnice) se uporablja faktor pomembnosti stavb, ki je podan v EC8 ali ustrezno večja povratna doba.

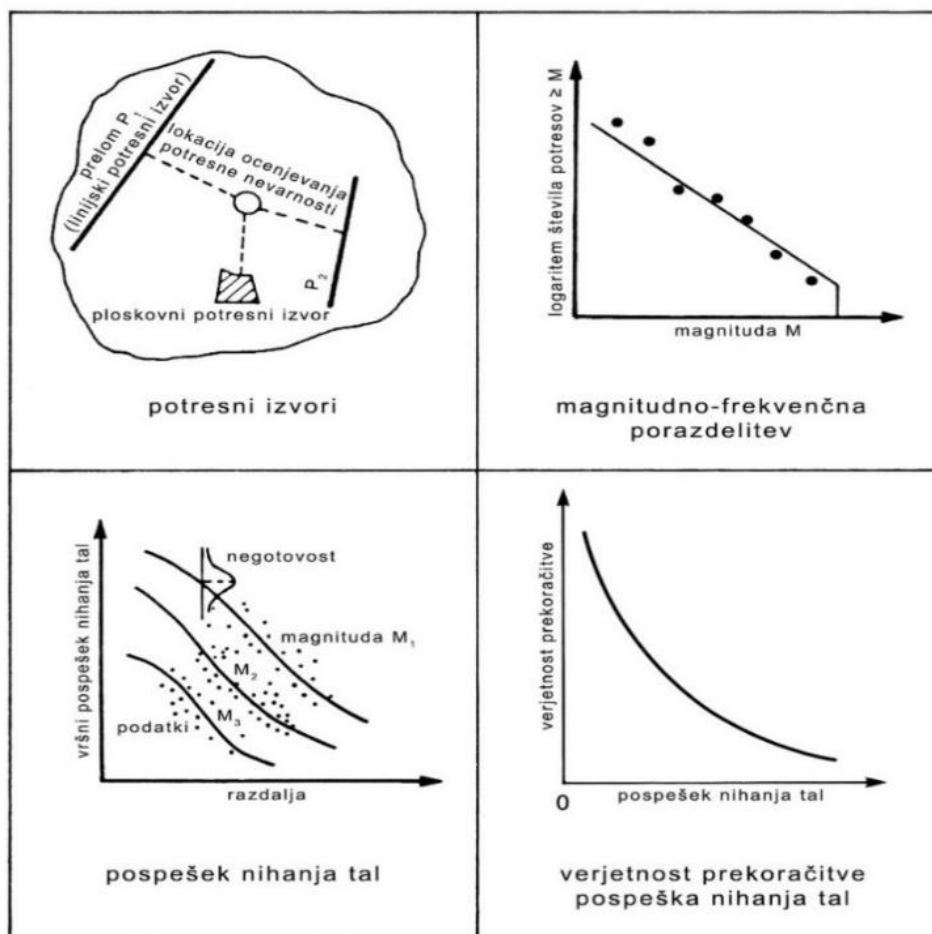
Po Zakonu o državni meteorološki, hidrološki, oceanografski in seizmološki službi (ZDMHS) je Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) kot organ v sestavi ministrstva, pristojnega za varstvo okolja, obvezana za izdelavo ocene potresne nevarnosti ter drugih strokovnih podlag in ocen potresnih veličin (Ur. l. RS, št. 60/2017, 5. in 13. člen). Zaradi novih podatkov in strokovnih spoznanj je ARSO v letu 2021 izdal novo karto potresne nevarnosti Slovenije, ki prikazuje vršni pospešek tal PGA in je pripravljena v skladu z zahtevami EC8 (ARSO, 2022; Šket Motnikar in drugi, 2022a, 2022b). Izračunana je za povratno dobo 475 let in za trdna tla (tip tal A po EC8). Vrednosti na karti so razvrščene v razrede širine 0,025 g (zemeljski gravitacijski pospešek) in zaokrožene na zgornjo mejo razredov (med 0,1 g in 0,325 g). Glede na predhodno uradno karto potresne nevarnosti iz leta 2001 (Lapajne in drugi, 2001, 2003) smo uporabili posodobljene podatke in nove postopke, npr. z novim modelom potresnih izvorov upoštevamo tudi možnost nastanka potresov izven območij pretekle seizmičnosti, uporabili smo sodoben model pojemanja pospeška, v logičnem drevesu smo modelirali negotovost parametrov.

## Postopek izdelave nove karte

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 obširnimi pregledom in nadaljnjo obdelavo vseh objavljenih ali drugače dostopnih podatkov. Na območju Slovenije in okolice je zaradi kolizijskega stika Jadranske in Evropske tektonske plošče aktivnih več prelomnih sistemov. Reverzni prelomi prevladujejo na stiku med Dinaridi in nedefiniranim 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 km<sup>2</sup> (Živčič in drugi, 2018). Katalog potresov iz časa izdelave uradne karte smo posodobili z novimi spoznanji zgodovinske seizmičnosti in razširili s potresi zadnjih 20 let. Zaradi predpostavke o med seboj neodvisni porazdelitvi potresov smo iz kataloga izločili predpotrese in popotrese. Pri oceni povprečne letne aktivnosti vsakega potresnega izvora smo upoštevali le kompletne del kataloga, torej obdobje, v katerem smo zabeležili vse potrese nad izbrano spodnjo mejo magnitude, t.i. magnitude kompletnosti. Za magnitudo kompletnosti smo izbrali navorno magnitudo Mw 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 kompletne od leta 1875 dalje.

Za izračun potresne nevarnosti smo uporabili Cornellov postopek (Cornell, 1968) verjetnostnega ocenjevanja potresne nevarnosti (slika 1), ki vsebuje štiri glavne korake: opredelitev potresnih izvorov, ocena povpečne letne aktivnosti in največje možne magnitude potresnih izvorov, opredelitev modela pojemanja pospeška ter izračun letne verjetnosti prekoračitve referenčnih pospeškov.



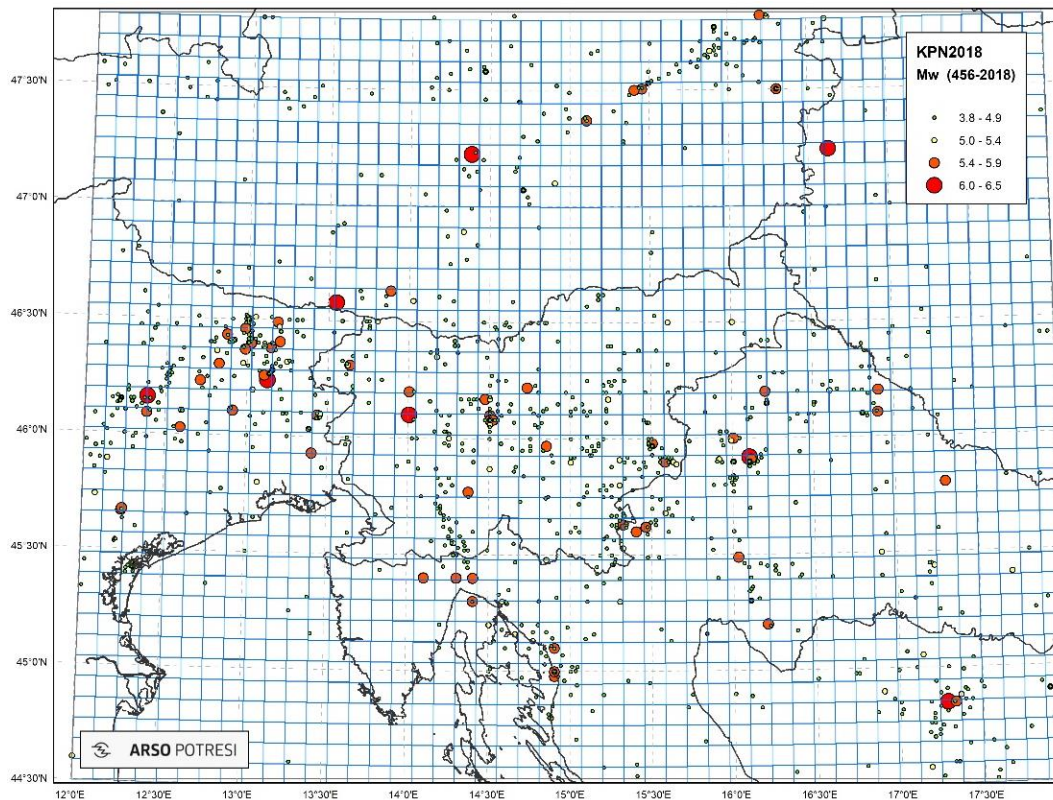
Slika 1: Glavni koraki Cornellovega postopka verjetnostnega ocenjevanja potresne nevarnosti (povzeto po: Reiter, 1990)

### Potresni izvori

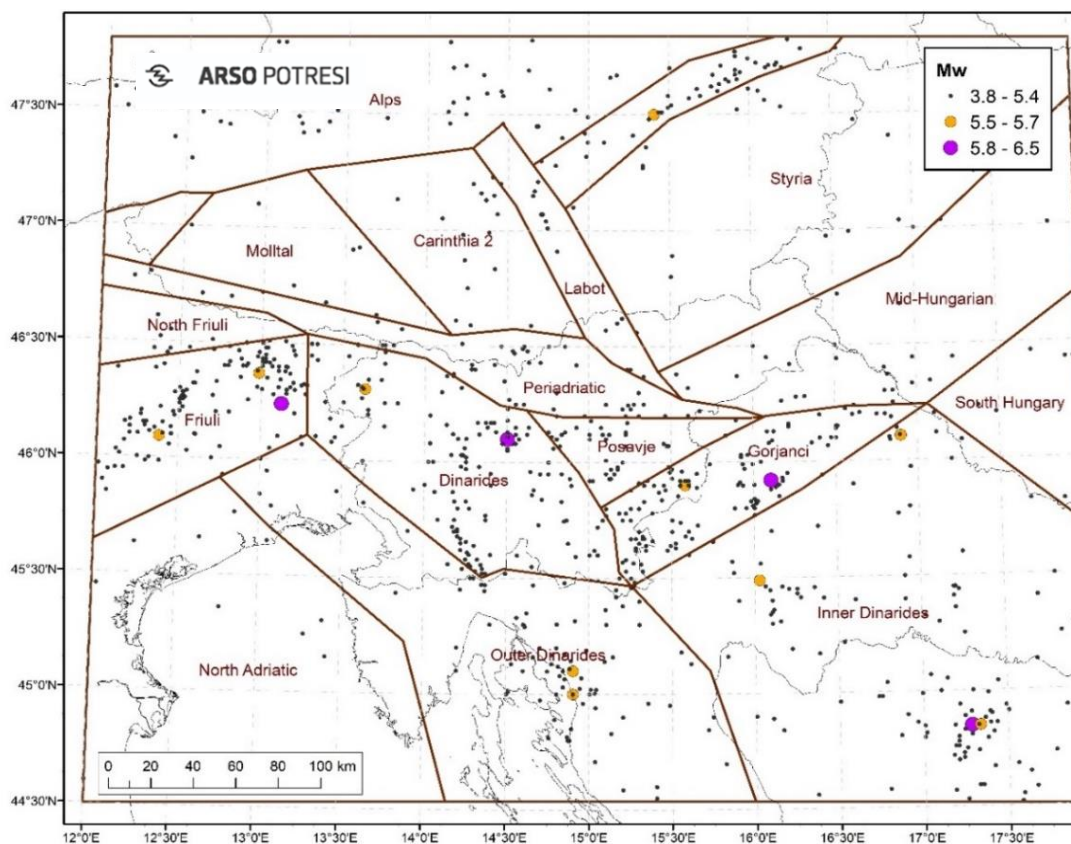
Potresni izvor je geografsko območje, v katerem predpostavljamo enake strukturno-geološke in kinematske značilnosti ter homogeno seizmičnost. To pomeni, da ima vsaka točka potresnega izvora enako verjetnost za nastanek potresa dane magnitude. V novem modelu potresne nevarnosti Slovenije smo opredelili štiri modele potresnih izvorov: točkovni (P), ploskovni (A) ter prelomni model (F), ki smo ga na dva načina kombinirali z ozadjem (F+A ter F+P).

Najpreprostejši je *točkovni model potresnih izvorov (P)*, s katerim modeliramo preteklo seizmičnost (slika 2). 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 je glavna os elipse obrnjena v smeri prevladujočih prelomov. Potresna aktivnost točkovnega izvora je ocenjena na dva načina: s številom zglajenih potresov kompletnega kataloga v pripadajoči celici, ali pa je izračunana iz ocenjene sproščene energije na podlagi magnitude močnih potresov (Lapajne in drugi, 2003).

*Model ploskovnih potresnih izvorov (A)* (slika 3) predstavlja najbolj standarden tip potresnih izvorov. Opredelili smo 18 ploskovnih izvorov, ki popolnoma pokrivajo vplivno območje (12–18° V in 44.5–47,8° S). Ocenjevanje parametrov temelji na geoloških (geometrija in kinematske značilnosti) in seizmoloških podatkih (največja magnituda, povprečno letno število potresov, seizmogeni globina).



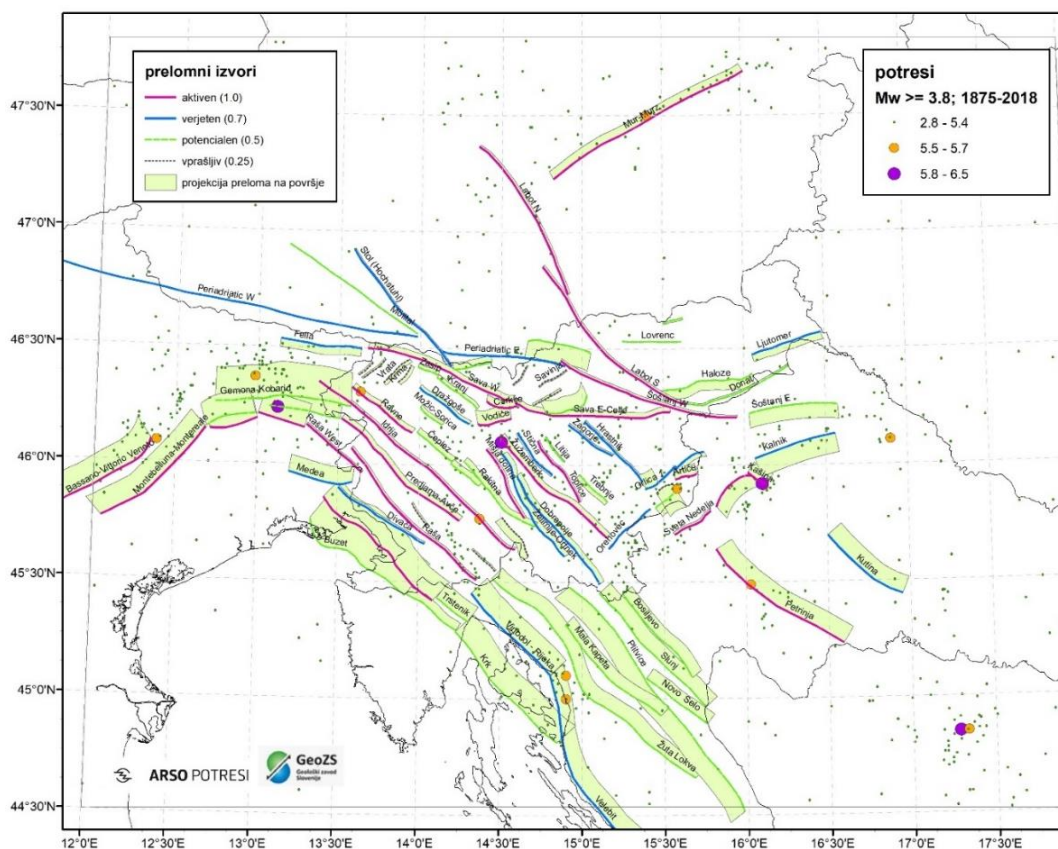
Slika 2: Točkovni model potresnih izvorov – središč celic mreže 10 x 10 km. S pikami so označene lokacije nadžarišč potresov celotnega kataloga.



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

Najbolj kompleksen je geološko-tektonski *model prelomnih potresnih izvorov (F)* (slika 4), ki je bil izpeljan iz podatkovne baze aktivnih prelomov (Atanackov in drugi, 2021a). Nekatere prelomne izvore izven Slovenije smo privzeli iz podatkovne zbirke 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. Geometrijo in parametre prelomnih potresnih izvorov smo ocenili večinoma na podlagi geoloških in tektonskih značilnosti. 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). Opredelili smo 89 prelomnih potresnih izvorov, 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 (modela F+A, F+P). Z modelom prelomnih potresnih izvorov smo predvideli možnost potresov vzdolž celotne površine prelomnega izvora in ne le na območjih, kjer smo že zabeležili zmerne ali močne potrese.

Za vsak točkovni, ploskovni in prelomni potresni izvor je bilo poleg geometrijske opredelitve potrebno oceniti številne parametre, npr. povprečna letna aktivnost, največja možna magnituda, prelomni mehanizem, seizmogeni in žariščna globina (Atanackov in drugi, 2022). Ocenjevanje parametrov je temeljilo na vseh dostopnih geoloških in seizmoloških podatkih ter z uporabo sodobnih in uveljavljenih postopkov. Ker je razvoj nove slovenske karte časovno sovpadal s projektom ESHM20 za izdelavo nove evropske karte (Danciu in drugi, 2021), smo podatke in postopke usklajevali na regionalnih in evropskih strokovnih srečanjih.



Slika 4: Model prelomnih potresnih izvorov, aktivnost prelomnih izvorov (Atanackov in drugi, 2021ab) in potresi iz kompletnega kataloga (navorna magnituda vsaj 3,8 od leta 1875 naprej).

### Model pojemanja pospeška tal

Eden najvplivnejših dejavnikov pri ocenjevanju 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 podeseterile število zbranih zapisov močnega gibanja tal (ESM, 2021) in omogočile razvoj številnih novih modelov pojemanja pospeška tal po vsem svetu (Douglas, 2021). Hkrati se namesto tradicionalne uporabe nabora alternativnih modelov uveljavlja takoimenovani '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. S tem principom je negotovost modela

pojemanja bistveno bolje ocenjena kot v pristopu z izborom nekaj alternativnih modelov, zaradi regionalne kalibracije parametrov pa se zmanjša tudi variabilnost pospeška.

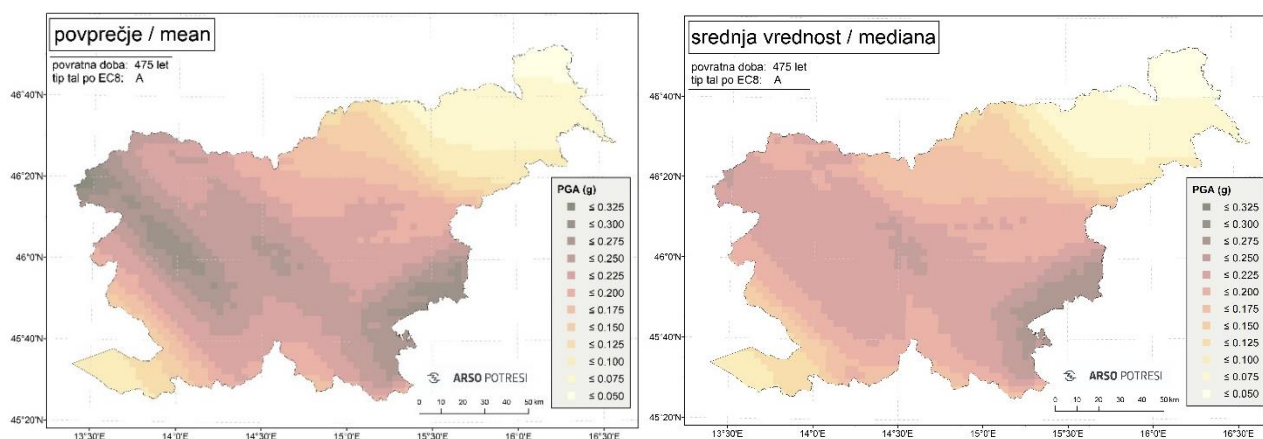
Za model pojemanja pospeška tal smo uporabili 'backbone' model (Weatherill in drugi, 2020; Kotha in drugi, 2020), ki je bil uporabljen za izračun nove evropske karte potresne nevarnosti. Poleg oddaljenosti od potresa so v modelu upoštevani še drugi parametri (magnituda, žariščni mehanizem, vrsta tal ...). Dva parametra (hitrost pojemanja ter lokalni napetostni režim) sta bila na evropskem nivoju ocenjena regionalno, njuno negotovost pa smo modelirali v logičnem drevesu (tri vrednosti za vsak parameter).

### Izračun potresne nevarnosti

Potresno nevarnost smo izračunali po Cornellovem (1968) verjetnostnem postopku, kjer upoštevamo vse opredeljene potresne izvore in integriramo po vseh možnih magnitudah in 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 glajenje pretekle seizmičnosti v točkovnem modelu potresnih izvorov smo uporabili računalniški program OHAZ (Zabukovec, 2000), za izračun potresne nevarnosti pa računalniški program OpenQuake (Pagani in drugi, 2014).

V izračunu potresne nevarnosti nastopajo številni parametri. Točne vrednosti parametrov so nepoznane in jih lahko le ocenimo na podlagi vseh razpoložljivih podatkov in interpretacij. Epistemično negotovost parametrov s pripadajočimi utežmi podamo v logičnem drevesu. Logično drevo za slovenski model potresne nevarnosti ima 1377 vej, ki predstavljajo alternativne vrednosti najvplivnejših parametrov v modelu potresnih izvorov in modelu pojemanja pospeška.

Za celovito oceno potresne nevarnosti izračunamo povprečno (*angl. mean*, slika 5 levo) in srednjo (*angl. median*, slika 5 desno) vrednost vseh vej logičnega drevesa, negotovost ocene pa podajamo kot (5., 16., 84. in 95.) percentilne vrednosti. V praksi ocenjevanja potresne nevarnosti ni splošnega pravila, ali je bolj primerna ocena na podlagi povprečne ali srednje vrednosti, in tudi standard EC8 tega ne predpisuje.



Slika 5: Primerjava povprečnih (levo) in srednjih (desno) vrednosti vršnega pospeška tal na trdnih tleh za povratno dobo 475 let

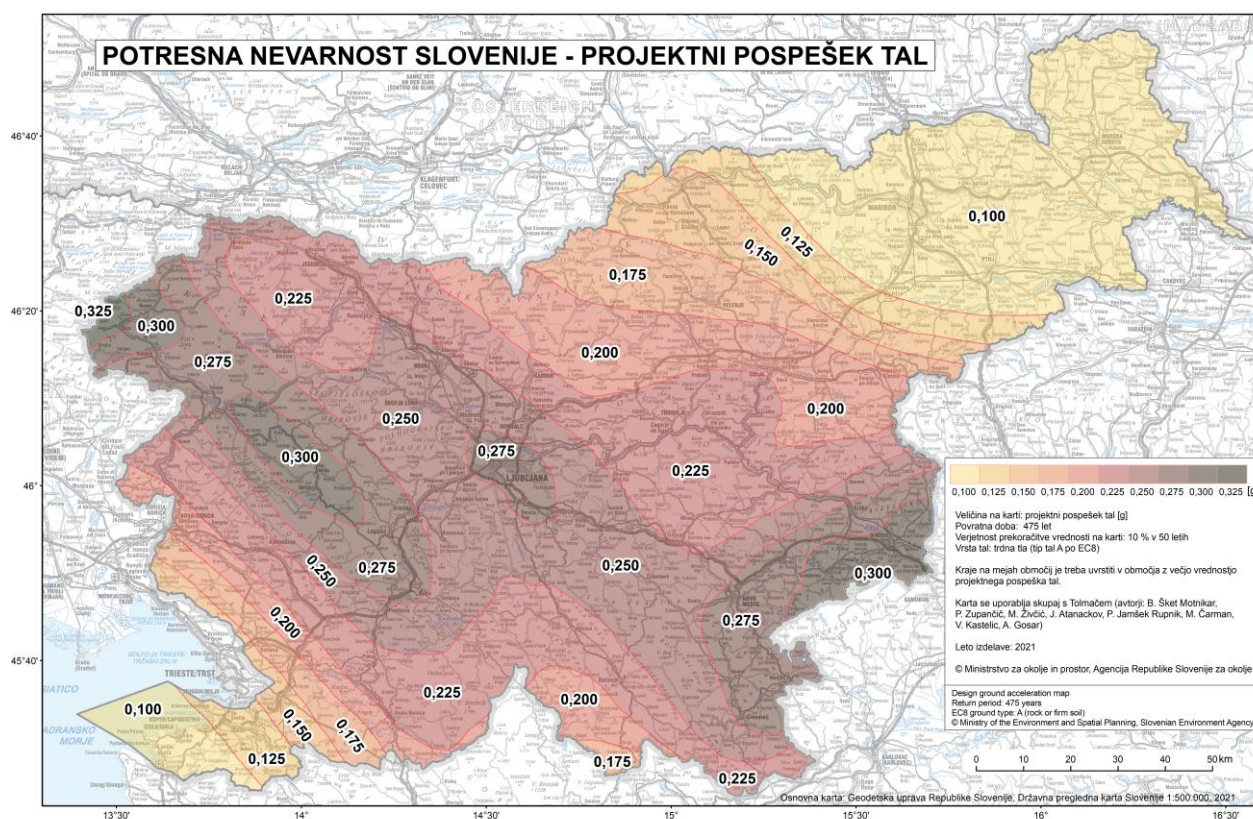
Za namen projektiranja potresno odpornih stavb in za uradno karto kot prilogo Nacionalnemu dodatku EC8 smo določili karto povprečnih vrednosti, kar utemeljujemo z naslednjimi razlogi:

- Povprečna ocena potresne nevarnosti upošteva vrednosti vseh vej logičnega drevesa, medtem ko srednja vrednost upošteva le vrstni red vrednosti vseh vej. Z uporabo srednje vrednosti popolnoma ignoriramo vrednosti najbolj (in najmanj) konzervativnih vej oz. alternativnih vrednosti parametrov.
- Vrednosti v logičnem drevesu smo uteževali glede na reprezentativnost modelov za oceno potresne nevarnosti in glede na (ne)gotovost parametrov. Ker je npr. povprečno letno aktivnost prelomnega izvora bistveno težje oceniti kot prešteti potrese v katalogu, ima prelomni model manjšo utež (0.2) kot ploskovni (0.4) ali točkovni (0.4) model. Enak delež (0.2) kot prelomni ima tudi energijski model, ki sicer predstavlja polovico vej točkovnega modela. Na območjih najpomembnejših prelomov oziroma na lokacijah največjih zgodovinskih potresov so ocenjeni pospeški na podlagi prelomnega oz. energijskega modela bistveno večji kot le na podlagi pretekle seizmičnosti. Te ocene večinoma predstavljajo največje vrednosti med vejami logičnega drevesa, in torej vplivajo le na povprečje, ne vplivajo pa na srednjo vrednost.

- Karti na sliki 5 se najbolj razlikujeta v zahodni Sloveniji, v pasu od Bovca do Postojne, kjer so povprečne vrednosti bistveno večje od srednjih vrednosti. Z uporabo povprečnih vrednosti upoštevamo dejstvo, da je na tem območju opredeljen pomemben Dinarski prelomni sistem in da je v katalogu potresov v SZ delu Idrijskega preloma lokacija najmočnejšega zgodovinskega potresa, medtem ko z uporabo srednjih vrednosti ta dva podatka spregledamo. Tudi sicer so na karti srednjih vrednosti večinoma manjše vrednosti, na nekaterih lokacijah (npr. v okolici Ljubljane) so celo manjše kot na predhodni karti potresne nevarnosti (Lapajne in drugi, 2001, 2003).
- Med dvema enakovrednima ocenama je pri projektiranju priporočljivo izbrati tisto, ki je na varnejši strani, kot predlaga tudi uveljavljen strokovnjak na področju ocenjevanja potresne nevarnosti: »For decision making, if a single representation of the seismic hazard is required, it is always preferable to use the mean of this distribution, rather than some other representation, such as a particular fractile. Use of the mean is consistent with modern interpretations of probability and with precedents of safety goals and cost-benefit analysis.« (McGuire in drugi, 2005).

### Nova karta potresne nevarnosti Slovenije (2021) in primerjava z uradno karto iz leta 2001

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. Na karti so izračunane povprečne vrednosti pospeška (glede na logično drevo), ki smo jih razvrstili v deset razredov širine 0,025 g (od 0,1 do 0,325 g) in zaokrožili na zgornjo mejo razreda (slika 6).



Slika 6: Nova karta potresne nevarnosti Slovenije (2021) - projektni pospešek tal na trdnih tleh (tip tal A po EC8) za povratno dobo 475 let.

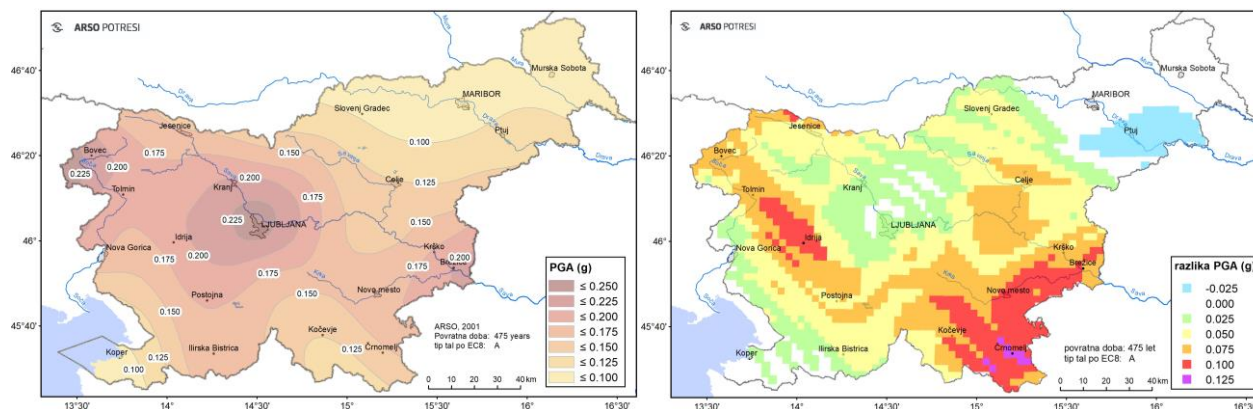
Karta projektnega pospeška tal (2021) ima za podlago Državno pregledno karto Slovenije 1:500.000 (GURS, 2021). Na spletu je dosegljiva v visoki ločljivosti 500 dpi, in skupaj z informativnimi vsebinami tudi v pregledovalniku (ARSO, 2022).

Projektni pospešek tal (slika 6) doseže največjo vrednost (0,325 g) na meji z Italijo zahodno od Bovca, kar je povezano z veliko potresno aktivnostjo bližnje Furlanije. Pospešek 0,3 g zajema območje okrog Idrije (ki sovpada z najpomembnejšimi dinarskimi prelomi in z lokacijo najmočnejšega zgodovinskega potresa v katalogu Slovenije), in vzhodnega dela Slovenije okrog Brežic (kjer se v Sloveniji zgodi največ zmernih potresov, ki že lahko povzročijo manjše poškodbe). Med nevarna območja (0,275 g) spada tudi Ljubljana z



okolico, ki ga izpostavljamo zaradi velike gostote naseljenosti. Tako kot na dosednji karti potresne nevarnosti, ki je v barvah nove karte prikazana na sliki 7 (levo), je tudi na novi karti potresna nevarnost znatna v osrednjem delu Slovenije, ter v pasu od SZ do JV. Razlike med novimi in starimi vrednostmi projektnega pospeška tal so prikazane na sliki 7 (desno).

Novi 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 Ptujja se je projektni pospešek tal nekoliko zmanjšal. Najpomembnejše razlike v postopku izračuna nove in stare karte potresne nevarnosti Slovenije so podane v preglednici 1.



Slika 7: Karta potresne nevarnosti Slovenije iz leta 2001 (levo) in razlike (desno) med vrednostmi projektnega pospeška tal (2021) in (2001)

Preglednica 1: Metodološke razlike pri izračunu obeh kart potresne nevarnosti Slovenije

	karta (2001)	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 in Pugliese (1996); podcenjen razpon pospeškov	Weatherill in drugi (2020), Kotha in drugi (2020); regionalizacija, logično drevo
Obravnava negotovosti in variabilnosti parametrov	Enolična vrednost parametrov	Modeliranje negotovosti in variabilnosti vplivnih parametrov
Tip magnitude in spodnja meja magnitude za izračun	Lokalna magnitude MI = 3,7	Navorna magnitude Mw = 4,3 za ploskovne in točkovne izvore Mw = 5,8 za prelomne izvore
Katalog potresov	Kompletnost: 1880 za MI 3,7 in 1690 za MI 5,0	Razširjen in posodobljen katalog; Kompletnost: 1875 za Mw 3,8
Računalniški program	OHAZ	OpenQuake in OHAZ

## Drugi parametri ocene potresne nevarnosti Slovenije

V nekaj letih pričakujemo spremembe evropskega standarda EC8 za potresno odporno gradnjo (CEN, 2021). 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. Da bi omogočili nadaljnje raziskave ob prehodu na nove zahteve EC8, smo poleg karte vršnega pospeška tal potresno nevarnost ocenili tudi z drugimi parametri. Izračunali smo karte spektralnega pospeška za 10 nihajnih časov (od 0 s do 2 s) 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. S tem smo pripravili najnovejše strokovne podlage, izračunane s sodobnimi podatki in pristopi, ki odražajo trenutno geološko in seizmološko znanje. Vse našete ocene potresne nevarnosti Slovenije (karta projektnega pospeška tal, informativne karte ter krivulje in spektri potresne nevarnosti) so dosegljive v spletnem pregledovalniku (ARSO, 2022).

## Razlogi za zamenjavo uradne karte potresne nevarnosti Slovenije

Od izdelave 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. Nova karta potresne nevarnosti Slovenije je izdelana po sodobnem postopku in temelji na najnovejših podatkih in spoznanjih seizmologije in geologije.

Obstoječa uradna karta potresne nevarnosti temelji skoraj izključno le na potresni zgodovini (katalogu potresov), brez upoštevanja možnosti nastanka potresov na opredeljenih aktivnih prelomih. V novem modelu pa smo prvič doslej sistematično 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, pri čemer smo upoštevali tako število kot tudi magnitudo potresov, geometrijsko pa ga predstavljajo središča celic mreže. Tretji model, sestavljen iz ploskovnih potresnih izvorov, smo opredelili na podlagi združenih geoloških in seizmoloških podatkov. Le kombinacija vseh modelov omogoča upoštevanje vseh vidikov in posledično bolj realistično oceno potresne nevarnosti.

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

Pomemben vpliv na oceno potresne nevarnosti ima model pojemanja pospeška tal z oddaljenostjo od (nad)žarišča potresa. Model pojemanja, uporabljen v izračunu 2001 (Sabetta in Pugliese, 1996), podcenjuje razpršenost pospeška tal, saj je bilo takrat na voljo še premalo meritev. To potrjujejo številne nove potresne opazovalnice in potresi v zadnjih 25 letih, ki so omogočili razvoj natančnejših modelov pojemanja pospeška tal. Pri izračunu smo uporabili 'backbone' 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. Parametri 'backbone' modela imajo negotovost večjo na tistih območjih, kjer je malo meritev, medtem ko s tradicionalnim naborom več različnih modelov pojemanja lahko povečamo negotovost kljub vse boljšemu poznavanju vhodnih podatkov.

Sodobni postopek ocenjevanja potresne nevarnosti zahteva modeliranje negotovosti vplivnih parametrov z logičnim drevesom, medtem ko smo pri izdelavi karte (2001) obravnavo negotovosti omejili le na pet različic kataloga potresov. Z logičnim drevesom v novem modelu smo v 1377 vejah modelirali epistemično negotovost najvplivnejših parametrov.

Z novim modelom potresne nevarnosti Slovenije smo omogočili izračun nove karte projektnega pospeška tal, ki je v skladu z zahtevami evropskega standarda EC8 za potresno odporno gradnjo. Razvoj slovenske karte potresne nevarnosti je potekal vzporedno s projektom posodobitve evropske karte (Danciu in drugi, 2021). Skupaj s strokovnjaki evropskega projekta smo usklajevali metodologijo in vhodne podatke za ozemlje Slovenije. Nova evropska karta sicer ni namenjena projektiranju, saj je evropsko merilo premajhno, da bi lahko upoštevalo enak nivo podrobnosti pri pripravi vhodnih podatkov in parametrov kot na nacionalni ravni.

Vse našeto nas je spodbudilo, da smo za namen projektiranja izdelali novo karto potresne nevarnosti Slovenije, s katero nadomeščamo 20 let staro karto projektnega pospeška tal.

### Zahvala

*Pri pripravi vhodnih podatkov, kodiranju pomožnih pythonovih programov ali pri razpravah o postopkih so sodelovali še: Bogomir Celarc, Jernej Jež, Matevž Novak, Blaž Milanič, Anže Markelj (vsi GeoZS), Gregor Rajh (UL-NTF), Laurentiu Danciu (ETH), Roberto Basili (INGV), Michele M. C. Carafa (INGV), Graeme Weatherill (GFZ-Potsdam). Vsem se za pomoč lepo zahvaljujemo.*

## Literatura

- ARSO, Agencija Republike Slovenije za okolje (2022) Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal. Karta: [http://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/Karta\\_potresne\\_nevarnosti\\_2021.jpg](http://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/Karta_potresne_nevarnosti_2021.jpg) (20. 4. 2022), Tolmač karte: [http://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/Tolmac\\_karte\\_potresne\\_nevarnosti\\_2021.pdf](http://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/Tolmac_karte_potresne_nevarnosti_2021.pdf) (24. 4. 2023) in pregledovalnik: <https://gis.arso.gov.si/portal/apps/opsdashboard/index.html#/48ad6a51977c4ee886722a3c09c4f470?locale=sl>
- Atanackov J, Jamšek Rupnik P, Zupančič P, Šket Motnikar B, Živčič M, Čarman M, Milanič B, Kastelic V, Rajh G, Gosar A (2022) Seismogenic fault and area sources for probabilistic seismic hazard model in Slovenia. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.940100>
- 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 M.B., Garcia Moreno D., Nemser E.S., Petricca P., Sboras S.P., Besana-Ostman G.M., 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 M.M., 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., Nandan S., Reyes C., Basili R., Weatherill G., Beauval C., Rovida A., Vilanova S., Sesetyan K., Bard P.-Y., Cotton F., Wiemer S., Giardini D. (2021) - The 2020 update of the European Seismic Hazard Model: Model Overview. EFEHR Technical Report 001, v1.0.0, <https://doi.org/10.12686/a15>
- 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)
- ESM, Engineering Strong Motion database, <https://esm-db.eu/#/home> (8. 12. 2021)
- Geodetska Uprava Republike Slovenije (2021), Državna pregledna karta Slovenije, <https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/topografski-in-kartografski-podatki/topografski-podatki-in-karte/drzavne-pregledne-karte/#tab2-1044> (8. 12. 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, *Bull. Seism. Soc. Am.* 93, No. 6, str. 2502-2515.
- McGuire R., Cornell C., Toro G. (2005). The Case for Using Mean Seismic Hazard. *Earthquake Spectra - Earthq Spectra* 21. 10.1193/1.1985447.

- Pagani M., Monelli D., Weatherill G., Danciu L., Crowley H., Silva V., Henshaw P., Butler L., Nastasi M., Panzeri L., Simionato M., Vignano 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/AC:2009 - 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/A101:2005/A101:2009/AC:2022 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe - Nacionalni dodatek, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005.
- Šket Motnikar B., Zupančič P., Živčič M., Atanackov J., Jamšek Rupnik P., Čarman M., Kastelic V., Gosar A. (2022a). Nov model potresne nevarnosti Slovenije (2021). V: KUHAR, Miran (ur.) in drugi. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2021: zbornik del. 27. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 27. januar 2022.* str. 97-107, ilustr. ISBN 978-961-95299-1-1. [http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2022/SZGG\\_2022\\_Sket\\_in\\_dr.pdf](http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2022/SZGG_2022_Sket_in_dr.pdf). [COBISS.SI-ID [98807811](https://doi.org/10.1007/s10518-022-01399-8)]
- Šket Motnikar B., Zupančič P., Živčič M., Atanackov J., Jamšek Rupnik P., Čarman M., Danciu L., Gosar A. (2022b). The 2021 Seismic Hazard Model for Slovenia (SHMS21): Overview and Results. *Bull Earthquake Eng* 20. <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01399-8>
- Ur. l. RS, št. 101/2005, Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov
- Ur. l. RS, št. 60/2017, Zakon o državni meteorološki, hidrološki, oceanografski in seizmološki službi (ZDMHS)
- 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). *Katalog potresov Slovenije in okolice KPN2018, rev. 3*, Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana