

Izračun lokalnih magnitud potresov iz podatkov Državne mreže potresnih opazovalnic

Jurij Bajc*, Žiga Zaplotnik**, Mladen Živčić***, Martina Čarman***

Povzetek

V prispevku predlagamo izboljšavo postopka določanja lokalne magnitude potresov na ozemlju Slovenije in bližnje okolice. Osredotočimo se predvsem na vpliv podatkov posamezne opazovalnice in primerjamo dve različici računanja lokalne magnitude iz vertikalnih komponent zapisov hitrosti. V osnovni različici, ki jo uporabljamo pri rutinskem izračunu magnitud v Uradu za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje, se za podatke vseh opazovalnic uporablja enotna magnitudna enačba, potresu pa se pripiše vrednost magnitude, ki je enaka povprečju magnitud, ki jih izračunamo iz podatkov posamezne opazovalnice. V izboljšani različici, ki jo predstavljamo v prispevku, enotni magnitudni enačbi dodamo aditivno konstanto, ki je različna za vsako opazovalnico in odseva lokalne značilnosti opazovalnice. Značilne *popravke za posamezno opazovalnico* določimo tako, da za izbrani nabor podatkov minimiziramo vsoto kvadratov razlik med magnitudo, izračunano iz podatkov ene opazovalnice, in povprečno magnitudo potresa. Rezultati raziskave kažejo, da z vpeljavo značilnih popravkov za vsako opazovalnico znatno zmanjšamo nedoločenost vrednosti lokalne magnitude, ki jo pripišemo posameznemu potresu.

Uvod

V prispevku raziščemo določanje lokalne magnitude iz vertikalnih komponent zapisov hitrosti (M_{LV}), ki jo za potrese na območju Slovenije in bližnje okolice določajo pri rutinskih analizah v Uradu za seizmologijo in geologijo (USG) Agencije RS za okolje (ARSO) in opredeljuje velikost potresov v uradnih katalogih ARSO. Raziskav o ustreznosti enačbe za računanje lokalne magnitude za Slovenijo v literaturi ni zaslediti, nekaj podobnih raziskav je bilo narejenih za sosednjo Italijo (Bindi et al., 2005; Bragato in Tento, 2005). V USG se uporablja za rutinski izračun lokalne magnitude M_{LV} iz podatkov katerekoli opazovalnice isto empirično določeno magnitudno enačbo

$$M_{LV} = \log\left(\frac{A}{T}\right)_{\max} + 1,52 \log(\Delta) - 0,1, \quad (1)$$

kjer pomeni A amplitudo nihanja tal, izraženo v nanometrih, T nihajni čas nihaja z amplitudo A v sekundah in Δ žariščno (hipocentralno) oddaljenost opazovalnice od potresa v kotnih stopinjah. Ena kotna stopinja približno ustreza razdalji 111,2 km. Čeprav A in T v enačbi (1) pomenita amplitudo nihanja in nihajni čas tega nihanja, v USG s seizmogramov dejansko odčitavajo največjo amplitudo hitrosti nihanja tal v navpični smeri, kar je sorazmerno največjemu kvocientu A/T , saj magnitudna enačba (1) temelji na največji vrednosti kvocienta A/T in ne na največji vrednosti amplitude odmikov A , kakor je prvo definicijo magnitude postavil Richter (1935). Vrednost koeficientov v magnitudni enačbi (1) je določil pred približno tremi desetletji takratni direktor Seizmološkega zavoda prof. Ribarič, žal pa zapisi o tej raziskavi niso objavljeni, tako da ni znana niti natančna

* UL, Pedagoška fakulteta, Kardeljeva ploščad 16, Ljubljana

** UL, Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska 19, Ljubljana

*** Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, Ljubljana

metodologija določanja koeficientov v magnitudni relaciji niti ni povsem znano, kateri podatki so bili uporabljeni pri njihovem določanju. Funkcijska odvisnost magnitude od amplitude, nihajnega časa in oddaljenosti, ki je zapisana v enačbi (1), še vedno izhaja iz prvotne Richterjeve (1935, 1958) definicije magnitude, a prirejene za sodobne seizmometre, ki ne merijo odmikov nihanja tal, temveč merijo hitrost nihanja tal, vrednosti koeficienta pred logaritmom oddaljenosti ($=1,52$) in aditivne konstantne ($= -0,1$) pa sta določeni empirično in sta odvisni od povprečne strukture tal pod Slovenijo. Potresu pripišemo magnitudo M_{LV} , ki je enaka povprečni vrednosti magnitud, ki jih iz razpoložljivih podatkov izračunamo za posamezno opazovalnico. Tako zmanjšamo vpliv posamezne magnitude, ki je določena iz zapisov na izbrani opazovalnici. Individualne vrednosti magnitud lahko namreč znatno odstopajo od povprečne vrednosti, ki je dodeljena posameznemu potresu, za kar sta vsaj dva očitna vzroka. Po eni strani se potresno valovanje od žarišča potresa ne širi enakomerno na vse strani, ampak je značilno prostorsko porazdeljeno, kar opisuje sevalna funkcija, ki je odvisna od žariščnega mehanizma potresa. Po drugi strani je amplituda, odčitana na opazovalnici, odvisna od lokalne zgradbe tal pod opazovalnico, včasih pa tudi od kake druge lastnosti izgradnje opazovalnice. Oboje vodi do tega, da je vrednost magnitude, ki je dodeljena posameznemu potresu, lahko precej odvisna od tega, na katerih opazovalnicah je bila določena, posebej, če je amplituda odčitana na majhnem številu opazovalnic. Na spreminjanje sevalne funkcije od potresa do potresa ne moremo vplivati, medtem ko se lastnosti lokalne strukture in same zgradbe opazovalnice odsevajo v sistematičnih odstopanjih, ki jih lahko pripišemo posamezni opazovalnici kot značilni popravek na opazovalnici.



Slika 1 – Državna mreža potresnih opazovalnic (rdeči kvadrati) in potresna opazovalnica TRI pri Trstu (črni kvadratik).

Imenujmo magnitudo M_{LV} , izračunano iz podatkov posamezne opazovalnice, *individualna* magnituda M_{ind} , in povprečno vrednost individualnih magnitud za en potres *povprečna* magnituda potresa M . Primerjava vrednosti M_{ind} in M je med seizmologi v USG že dlje časa vzbujala občutek, da so magnitude M_{ind} iz podatkov nekaterih opazovalnic sistematično večje oziroma manjše od povprečnih magnitud M . Ker je po drugi strani že Richter (1935) vpeljal za vsako opazovalnico svojo aditivno konstanto C_j (enačba 2), smo se lotili izračuna individualne magnitude z enačbo v splošni obliki

$$M_{ind}^j = \log\left(\frac{A[\text{nm}]}{T[\text{s}]}\right)_{\max} + a \log\left(\frac{r[\text{km}]}{111,2 \text{ km}}\right) + C_j, \quad (2)$$

kjer je M_{ind}^j individualna lokalna magnituda, izračunana na j -ti opazovalnici, a in C_j pa konstanti – parametra, ki ju je potrebno še določiti. Načeloma bi lahko imela vsaka opazovalnica svojo vrednost tako C_j kot a . Ker a opisuje dušenje oziroma pojemanje amplitude valovanja z oddaljenostjo od žarišča in se potresni valovi za potrese po Sloveniji širijo od vseh morebitnih žarišč potresov do vseh opazovalnic Državne mreže potresnih opazovalnic (slika 1) v povprečju po istih tleh, je smiselno iskati rešitev z enako vrednostjo a za vse opazovalnice. Tako določena vrednost a opisuje pojemanje amplitude valovanja z razdaljo za povprečno strukturo zemeljske skorje na območju Slovenije. Če bi za vse opazovalnice izbrali enako vrednost C_j , bi pravzaprav le ponovno določili vrednosti obeh koeficientov v enačbi (1). Bistvena razlika med osnovno in izboljšano različico računanja lokalne magnitude je v tem, da privzamemo v novi različici za vsako opazovalnico drugo vrednost C_j . Na ta način lahko kompenziramo sistematične individualne razlike med odčitanimi amplitudami na posameznih opazovalnicah. Sistematične razlike so, kot rečeno, običajno posledica lokalnih lastnosti opazovalnice, ki vplivajo na velikost odčitane amplitude nihanja tal, in s tem povečujejo negotovost vrednosti magnitude, ki jo pripišemo izbranemu potresu. Glavni cilj raziskave je poiskati koeficient a in značilne popravke C_j za posamezno opazovalnico tako, da bodo vrednosti vsake posamezne individualne magnitude M_{ind} za izbrani potres čim bližje povprečni magnitudi tega potresa M .

V nadaljevanju v poglavju *Metodologija in podatki* podrobno opišemo, kako smo določili iskane parametre v magnitudni enačbi (2) in katere podatke smo uporabili pri izračunu. Nato v poglavju *Rezultati* primerjamo vrednosti in negotovosti lokalnih magnitud, izračunanih z izboljšano in osnovno različico magnitudne enačbe ter v *Zaključkih* povzamemo glavne ugotovitve raziskave.

Metodologija in podatki

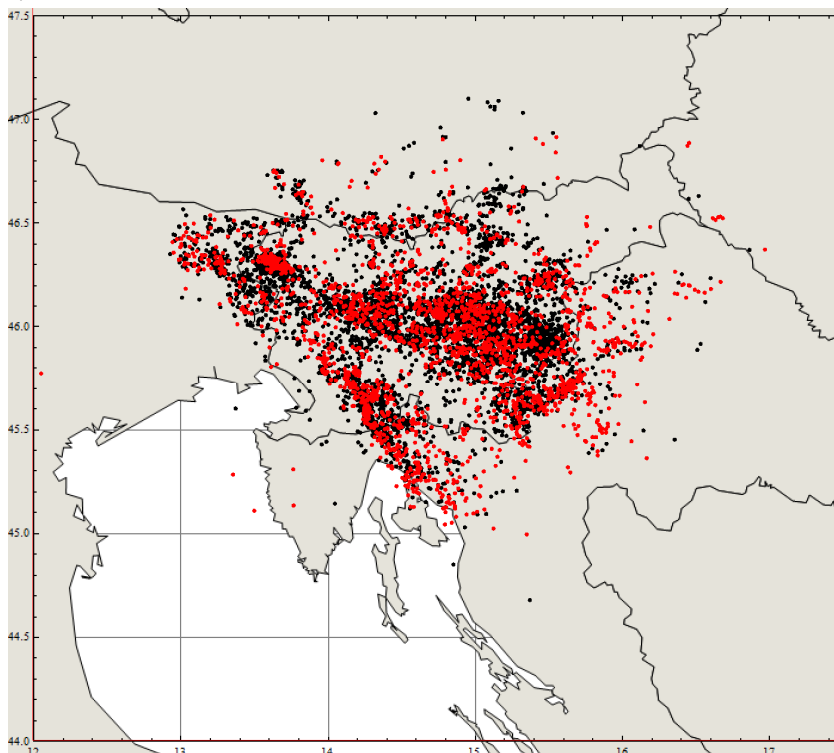
Lokalna magnituda potresa M_{LV} se v USG rutinsko določa kot povprečna magnituda M vseh izračunanih individualnih magnitud M_{ind} iz dosegljivih podatkov za posamezen potres. Vsaka individualna magnituda se izračuna z enačbo (1), kar pomeni, da moramo imeti za izbrano opazovalnico podatke o oddaljenosti od žarišča in o amplitudi hitrosti nihanja tal. To je direktno računanje magnitud iz znanih podatkov z uporabo znane enačbe (1). V pričujoči raziskavi želimo poiskati parametre a in C_j v magnitudni enačbi (2) za računanje individualne magnitude iz podatkov posamezne opazovalnice. To je inverzni problem, ki nima enolične rešitve, zato ga moramo najprej dobro definirati. Vhodni podatki za nalogo so še vedno podatki o največji amplitudi hitrosti nihanja tal oziroma največjem razmerju A/T in oddaljenosti opazovalnic r od žarišča posameznega potresa, vendar sedaj ne iščemo le povprečne magnitude M za en potres, ampak iščemo tako parametre a in C_j , kot tudi povprečne vrednosti magnitud M za več potresov hkrati. Pri tem parametre a in C_j določamo s standardnim pristopom najmanjše vsote kvadratov razlik. To pomeni, da iščemo vrednosti parametrov a in C_j , ki minimizirajo funkcijo f , definirano kot

$$f = \sum_i \sum_j (M_{ij} - M_i)^2, \quad (3)$$

kjer je M_{ij} individualna magnituda i -tega potresa, izračunana iz podatkov j -te opazovalnice, in M_i povprečna magnituda i -tega potresa

$$M_i = \frac{1}{n_i} \sum_j M_{ij} . \quad (4)$$

Tu j teče po vseh opazovalnicah, za katere imamo izračunane individualne magnitude M_{ij} in je število izračunanih individualnih magnitud enako n_i . Neznanke v enačbi (3) so koeficient a in popravki C_j ter povprečne magnitude M_i vseh potresov, katerih podatke smo uporabili.



Slika 2 – Potresi v obdobju od leta 1997 do 2010, za katere poznamo lokacijo žarišča. S črno s označeni potresi, katerih podatkov v inverziji ne uporabimo, z rdečo pa tisti potresi, katerih podatki so uporabljeni v inverziji.

V raziskavo smo vključili več kot 78000 avtomatsko odčitanih podatkov za potrese v obdobju od vključno leta 1997 do vključno leta 2010. Podatki so izvirali z 29 potresnih opazovalnic Državne mreže in opazovalnice TRI v Trstu (slika 1). Podatke slednje smo vključili iz zgodovinskih razlogov, saj je bila enačba (1) izpeljana na osnovi primerjave izračunanih magnitud na opazovalnici TRI v trstu in LJU v Ljubljani. Pri inverzih problemih se rezultati običajno opazno spreminjajo, če izbiramo različne nabori vhodnih podatkov. Zato smo izmed vseh avtomatsko odčitanih podatkov o največji vrednosti A/T po določenih kriterijih izbrali podmnožico 23546 ustrezno zanesljivih podatkov za 3152 potresov, ki smo jih uporabili v inverziji za iskane parametre (slika 2). Izbor vhodnih podatkov smo naredili v nekaj korakih. Najprej smo primerjali nekaj deset naključno izbranih avtomatsko odčitanih podatkov z dostopnimi ročno odčitanimi podatki, da smo preverili načelno pravilnost delovanja algoritma za avtomatsko odčitavanje največjih vrednosti A/T . Ujemanje je bilo zadovoljivo, seveda pa nobeno avtomatsko odčitavanje ne more delovati 100 % zanesljivo, zato smo z dodatnimi kriteriji izločili podatke, ki so bili videti nezanesljivi. Izbirni kriteriji so se nanašali na hitrost širjenja valovanja, kjer pričakujemo največje amplitude hitrosti nihanja tal, na pričakovane nihajne čase, smiselno najmanjšo oddaljenost med potresom in opazovalnico, najmanjše sprejemljivo razmerje med signalom in šumom, najmanjše število podatkov za posamezen potres in podobno. Mejne kriterije smo po nekaj testiranjih (tabela 1) izbrali glede na presojo ravnotežja med

tem, da uporabimo kar se da kvalitetne in zanesljive podatke, in med tem, da imamo čim več podatkov in s tem zagotovimo statistično večjo veljavnost z inverzijo izračunanih parametrov. V končni nabor podatkov smo zajeli potrese, ki so bili od opazovalnic oddaljeni od 20 km (izbrana spodnja meja) do okoli 270 km in so imeli magnitude v razponu od okoli 0,2 do 5,1.

Tabela 1 – Rezultati testnih naborov podatkov za izračun parametrov magnitudne enačbe M_{LV} . V prvem stolpcu je časovno obdobje, za katerega je narejena inverzija, v drugem številu uporabljenih podatkov, v tretjem številu potresov, katerih podatke smo uporabili, v četrtem vrednost konstante a .

V osenčeni vrstici je končna rešitev in opis pripadajočih podatkov.

Časovno obdobje	Število podatkov	Število potresov	a
1997-2004	4229	757	1,830
2005-2007	7013	869	1,796
2008-2010	12304	1526	1,819
1997-2010	23546	3152	1,827
1998	287	86	1,754
2003	1092	186	1,792
2004	1869	240	1,816
2005	1908	250	1,794
2008	2469	316	1,870
2010	6718	823	1,783

Reševanje inverznega problema za veliko neznanih parametrov (31 parametrov a in C_j v magnitudni enačbi in 3152 magnitud M_{LV} potresov) je časovno zahtevno in pogosto numerično nestabilno, zato smo problem poenostavili s trikom, ki nam je dal enak rezultat (preverjeno na manjšem naboru podatkov), a je vključeval kot neznanke le prvih 31 parametrov iz magnitudne enačbe. Neznane vrednosti a in C_j smo iskali iterativno, medtem ko smo se neznanih vrednosti magnitud potresov izognili tako, da smo v k -tem koraku iteracije pripisali potresom magnitudo, ki smo jih izračunali po magnitudnih enačbah (2) in (4), a smo pri tem uporabili vrednosti parametrov a in C_j iz $(k-1)$ -tega koraka iteracije. Iz enačbe (3) je očitno, da sprememba vseh parametrov C_j za enako aditivno konstanto ΔC ne spremeni vrednosti funkcije f , saj se za ΔC spremenijo tako M_{ij} kot M_i in ostanejo razlike $M_{ij} - M_i$ nespremenjene. Torej so koeficienti C_j določljivi le do aditivne konstante natančno in je potrebno za enoličnost rešitve in numerično stabilnost uporabiti dodatni pogoj, na primer pogoj, da je povprečna vrednost popravkov vseh opazovalnic enaka 0, kar pomeni, da so popravki C_j razporejeni okoli vrednosti 0. Enačbo (2) zato preoblikujemo v

$$M_{ind}^j = \log\left(\frac{A[\text{nm}]}{T[\text{s}]}\right)_{\max} + a \log\left(\frac{r[\text{km}]}{111,2 \text{ km}}\right) + \Delta C + C_j, \quad (5)$$

kjer vrednost aditivne konstante ΔC med reševanjem inverznega problema postavimo na 0, na koncu pa jo določimo tako, da so povprečne magnitude potresov po osnovni in izboljšani različici določanja M_{LV} čim bolj enake. Ker iz uporabljenih podatkov ne moremo absolutno določiti ΔC , izboljšano različico računanja pač sidramo na rezultate osnovne različice z eno magnitudno enačbo (1).

Rezultati

Iz nihanj vrednosti parametra a za podatke iz različnih časovnih obdobj (tabela 1) ocenimo tako vrednost parametra kot njegovo nedoločenost. S približno 95 % verjetnostjo sprejmemo za a vrednost

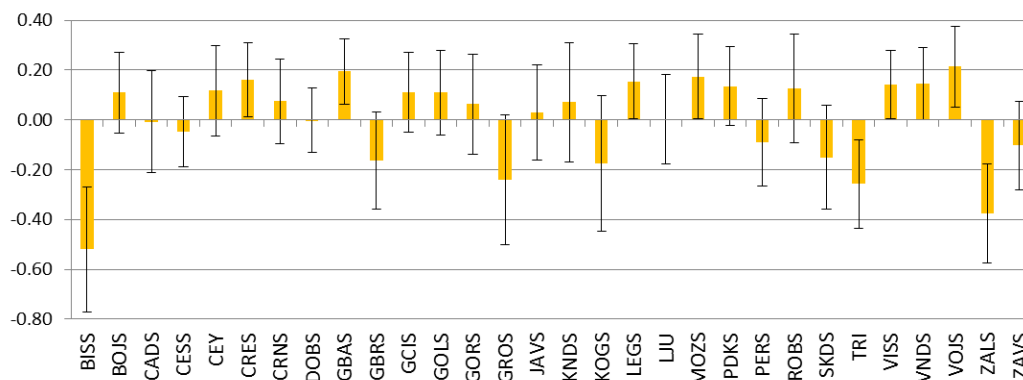
$$a = 1,83 \pm 0,03 = 1,83 (1 \pm 0,02), \quad (6)$$

kar pomeni, da smo vrednost a določili na okoli 2 % natančno. Vrednosti parametrov C_j se za izbrana časovna obdobja prav tako le malo spreminjajo, zato v tabeli 2 podajamo samo končne rezultate, ki so izračunani iz podatkov za celotno obdobje od leta 1997 do 2010. Rezultati so za lažjo predstavbo grafično prikazani tudi na sliki 3.

Tabela 2 – Izračunani popravki na opazovalnicah za celotno obdobje od leta 1997 do leta 2010. Vsi popravki so izračunani za vertikalno komponento hitrosti nihanja tal. V prvem stolpcu je ime opazovalnice, v drugem popravek opazovalnice (C), v tretjem številu uporabljenih podatkov (N) in v četrtem povprečna velikost odstopanja individualne magnitude od povprečne magnitude za isti potres (σ_M). S krepkim tiskom sta zapisani vrednosti parametrov za opazovalnici LJU in TRI, ki sta pomembni iz zgodovinskih razlogov.

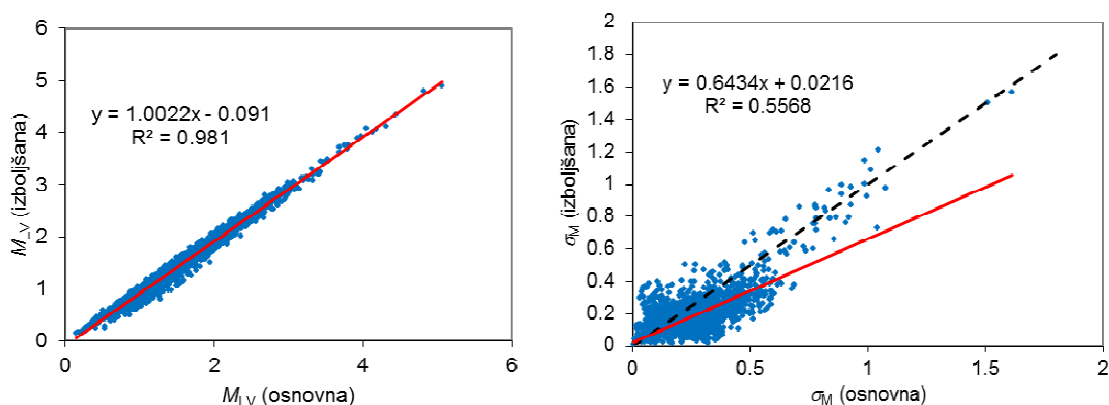
opaz.	C	N	σ_M	opaz.	C	N	σ_M	opaz.	C	N	σ_M
LJU	0,00	625	0,18	TRI	-0,26	767	0,18	MOZS	0,17	617	0,17
BISS	-0,52	781	0,25	GBRS	-0,16	363	0,20	PDKS	0,14	1549	0,16
CESS	-0,05	373	0,14	GCIS	0,11	624	0,16	PERS	-0,09	552	0,18
CEY	0,12	1453	0,18	GOLS	0,11	1322	0,17	ROBS	0,13	231	0,22
DOBS	0,00	929	0,13	GORS	0,06	958	0,20	SKDS	-0,15	1069	0,21
BOJS	0,11	928	0,16	GROS	-0,24	728	0,26	VISS	0,14	1320	0,14
CADS	-0,01	590	0,21	JAVS	0,03	763	0,19	VNDS	0,15	594	0,15
CRES	0,16	936	0,15	KNDS	0,07	427	0,24	VOJS	0,21	865	0,16
CRNS	0,07	543	0,17	KOGS	-0,18	280	0,27	ZALS	-0,38	483	0,20
GBAS	0,19	944	0,13	LEGS	0,15	1453	0,15	ZAVS	-0,10	479	0,18

Individualne magnitude M_{ind} , ki so izračunane iz podatkov ene opazovalnice, se praviloma razlikujejo od povprečne magnitude $M_{LV} = M$, ki jo pripišemo potresu. Merilo, kako negotova je vrednost magnitude, ki jo odčitamo samo na eni opazovalnici, je povprečna velikost razlike med individualno magnitudo in magnitudo potresa, ki jo poimenujemo *negotovost individualne magnitude* in jo označimo s σ_M (tabela 2 in slika 3).



Slika 3 – Popravki na opazovalnicah. Označen je tudi interval povprečnega odstopanja individualne magnitude M_{ind} od magnitude M , ki jo pripišemo potresu (tabela 2).

Iz slike 3 in tabele 2 razberemo, da je σ_M ob uporabi popravkov na opazovalnicah v povprečju okoli 0,18, samo na treh opazovalnicah (BISS, GROS in KOGS) pa dosega ali malo presega 0,25. V grobem lahko sklepamo, da so ob vpeljavi popravkov na posamezni opazovalnici vrednosti magnitud, odčitanih samo iz podatkov ene opazovalnice, nedoločene na okoli $\Delta M = 0,18$. Podobni izračuni z eno samo magnitudno enačbo (1) dajo za povprečno vrednost negotovosti individualne magnitudo vrednosti okoli $\Delta M = 0,25$, kar pomeni, da vpeljava popravkov C_j negotovost vrednosti M_{LV} posebej v primeru majhnega števila podatkov zmanjša za okoli 30 %.



Slika 4 – Levo: Ujemanje magnitud, določenih po izboljšani (5) in osnovni enačbi (1) za vse potrese, katerih podatki so bili uporabljeni v inverziji. Dodana je najboljše prilegajoča se premica (rdeča črta). Desno: Povprečno odstopanje individualnih magnitud od povprečne vrednosti za posamezen potres, katerega podatki so bili uporabljeni v inverziji. Dodana je najboljše prilegajoča se premica (rdeča črta) in premica $y = x$ (črna črtkana črta), da se bolje vidi razlika med odstopanji po izboljšani (5) in osnovni magnitudni enačbi (1).

Da preverimo, kaj vpeljava popravkov na opazovalnicah (enačba 5) prinese v primerjavi z uporabo ene same enačbe (1) za vse opazovalnice, med seboj primerjamo tako vrednosti M_{LV} (slika 4, levo), določene z obema različicama magnitudne enačbe za vsak potres, kot tudi odstopanja individualnih magnitud, ki jih dobimo z magnitudnima enačbama (5) in (1), od vrednosti M_{LV} (slika 4, desno). V prvem primeru vsakič primerjamo vrednosti M_{LV} za izbrani potres, v drugem pa odstopanja individualnih magnitud od ustrezne vrednosti M_{LV} za vsako od opazovalnic, za katero imamo podatke za izbrani potres. Primerjava magnitud potresov da dobro korelirano linearno zvezo, ki ima smerni koeficient v okviru napake enak ena in tudi korelacijski koeficient R skoraj ena, $R = 0,98$. Vezna enačba med magnitudami, izračunanimi z izboljšano in osnovno različico magnitudne enačbe je

$$M_{LV}(\text{izboljšana}) = 1,0022 M_{LV}(\text{osnovna}) - 0,091 \cong M_{LV}(\text{osnovna}) - 0,09, \quad (7)$$

kar pomeni, da so magnitudo potresov, izračunane po enačbi (5) brez vpeljave aditivne konstante ($\Delta C = 0,0$), v povprečju le za približno 0,09 magnitudo manjše od rezultatov enačbe (1). Z ustrezno izbiro vrednosti aditivne konstante $\Delta C = 0,09$ v enačbi (5) dasta obe enačbi v povprečju enake vrednosti magnitud, ob tem pa je nedoločenost tako posamezne individualne magnitudo kot tudi povprečne magnitudo potresov ob uporabi končne oblike magnitudne enačbe

$$M_{ind}^j = \log\left(\frac{A[\text{nm}]}{T[\text{s}]}\right) + 1,83 \log\left(\frac{r[\text{km}]}{111,2 \text{ km}}\right) + 0,09 + C_j \quad (8)$$

za okoli 30 % manjša od nedoločenosti magnitud, izračunanih z enačbo (1).

Zaključek

V raziskavi osnovno magnitudno enačbo (1) razširimo z vpeljavo aditivnih popravkov na posamezni opazovalnici (enačbi 5 in 8), da bi tako kompenzirali morebitno potencialno sistematično preveliko ali premajhno individualno izračunano magnitudo na posamezni opazovalnici. Z inverzijo več kot 23000 podatkov iz obdobja od leta 1997 do leta 2010 smo določili parametre v modelski magnitudni enačbi (5) oziroma (2) in tako zapisali izboljšano magnitudno enačbo (8). Vrednosti značilnih popravkov C_j , ki nastopajo v enačbi (8), so zbrani v tabeli 2. Glavna rezultata raziskave lahko strnemo v naslednje:

- Nova, izboljšana magnitudna enačba (9), da za potrese približno enake vrednosti M_{LV} , kot jih je dajala osnovna enačba (1) določena pred več kot tridesetimi leti. To se zgodi za potrese na ozemlju Slovenije kljub temu, da je vrednost koeficienta a , ki opisuje dušenje in geometrijsko razširjanje potresnih valov, v enačbi (8) precej večja ($a = 1,83$) od vrednosti ($a = 1,52$) v enačbi (1). Očitno se v danem intervalu oddaljenosti med žarišči in opazovalnicami razlika v dušenju kompenzira z vpeljavo popravkov, značilnih za posamezno opazovalnico.
- Bistvena prednost vpeljave značilnih popravkov za opazovalnice je večja zanesljivost individualne magnitude in posledično za okoli 30 % manjši nedoločenosti izračunane lokalne magnitude M_{LV} .

Raziskavo bi bilo smiselno nadaljevati v smeri povezovanja oziroma iskanja povezave med lokalno magnitudo M_{LV} , ki jo v USG na ARSO sedaj rutinsko uporabljamo kot mero za velikost potresa, in navorno magnitudo, ki je fizikalno najboljše definirana mera za velikost potresa, ali Richterjevo oziroma Wood-Andersonovo magnitudo, ki je zgodovinsko gledano osnova vsem sodobnim magnitudam in na podlagi katere je prof. Ribarič izpeljal enačbo (1) s primerjavo zapisov istih potresov v Trstu in v Ljubljani.

Literatura

- Bindi D., Spallarossa D., Eva C., Cattaneo M. (2005). Local and duration magnitudes in northwestern Italy, and seismic moment versus magnitude relationships, *Bull. Seism. Soc. Am.* **95**, 592-604.
- Bragato P.L., Tento A. (2005). Local magnitude in northeastern Italy, *Bull. Seism. Soc. Am.* **95**, 579-591.
- Richter C.F. (1935). An instrumental earthquake magnitude scale, *Bull. Seism. Soc. Am.* **25**, 1-31.
- Richter C.F. (1958), *Elementary Seismology*, W.H. Freeman and Co., San Francisco, California, 578 p.