

Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko

<http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/>

**RAZISKAVE S PODROČJA
GEODEZIJE IN GEOFIZIKE
2009**

zbornik predavanj

15. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko

Ljubljana, 21. januar 2010

ORGANIZACIJSKI ODBOR

Miran Kuhar
Bojan Stegenšek
Janez Goršič

UREDNIŠKI ODBOR

Miran Kuhar

LEKTORIRANJE

mag. Brigita Lipovšek

ORGANIZATOR SREČANJA IN ZALOŽNIK

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

550.3(082)
528(082)

SLOVENSKO združenje za geodezijo in geofiziko. Strokovno srečanje; (15 ; 2010 ; Ljubljana)

Raziskave s področja geodezije in geofizike 2009 : zbornik predavanj / 15. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko Ljubljana, 21. januar 2010 ; [organizator Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo ; uredniški odbor Miran Kuhar]. - V Ljubljani : Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2010

ISBN 978-961-6167-93-2

1. Gl. stv. nasl. 2. Kuhar, Miran 3. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (Ljubljana)
249217792

Predgovor

Pred nami je zbornik letošnjega srečanja Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko. Prispevki so aktualni ter vsebinsko in podatkovno bogati, tako da je njihova tematika zanimiva za ožjo in širšo strokovno javnost. Predvsem pa odražajo zavezanost slovenskih raziskovalcev kakovostnemu in mednarodno vpetemu načinu strokovnega in znanstvenega delovanja. Še posebej me veseli, da je vsako leto večje število objav mladih kolegov, ki so šele na začetku znanstveno-raziskovalne poti, a so njihove zamisli prodorne in pogosto tudi inovativne. To je hkrati tudi dobra osnova za trajnostni razvoj naše stroke in s tem celotne slovenske družbe.

Naše društvo, ki je včlanjeno v Mednarodno zvezo za geodezijo in geofiziko od leta 1994, je tako kot krovna organizacija sestavljeno iz sedmih sekcij, poimenovanih – Geodezija, Geomagnetizem in aeronomija, Hidrologija, Meteorologija, Fizikalna oceanografija, Seizmologija in fizika Zemljine notranjosti ter Vulkanologija in kemizem Zemljine notranjosti. Te sekcije obsegajo samostojna in zelo široka polja znanosti, zato je marsikdaj težko zagovarjati celostno zamisel delovanja društva, kakršna je bila prisotna v času nastanka Mednarodne zveze za geodezijo in geofiziko leta 1919. Po drugi strani pa se danes vse bolj uveljavlja težnja po interdisciplinarnosti raziskovalnega dela, zato vidim v delovanju našega društva nove možnosti in izzive, še posebej v geografsko in demografsko majhni državi, kot je Slovenija.

Letošnje leto je prav gotovo zaznamovala Konferenca Združenih narodov o podnebnih spremembah v Københavnu COP15 – United Nations Climate Change Conference 2009. Kljub zelo veliki medijski pozornosti, ki je bila deležna, mislim, da je prinesla premalo, in to tako v svetovnem merilu kot tudi v slovenskem prostoru. Slovenija bo morala v prihodnje plačati kar 80 milijonov evrov kazni za prekomerne izpuste toplogrednih plinov, prave volje, da bi to stanje popravili, pa ni, čeprav so naši obnovljivi viri premalo izkoriščeni. Dobički od prodaje klasičnih goriv so veliki, z njimi upravljajo in se okoriščajo velika podjetja, družbe in tudi posamezniki, kazen pa bo udarila po žepih vse davkoplačevalce v Sloveniji. Več kot očitno je, da se nekaterim, ki krojijo našo usodo, takšno stanje še vedno izplača.

Pri nas se vse pogosteje srečujemo z ujмами, naraslimi vodami in zemeljskimi plazovi, ki ogrožajo naše imetje in življenje. Ob tem se pogosto soočamo z grehi iz preteklosti, ko so uradniki lokalnih skupnosti brez strokovnih podlag izdajali dovoljenja za gradnjo na gravitacijsko nestabilnih področjih. Upam, da bo naša družba vsaj v bodoče postavila pravne temelje, na katerih bo mogoče odgovorne za takšne nepravilnosti tudi ustrezno sankcionirati v moralnem in materialnem pogledu.

Letošnja skupščina prinaša tudi volitve novih članov v organe Združenja za geodezijo in geofiziko – predsednika, podpredsednika, člane izvršilnega odbora, nadzornega odbora in častnega rabsodišča. Prepričana sem, da bo ta sprememba prinesla nov zagon za delovanje Združenja, kljub še vedno trajajoči gospodarski krizi, ki tako ali drugače omejuje naše delovanje na številnih področjih.

Naša srečanja ob letni skupščini so postala že tradicionalna. Ob strokovnem srečanju bomo imeli veliko možnosti tudi za sproščen, neuraden razgovor z dolgoletnimi člani, novimi znanci in študenti. Veselim se ponovnega snidenja z Vami in dovolite mi, da Vam zaželim veliko uspehov, zdravja in osebne sreče v novem letu 2010.

predsednica SZGG

dr. Polona Kralj

Vsebina

Predgovor	3
J. Lapajne - Protitikovni plimski val in cunami	7
S. Šebela - O podrtem kapniku ob Cerkniškem potresu (1926), ter o raziskovalni postaji s horizontalnimi nihali v Postojnski jami	17
R. Čop, P. Kosovac - Primerjalne meritve Overhouserjevega protonskega gradiometra	23
J. Bogataj, M. Brilly - Problematika nizkih pretokov Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami	31
M. Ličer - Analiza in prognoza višin morja v Slovenskem morju	43
P. Sinčič, R. Vidrih, M. Godec - Opazovanje seizmičnosti na območju velikih pregrad	53
J. Weber, M. Vrabc, P. Pavlovčič-Prešeren, T. Dixon, Y. Jiang, B. Stopar - Določitev recentnega gibanja Jadranske mikroplošče iz meritev GPS v Istri in Padski nižini	71
I. Cecić, M. Godec, R. Vidrih - Potres 6. aprila 2009 v osrednjih Apeninih	75
M. Brilly, A. Horvat, A. Vidmar - Zagate modeliranja v hidrologiji	87

Protitokovni plimski val in cunami

Janez Lapajne *

Povzetek

Protitokovni plimski val je pravi plimski val, ki potuje po reki ali ozkem zalivu navzgor proti toku. Sledi plimovanju v morju, v katerega se izliva reka. Običajno nastaja tam, kjer prehaja plimovanje z območij z veliko bibavično amplitudo skozi širok zaliv v lijakasto ustje plitve in vedno ožje rečne struge. Zavzema razne oblike in višine. Visoki protitokovni plimski valovi so privlačna turistična zanimivost in ponujajo odlične možnosti za rečno deskanje, čeprav niso povsem varni. Med najbolj znanimi so plimski valovi na kitajski reki Qiantang, na Amazonki v Braziliji in na reki Severn v Veliki Britaniji. Zaradi navidezne podobnosti je mogoča zamenjava tega pojava s cunamijem. Spletni šaljivci so to podobnost izkoristili in po elektronski pošti v nekaj dneh po cunamiju v Indijskem oceanu, ki je nastal 26. 12. 2004, v svet razposlali fotografije protitokovnega rečnega plimskega vala na reki Qiantang z dne 9. septembra 2002, opremljene z napisi » Cunami v živo!«, » Slike cunamija!« in podobno.

Uvod

Letos mineva pet let od pogubnega cunamija, ki je 26. 12. 2004 razdejal mnoga obalna območja Indijskega oceana. Nesreča je močno odmevala v svetu in številne države so se odzvale s hitrim posredovanjem ter s finančno in drugimi oblikami pomoči. Veliko zaslug za hiter odziv imajo prav gotovo tudi prepričljivi živi posnetki veličastnega naravnega pojava in grozljivega opustošenja, ki so obšli svet. Vse medije so napolnili številni informativni, poljudni ter raznovrstni strokovni in znanstveni prispevki, ki so prikazovali, popisovali, pojasnjevali in analizirali eno največjih nesreč v zgodovini človeštva.

Moj namen ni v bogat nabor objav dodati še en prispevek o cunamiju ali o veliki nesreči, ki jo je povzročil. Tu želim na kratko opisati nek drug zanimiv naravni pojav, ki ga lahko nepoučen opazovalec zamenja s cunamijem, obenem pa tudi opozoriti na možnost javne, posebej spletne zlorabe podobnosti dveh veličastnih naravnih pojavov. To možnost so že v prvih dneh po cunamiju v Indijskem oceanu izkoristili spletni šaljivci in začeli z elektronsko pošto po svetu razširjati sicer pristne fotografije, opremljene z napisi »Cunami v živo!«, »Slike cunamija!« in podobno, ki pa niso prikazovale omenjenega cunamija ali njegovih posledic, ampak protitokovni plimski val (About.com). Poleg zlorabljenih fotografij so se po spletu širile tudi v celoti zmontirane potegavščine. Smisel za tak »obešenjaški« humor je lasten človeški vrsti tudi ob najhujših nesrečah. V splošnem ga lahko razumemo kot sestavino preživetvenega nagona. Take spletne race obravnavajo nekateri s strogimi etičnimi merili in se nad njimi zgražajo, drugih se sploh ne dotaknejo, tretji pa so bolj prizanesljivi in jih jemljejo kot sestavni del življenja (kar dejansko tudi so). Ne glede na takšno ali drugačno razumevanje človeškega humorja je protitokovni plimski val vreden ogleda. Ni le čudovit naravni pojav, ampak ponuja tudi odlične razmere za deskanje (Ujusansa surf klub).

Protitokovni rečni plimski val in spletno zavažanje

Protitokovni plimski val – angleško *tidal bore* ali samo *bore* (beseda izhaja preko stare angleščine iz staronordijskega jezika in pomeni »val!«, francosko *mascaret* (to je »visoka

*Bernikova 3, 1230 Domžale

plima ob rečnem ustju«), na plimskem območju reke Sene pa *la barre*, ob Amazonki mu pravijo *pororoca* (beseda izhaja iz lokalnega jezika Tupi in pomeni "velik uničujoč hrup") – je bibavični pojav, pri katerem oblikuje čelo prihajajoče plime vodni val ali valove, ki potujejo proti toku po reki ali ozkemu zalivu (About.com, Tsunamis.com, Wikipedia). Nastaja tam, kjer prehaja plimovanje z območij z veliko bibavično amplitudo (to je razlika med visoko vodo ob plimi in nizko vodo ob oseki - navadno več kakor 6 m) skozi širok zaliv v lijakasto ustje plitve in vedno ožje rečne struge. Sliki 1 in 2 (Microsoft Encarta World Atlas) kažeta, da ima izlivno območje kitajske reke Qiantang od mesta Hangzhou in v nadaljevanju zaliv Hangzhou značilno lijakasto obliko, ki pogojuje nastanek protitokovnega plimskega vala na tej reki (Slika 3). Lijakasta oblika ne vpliva le na višino plimskega vala, ampak tudi na hitrost dviga vodne gladine, ki se zdi nenaden.

Protitokovni plimski valovi nastajajo v raznih oblikah in velikostih. Visoki protitokovni plimski valovi nastajajo le na nekaterih rekah (Answers.com). Razmere na ožjem in širšem območju zaliva Hangzhou in reke Qiantang so skoraj idealne za nastanek protitokovnih plimskih valov. Velika amplituda plime, ki prihaja iz Tihega oceana preko Vzhodnokitajskega morja v lijakasto oblikovan zaliv Hangzhou in dalje v plitvo reko Qiantang, omogoča, da nastajajo na tej kitajski reki največji znani protitokovni plimski valovi na svetu. V najugodnejših razmerah naj bi dosegli višino do 9 m in hitrost do 40 km/h. Veliki protitokovni valovi so lahko zelo nevarni za plovila, so pa tudi privlačna turistična zanimivost (slike od 4 do 9) in nudijo odlične razmere za rečno deskanje. Da je bil protitokovni plimski val na reki Qiantang znamenita in ogleda vredna znamenitost že pred tisočletjem (verjetno pa že mnogo prej), dokazuje prva kitajska zapisana preglednica plimovanja iz leta 1056, namenjena predvsem obiskovalcem, ki so si prišli ogledat ta pojav. Čeprav je pojav predvidljiv in njegov potek dobro poznan, kar je ključno za uspešno preventivo v primeru ogrožanja, pa ni povsem varen niti za turiste in slučajno navzoče gledalce niti za deskarje.

Šaljivci so si ob koncu decembra 2004 »izposodili« dne 9. septembra 2002 posnete fotografije (slike od 3 do 9), ki prikazujejo protitokovni rečni plimski val na omenjeni reki Qiantang (Slika 1), in jih poslali na splet kot posnetke cunamija (About.com). Dejansko pa prikazujejo plimski val, ki je posledica delovanja Lune in Sonca in nastaja na reki dvakrat dnevno. Čeprav gre za bistvene razlike med tem valom in cunamijem, lahko marsikdo ob teh fotografijah pomisli, da prikazujejo cunami. Zato so potegavščini ponekod nasedli. Tako so npr. 3. 1. 2005 na devetem kanalu avstralske televizije in na Sky News te fotografije objavili kot posnetke cunamija in se zato pozneje opravičili (About.com).

Na drugem mestu velikih protitokovnih plimskih rečnih valov so valovi na Amazonki v Braziliji in Orinoku v Venezueli, kjer lahko ti valovi dosežejo višino do 4 m in hitrost do 20 km/h ter povzročijo precejšnje razdejanje na obrežjih.

V Evropi je nekaj plimskih rečnih valov v Veliki Britaniji, kjer nastajajo ti valovi na mnogih rekah, in v Franciji. V Veliki Britaniji je znamenit t. i. »Severn bore«, plimski val na reki Severn, ki doseže višino do 2 m. Slika 10 kaže lijakasto obliko Bristolskega zaliva, ki se nadaljuje v ustje reke Severn (Microsoft Encarta World Atlas), ki je poleg ustrezne plimske amplitude valov v Keltskem morju ter majhne rečne globine glavni dejavnik nastajanja tamkajšnjih protitokovnih plimskih valov.

V Franciji deskarji po protitokovnih valovih poznajo reki Dordogne in Garonne. Do leta 1960 so zaznavni protitokovni plimski valovi nastajali tudi na reki Seni, vendar so jih skoraj odpravili z očiščenjem in poglobitvijo struge. Podobno so na reki Petitcodiac nekdam preko 2 m visoke protitokovne plimske valove, najvišje v severni Ameriki, z izgradnjo nasipov in zamuljevanjem zmanjšali na šibko valovanje. Oba primera kažeta, da obstaja v primeru nevarnega in škodljivega rečnega plimskega vala razmeroma preprosta zaščita – poglobitev rečne struge (About.com, Answers.com).

Protitokovni plimski valovi niso značilni le za (nekatero) velike, ampak tudi nekatere manjše reke, kar dokazuje njihov nastanek npr. na rekah, ki se iztekajo v zgornji del zaliva Fundy med Novo Škotsko in Novim Brunswickom v jugovzhodni Kanadi. Ena od teh je tudi že omenjena reka Petitcodiac (Answers.com).

Spletni ponaredki

Poleg zavajanja s fotografijami drugega naravnega pojava so si spletni šaljevci privoščili tudi druge, bolj očitne potegavščine. Eno takih kaže Slika 11. Ponaredek je po elektronski pošti obšel svet kmalu po cunamiju. »Fotografija« naj bi bila posneta z neke stolpnice v Pukhetu na Tajskem, po drugi različici pa s hotela Sheraton nekje na indonezijski obali. Da mesto na sliki ni niti na Tajskem niti v Indoneziji, kaže že promet, ki poteka na sliki po desni strani. Tako na Tajskem kot v Indoneziji pa vozijo po levi strani. Slika je dejansko montaža fotografije mesta Antofagasta v Čilu in zelo povečane slike navadnega morskega vala. Zelo verjetno je narejena računalniško. Po sliki sodeč naj bi bil val najmanj tako visok kakor 25-nadstropna stolpnica, kar je nekajkrat več, kot so v višino dejansko merili najvišji priobalni oziroma obalni valovi pri tem cunamiju (dobrih 10 m na severozahodni obali Sumatre, na območju Andamanskih in Nikobarskih otokov, na zahodni obali Tajske, na južni obali Šrilanke, na vhodni obali Indije; po nekaterih raziskavah pa naj bi valovi vzdolž 100 km odseka severozahodne obale Sumatre dosegli ob prehodu na obalo celo višino 15–30 m, kar pa je še vedno precej manj od višine 25-nadstropne stolpnice). Če pa bi se po odprtem oceanu dejansko podili več kot 10 m visoki valovi, kot so se ob drugi obletnici katastrofalnega cunamija 26. decembra 2006 pri poročilih ob 15.30 »spomnili« na Radiu Slovenija, bi lahko bila Slika 11 kar pravšnja. Poleg tega ni verjetno, da bi se valovi cunamija lomili tako, kot kaže slika.

Zaključek

Protitokovni plimski val je izreden naravni pojav, ki navidezno spominja na mogočnejši cunami, dejansko pa se od njega razlikuje po vzroku in načinu nastanka, pojavnih oblikah in ponavljanju, časovnem in krajevnem predvidevanju, po nevarnosti in posledicah ter možnosti obvladovanja in zaščite. Zaradi teh lastnosti je privlačna zanimivost za množice turistov, posameznikom pa omogoča svojevrstne športne užitke. Kljub bistvenim vsebinskim razlikam omogoča navidezna podobnost s cunamijem javne, predvsem spletne potegavščine ter zavajanje laične javnosti. Če zanemarimo negativni vidik takih spletnih šal, imajo lahko tudi vlogo varovalk v preprečevanju senzacionalizma ter nekritičnega in nestrokovnega obravnavanja in prikazovanja nekega naravnega pojava z nesrečnimi posledicami.

Literatura

About.com: http://urbanlegends.about.com/library/bl_tsunami_photos.htm.

Answers.com: <http://www.answers.com/topic/tidal-bore-1>.

Microsoft Encarta World Atlas: http://encarta.msn.com/map_701516453/Hangzhou.html.

Microsoft Encarta World Atlas: http://encarta.msn.com/map_701516453/Severn.html.

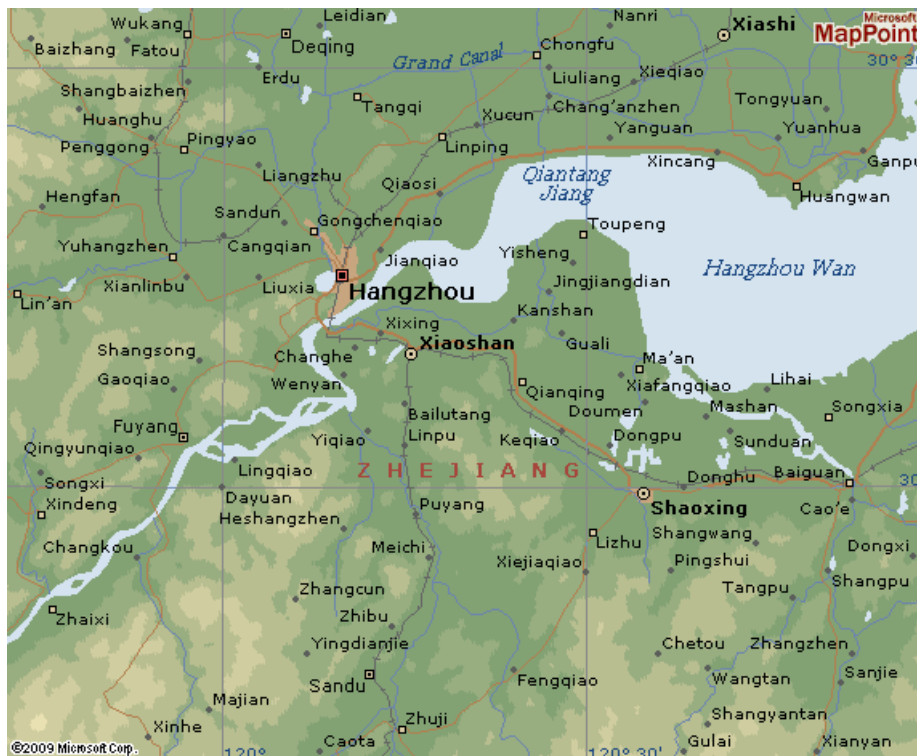
Pacific Tsunami Museum: <http://www.tsunami.org/fakephotos.html>.

Tsunamis.com: <http://www.tsunamis.com/tsunami-pictures.html>.

Ujusansa surf klub: <http://www.ujusansa.si/stoke/ostalo/347-jesenska-plima.html>.

Wikipedia:

<http://urbanlegends.about.com/gi/dynamic/offsite.htm?site=http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal%5Fbore>.



Slika 1: Zemljevid prikazuje po protitokovnih plimskih valovih dobro znano reko Qiantang (Qiantang Jiang), ki teče mimo mesta Hangzhou v vzhodnokitajski provinci Zhejiang in se izliva v lijakasto oblikovan zaliv Hangzhou (MS Encarta World Atlas).



Velika amplituda plime, ki prihaja iz Tihega oceana preko Vzhodnokitajskega morja v lijakasto oblikovan zaliv Hangzhou in dalje v plitvo reko Qiantang, je zelo ugoden dejavnik za nastanek visokih protitokovnih plimskih valov (MS Encarta World Atlas)



Slika 3: Mogočen plimski val drvi 9. septembra 2002 po reki Qiantang mimo mesta Hangzhou (About.com).



Slika 4: Gledalci opazujejo plimski val ob naletu na oviro (About.com).



Slika 5: Nalet plimskega vala na cestišče (Tsunamis.com).



Slika 6: Gledalci uživajo v adrenalinskem doživetju plimskega vala v Hangzhouju (About.com).



Slika 7: Nadaljevanje dogajanja s Slike 5. Vodna gmota plimskega vala se zliva na bežeče gledalce (About.com).



Slika 8: Detajl z desne strani Slike 6. Gledalci bežijo pred ogromno prho (About.com).



Slika 9: Nadaljevanje dogajanja s slike 6: Voda se razliva na cesto (About.com).



Slika 10: Zemljevid prikazuje po protitokovnih plimskih valovih najbolj znano britansko reko Severn, ki se izliva v lijakasto oblikovan Bristolski zaliv (MS Encarta World Atlas).



Slika 11: Ta fotografija je očitna potegavščina (Pacific Tsunami Museum).

O podrtem kapniku ob Cerkniškem potresu (1926) ter o raziskovalni postaji s horizontalnimi nihali v Postojnski jami

Stanka Šebela*

Povzetek

O tem, kako so tako imenovani Cerkniški potres (1. januar 1926) čutili v Postojnski jami obstaja več pričevanj. Glede na do sedaj zbrano literaturo obstajajo zadostni pisni dokazi o tem, da se je v dvorani, ki se danes imenuje Pralnica, ob potresu z magnitudo 5.6 zrušil stalagmit premera skoraj 1 m, kar je redek pojav v kraških jamah in kaže na bližino epicentra potresa. Od leta 1932 pa so v Postojnski jami z dvema horizontalnima nihaloma s fotografskim beleženjem spremljali tudi plimovanje zemeljske skorje.

Uvod

Postojnski jamski sistem je kljub vztrajnemu napredovanju speleologov v drugih kraških sistemih z 20 km trenutno še vedno najdaljši jamski sistem v Sloveniji. Od leta 2009 ima TURIZEM KRAS, Destinacijski management, d.d. večletno koncesijo za upravljanje z jamo. V okviru koncesije je ena od nalog tudi zbiranje podatkov dosedanjih raziskavah, ki so se opravljale v Postojnskem jamskem sistemu.

Ker že od leta 2004 v Postojnskem jamskem sistemu opravljamo redne meritve tektonskih mikropremikov z dvema 3D-tenziometroma TM 71 v povezavi z aktivno tektoniko (Gosar *et al.*, 2007; Šebela, 2005; Šebela, 2008; Šebela, 2009; Šebela in Gosar 2005; Šebela *et al.*, 2005; Šebela *et al.*, 2008; Šebela *et al.*, 2009), so nas zanimali dosedanji podatki o stabilnosti jame in jamskih tvorb med potresi. V ta namen podajamo dognanja o Cerkniškem potresu iz leta 1926 in podrtem kapniku v Postojnski jami. Hkrati pa je zbrana tudi dokumentacija o italijanski postaji s horizontalnimi nihali v jami.

Leta 1929 ustanovljen speleološki inštitut z jamskim muzejem v upravnem posloplju sredi Postojne si je prizadeval najti naravne rove med jamami na postojnski in planinski strani. V ta namen so pregledali ozemlje in raziskovali dihalnike ter dali pobudo za merjenje anomalij težnosti, proučevali so tudi gibanje zraka v jami in arheološke najdbe (Kranjc in Malečkar, 1988).

Cerkniški potres iz leta 1926 in podrti kapnik v Postojnski jami

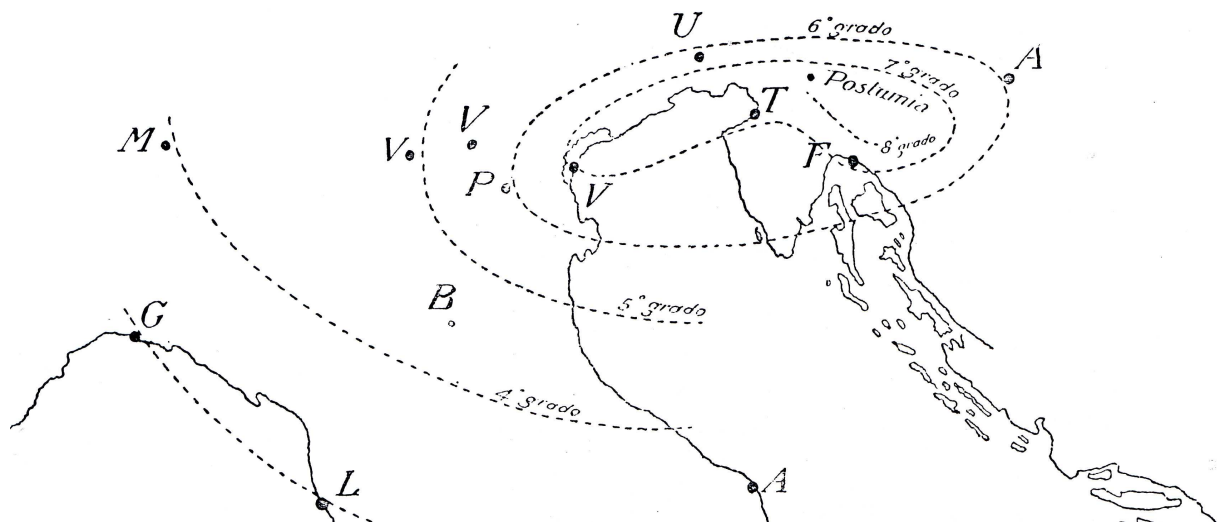
Francoski krasoslovec Martel (1894) opisuje, da je Schmidl (1854) nastanek jamskih podorov v Postojnski jami povezoval s potresi. Posebno močno naj bi se v Postojni in Planini čutil potres 2. februarja 1834. Po Ribariču (1982) je bil to potres v okolici Postojne (Javorniki) z magnitudo 3.9 in zaznanim brontidom. To je verjetno eden najstarejših zapisov o potresu v bližini Postojnske jame.

Najmočnejši in najbližji potres, ki se je močno čutil v Postojnski jami, je potres 1. januarja 1926. To je tako imenovani Cerkniški potres z magnitudo 5.6. Ta potres je lociran

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

v SV konec Idrijskega preloma oziroma v Javornike (Ribarič, 1981; Poljak *et al.*, 2000). V časopisu *Edinost* (Neznani avtor, 1926) je 8. januarja 1926 objavljeno, »da se je v jami zrušil krasen stalagmit, ki je meril skoro 1 m v premeru«. To je zanimiva trditev, saj je redek pojav, da pride med potresom do večjih podorov v kraških jamah (Šebela, 2008).

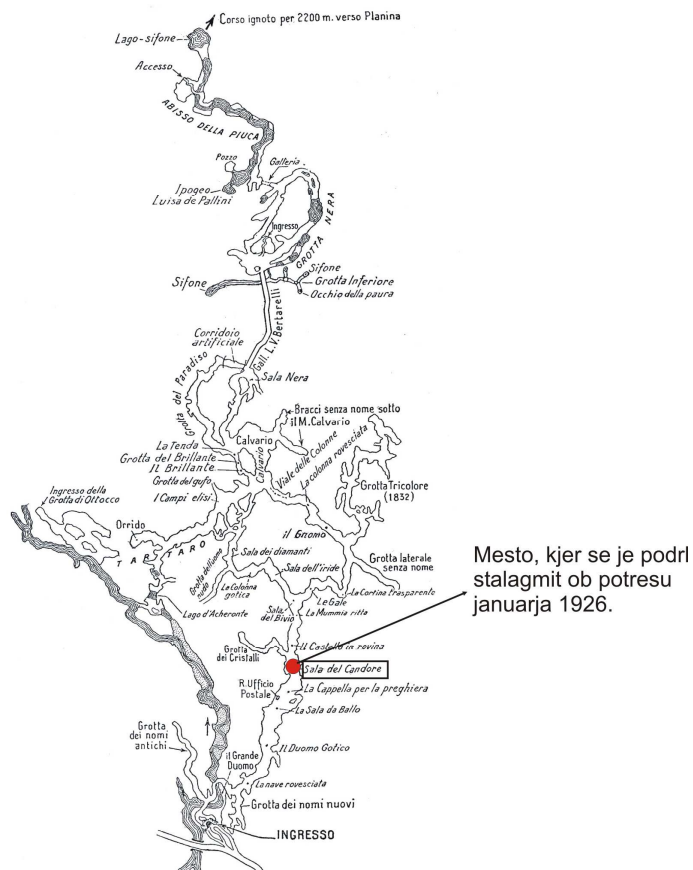
Daljši članek, objavljen septembra 1926 (Zanon, 1926), opisuje potres 1. januarja 1926 kot beneški potres, njegov epicenter pa postavlja v bližino Postojne (Slika 1). V članku je podroben opis takratnega direktorja Postojnske jame Ivana Andreja Perka (1876-1945; upravnik Postojnske jame od 1918-1945) o tem, kako so čutili potrese v jami. Perko je zatrdil, da se v jami ni podrlo nič, da pa je bilo slišati eksplozijam podobne zvoke, ki so spremljali potrese. Šlo je za brontide. Brontidi in bliskanje, ki so spremljali potresne sunke, so bili zaznani tudi v Benetkah (Zanon, 1926). Brontidi so zelo značilni spremljevalni pojavi tudi za šibkejšje potrese v Javornikih, na Snežniku in v Pivški kotlini v zadnjih letih.



Slika 1 - Intenzitete potresa 1. januarja 1926 (Zanon, 1926)

V letnem poročilu uprave Postojnske jame (R. R. Grotte demaniali di Postumia, 1928) za obdobje od 1. julija 1926 do 31. decembra 1927 je na 12. strani zapis v italijanščini: »Sgombro dei pezzi di una grande colonna rovesciatasi nella Scala del Candore in seguito al terremoto del giorno 1 gennaio 1926.« Kar v prevodu pomeni: Odstranitev kosov velikega stebra, ki se je podrł v Scala del Candore kot posledica potresa 1. januarja 1926. Omenjeni zapis potrjuje novico v časopisu *Edinost* (Neznani avtor, 1926) in je v nasprotju z izjavo Ivana Andreja Perka (Zanon, 1926). Na Sliki 2 je označena dvorana Sala del Candore, ki ustreza dvorani Scala del Candore na zemljevidu iz leta 1930 (Perco in Gradenigo).

Glede na današnji videz (Slika 3) dvorane Pralnica (Sala del Candore), ki je od vhoda v jamo oddaljena okrog 600 m, se načeloma lahko strinjamo z resničnostjo izjave o podrtem stalagmitu, ki je bil verjetno odložen na nestabilen teren naplavljenih jamskih ilovic in se je podrł zaradi potresov januarja 1926. Izjavo Ivana Andreja Perka (Zanon, 1926) pa je mogoče razložiti tako, da ni hotel povzročati negativne propagande o možnih nevarnostih pri obisku jame.

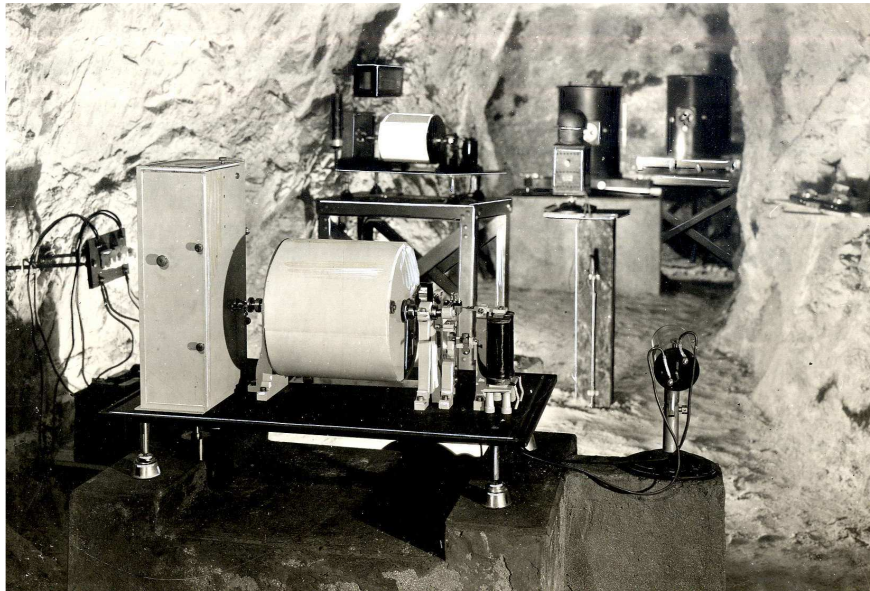


Slika 2 - Zemljevid Postojnske jame (Perco in Gradenigo, 1930) na katerem je označena Sala del Candore, v kateri se je ob potresu januarja 1926 zrušil stalagmit



Slika 3 – Dvorana Pralnica v Postojnski jami, kjer se je ob potresu januarja 1926 zrušil stalagmit, pogled proti jugu (foto M. Prelovšek in J. Hajna, november 2007)
Italijanska raziskovalna postaja s horizontalnimi nihali v Postojnski jami

Verjetno je bil eden od razlogov prav potres januarja 1926 v bližini Postojne, da so se odločili v Postojnski jami vzpostaviti postajo s horizontalnimi nihali s fotografskim beleženjem. Drugi razlog za opazovanje plimovanja zemeljske skorje v Postojnski jami pa so bili splošni odlični pogoji (konstantna temperatura, odsotnost močnih vetrov, odsotnost sprememb sončnega sevanja idr.), ki jih nudijo kraške jame (Carnera, 1933). V ta namen so leta 1931 izkopali umetni tunel dolžine 9 m v Zgornjem Tartarusu (Slika 4).



Slika 4 - Postaja s horizontalnimi nihali za študij plimovanja zemeljske skorje v Postojnski jami, umetni tunel v Zgornjem Tartarusu (foto: Arhiv IZRK ZRC SAZU in Carnera, 1933)

Inštrumenti so bili narejeni novembra 1931. Januarja 1932 so začeli z namestitvijo podzemne raziskovalne postaje (Carnera, 1933). Z dvema horizontalnima nihalom so beležili minimalne odklone od vertikale. Inštrumenti so 25.-26. maja 1932 zaznali več močnih premikov. Opisujejo hitro naraščanje reke Pivke in znižanje zahodnega bloka, hkrati pa omenjajo tudi močan potres v Kaliforniji. Carnera (1933) je poudaril, da so, poleg raziskav plimovanja zemeljske skorje, pridobljeni podatki pomembni tudi za razumevanje podzemne hidrografije krasa ter seizmologijo.

Jeseni leta 1933 so bili inštrumenti v jami zaliti z vodo zaradi poplav podzemeljske Pivke, zato so aparate odstranili. Nadmorska višina vhoda v umetni tunel je 519,1 m, kar je tudi nivo najvišjih poplav. Konec avgusta 1934 so podzemeljski laboratorij ponovno usposobili, vendar so se v prvih dveh tednih decembra 1934 ponovile poplave in prekinile merjenja v umetnem rovu v Zgornjem Tartarusu. Spomladi leta 1936 so po petih mesecih brez meritev inštrumente prestavili v drugi del Postojnske jame, kjer jih poplave niso več dosegle. V letu 1937 so se merjenja plimovanja zemeljske skorje nadaljevala (R. R. Grotte demaniali di Postumia, 1938), in sicer verjetno še naprej v umetnem tunelu v Zgornjem Tartarusu. Raziskovalna postaja je v Postojnski jami verjetno obratovala do začetka 2. svetovne vojne.

Zaključek

Glede na zbrano literaturo (Neznani avtor, 1926; Zanon, 1926; R. R. Grotte demaniali di Postumia, 1928) menimo, da obstajajo zadostni pisni dokazi o tem, da se je v Postojnski

jami ob potresu 1. januarja 1926 z magnitudo 5.6 zrušil stalagmit premera skoraj 1 m v dvorani, ki se danes imenuje Pralnica (Slika 3). To je redek pojav v kraških jamah (Šebela, 2008) in kaže na očitno bližino epicentra potresa. Tako imenovani Cerkniški potres, ki je lociran v SV konec Idrijskega preloma oziroma v Javornike (Ribarič, 1981; Poljak *et al.*, 2000), pa prav gotovo zasluži dodatna raziskovanja z možnostjo relociranja epicentra potresa.

Od leta 1932 so v Postojnski jami z dvema horizontalnima nihaloma s fotografskim beleženjem spremljali tudi plimovanje zemeljske skorje. Ugotovili so znižanje zahodnega bloka zaradi hitrega naraščanje podzemeljske Pivke ter poudarili pomen meritev tudi za razumevanje kraške hidrografije ter seizmologijo (Carnera, 1933).

Poleg tega je Inštitut za geodezijo Univerze v Padovi (L'Istituto di Geodesia della R. Univesitá di Padova) leta 1931 opravil geofizikalne meritve na ozemlju med Postojno in Planino s fotografsko tehniko Eötvös-Schweydar. Šlo je za merjenja vertikalnih komponent gravitacije. Za preverjanje rezultatov pa so namestili tudi dve gravimetrični postaji z nihali, eno blizu vhoda v Postojnsko jamo in drugo pri Planini (Soler, 1932).

Z gravimetričnimi metodami so želeli proučevati ozemlja, za katera so značilne nepravilnosti talnine, kot to velja za kraške pokrajine s številnimi podzemeljskimi jamami (Soler, 1934). Na področju Postojnske in Planinske jame so 1931 opravili meritve na 42 postajah, leta 1932 pa še na dodatnih osmih. Določili so mesta, kjer se lahko pričakujejo neznani podzemeljski rovi med Postojnsko in Planinsko jamo (Soler, 1934).

Zahvala

Na zapis v časopisu *Edinost* (Neznani avtor, 1926) me je opozorila Ina Cecić (MOP, ARSO), za kar se ji najlepše zahvaljujem. Zunanji sodelavec IZRK ZRC SAZU Trevor R. Shaw in Maja Kranjc (knjižničarka na IZRK ZRC SAZU) sta mi pomagala pri iskanju literature o horizontalnih nihalih v Postojnski jami. Zahvala gre Stanislavu Glažarju (TURIZEM KRAS, Destinacijski management, d.d.), ki mi je pokazal zapis o potresu iz leta 1834 v Martelu (1894). Zahvaljujem se tudi Mitju Prelovšek in Juriju Hajna (IZRK ZRC SAZU), ki sta avtorja Slike 3.

Literatura

- Arhiv IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Carnera, L., 1933. La stazione dei pendoli orizzontali nelle R.R. Grotte di Postumia. Bollettino di Geodesia e geofisica, 9-10, 1933-XII, 1-13, Roma.
- Gosar, A., Šebela, S., Koščák, B. and J. Stemberk, 2007. Micro-deformation monitoring of active tectonic structures in W Slovenia. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 4, No. 1, 87-98.
- Kranjc, A. in F. Malečkar, 1988. Postojnska jama, 170 let odkrivanja, raziskovanja in turističnega razvoja. Kraška muzejska zbirka pri IZRK ZRC SAZU, Tiskarna Tone Tomšič, 1-32.
- Martel, E. A., 1894. Les abîmes. Librairie Charles Delagrave, 578 p., Paris.
- Neznani avtor, 1926. Iz tržaške pokrajine, Postojna, sedem dni potresa. Edinost, dne 8. januar 1926, Trst.
- Perco, G. A. in S. Gradenigo, 1930. Postumia ed il fantastico mondo sotterraneo delle sue celebri grotte. Pubblicazione ufficiale della R. Amministrazione delle grotte di Postumia, 204 p., Postumia.
- Poljak, M., Živčić, M. and P. Zupančič, 2000. The seismotectonic Characteristics of Slovenia. Pure and Applied Geophysics, 157, 37-55.

- R. R. Grotte demaniali di Postumia, 1928. Relazione del consiglio d'amministrazione alle loro eccellenze i ministri dell'economia nazionale e delle finanze sull'andamento dell'azienda dal 1° luglio 1926 al 31 dicembre 1927. Postumia, VI, 1-57.
- R. R. Grotte demaniali di Postumia, 1938. Relazione del consiglio d'amministrazione alle loro eccellenze i ministri dell'economia nazionale e delle finanze sull'andamento dell'azienda dal 1° gennaio al 31 dicembre 1937. Postumia, XVI, 1-26.
- Ribarič, V., 1982. Seismicity of Slovenia – Catalogue of Earthquakes (792 A.D. – 1981). SZ SRS, Publication, Ser. A, No. 1-1, Ljubljana, 650 p.
- Schmidl, A., 1854. Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas. V-VIII, 3-314, Wien.
- Soler, E., 1932. Lavori geo-fisici eseguiti nella regione delle Grotte di Postumia. Le Grotte d'Italia, Rivista trimestrale dell'Istituto Italiano di Speleologia, Anno VI, n. 1, 25-27, Trieste.
- Soler, E., 1934. Campagna geo-fisica nella regione carsica di Postumia. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, serie Geologica e Geofisica, Memoria I, XII, 1-83, Trieste.
- Šebela, S., 2005. Monitoring of active tectonic structures – Project COST 625. Acta carsologica, 34/2, 471-488.
- Šebela, S., 2008. Broken speleothems as indicators of tectonic movements. Acta carsologica, 37/1, 51-62.
- Šebela, S., 2009. 3D monitoring of active tectonic movements in Slovene karst caves. Geološki zbornik 20, 19. Meeting of Slovenian Geologists, 152-155, Ljubljana.
- Šebela, S. in A. Gosar, 2005. Začetek meritev premikov ob prelomih v zahodni Sloveniji s 3D estenziometri TM 71. Raziskave s področja geodezije in geofizike, 10. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 13. januar 2005, 37-45, Ljubljana.
- Šebela, S., Gosar, A., Koščák, B. and J. Stemberk, 2005. Active tectonic structures in the W part of Slovenia – Setting of micro-deformation monitoring net. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 2, No. 1 (137), 45-57, Prague.
- Šebela, S., Koščák, B., Mulec, J. and J. Stemberk, 2008. Merjenje tektonskih premikov v Postojnski jami. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2007, 13. strokovno srečanje SZGG, Ljubljana, 17. januar 2008, 21-26, Ljubljana.
- Šebela, S., Turk, J., Mulec, J., Koščák, B. and J. Stemberk, 2009. Statistical evaluation of the 3D monitoring of displacements of Dinaric Fault Zone in Postojna Cave, Slovenia. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 6, No. 2 (154), 163-176.
- Zanon, S., 1926. Il terremoto di Venezia del 1° gennaio 1926. Rivista mensile della città di Venezia, anno V, n. 9, 383-392.

Primerjalne meritve Overhouserjevega protonskega gradiometra

Rudi Čop, Pavel Kosovac*

Povzetek

Eden od osnovnih merilnih instrumentov za merjenje zemeljskega magnetnega polja je skalarni protonski magnetometer. Njegov proizvajalec navaja in tudi zagotavlja njegove merilne karakteristike. Ko pa je tak magnetometer tudi izhodiščni merilni instrument, mu je potrebno preveriti njegove karakteristike s pomočjo primerjalne meritve. Primerjalna meritev se opravlja v magnetno čistem okolju s pomočjo sistema tuljav, ki ustvarja homogeno magnetno polje. Stalna gostota tega magnetnega polja se vzdržuje s pomočjo regulacije. Rezultati take primerjalne meritve odkrivajo lastnosti merilnega instrumenta in se uporabljajo za njegovo nadaljnje preverjanje.

Uvod

Elektronske merilne instrumente za zemeljsko magnetno polje so začeli razvijati v tridesetih letih prejšnjega stoletja. Pospešeno so jih začeli uporabljati in izpopolnjevati med drugo svetovno vojno in tudi po njej (Nabighian et al., 2005; Csontos et. at., 2006). Merilna občutljivost se je v obdobju od sredine petdesetih pa do konca sedemdesetih let prejšnjega stoletja izboljšala z okoli 1 nT na 0,01 nT. To so omogočili magnetometri na precesijo protonov. Poleg ostalih zunanjih vplivov so s povečanjem merilne občutljivosti teh merilnih instrumentov postali vprašljivi predvsem: določevanja pozicije, določevanje smeri in nadzor nad vplivom zunanje temperature. Razvoj gradiometrov v osemdesetih letih prejšnjega stoletja je pospešil še problem šuma. Pri merjenju magnetnega gradienta s pomočjo letal so se namreč v nosilcu inducirali moteči električni tokovi zaradi njegovega gibanja v zemeljskem magnetnem polju.

V juliju leta 2008 je bil za Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo pri Visokošolskem središču Sežana (v nadaljevanju: LGA pri VSS Sežana) kupljen Overhouserjev protonski gradiometer GSM – 19GW s serijsko številko 7112566, izdelek podjetja GEM Systems iz Kanade. Njegove merilna občutljivost je 0,01 nT, merilna točnost $\pm 0,1$ nT in meri razpon od $15\mu\text{T}$ do $120\mu\text{T}$ (Overhouser Magnetometer / Gradiometer / VLF (GSM-19 v 7.0)). S tem instrumentom so bile v letu 2008 in 2009 opravljene prve popolne geomagnetne meritve na ponavljalnih točkah na ozemlju Republike Slovenije (Čop in Kocen, 2008). Ker so bile te meritve absolutne narave, je bilo potrebno preveriti merilne karakteristike navedenega kvantnega magnetometra.

Overhouserjev kvantni magnetometer

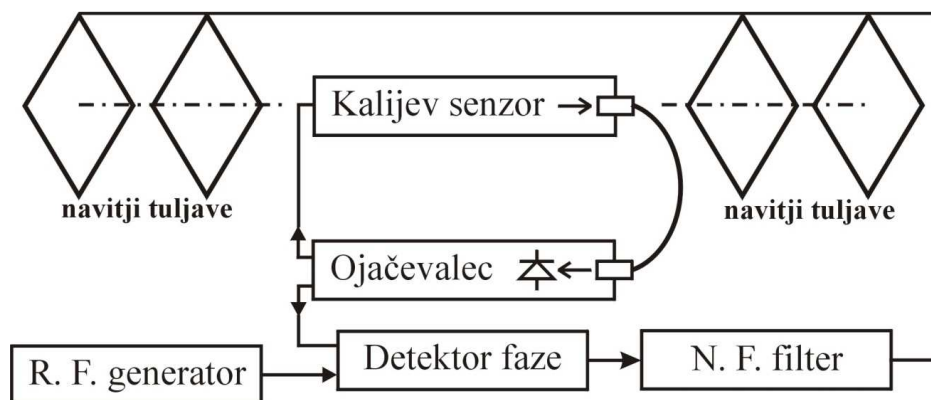
Kvantni magnetometri izkoriščajo magnetni spin atomskih delcev: protonov in neuparjenih valenčnih elektronov. Ker merijo velikost magnetnega polja ne glede na smer meritve, so to skalarni magnetometri ali magnetometri za absolutne meritve gostote magnetnega polja (Hrvoic in Hollyer). Te naprave merijo frekvenco magnetnega dipola

* Visokošolsko središče Sežana, Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo, Kraška ulica 2, 6210 Sežana

osnovnih delcev atoma pri njihovem prehodu iz nestabilnega na osnovni nivo ali pa frekvenco nestabilnega stanja nekaterih polariziranih paramagnetnih delcev atoma. Kvantni magnetometri se uporabljajo za geološke raziskave, pri odkrivanju naftnih nahajališč, v arheologiji, pri nadzoru okolja, odkrivanju orožja, granat in min, ter pri vseh drugih oblikah meritev gostote magnetnega polja. Med te meritve spadajo tudi meritve magnetnega polja Zemlje.

Priporočila za merjenje absolutne vrednosti magnetnega polja Zemlje na geomagnetnih observatorijih je sprejela mednarodna organizacija IAGA, The International Association of Geomagnetism and Aeronomy. Priporočena merilna točnost je $< 0,5$ nT in merilna občutljivost vsaj 0,1 nT (Jankowski in Sucksdorff, 1996; Korepanov, 2006). Tej zahtevi zadoščajo Overhauserjev magnetometer in magnetometri na optično vzbujanje. Med magnetometri na optično vzbujanje so najbolj razširjeni cezijevi in kalijeve magnetometri.

Pri Overhauserjevem magnetometru se vzbujanje prostih elektronov v posebni tekočini s prostimi neuparjenimi elektroni opravi z visokofrekvenčnim magnetnim poljem. Elektroni pri preskoku iz višjega vzbujenega stanja v normalno stanje oddajo energijo protonom. Prenos energije na protone spremeni način njihove magnetne polarizacije. Razmerje med frekvenco procesiranja protonov in gostoto zunanjega magnetnega polja je izredno linearno in neodvisno od temperature. Je le malo pod vplivom elektronov na orbiti vodikovega atoma, ki so skupaj z referenčno frekvenco edini izvor pogreškov tega magnetometra. Ker je vzbujanje elektronov narejeno z visokofrekvenčnim magnetnim poljem, je Overhauserjev magnetometer zelo primeren za merjenje enosmerne zemeljskega magnetnega polja v skoraj zveznem načinu merjenja do deset meritev na sekundo ali 10 Hz z merilno točnostjo $< 0,1$ nT (GSM-19 v 7.0 Instruction Manual, 2007). Pri tem pa porabi zelo malo energije v primerjavi z drugimi vrstami kvantnih magnetometrov.



Slika1: Blokovna shema sistema za regulacijo gostote magnetnega polja

Gradiometri se od magnetometrov razlikujejo po tem, da istočasno uporabljajo dva senzorja za merjenje magnetnega polja Zemlje. Postavitev teh senzorjev je lahko zelo raznolika in je odvisna od postavljenih zahtev. Navpična postavitev je najbolj običajna in tudi najbolj uporabna. Razlika v rezultatu meritve med dvema senzorjema, ki sta blizu skupaj, je za oddaljen izvor zanemarljivo majhna. Popačitve v magnetnem polju, ki jih povzročajo bližnji izvori, pa gradiometer zelo dobro izmeri (Breiner, 1999).

Opis merilnega sistema za primerjalno meritev skalarnih magnetometrov

Za preverjanje merilne točnosti skalarnih magnetometrov je potreben merilni sistem, ki uspešno ustvarja homogeno in časovno stabilno magnetno polje. Za ta namen je primeren sistem z regulacijo magnetnega polja. Ta je sestavljen iz merilnika magnetnega polja, referenčnega generatorja frekvence, primerjalnika faze in nizkofrekvenčnega filtra v povratni zanki (Slika 1). Za ustvarjanje magnetnega polja je potreben sistem tuljav, ki ustvarjajo homogeno magnetno polje v primerno velikem prostoru. V tem volumnu regulacijski sistem kompenzira vse magnetne gradiente zunanjih magnetnih polj. Leta 1994 je bil tak regulacijski sistem skupaj s sistemom tuljav postavljen na geomagnetnem observatoriju Institute Royal Meteorologique de Belgique – Centre de Physique du Globe a Dourbes, Viroinval (v nadaljevanju: RMI – CPG v Dourbesu v Belgiji).



Slika 2: Kalijev protonski magnetometer na optično vzbujanje z izotopom ³⁹K (desno) in merilna sonda Overhouserjevega protonskega magnetometra (levo) v homogenem polju sistema tuljav

Sistem tuljav je bil načrtovan tako, da se v njegovi notranjosti doseže homogeno magnetno polje (Rasson, 1996). Izbran je bil enotuljavni sistem, ki ga sestavljajo štiri navitja. Navitja so nameščena na nemagnetnih pravokotnih nosilcih s stranico dolžine 1,4 m. Njihova skupna magnetna os je postavljena v smeri glavnega zemeljskega magnetnega polja. Nosilna konstrukcija tuljave je robustna, lahka in omogoča natančno orientacijo v prostoru. Zato je pritrjena na nosilec, ki je po konstrukciji podoben nosilcu teodolitov in je nameščen na merilnem stebru v observatoriju. Taka konstrukcija sistema tuljav omogoča velik prihranek prostora, saj sta v sredini sistema tuljav nameščena tako merilni člen regulacije kot tudi senzor magnetometra, ki se ga primerjanja. Oblika prostora s senzorji je kubična s stranico 0,4 m (Slika 2). V tem prostoru je magnetno polje z največjim gradientom 0,1 nT/cm ali 10 nT/m pri gostoti magnetnega polja 50 μ T. Enosmerni magnetilni tok, ki teče skozi tuljavo, se krmili s pomočjo močnostnih tranzistorjev, ki jih

krmili operacijski ojačevalnik s povratno zanko karakteristike PID. Tak sistem tuljav omogoča nadzor nad gostoto magnetnega polja v velikem območju frekvenc. Njegove induktivnosti in omske upornosti, kot tudi vsi ostali njegovi konstrukcijski parametri, vplivajo na stabilnost celotne regulacijske zanke.



Slika 3: Primerjalna meritev Overhauserjevega protonskega magnetometra v sistemu tuljav z regulacijo gostote magnetnega polja

Za merilni člen v regulacijski zanki je bil izbran kalijev optično vzbujen samostojno oscilirajoči magnetometer (Pazgalev, 1996). Razlogi za njegovo izbiro so njegove zelo ozke resonančne črte, kar je značilno za vse težje alkalne elemente. Uporabljena je le prva Zeemanova magnetna resonančna frekvenca kalija (Pieter Zeeman, 1865–1943; Zeeman je leta 1902 prejel Nobelovo nagrado za fiziko), ker je najbolj izrazita in ima širino spektralne črte od 3 do 6 Hz. Naslednji razlog za uporabo kalijevega magnetometra kot merilnega člana pa je veliko razmerje med signalom in šumom v zelo ozkem frekvenčnem pasu. Ta njegova lastnost omogoča merilno občutljivost $30 \text{ fT} = 30 \text{ femto T} = 30 \cdot 10^{-15} \text{ T}$ pri merilnem intervalu ene sekunde. Kalij je namreč najbolj primeren element za optično vzbujanje v primeru, ko se želi doseči visoka merilna občutljivost v krajšem časovnem razdobju pri še zadostni stabilnosti meritve (Alexandrov, 1996). Občasno se poleg magnetometra na izotop kalija 39 uporablja še magnetometer na izotop kalija 41 (MagTec Quantum Magnetometers), in sicer zato, da se preveri merilni člen in s tem tudi celotna regulacijska zanka. Žiromagnetna konstanta obeh izotopov kalija je namreč okoli 7 Hz/nT . Ob optičnem vzbujanju teh izotopov se pojavljajo za vsakega po štiri resonančne črte. Pri gostoti magnetnega polja nad $10 \mu\text{T}$ se jih da med seboj zelo dobro ločiti. Pri tem je kvadratna vrednost razpršenosti za oba izotopa $0,2 \text{ Hz}/\mu\text{T}^2$. To pomeni, da se jima pri gostoti magnetnega polja okoli $50 \mu\text{T}$ resonančni črti med seboj razlikujeta za 500 Hz. Za uporabljena kalijeva magnetometra je bilo izbrano kot normalno magnetno polje gostote $49 \mu\text{T}$ ali 345 kHz.

Ko je dosežena resonančna frekvenca samostojno oscilirajočega kalijevega magnetometra, je magnetno polje v sistemu tuljav nadzorovano z radiofrekvenčnim generatorjem. Detektor faze je dimenzioniran tako, da linearno množi dva visokofrekvenčna signala v območju od 0,1 do 0,8 MHz.

Karakteristika faze je osnovni problem celotnega sistema regulacije gostote magnetnega polja v prostoru, določenem s sistemom tuljav. Premik faze nastaja pri resonančni frekvenci magnetometra, povzročajo pa ga tudi ojačevalnik in radiofrekvenčna navitja v senzorju. Popolna kompenzacija faze je izvedena pri normalnem magnetnem polju. Kompenzacija faze je bila izvršena tudi na celotnem merilnem področju od 20 μ T do 80 μ T. Na obeh skrajnih robovih merilnega območja je bilo zaradi premika faze doseženo največje odstopanje frekvence $\pm 2,5$ H ali 350 pT. Stabilnost regulacijskega sistema v daljšem časovnem obdobju pa je znotraj reda 10 pT.

Rezultati preverjanja Overhouserjevega protonskega magnetometra

V času od četrta 28. oktobra do nedelje 1. novembra 2009 so bile na RMI – CPG v Dourbesu v Belgiji s pomočjo Jeana L. Rassona, direktorja inštituta, opravljene primerjalne meritve za Overhouserjev protonski gradiometer GSM – 19GW s serijsko številko 7112566 (Slika 3). Predhodno je bil preverjen morebiten vpliv obeh merilcev iz LGA pri VSS Sežana na magnetometer, nato pa še nahrbtnika za prenos merilnih sond. Na osnovi dveh zaporednih meritev gradienta na travniku pred servisno in absolutne hišo na observatoriju se je pojavil sum, da na meritve vplivajo tudi medsebojne razdalje med sondama in konzolo gradiometra. Zato je bila ponovljena druga meritev gradienta z večjo razdaljo med sondama in konzolo. Na osnovi dodatne meritve vpliva konzole gradiometra na senzor DI magnetometra je bilo ugotovljeno, da se ta vpliv zmanjša pod 1 nT na razdalji večji od 0,8 m. Poleg tega imajo različni deli konzole tudi različni magnetni vpliv, kar pomeni, da pri meritvi ni pomembna le zadostna medsebojna razdalja temveč so pomembni tudi medsebojni položaji posameznih delov gradiometra.

Merilna vrednost [nT]	Datoteka		Izmerjene vrednosti			Standardni odklon
	ime	velikost [KB]	maksimalna [nT]	minimalna [nT]	srednja [nT]	
20.000	033survey	68	20.000,10	19.990,78	19.995,52	2,198537998
30.000	032survey	56	29.998,41	29.989,27	29.995,93	1,815303575
31.000	031survey	60	30.997,20	30.976,93	30.992,42	4,864046912
40.000	030survey	50	40.000,71	40.000,63	40.000,68	0,019499869
45.000	029survey	98	45.000,33	45.000,26	45.000,29	0,012769464
50.000	025survey	60	50.000,00	49.999,92	49.999,95	0,013211662
60.000	026survey	46	59.999,24	59.999,13	59.999,16	0,017340021
70.000	027survey	60	69.998,48	69.998,41	69.998,45	0,016790500
78.000	028survey	88	77.997,88	77.997,80	77.997,85	0,012223964

Tabela 1: Primerjalna meritev Overhouserjevega magnetometra: senzor št. 73119

Rezultati primerjalnih meritev, opravljenih na merilnem sistemu za primerjalno meritev skalarnih magnetometrov na RMI – CPG v Dourbesu v Belgiji za Overhouserjev protonski gradiometer GSM – 19GW s serijsko številko 7112566 so podani v tabelah (Tabela 1, Tabela 2).

Merilna vrednost [nT]	Datoteka ime	velikost [KB]	Izmerjena vrednost			Standardni odklon
			maksimalna [nT]	minimalna [nT]	srednja [nT]	
20.000	034survey	45	19.998,16	19.988,89	19.995,25	2,053205722
30.000	035survey	81	29.995,88	29.953,58	29.989,51	7,035711041
40.000	036survey	75	40.000,55	40.000,44	40.000,48	0,022992270
50.000	037survey	50	50.000,07	50.000,03	50.000,05	0,010350983
60.000	038survey	37	59.999,61	59.999,53	59.999,55	0,013573291
70.000	039survey	38	69.999,14	69.998,99	69.999,11	0,023299949
78.000	040survey	79	77.998,78	77.998,57	77.998,75	0,024059905

Tabela 2: Primerjalna meritev Overhouserjevega magnetometra: senzor štev. 73120

Rezultati meritev dokazujejo visoko stopnjo ponovljivosti, pogreške v predpisanem razredu in enakost obeh merilnih sond. Dokazana je bila tudi pričakovana nižja merilna točnost absolutnega merilnega instrumenta pri gostoti magnetnega polja pod 40 μ T. Pri teh gostotah postane pri Overhouserjevem magnetometru že neugodno razmerje med signalom in šumom.

Po zaključku primerjalnih meritev je bilo potrebno na dveh merilnih stebrih v absolutni hiši geomagnetnega observatorija RMI – CPG v Dourbesu v Belgiji ugotoviti tudi vpliv medsebojnega položaja merilnih sond. Pomembna ni samo orientacija posamezne sonde pravokotno na smer zemeljskega magnetnega polja, temveč tudi njuna medsebojna lega ob rotaciji vzdolž njunih osi. V primeru zelo zahtevnih meritev je to razmerje položajev potrebno predhodno preveriti v magnetno čistem prostoru.

Zahvala

Za primerjalne meritve Overhouserjevega protonskega gradiometra GSM – 19GW s serijsko številko 7112566, opravljene od 28. oktobra do 1. novembra 2009 na RMI – CPG v Dourbesu v Belgiji, je bil del stroškov za enega merilca plačan iz projekta ARRS CRP-MIR-2007 številka M4-0225 z naslovom: Določitev magnetne deklinacije za območje Slovenije in primerjava z globalnimi modeli zemeljskega magnetnega polja. Projekt se je zaključil v decembru 2009. Institute RMI – CPG v Dourbesu v Belgiji pa je omogočil štiridnevno bivanje dveh merilcev LGA pri VSS Sežana na observatoriju v Belgiji in dal na razpolago vso potrebno opremo za izpeljavo primerjalnih meritev. Avtorja članka se zahvaljujeta vsem ustanovam kot tudi posameznikom, ki so jima omogočili primerjalno meritev in pomagali pri pripravi članka.

Literatura

- Alexandrov, E. B. et al. Double-resonance atomic magnetometers: from gas discharge to laser pumping. *Laser Physics*, 1996, vol. 6, no. 2, p.244-251.
- Breiner, Sheldon. *Applications Manual for Portable Magnetometers*. San Jose (CA, US): Geometrics, Inc, 1999.

- Csontos, Andras. et. at. 50 Years of History of the Tihany Geophysical Observatory. J. Reda, XII IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing Belsk, 19-24 June 2006. *Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, C (Geomagnetism)* -99 (398), 2007.
- Čop, Rudi in Kocen, Jernej. Geomagnetne meritve na geomagnetni referenčni točki na Predmeji. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2008*. Zbornik predavanj. 14. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 22. januarja 2009. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2009.
- GSM-19 v 7.0 Instruction Manual*. Manual Release 7.4. Richmond Hill (CAN): GEM Systems, Inc. Advanced Magnetometers, April 2007.
- Hrvoic, Ivan in Hollyer, M. Greg. *Brief Review of Quantum Magnetometers*. Markham (CAN): GEM Systems, Our World is Magnetic.
- Jankowski, J. in Sucksdorff, C. Use of the proton procession magnetometer to measure total intensity F. *IAGA Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice*. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, 1996. ISBN: 0965068625.
- Korepanov, Valery. Geomagnetic Instrumentation for Repeat Station Survey. Edited by Jean L. Rasson and Todor Delipetrov. *Geomagnetics for Aeronautical Safety: A Case Study in and around the Balkans*. Editors Jean L. Rasson and Todor Delipetrov. 1 edition. Dordrecht (NL): Springer, 2006, str. 145-166. ISBN: 1402050240.
- MagTec Quantum Magnetometers*. MagTec is a research team working in [Ioffe Phys.-Tech. Institute \(Russian Academy of Science\)](#) and [S.I.Vavilov State Optical Institute](#), St.-Petersburg, Russia, specializing on ultra-precise quantum magnetometers. Dostopno na: <http://www.antver.net/magtec.html>.
- Nabighian, M. N. et al. 75th Anniversary. The historical development of the magnetic method in exploration. *Geophysics*, November – December 2005, vol. 70, no. 6, p. 33-61.
- Overhouser Magnetometer / Gradiometer / VLF (GSM-19 v7.0)*. Richmond Hill (CAN): GEM Systems, Inc. Advanced Magnetometers.
- Pazgalev, S. Anatoly. Magnetic Full-Field Stabilizer Based on Potassium Optically Pumped Self-Oscillator. *Proceedings of the VIth Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing*. Scientific Editor: Jean L. Rasson, Responsible Editor: Dr. H. Malcorps. Bruxelles: Institut Royal Meteorologique de Belgique, 1996, p. 83-86.
- Rasson, L. Jean. Coil System for Magnetic Full Field Stabilizer. *Proceedings of the VIth Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing*. Scientific Editor: Jean L. Rasson, Responsible Editor: Dr. H. Malcorps. Bruxelles: Institut Royal Meteorologique de Belgique, 1996, p. 87-93.
- The Nobel Prize in Physics 1902* [online]. In recognition of the extraordinary service they rendered by their researches into the influence of magnetism upon radiation phenomena. Nobel Web AB 2009. Dostopno na: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1902/.

Problematika nizkih pretokov Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami

Jure Bogataj¹, Mitja Brilly*

Povzetek

Kritično nizek pretok Kamniške Bistrice je v pozno poletnih in zgodnjih jesenskih tednih postal stalnica. Predvsem pereč problem je odsek glavne struge med Kamnikom in Domžalami oziroma natančneje med jezom v Volčjem Potoku in sotočjem z Račo pri Domžalah. Na tem odseku sta izvedena dva odvzema vode za mlinščici (Radomeljska in Homška mlinščica), ki levo in desnoobrežno alocirata vodo iz glavne struge. Poleg obeh odvzemov pa se za ta del glavne struge predvideva stik s podtalnico. Glede na to, da dolvodno od obeh zajemov ob nizkih vodostajih tečejo zelo majhne količine vode, delež, ki pronica v podtalnico, ni zanemarljiv. Posledica brezobzirnega manevriranja z zapornicami na odvzemih vode za potrebe obeh mlinščic in pronicanja vode v podtalnico je bila popolna presušitev glavne struge Kamniške Bistrice med železniškim mostom pri tovarni kartona v Količevem in sotočjem z Račo v dneh 28. septembra 2008 ter 10. in 25. oktobra istega leta. Za natančnejšo identifikacijo problematike je bilo potrebno določiti glavne vzroke za nizke pretoke Kamniške Bistrice na odseku med Kamnikom in Domžalami. Ugotoviti je bilo potrebno količine odvzemov obeh največjih mlinščic (Radomeljske in Homške) in količino vode, ki se na tem odseku infiltrira v podtalnico.



Slika 1 - Trasa struge Kamniške Bistrice (označeno temno sivo) in obravnavani odsek struge med Kamnikom in Domžalami (označeno rdeče) (vir: Atlas okolja, 2007)

¹ Jure Bogataj, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž., prof. dr. Mitja Brilly, univ. dipl. inž. gradb., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana.

Sistema Radomeljske in Homške mlinščice

Zajem za Radomeljsko mlinščico je izveden na dvostopenjskem jezu Volčji Potok (Slika 2), ki je lociran na glavni strugi Kamniške Bistrice med naseljema Volčji Potok in Šmarca. Voda teče v mlinščico preko dveh vzporednih lesenih zapornic ob levi brežini. Večinoma se uporablja le leva zapornica, ki že sama zadostno napolni mlinščico.

V Homško mlinščico se steka voda iz zajema na jezu Homec (Slika 3 - levo), in sicer tik pod Homškim hribom pri naselju Hudo. Za odvzem vode je ob desni brežini narejena večja lesena tablasta zapornica (Slika 3 - desno) z ročnim mehanizmom odpiranja oziroma zapiranja.



Slika 2 - Radomeljski jez z levoobrežnim odvzemom z zapornicami in talnim izpustom v času nizkega vodostaja (foto: Bogataj, 28. 8. 2009)



Slika 3 - Preliv Homškega jez z zapornico za talni izpust na sredini v času nizkih vodostajev dne 21. 8. 2009 (levo) in zapornica, ki regulira količino odvzete vode za mlinščico (desno) (foto: Bogataj, 2009).

Iz Radomeljske mlinščice se na poti do izliva odcepita dva razbremenilna kanala visokih voda. Prvi pred naseljem Hudo in drugi pred vtokom v pokrit kanal nad papirnico v Količevem. Mlinščica se izliva v reko Račo dolvodno od naselja Podrečje.

Homška mlinščica ima zgolj en razbremenilni kanal, in sicer gorvodno od križanja z razbremenilnim kanalom Pšate.

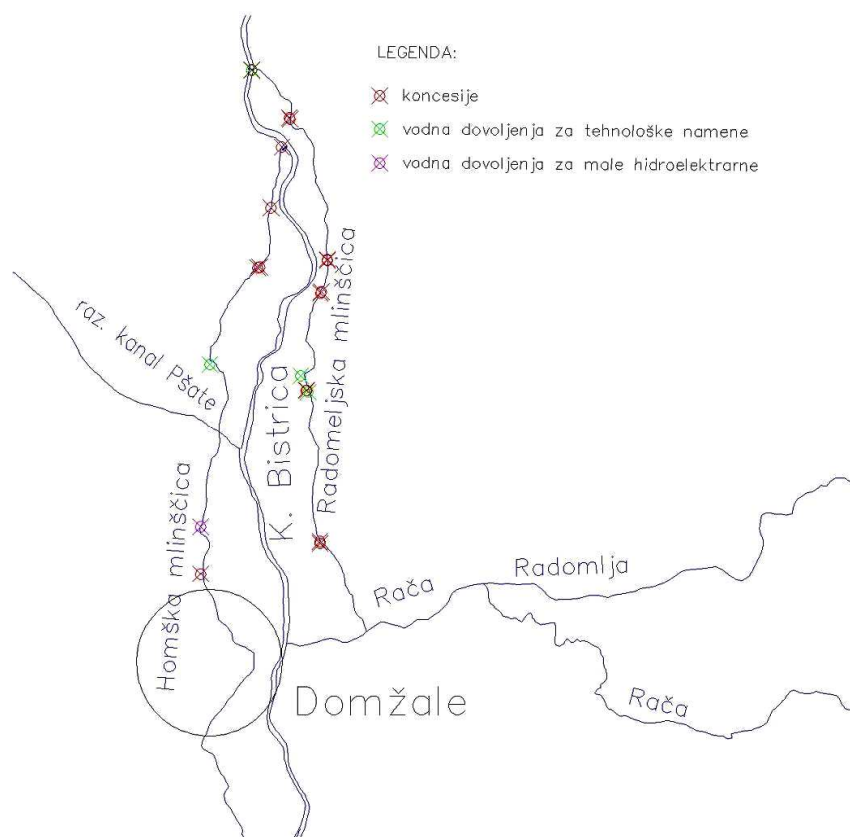
Raba vode

Mlinščici sta bili zgrajeni z namenom omogočanja izrabe vode. Prvotno so izrabljali vodno moč za pogon mlinskih koles in žag, kasneje za pogon celotnih industrijskih obratov. V zadnjih desetletjih se ju uporablja za dovajanje tehnološke vode industriji in za pogon malih hidroelektrarn.

Nadzor nad rabo vode ima Ministrstvo za okolje in prostor (MOP) oziroma Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) s podeljevanjem koncesij (na primer za male hidroelektrarne) oziroma vodnih dovoljenj (na primer za odvzem tehnološke vode). V vodnem dovoljenju oziroma koncesiji je tudi določena največja dovoljena količina odvzema.

Na Radomeljski mlinščici imajo največji dovoljeni odvzem vode lastniki malih hidroelektrarn. Ker je poraba tehnološke vode zanemarljivo majhna proti dovoljeni količini odvzema za elektrarne in ker se voda na elektrarni ne porabi, temveč v celoti odteče do dolvodnega uporabnika, je največji dovoljeni odvzem Radomeljske mlinščice enak $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Podobna situacija kot na Radomeljski je tudi na Homški mlinščici, kjer pa je že na odvzemu mlinščice podeljena koncesija za rabo vode podjetju Avto-phone, d. o. o., ki ima omejen odvzem na $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 4 - Grafični prikaz lokacij, kjer so podeljena vodna dovoljenja in koncesije za zajem vode na obeh mlinščicah.

Problematika količine odzema vode

Kot je bilo opisano v prejšnjem poglavju, imata mlinščici dovoljenje za maksimalni odvzem 1,8 oziroma 1,3 m³/s, skupno torej 3,1 m³/s vode. Na vodomerni postaji Kamnik I je v povprečnem letu kar 180 dni s pretokom preko 5,9 m³/s. Torej kljub polnemu odvzemu obeh mlinščic v strugi večino leta ostaja vsaj preko 2,8 m³/s pretoka, kar je zadovoljivo.

Problem nastane, ko pretoki Kamniške Bistrice padejo. V sušnih mesecih, kot so januar in februar ter avgust in september, lahko pretoki Kamniške Bistrice skozi Kamnik padejo tudi pod 2 m³/s. V povprečnem letu se to dogaja kar 20 dni v letu. V sedanji situaciji so problematični že pretoki nižji od 3 m³/s. Z zapornicami namreč manevrirata lastnika malih hidroelektrarn. Njun cilj je zgolj čim večji odvzem, torej večja ekonomska korist s pridobljeno večjo količino električne energije.

Posebej kritičen je odvzem za Radomeljsko mlinščico na jezu Volčji Potok. Tu so zapornice redko priprte in količina odvzete vode le občasno pade pod 1,2 m³/s. Običajno je v sušnem obdobju odvzem med 1,3 in 1,6 m³/s. Torej že na tem odvzemnem mestu pri pretokih Kamniške Bistrice pod 3 m³/s odvzeta količina vode presega količino preostale vode v strugi. Dokaz o razsipnem odvzemanju vode sta tudi dva razbremenilna kanala Radomeljske mlinščice, po katerih teče voda tudi v zelo sušnem obdobju (kot na primer na dan 28. avgusta 2009). Zaradi visokih temperatur in izsušenosti terena večji del te vode preden priteče v glavno strugo, že ponikne.

Na že tako oslavljenem pretoku pa je pri Homecu izveden še drugi odvzem vode. Tu so upravljavci zapornic prisiljeni upoštevati preostali pretok v strugi. Ob nizkih pretokih je preliv Homškega jezu povsem suh, celotna količina preostale vode pa teče v glavno strugo preko sredinsko nameščene lesene zapornice, ki jo upravlja isti upravljavec kot zapornice na mlinščici. Količina odvzete vode za Homško mlinščico se ob nizkem vodostaju giblje med 0,4 in 0,8 m³/s. Tudi tu ni količina odvzete vode strogo odvisna od pretokov v strugi Kamniške Bistrice. Torej po drugem odvzemu na jezu Homec ob nizkih pretokih v strugi ostaja velikokrat manj kot 1 m³/s vode, večjih pritokov pa do sotočja z Račo ni. V glavno strugo se na tem odseku v sušnem obdobju izlivajo dva razbremenilnika Radomeljske mlinščice, iztok iz tovarne kartona v Količevem (z nekaj litri na sekundo) in voda iz razbremenilnega kanala Pšate. Vsi ti pritoki pa imajo zanemarljiv pretok, ki se hitro porazgubi v tako široki strugi kot je struga Kamniške Bistrice. Poleg obeh odvzemov nizke pretoke Kamniške Bistrice zmanjšuje še pronicanje vode v podtalnico. Tudi to pronicanje vode v podtalje ima pomembno vlogo pri zmanjšanju že tako majhnih pretokov, zato popolne presušitve struge, kot so bile v dneh 28. septembra ter 10. in 25. oktobra 2008, niso le ekstremi, ampak vse pogostejši pojav.



Slika 5 - Struga Kamniške Bistrice pri merilni postaji Kamnik (levo) in stuga Kamniške Bistrice po obeh odvzemih nad sotočjem z Račo (desno) v času nizkih vodostajev (foto: Bogataj, 28. 8. 2009)

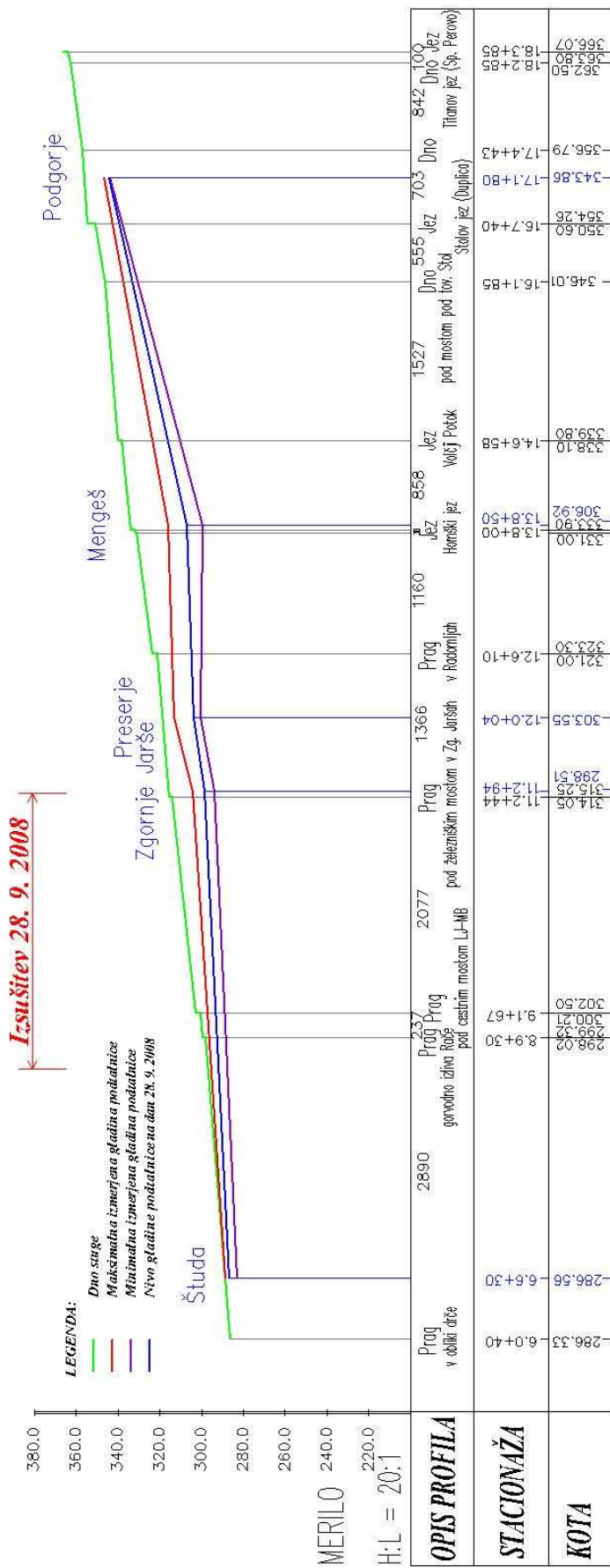
Primerjava gladin podtalnice in Kamniške Bistrice

Ker nas zanima predvsem dogajanje ob nizkih vodostajih, lahko aproksimiramo gladino nizkih voda s koto dna. Ko po široki strugi Kamniške Bistrice teče le nekaj 100 litrov vode na sekundo, je debelina vodne plasti na prelivih pragov in jezov (znane kote) namreč le nekaj centimetrov, kar pa je zanemarljivo.

Primerjava gladin je bila izvedena na vzdolžnem profilu Kamniške Bistrice med Domžalami in Kamnikom (Slika 6), kjer so prikazani dno struge (zelena črta), maksimalne (rdeča črta) in minimalne (vijolična črta) izmerjene gladine podtalnice v večletnem opazovanem časovnem obdobju ter nivo gladine podtalnice na dan 28. septembra 2008 (modra črta).

Opazimo lahko, da gladina podtalnice na celotnem opazovanem odseku med Domžalami in Kamnikom nikoli ne dosega nivoja dna struge. Šele pod Domžalami se podtalnica ob visokih vodostajih prične približevati nivoju struge in jo dolvodno najverjetneje začne tudi napajati. Iz tega lahko sklepamo, da nivo podtalnice med Kamnikom in Domžalami ne vpliva na količino vode v strugi Kamniške Bistrice. Na kritičnem odseku se je podtalnica približala dnu struge na največ 2 metra. Nizke in srednje gladine podtalnice pa so globoko pod dnom.

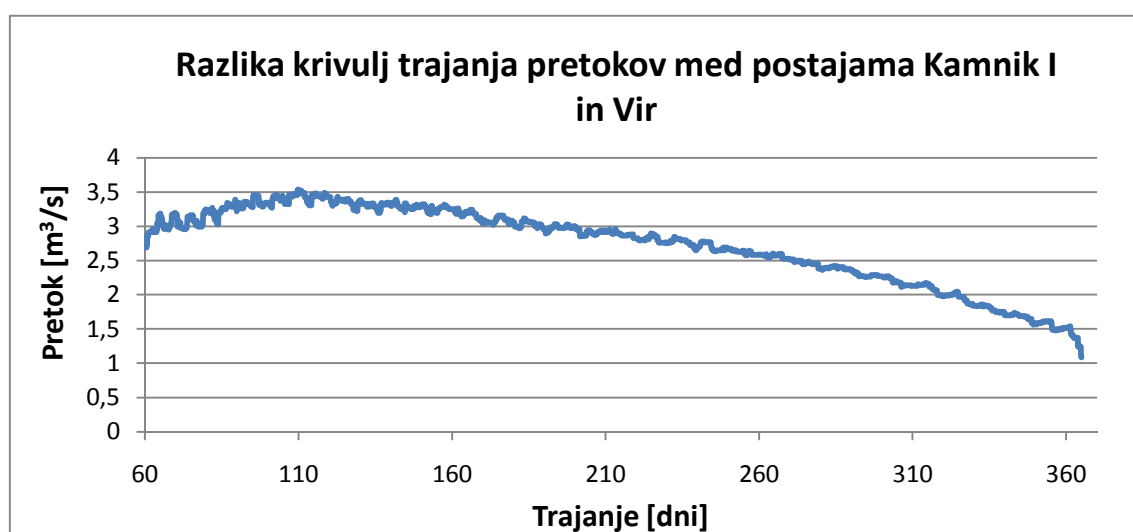
Dne 28. 9. 2008 so bile gladine podtalnice kljub zelo sušnemu septembru tistega leta večinoma le nekoliko pod povprečnimi vrednostmi, iz česar bi lahko sklepali na možnost povečanega napajanja iz struge Kamniške Bistrice.



Slika 6 - Vzdolžni prerez Kamniške Bistrice in gladine podtalnice (najviše in najnižje izmerjene ter stanje na dan 28. 9. 2008)

Primerjava pretokov na vodomernih postajah Kamnik I in Vir na Kamniški Bistrici

Za identifikacijo problematike sem izvedel analizo obstoječih podatkov iz obeh vodomernih postaj na glavni strugi Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami. Prva postaja je locirana v Kamniku, druga na Viru pri Domžalah. Razlika pretokov teh dveh merilnih postaj v času nizkih pretokov podaja količino odvzema obeh mlinščic, vključno z izgubami vode zaradi infiltracije v podtalnico. Na območju med merilnima postajama v času nizkih vodostajev namreč ni pomembnejših pritokov. S primerjavo najnižjih dnevnih letnih pretokov ugotovimo, da mlinščici tudi v času ekstremno nizkih vodostajev odvezemata preko $1\text{ m}^3/\text{s}$. Primerjava krivulj trajanja obeh vodomernih postaj pa kaže na relativno visok odvzem, preko $1,5\text{ m}^3/\text{s}$ kar 360 dni v povprečnem letu. V te količine je zajeta tudi infiltracija, ki vsekakor ni zanemarljiva.



Slika 7 - Razlika povprečnih krivulj trajanja pretokov (od leta 1991 do leta 2005) med merilnima postajama Kamnik I in Vir

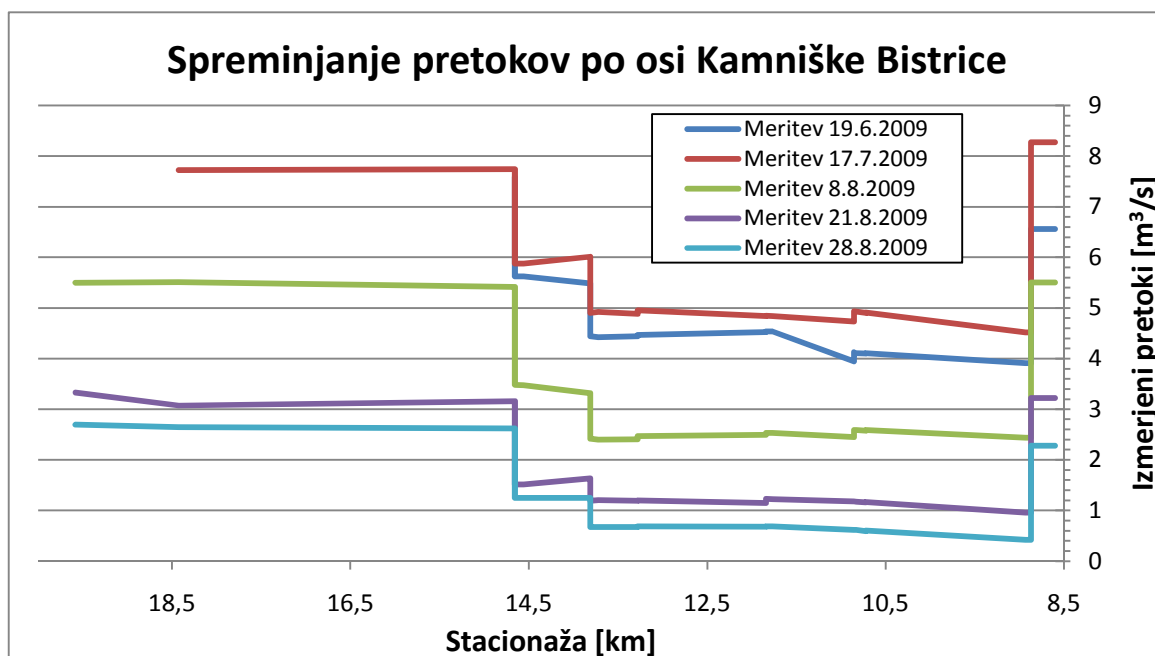
Meritve pretokov

Za bolj točno analizo nizkih pretokov oziroma vodno bilanco v strugi Kamniške Bistrice obstoječa stalna mreža merjenja pretokov ne zadostuje, zato je bilo potrebno izvesti dodatne meritve. Pretoki so bili merjeni s pomočjo Dopplerjevega profilnega merilca pretočnih hitrosti. Ker so vse meritve izvedene le v krajšem časovnem obdobju leta 2009 (junij, julij in avgust), tudi ti podatki ne prikazujejo popolne slike, vendar se vseeno lahko z rezultati teh meritev ustvari pregled dogajanja in problematike.

Izvedenih je bilo več meritev pretokov Kamniške Bistrice in mlinščic (Radomeljske in Homške) na odseku med Kamnikom in Domžalami. Meritve so bile izvedene na vseh večjih vtokih oziroma iztokih (lokalna sprememba pretoka na Sliki 9) ter na vmesnih lokacijah. Tako je bila dobljena pregledna bilanca pretokov in razlik v pretokih na posameznem odseku glavne struge in obeh mlinščic. Največja gostota meritev je bila na problematičnem odseku med jezom Volčji potok in sotočjem Kamniške Bistrice z Račo.



Slika 8 - Meritev pretokov na Homški mlinščici (levo) in meritev pretokov na Kamniški Bistrici (desno) (foto: Lunka, 6. 2009)



Slika 9 - Spreminjanje merjenih pretokov po osi struge Kamniška Bistrice

Na strugi Kamniške Bistrice je bilo izvedenih 5 nizov meritev v več zaporednih profilih. Slika 11 prikazuje spreminjanje pretokov vzdolž osi struge. Pritoki oziroma odvzemi so prikazani kot trenutne spremembe pretoka. Opaziti je stalen odvzem obeh mlinščic, in sicer ne glede na pretoke v glavni strugi. Odseki, kjer pretoki zvezno padajo, predstavljajo izgube pretoka zaradi infiltracije v podtalnico. Pri vseh meritvah je opaziti upadanje pretoka, lokalne anomalije pa so posledica manevriranja z zapornicami v času meritev. Če se osredotočimo predvsem na zadnji dve meritvi, ki sta bili izvedeni v času nizkih pretokov in sta zato bolj pomembni za to raziskavo, lahko razdelimo merjen odsek struge glede na infiltracijo na tri odseke. Na prvem odseku, od merilne postaje v Kamniku do jezua Volčji Potok, ni bilo opaziti pomembnejših sprememb pretoka. Drugi odsek je del glavne struge med jezua Volčji Potok in tovarno kartona v Količevem. Na tem delu je bilo sicer zaznati manjše izgube pretoka. Ključne izgube pa so bile izmerjene na tretjem odseku, torej od

Količevega do sotočja z Račo. Tu se v času nizkih pretokov izgublja preko 270 l/s oziroma kar 40 % pretoka. Ob zadnji meritvi je znašal pretok nad sotočjem z Račo zgolj 420 l/s.

Podobno kot na strugi Kamiške Bistrice so bili pretoki merjeni tudi na obeh mlinščicah, in sicer v štirih serijah. Na Radomeljski mlinščici je opaziti izrazit upad pretoka na prvem kilometru struge, kjer teče preko travnikov. Naprej dolvodno je infiltriranja manj. Na Homški mlinščici pa se voda enakomerno infiltrira. Na vsaki strugi se izgublja približno 200 l/s.

Meritve infiltracije

V strugi Kamniške Bistrice je bila neposredno merjena tudi infiltracija na odseku med Volčjim Potokom in sotočjem z Račo. Meritve so bile izvedene po dveh metodah.

Najprej z lesenim škatlastim okvirjem na treh prodiščih. Metoda merjenja in preračuna koeficienta filtracije je bila povzeta po metodi merjenja infiltracije z enojnim kovinskim obročem z nekaj modifikacijami. Izračunan koeficient filtracije na prvem prodišču zaradi slabih pogojev nekoliko odstopa, na dolvodih dveh prodiščih pa je precej podoben in znaša $1,8 * 10^{-2}$ cm/s.

Za merjenje infiltracije v strugi je bil uporabljen mini disk infiltrometer. Ta metoda je sicer zelo pristranska, saj je rezultat odvisen od mikro lokacije postavitve infiltrometra. Z večjim številom meritev lahko dobimo natančnejšo vrednost koeficienta filtracije. Meritve so bile izvedene na devetih lokacijah vzdolž struge na odseku med Volčjim Potokom in Domžalami. Zanimiva je večja infiltracija pri sedmi meritvi. Ta je bila izmerjena v bližini tovarne kartona v Količevem, torej na lokaciji, kjer so 28. septembra 2008 poniknile še zadnje količine vode. Toda obstaja verjetnost, da je povečana izmerjena infiltracija zgolj posledica lokalnih razmer na mestu merjenja. Povprečni koeficient filtracije vseh devet meritev je zelo blizu tistemu, izmerjenemu z lesenim škatlastim okvirom.



Slika 10 - Polnjenje zakopanega škatlastega okvirja (levo) in meritev infiltracije (desno)
(foto: Lunka, 1. 8. 2009)

Ugotovitve

Na podlagi izvedenih meritev lahko sklepamo na naslednje ugotovitve:

- Na odseku glavne struge Kamniške Bistrice med Kamnikom in jezom Volčji Potok ni bilo zaznati omembe vrednih sprememb v pretoku.
- Radomeljska mlinščica ob visokih in srednjih vodostajih Kamniške Bistrice odvzema konstantno le nekaj manj kot $2 \text{ m}^3/\text{s}$, s čimer so kršena določila v koncesijski pogodbi, kjer je omejen maksimalni odvzem na $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$.
- V nizkih in zelo nizkih vodostajih Kamniške Bistrice se odvzem za Radomeljsko mlinščico bistveno ne zmanjša, kar pomeni, da v nizkih vodostajih odvzem presega količine preostale vode v glavni strugi.
- Zapornica za odvzem vode za Homško mlinščico se ob nizkih vodostajih pripira, a ne striktno po količinah vode v glavni strugi. Pretok tudi ob povišanih vodostajih ne presega določil o maksimalnem odvzemu ($1,3 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Ob nizkih vodostajih obe mlinščici skupaj odvzemata tudi do 80 odstotkov ($2 \text{ m}^3/\text{s}$) vode iz struge Kamniške Bistrice.
- Na odseku Kamniške Bistrice med jezom Volčji Potok in tovarno kartona v Količevem je bilo pri posameznih meritvah opaziti upad pretoka, ki pa je bil ob nizkih pretokih zanemarljiv.
- Ključne izgube v strugi Kamniške Bistrice so bile ob nizkih pretokih zabeležene na odseku med tovarno kartona v Količevem in pritokom Rače pri Domžalah. Na tem odseku se je izgubljalo preko 270 l/s oziroma več kot 40 odstotkov dotekajočega pritoka.
- Ob zadnji meritvi je pretok Kamniške Bistrice nad sotočjem z Račo znašal le 420 l/s oziroma manj kot 16 odstotkov tistega, ki je bil izmerjen v Kamniku.
- Iztekanje vode v podtalnico je prisotno tudi na obeh mlinščicah, in sicer se v sušnem obdobju v povprečju izgublja med 2 in 3 odstotke pretoka na vsakem kilometru struge oziroma približno 35 l/s na Radomeljski mlinščici in približno 20 l/s na vzdolžni kilometer struge na Homški mlinščici.

Meritve infiltracije v strugi Kamniške Bistrice so pokazale rahlo zmanjšanje infiltriranja na območju Homca in Radomelj, toda razlika ni bistvena, zato lahko sklepamo, da vzrok v povečanem pronicanju vode v podtalnico na odseku med tovarno kartona v Količevem in pritokom Rače ni zgolj v sestavi tal.

Obstajata vsaj dva vzroka za povečano infiltracijo na tem območju. V času nizkih vodostajev je dno struge v večini zamuljeno in manj propustno, zato je velika verjetnost, da se voda pospešeno infiltrira v podtalje na območju podslapij stopenjskih pragov, kjer se mulj ne useda. Posledično k povečanju infiltracije prispeva tudi vsak preboj krovne plasti (čiščenje nanosov), ki pa ponavadi obsega le krajši odsek struge in zato ni ključnega pomena.

Drugi verjetni vzrok pa je tudi regulirana, ravna in zelo široka struga. Voda je tudi v času nizkih pretokov razporejena preko celotnega profila in ima tako veliko površino infiltriranja.

Predlagane rešitve

Za zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka na celotni strugi Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami je potrebno uvesti ukrepe, s katerimi se bo omejevalo prevelik odvzem vode za obe mlinščici. Potrebno je upoštevati tudi minimalno 270 l/s izgub na območju dolvodno obeh zajemov. Uradno je potrebno določiti upravljavca zapornic, ki z njimi upravljal v skladu z določili. Opravljati je potrebno stalni nadzor nad odvzemi obeh mlinščic v času nižjih vodostajev in fizično preprečiti odpiranje zapornic. V primeru kršenja določil je potrebno ustrezno kazensko ukrepati. Smiselno bi bilo postaviti sistem za obveščanje o ekstremno nizkih pretokih Kamniške Bistrice na delu tik nad sotočjem z Račo. V tem primeru bi lahko preprečili dogodke popolne presušitve struge z zapiranjem zapornic na obeh odvzemih. Z manjšimi gradbenimi posegi je možno tudi fizično preprečiti prevelik odvzem vode v času ekstremno nizkih vodostajev, a je vprašljiva racionalnost takega posega. Potrebno je upoštevati tudi ohranitev vodnega biotopa, ki se je ustvaril v mlinščicah skozi stoletja, zato je nujno določiti tudi ekološko sprejemljiv pretok na mlinščicah. Prioritetno ostaja zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka na glavni naravni strugi Kamniške Bistrice, pretoka v mlinščicah pa je potrebno temu podrediti. V primeru potrebe po izsušitvi ene ali obeh mlinščic je potrebno izvesti izlov rib in drugega življa, če je to mogoče.

Za določitev natančnejših izgub in odvzetih količin iz struge Kamniške Bistrice je že postavljena mreža stalnega spremljanja pretokov, ki bo delovala v daljšem časovnem obdobju. Pretoke se spremlja tako na glavni strugi kot na obeh mlinščicah. Z meritvami se bo pridobil popoln pregled odvzetih količin v posameznem obdobju in različnih vodostajih. Prav tako bo možno ustvariti natančnejšo sliko o izgubah vode na posameznem odseku struge.

Literatura

Bogataj, J. (2009) Problematika nizkih pretokov Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami (The Issue of Low Flows of the Kamniška Bistrica River Between Kamnik and Domžale). Unpublished Graduation Thesis, Univerza v Ljubljani, FGG, 123 p. (in Slovenian).

Analiza in prognoza višin morja v Slovenskem morju

Matjaž Ličer*

Povzetek

V prispevku predstavimo analitične in prognostične metode za obravnavo višine morja na mareografski postaji Koper, ki so bile na Agenciji za okolje RS implementirane v letu 2009. Predstavimo avtomatizacijo napovedi astronomske plime ter njeno vizualizacijo, nato pa še modeliranje plimnih residualov z umetno nevronske mreže. Zaključimo s predstavitvijo avtomatizacije iskanja dnevnih ekstremov višine morja na mareografski postaji Koper s pomočjo filtracije visokofrekvenčne komponente v merjenem signalu višin morja.

Uvod

Galileo Galilei v svojem slovitom *Dialogu* o dveh glavnih sistemih sveta plimovanju posveti celotno zadnje poglavje knjige, v katerem skuša razlago plime povezati z gibanjem Zemlje in njenim reliefom. Kepler je za razliko od Galileia plimovanje prvi povezal z gravitacijskim vplivom Lune, a so bili ti napor v času pred Newtonovo formulacijo mehanike obsojeni na neuspeh. Galileieva in Keplerjeva konceptualizacija plimovanja morda nista bili ustrezni, vsekakor pa jima moramo priznati, da sta locirala pomemben problem, s katerim imamo še danes težave, čeravno morda ne toliko na pojmovnem kot na operativnem numeričnem nivoju. Poleg tega so renesančni misleci znali identificirati poldnevne in dnevne plimne periode, Galilei pa na istem mestu tudi navaja posebne dnevne ladijskih prihodov in odhodov v pristaniščih v Aleksandriji in Benetkah, ki kažejo na to, da ima plima že od nekdaj tudi družbene implikacije. Napovedi plime so tudi danes pomembne za celo vrsto morskih in obmorskih aktivnosti od ladjedelništva do turizma in izrabe luških transportnih infrastruktur.

Visoke plime so imele v preteklosti izjemno resne posledice v slovenskih obalnih mestih, še zlasti v decembru 2008, ko je gladina morja dosegla 50-letni nivo in povzročila okrog milijon evrov škode, gl. Sliko 1. Agencija RS za okolje (ARSO) se je tako skupaj s kolegi s Fakultete za gradbeništvo in geodezijo lotila reanalize orodij, ki jih ARSO uporablja za prognozo in analizo višin morja v Slovenskem morju.

Namen pričujočega prispevka je kratka predstavitev orodij, ki so nastala v letu 2009 v okviru teh prizadevanj. Popolnoma na novo je bila napisana koda, ki omogoča avtomatiziran izračun prognoz astronomske plime skupaj z avtomatizirano vizualizacijo rezultatov prognostičnih izračunov. Za napoved plimnih residualov je bil izdelan model plime z umetno nevronske mreže, ki je bil delno umerjen in uporabljen za zakasnjeno prognozo (ang. *hindcasting*) ekstremnega dogodka visoke vode z začetka decembra 2008. Nadalje je bila na novo napisana koda za analizo višin morja z mareografske postaje Koper, ki zaradi filtriranja visokofrekvenčnih harmonskih komponent v merjenem signalu učinkoviteje locira dnevne ekstreme višine morja in omogoča avtomatiziran izpis urnih višin ter dnevnih ekstremov v format .xls.

* dr., Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, KMTe; in Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana



Slika 1: Ekstremna plima v Piranu decembra 2008. Resonančni efekt visokih astronomskih plim ter vetrovno in tlačno vzbujenih lastnih nihanj Jadranskega morja je v Piranu povzročil plimo s 50-letno povratno dobo. Fotografija: Janez Polajnar.

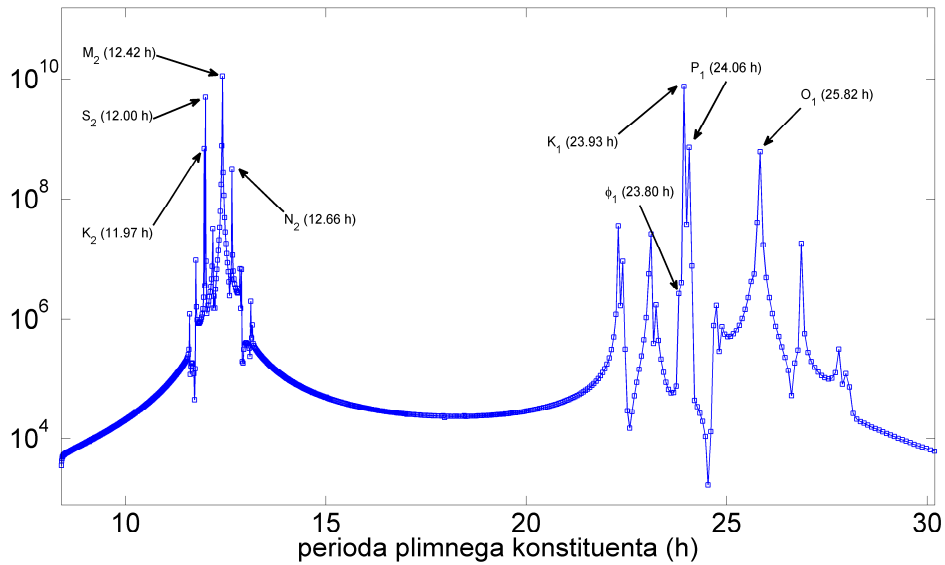
Prognoza astronomske plime

Danes plimo v nasprotju s popularnim razumevanjem, ki s pojmom plime označuje malone vsakršno nihanje morske gladine, definiramo kot periodično gibanje gladine morja, ki je amplitudno in fazno določena s katerokoli periodično geofizikalno silo [1]. Dominantna siljenja so variacije v gostoti gravitacijske sile na račun regularnih gibanj Zemlje, Sonca in Lune. V splošni reprezentaciji lahko opazovane višine morja razklopimo na tri ločene prispevke (Pugh, 1987):

$$X(t) = Z_0(t) + T(t) + S(t), \quad (1)$$

kjer $Z_0(t)$ predstavlja srednjo višino morja, ki se rahlo spreminja s časom (v Kopru ta variacija v obdobju 1960 - 2008 znaša $\partial Z_0(t)/\partial t \approx 1\text{mm/leto}$, (Jeromel et al., 2010), $T(t)$ predstavlja *astronomsko plimo*, tj. prispevek k spremembam višin morja zaradi gravitacijskih vplivov Sonca in Lune², člen $S(t)$ pa predstavlja plimni residual oz. *residualno višino morja*. Residuali so odstopanja merjene višine morja od vrednosti astronomske plime, do njih pa pride v največji meri zaradi meteoroloških vplivov (močan veter, variacije v zračnem pritisku, lastna nihanja morja ipd.)

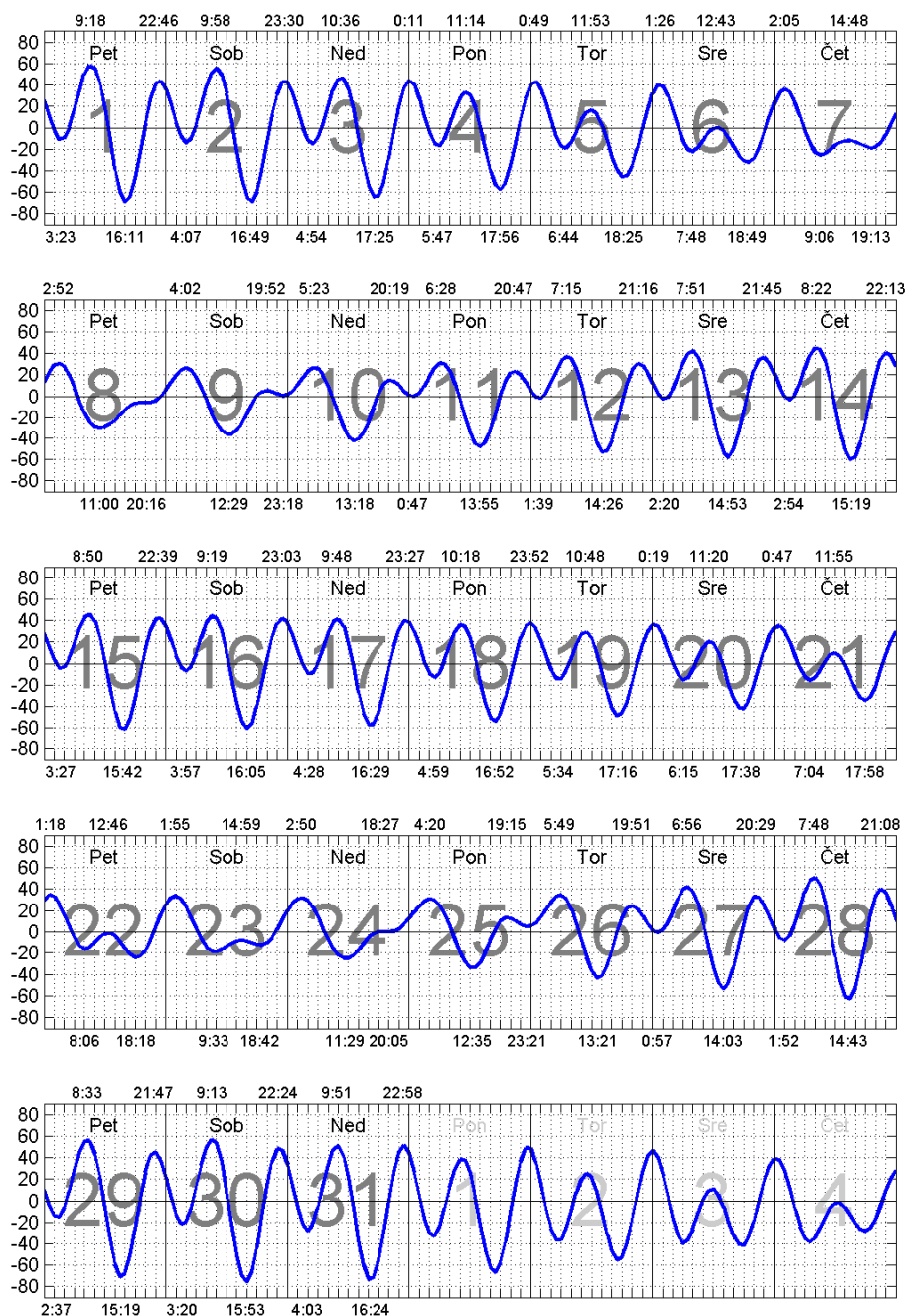
²V resnici lahko iz astronomskih parametrov določimo zgolj ravnovesni odziv oceana, tj. odziv oceana v primeru, ko bi bil celoten ocean v ravnovesju z gravitacijskim siljenjem. Realni ocean je seveda daleč od ravnovesja v tem smislu, vendar pa lahko zato, ker je amplituda plimnega odziva majhna v primerjavi z globino oceana, ki se na siljenje odziva, vseeno delamo v približku linearnega odziva in predpostavimo, da odziv oceana vseeno vsebuje le tiste frekvence, ki so prisotne v samem gravitacijskem siljenju (Pawłowicz et al., 2002).



Slika 2: FFT - spekter višin morja na mareografski postaji Koper za leto 2008. Označene so periode osnovnih dnevnih in poldnevni plimnih konstituentov.

Osnovna komponenta napovedi višin morja je torej signal astronomske plime $T(t)$. Do letos so na ARSO za izračun astronomskih plim uporabljali paket TASKS for WINDOWS, ki je razmeroma nepregleden hibrid Fortranskih kod in Excelovih tabel. Kot tak je (čeprav so se avtorji potrudili z Excelovim vmesnikom) dokaj neprijazen za uporabo in (prav zaradi navezanosti na Excel) neprimeren za nadaljne numerične analize ter vizualizacije. Pawłowicz in kolegi so leta 2002 razvili odprtokodni brezplačni programski paket t_tide za prognozo astronomskih plim, ki deluje v okolju Matlab (Pawłowicz et al., 2002). Paket t_tide se je v zadnjih letih v znanstveni skupnosti močno uveljavil kot numerično orodje za prognozo astronomske plime, gl. reference (Drushka et al., 2008, Bacopoulos et al., 2009, Woodson et al., 2007, Blanton et al., 2004, Dupont et al., 2005, Neill et al., 2007), zato smo se tudi na ARSO odločili za njegovo implementacijo. Paket s harmonično analizo identificira osnovne harmonske komponente (gl. Slika 2), z metodo najmanjših kvadratov konstruira trigonometrijsko vrsto plimnih komponent, ki se najbolj prilega merjenemu signalu, ter nato v časovni vrsti merjenih višin morja razklopi tako določeni plimni signal od residualnega.

Januar



 AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

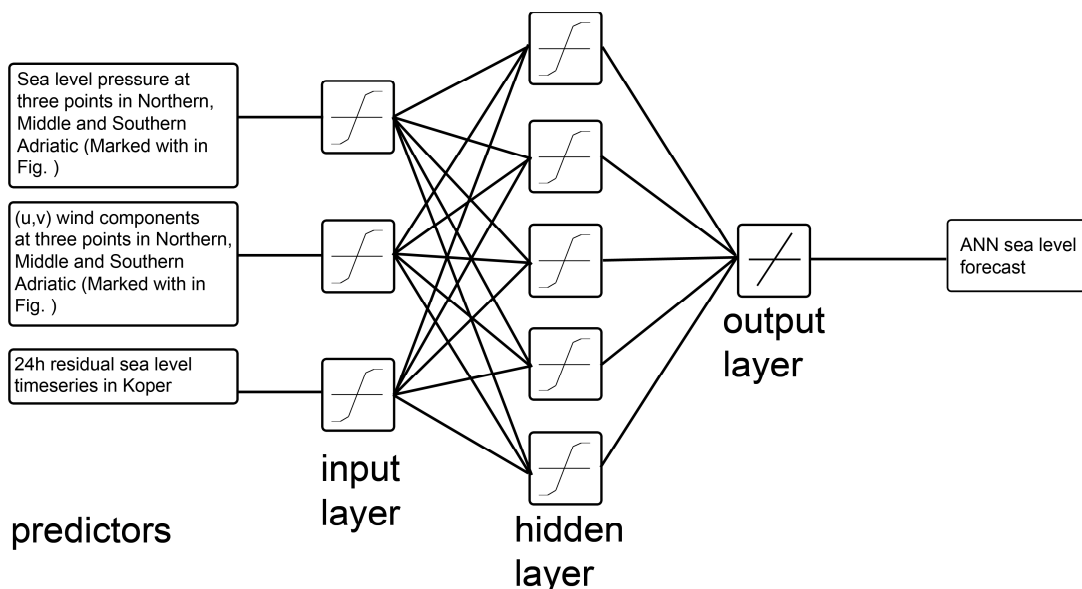
Slika 3: Nova avtomatizirana vizualizacija astronomske plime v mareografski postaji Koper za januar 2010. Navedene višine morja so prikazane v centimetrih in predstavljajo odmik od dolgoletnega srednjega nivoja morja na mareografski postaji v Kopru (Jeromel et al., 2010)

Z implementacijo paketa `t_tide` smo si močno olajšali uvoz podatkov iz podatkovnih baz ARSO ter vse nadaljne korake, ki spadajo k prognozi astronomske plime. V

prognoziranem signalu je potrebno določiti čase dnevnih ekstremov, za kar Matlab nudi bistveno močnejša orodja kot so denimo Excelovi makroji in vgrajene funkcije. Po določitvi časov dnevnih ekstremov je potrebno časovne vrste astronomske plime še ustrezno vizualizirati. Dosedanji postopek je potekal v Excelu in ni bil avtomatiziran, zahteval je precej ročnega popravljanja. Nova rutina, ki smo jo v ta namen napisali v Matlabu, nam omogoča, da z enim samim ukazom v konzolo izračunamo astronomske plime, določimo čase in višine dnevnih ekstremov ter generiramo datoteke .png ali .pdf za celotno leto prognoze. Proces je sedaj popolnoma avtomatiziran, končni produkt za januar 2010 pa prikazujemo na Sliki 3.

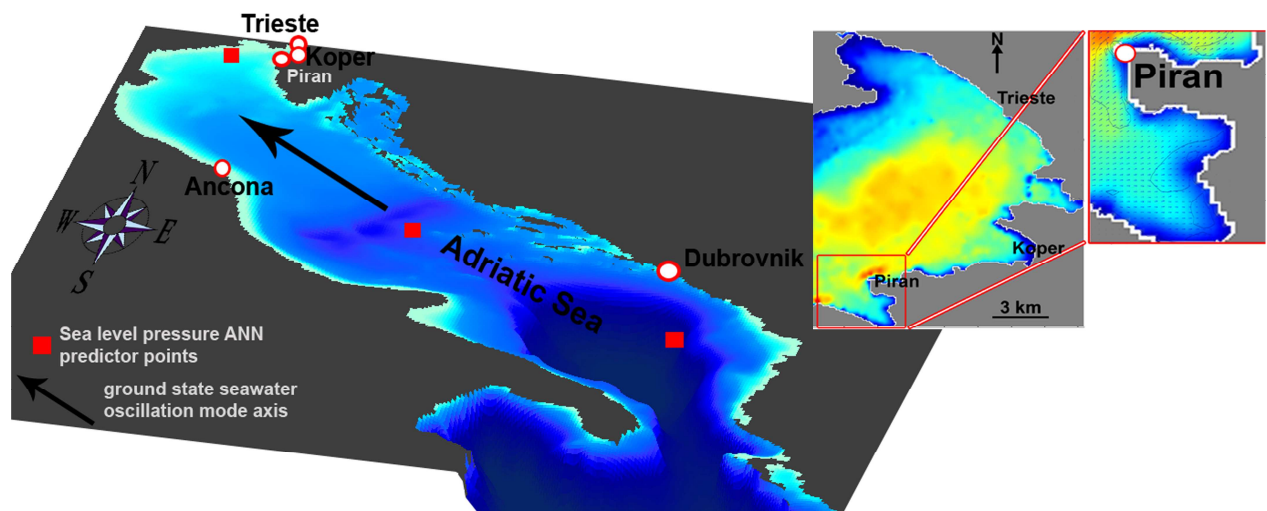
Prognoza residualne plime

Zgoraj smo predstavili avtomatizacijo izračuna astronomske plime, tj. člena $T(t)$ iz opazovane višine morja $X(t) = Z_0(t) + T(t) + S(t)$. člen $Z_0(t)$ poznamo (Jeromel et al., 2010), zato je potrebno za kvalitetno napoved višine morja $X(t)$ v tistih krajih, kjer so residuali plime visoki, poznati še residualni prispevek $S(t)$. V zadnjih letih se je v literaturi pojavilo mnogo prispevkov, (gl. vire Lee 2004, Lee et al., 2002a, Lee et al., 2002b, Tirozzi et al., 2006, Tsai et al., 1999, Vaziri 1997, Vijay, Govil, 2006) ki kažejo na to, da lahko z umetno nevronske mrežo (UNN) precej izboljšamo napoved višin morja in da je to primerno orodje za napovedovanje residualnih prispevkov $S(t)$. Umetna nevronska mreža je nestandardni statistični matematični model, ki je zgrajen po zgledu bioloških nevronske mreže v možganih sesalcev, ter je primeren za opisovanje močno nelinearnih procesov. UNN je tipično sestavljena iz skupine medsebojno povezanih umetnih nevronov z znanimi prenosnimi funkcijami, ki znane vhodne podatke transformirajo v svoj numerični odziv, gl. Sliko 4.



Slika 4: Arhitektura nevronske mreže: na vhod pripeljemo t. i. prediktorje, tj. količine, za katere menimo, da vplivajo na gladino morja v Kopru. če je mreža že naučena (gl. spodaj), potem lahko njen odziv interpretiramo kot prognozo vrednosti morske gladine.

Napovedovanje residualov z UNN temelji na popolnoma drugačnem pristopu, kot je denimo tisti, s katerim se danes pretežno lotevamo tridimenzionalnega modeliranja morja. Če želimo opisati tokovanje in adveksijsko-difuzijske procese, ki se v morju odvijajo, moramo poznati dovolj fizike, da zapišemo sklopljen sistem diferencialnih enačb, s katerim zajamemo bistvene pojave v sistemu. Sistem enačb nato integriramo v času in tako dobimo prognoziranje vrednosti za količine, ki nas v sistemu zanimajo. Pri napovedovanju procesov z UNN nam sistema ni potrebno poznati tako natančno, kar je konceptualno slabo, a vendar je v obrtniškem smislu svojevrstna prednost. Če skonstruiramo UNN z ustrezno arhitekturo (tj. povezavami in tipi nevronov), če pametno določimo vhodne podatke - prediktorje, na katere se bo mreža odzivala, ter če mrežo pravilno učimo, lahko praktično brez poznavanja dinamičnih enačb pridemo do koristnih napovedi.



Slika 5: Jadransko morje z označenimi točkami (rdeči kvadratici) med katerimi smo računali razlike v pritiskih. črna puščica shematsko kaže smer osnovnega lastnega nihanja v Jadranskem morju ob pojavu juga na večjem področju v Jadranu. Vložen graf na desni strani kaže z modelom PCFLOW izračunano površinsko tokovno polje v okolici Piranskega rta ob pojavu juga na Jadranu.

V grobem poteka proces modeliranja z UNN takole. Gladino morja $X(t)$ zapišemo kot funkcijo, odvisno od mrežnih prediktorjev ϕ . V našem primeru smo za prediktorje izbrali **i)** residualne gladine morja v Kopru, **ii)** razlike pritiskov med tremi točkami na Jadranu (gl. Sliko 5), **iii)** zračni pritisk v Kopru, ter **iv)** vetrovno napoved za Koper Aladin/SI.

Predvidevali smo, da je višina morja v Kopru odvisna zgolj od naštetih parametrov. Ta predpostavka nam omogoča, da višino morja zapišemo na naslednji način

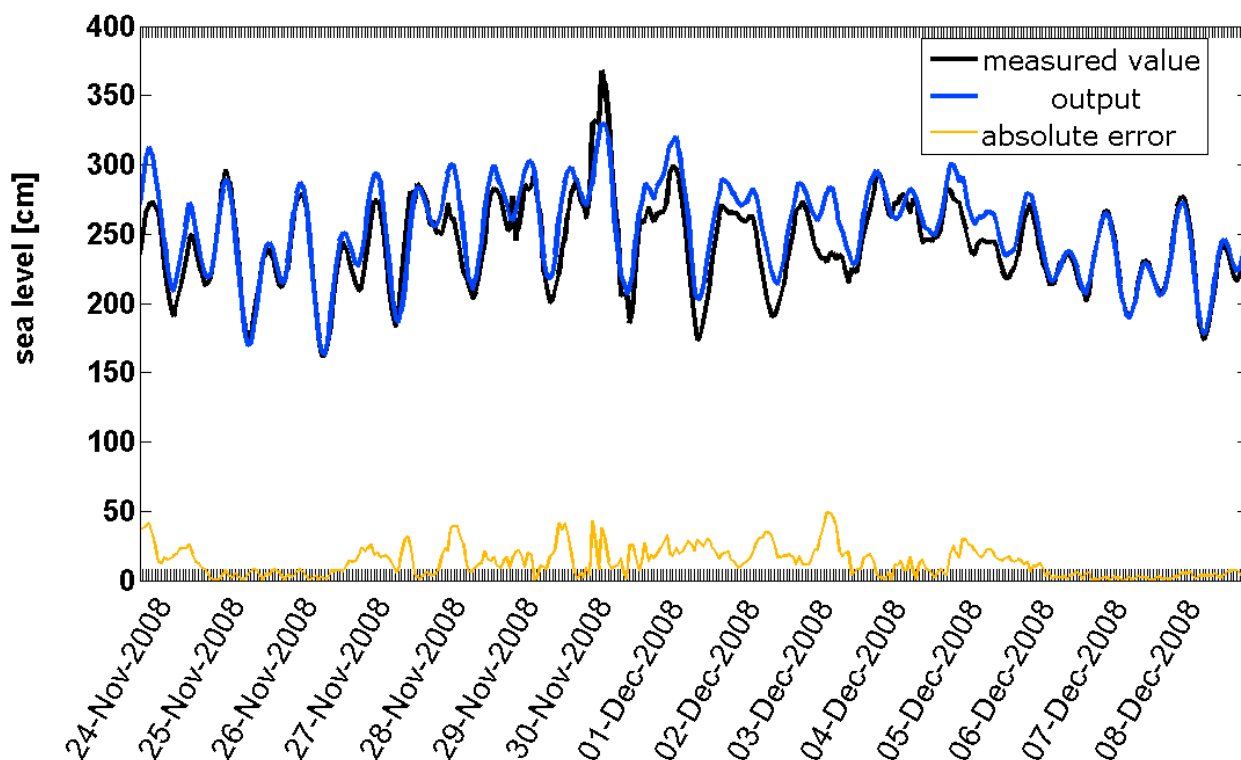
$$X(t) \approx W \cdot \phi, \quad (2)$$

pri čemer je ϕ vektor prediktorjev, matrika W pa predstavlja nevronska mrežo. Učenje mreže imenujemo proces spreminjanja matričnih elementov matrik W , dokler ni razlika med merjeno vrednostjo morske gladine ter odzivom UNN na izbrane prediktorje minimalna

$$|X - W \cdot \phi| = \min. \quad (3)$$

Ko so matrični elementi matrike določeni tako, da minimizirajo razliko $|X - W \cdot \phi|$, imamo mrežo za naučeno. Potem lahko njen odziv na prognoziranje vrednosti prediktorjev (ki jih dobimo iz modelov Aladin/SI in ECMWF) interpretiramo kot prognozo celotne višine morja, tj. astronomske in residualne višine skupaj, na mareografski postaji Koper.

Našo nevronska mrežo smo učili na podatkih za prediktorje iz let 2007 in 2008, nato pa smo jo uporabili za zakasnjeno prognozo (ang. *hindcasting*) decembrske ekstremne plime v Piranu. Rezultat je prikazan na Sliki 6.



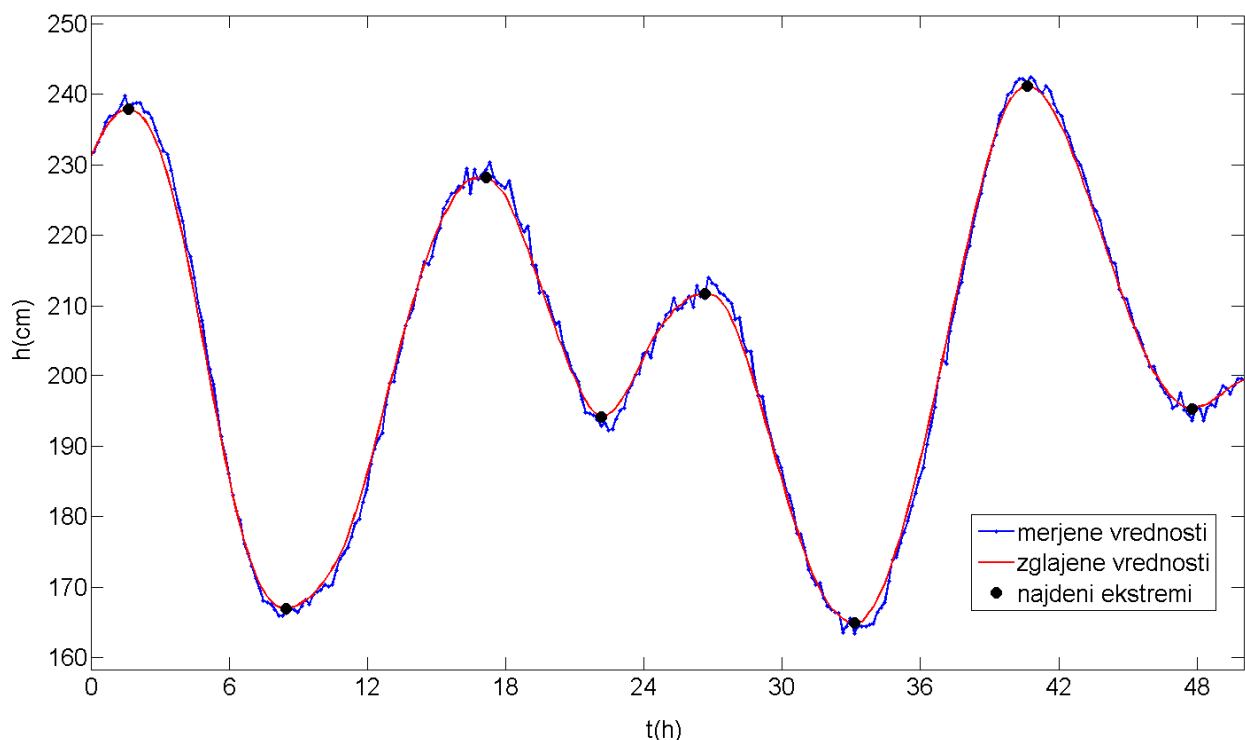
Slika 6: Napoved residualnih višin z umetno nevronska mrežo. S črno krivuljo so označene merjene vrednosti morske gladine na mareografski postaji Koper, z modro pa napoved nevronske mreže. Z oranžno krivuljo je označena razlika med napovedano in merjeno vrednostjo $|X - W \cdot \phi|$.

Kot vidimo, nevronska mreža kvalitativno ustrezno zadane variacije višin morja v Kopru. število ekstremov je ustrezno in ob ustreznih časih, višine pa še niso ustrezno napovedane, saj ponekod razlika med napovedano in merjeno vrednostjo znaša tudi 50 cm. Te rezultate bi bilo verjetno možno popraviti s korekcijo nabora prediktorjev, vključitvijo smeri in višine valov pri Puli iz valovnega modela ECMWF in podobno. Napovedovanje celotne višine morja tako ostaja v fokusu naših prizadevanj, ali je nevronska mreža primerna za tovrstne poskuse, pa bo pokazal čas.

Analiza višin morja na mareografski postaji Koper

Kontrola podatkov in določanje dnevnih ekstremov višin morja z mareografske postaje v Kopru spada med rutinske naloge hidrologov na Sektorju za analizo in prognozo površinskih voda (SAPPV) na ARSO. Kontrola podatkov je potrebna zaradi izpadov meritev na posameznih senzorjih višine morja, sistematičnih in naključnih napak merilne infrastrukture na postaji ipd. Ko so podatki prekontrolirani, je potrebno iz kontroliranih višin morja določiti dnevno povprečno vrednost, urne vrednosti višin, poiskati višine in čase dnevnih ekstremov ter iz teh podatkov sestaviti Excelovo datoteko z ustrezno

napolnjenimi polji. Do sedaj so imeli na SAPPV v te namene na voljo Excelov makro, ki je bil za iskanje dnevnih ekstremov problematičen zato, ker je našel vse ekstremne vrednosti merjenih višin morja. Signal merjenih višin morja je sestavljen iz nizkofrekvenčne komponente, ki sledi dejanskim variacijam višin morja, čez njo pa je naložena visokofrekvenčna komponenta, ki izvira iz različnih virov in zašumlja dejanski signal višine morja. Prejšnja Excelova rutina med tema komponentama ni znala ločevati, zato je ob iskanju ekstremov za ekstreme označila vse točke, v katerih je odvod višine morja spremenil predznak. Teh točk pa je zaradi prisotnosti visokofrekvenčne komponente bistveno preveč in lažne ekstreme je bilo potrebno odstranjevati ročno. Matlab nam s svojimi statističnimi paketi za obdelavo podatkov omogoča konstrukcijo učinkovitih filtrov, ki porežejo visoke frekvence v signalu in ekstreme poiščejo na zglajeni funkciji višin morja, zato smo namesto Excelove rutine napisali novo Matlabovo funkcijo, ki je bolj učinkovita in bolj avtomatizirana. S tem novim orodjem na podatkih iz podatkovne baze z enim ukazom v konzolo izvedemo naslednje operacije: **i)** preuredimo jih v enoten format (v bazi niso tako zapisani), **ii)** poiščemo vrzeli v podatkih, **iii)** izvedemo interpolacijo čez vrzeli, da dobimo kontinuiran niz podatkov, **iv)** iz kontinuiranega niza podatkov izločimo visokofrekvenčno komponento, **v)** na nizkofrekvenčni komponenti poiščemo ekstreme in **vi)** generiramo Excelovo datoteko, ki po mesecih vsebuje urne vrednosti, povprečne vrednosti ter dnevne ekstreme za vsak dan v mesecu. Rezultat izločitve visokofrekvenčne komponente signala prikazujemo na Sliki 7.



Slika 7: Filtriranje visokofrekvenčne komponente signala višin morja: z modro krivuljo so označene 10-minutne merjene vrednosti višin morja na mareografski postaji Koper. Z rdečo črto je prikazan zglajeni signal višin morja po izločitvi visokofrekvenčnih komponent. S črnimi točkami so označeni najdeni ekstremi na prikazanem časovnem intervalu. Stara Excelova rutina je ekstreme iskala na modri krivulji, tj. na 10-minutnih merjenih vrednostih višin morja - to je vodilo do velikega števila lažno identificiranih ekstremov.

Tudi nova rutina tu in tam napačno identificira ekstrem, vendar se to zgodi bistveno redkeje kot prej, hkrati pa metoda izpiše podatke na tak način, da je jasno razvidno, kje leži potencialno lažno identificiran ekstrem. Poleg tega rutina avtomatično generira Excelove datoteke v pravilni obliki iz interpoliranih podatkov in skupaj z ekstremi, brez potrebe po ročni manipulaciji Excelovih delovnih zvezkov, kar je korak k optimizaciji celotnega procesa.

Zaključek

Zaključimo zelo na kratko. V prispevku smo predstavili aktivnosti, ki smo jih v letu 2009 izvedli na področju napovedovanja in analize višin morja na mareografski postaji Koper. Naše delo ni omejeno zgolj na ukvarjanje s plimo, temveč se tiče tudi tridimenzionalnega numeričnega modeliranja Jadranskega morja, kjer pri uporabi numeričnih modelov POM in ECOMSED sodelujemo z Morsko Biološko Postajo v Piranu, glede modela PCFLOW pa s Katedro za mehaniko tekočin FGG. V letošnjem letu smo uspešno vgradili Aladin/SI vetrovna polja v model PCFLOW, postavili pa smo tudi program PCFLOW - Nafta2, ki je ravno tako nastal na FGG in je namenjen simulacijam razlitja nafte in ostalih ogljikovodikov v Tržaškem zalivu. Z modelom Nafta smo že izvedli nekaj preliminarnih simulacij za nekatere tipične vetrovne situacije v Tržaškem zalivu. Naše bodoče aktivnosti bodo v grobem usmerjene operacionalizacijo omenjenih modelov na področju Tržaškega zaliva ter v vključitev modula metode sledenja delcev v modela POM in ECOMSED, saj bi nam to omogočilo natančnejše simulacije transporta sedimentov in polutantov v modelskih področjih.

Viri

- Pugh, D. T., *Tides, Surges and Mean-Sea Level*, Wiley, 1987
- Jerome, M., Ličer, M., Vodopivec, M., *Prognoziranje plimovanja morja 2010*, ARSO, Ljubljana 2009
- Pawlowicz, R., Beardsley, B., Lentz, S., *Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T-TIDE*, Computers and Geosciences, 28, 929 - 937, Pergamon 2002
- Drushka, K. et al., Observations of the 2004 to 2006 Indian Ocean tsunamis from a pressure gauge array in Indonesia, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, July 2008
- Bacopoulos, P., Hagen, S. C., Tidal Simulations for the Loxahatchee River Estuary Southeastern Florida: On the Influence of the Atlantic Intracoastal Waterway versus the Surrounding Tidal Flats, *J. Water, Port, Coast., and Oc. Engrg.*, Vol. 135, No.6, November 2009
- Woodson, C. B., et al., *Local diurnal upwelling driven by sea breezes in northern Monterey Bay*, Continental Shelf Research, Vol. 27, 2289 - 2302, Elsevier 2007
- Blanton B. O., et al., *Barotropic tides in the South Atlantic Bight*, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109, December 2004
- Picado, A., Dias, J. M., Fortunato, A. B., *Effect of flooding the salt pans in the Ria de Aveiro*, *Journal of Coastal Research*, Special Issue 56, 1395 - 1399, 2009
- Dupont, F., Hannah, C. G., Greenberg, D., *Modelling the Sea Level of the Upper Bay of Fundy*, *Atmosphere-Ocean*, Vol. 43 (1), 33 - 47, 2005
- Neill, S. P., Hashemi, M. R., Elliott, A. J., *An enhanced depth-averaged tidal model for morphological studies in the presence of rotary currents*, *Continental Shelf Research*, Vol. 27, 82 - 102, 2007
- Lee, T. L., *Back-propagation neural network for long-term tidal predictions*, *Ocean Engineering*, Volume 31, Issue 2, February 2004, Pages 225-238

- Lee, T. L., and Jeng, D. S., *Application of artificial neural networks in tide-forecasting*, Ocean Engineering, Volume 29, Issue 9, August 2002, Pages 1003-1022
- Lee, T. L., Tsai, C. P, Jeng, D. S., Shieh, R. J., *Neural network for the prediction and supplement of tidal record in Taichung Harbor*, Taiwan. Advances in Engineering Software 2002, 33/6, pp. 329-338.
- Tirozzi, B. et. al. (Eds.), *Neural Networks and Sea Time Series*, Birkhäuser, 2006
- Tsai, C.-P., Lee, T. L., *Back-Propagation Neural Network in Tidal-Level Forecasting*, J. Wtrwy., Port, Coast., and Oc. Engrg. Volume 125, Issue 4, pp. 195-202 (July/August 1999)
- Vaziri, M., *Predicting Caspian Sea surface water level by ANN and ARIMA models*, J. Wtrwy., Port, Coast., and Oc. Engrg. 1997, 123/4, pp 158-162.
- Vijay, R., Govil, R., *Tidal Data Analysis using ANN*, Proc. Of World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 18, December 2006

Opazovanje seizmičnosti na območju velikih pregrad

Peter Sinčič*, Renato Vidrih**, Matjaž Godec*

Povzetek

Vsako leto v Zemljini notranjosti nastane več močnih potresov z obsežnimi posledicami tudi na večjih objektih. Mednje štejemo tudi velike pregrade, od katerih so mnoge zgrajene na potresno aktivnih območjih. V Sloveniji smo se odločili, da je za zagotavljanje varnosti pregrad potrebno nadaljevati opazovanje njihove seizmičnosti. V Uradnem listu RS je bil leta 1999 objavljen Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velikih pregrad, ki med drugim opredeljuje tudi pojem velike pregrade, predpisuje načine opazovanja seizmičnosti, tehnične normative seizmoloških instrumentov ter pogoje, ki jih mora izpolnjevati izvajalec opazovanja vpliva seizmičnosti na velike pregrade. Nadzor nad izvajanjem opazovanja seizmičnosti pa opravljajo inšpektorji, pristojni za varstvo okolja. Izkušnje so pokazale, da je pravilnik potrebno spremeniti, za kar si v zadnjih letih tudi prizadevamo, saj bo le tako lahko proces opazovanja seizmičnosti stekel nemoteno.

Uvod

Letno je na Zemlji zabeleženih preko 3 milijone potresov. Večina teh je tako šibkih, da jih ljudje ne čutimo. Toda vsaj 900 potresov letno je močnejših od magnitude 5. Takšni potresi lahko povzročijo tudi obsežne posledice. Od leta 1900 je v potresih izgubilo življenje več kot 2 milijona ljudi, posledice potresov v posameznih državah pomenijo pravo gospodarsko katastrofo. Mnoge pregrade po svetu so zgrajene na potresno aktivnih območjih in po znanih podatkih je 74 pregrad utrpelo poškodbe zaradi potresov, od tega 27 pregrad hude ali zelo hude poškodbe (Slika 1). Zaradi potresa so tako utrpele poškodbe tudi nam bližnje pregrade v Makedoniji, Romuniji in Veliki Britaniji.

Močni potresi vedno porajajo vprašanja, na katera pogosto ni moč dati točnih odgovorov. To še posebej velja v primeru velikih pregrad, kjer imamo postavljenih premalo instrumentov, in sicer tako za beleženje potresov kot za beleženje odziva pregrade.

Brez ustreznega zapisa ni možno opraviti primerjave v potresu poškodovane pregrade s predpostavljenimi projektnimi parametri in kriteriji; prav tako pa je tudi otežen sprejem racionalnih odločitev za sanacijo in ojačitev konstrukcije. Dodatne težave se pojavljajo, kadar potresi ne povzročajo velikih in vidnih poškodb. V takih primerih je za oceno uporabnosti konstrukcije za zahtevnimi pregledi konstrukcije potrebno opraviti še posebne meritve.

Poznavanje podatkov o gibanju tal ob potresu na ožjem območju, kjer leži konstrukcija, in poznavanje obnašanja konstrukcije sta temeljnega pomena za oceno potresne nevarnosti, in sicer tako za določitev potresnih parametrov in kriterijev kot tudi za vse ostale dinamične preiskave. Brez teh podatkov so vse nadaljnje preiskave in analize zasnovane le na predpostavkah. Najboljši način za reševanje teh problemov je postavitve mreže večjega

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

**dr.. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, Ljubljana

števila inštrumentov, in sicer tako za beleženje gibanja tal kot tudi za beleženje odziva konstrukcije v primeru potresa.

V potresnem inženirstvu raste potreba po podatkih, ki jih lahko pridobimo s postavljenimi mrežami instrumentov za beleženje močnih potresov. Tako pridobljeni podatki so bistveni pri aktivnostih za zmanjševanje potresne ogroženosti in tudi za zmanjševanje poškodb tako opazovanih konstrukcij pri morebitnih katastrofalnih potresih. Pridobljeni rezultati so enako pomembni za teoretične in sploh bazične raziskave na področju potresnega inženirstva kot za uporabne raziskave na tem področju.

V zadnjem času je seizmološko opazovanje konstrukcij na splošno aktivnost, ki ji v seizmologiji in potresnem inženirstvu dajemo velik poudarek. In to ne brez razloga – tako dobljeni podatki bistveno pripomorejo k povečanju varnosti ob potresu. Poleg tega pa so ti podatki osnova za pripravo zakonodaje na tem področju. Tako pripomoremo k projektiranju potresno odpornejših konstrukcij, kar neposredno vpliva na manjšanje potresne ogroženosti (Godec, Vidrih, 2003).

Prispevek je posvečen problemom seizmološkega opazovanja pregrad, zato so v nadaljevanju obravnavane le teme, vezane na opazovanje pregrad. Podobno pozornost pa ponekod po svetu posvečajo tudi drugim velikim inženirskim objektom (mostovi, vodni rezervoarji, objekti v sklopu jedrskih elektrarn, izjemno pomembni objekti ter objekti, ki se gradijo v večjih serijah).

Splošne zahteve potresnega opazovanja

Potresi so lahko tako po načinu svojega nastanka kot tudi po svojem delovanju na objekte kompleksen pojav, ki vsebuje potencialno nevarnost, da v svojem zelo kratkem trajanju povzroči porušitve objektov ali spremembe oblička Zemlje velikih razmer. Potrebno je poudariti, da je ena največjih potencialnih nevarnosti nastanka škode velikih razsežnosti pri potresih prav porušitev pregradnih objektov. Takšna porušitev ima še večje posledice, če so ogrožena gosto naseljena in visoko urbanizirana področja.

Stalna nevarnost nastanka potresa od nas zahteva, da s preventivnimi aktivnostmi pričnemo že v fazi načrtovanja in projektiranja objekta. Učinki preventivnih in zaščitnih ukrepov so učinkovitejši in racionalnejši od tistih, ki bi bili uporabljeni pri odstranjevanju posledic učinkov potresa.

Velika pregrada je posebej pomemben element tako pri ocenjevanju potresne ogroženosti širšega območja pregrade kot tudi pri opredeljevanju potresne ogroženosti območja, kjer bo pregrada postavljena. Mnogo pregrad po svetu je postavljenih na območjih velike potresne aktivnosti ali pa v neposredni bližini področij, kjer so v preteklosti že bili močni potresi. Pri tem je potrebno upoštevati možnost nastanka ne le naravnih temveč tudi lokalnih induciranih potresov, nastalih med polnjenjem akumulacije. Vsi ti potresi lahko povzročijo popolno ali delno porušitev pregrad.

Izmed mnogih poškodovanih pregrad zaradi »naravnih« potresov naj omenimo le pregrado Habgen v Montani (ZDA) leta 1958, pregrado Eklutna na Alaski (ZDA) leta 1964, pregrado Van Norman v Kaliforniji (ZDA) leta 1971 in pregrado Shih Kang (Ši-Gang) na Tajvanu leta 1999.

Najpomembnejši podatki o gibanju tal in odzivu pregrade ob potresu se pridobijo s postavitvijo instrumentov za beleženje potresov. Brez zapisa potresa ni možno primerjati odzivanja pregrade med potresom s projektnimi potresnimi parametri, kot tudi ni moč sprejeti sklepov za nadaljnjo varno uporabo ali pa racionalno sanacijo pregrade po potresu (Godec in sod., 2004).



Slika 1 - Ob potresu na Tajvanu leta 1999 se je podrla na prelomu zgrajena pregrada Ši-Gang (foto: R. Vidrih).

Za določitev odziva pregrade je potrebna postavitev ustreznega števila instrumentov na pregradi in v njeni neposredni okolici. Število instrumentov je odvisno od več faktorjev, in sicer od: seizmotektonskih karakteristik območja, pogojev temeljenja, tipa in namena pregrade, materiala pregrade... Zato ni moč kar splošno določiti števila potrebnih instrumentov. Zaželeno je, da se izdelajo predhodne študije in analize za določitev tako optimalnega števila postavljenih instrumentov kot tudi mest postavitve.

Že leta 1972 je IZIIS (Inštitut za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo) iz Skopja na območju tedanje Jugoslavije pričel s postavitvijo mreže instrumentov za beleženje močnih potresov. Na začetku je bilo v tej mreži postavljenih 100 instrumentov (akceleroграфи SMA-1 – Kinometrics, ZDA). Kasneje se je to število kontinuirano povečevalo in na koncu osemdesetih let prejšnjega stoletja doseglo nekaj več kot 300 instrumentov. Ti instrumenti so bili postavljeni na osnovni hribini, na karakterističnih tleh in na različnih tipih konstrukcij (Mihailov, 1985, 1990, Mihailov, Trnkoczy, 1990).

Seizmološko opazovanje pregrad

Seizmološko opazovanje hidrotehničnih objektov, posebno pregrad, je najracionalnejša oblika in metoda zaščite pred učinki potresov. Podatki, ki se pridobijo z registracijo potresa na teh instrumentih, se uporabljajo kot temeljni podatki za definiranje potresnih parametrov in kasneje pogojev za projektiranje. Poleg tega – brez ustrezne registracije ni možno opraviti primerjave obnašanja objekta (pregrade) v času potresa s projektnimi potresnimi parametri. Prav tako tudi ni moč sprejeti odločitve za nadaljnjo varno uporabo ali nujnost sanacije pregrade takoj po potresu.

Iz navedenega je priporočeno izvajanje potresnega opazovanja na vseh hidrotehničnih objektih, še posebej na visokih pregradah, ki so zgrajene na potresno aktivnih območjih.

Skupno število instrumentov na pregradah po svetu je majhno. Potrebno bo še precej časa za popolno definiranje obnašanja konstrukcij – odziva pregrad ob potresu. Zato je zelo pomembno, da se s pomočjo tega relativno majhnega števila instrumentov dobi največji možni nabor informacij. Potrebno pa je vložiti še večje napore in pridobiti razumevanje investitorjev, da se število instaliranih instrumentov na obstoječih pregradah poveča.

Povečanje števila instrumentov je posebej pomembno za pregrade zgrajene po najnovejših tehnologijah in metodah projektiranja. Tehnično in ekonomsko je to upravičeno. Stroški instrumentiranja so zanemarljivi glede na celotno investicijo. Po drugi strani nam pa tako postavljeni instrumenti omogočajo pridobitev osnovnih podatkov o obnašanju pregrade ob potresu in sprejemanje ustreznih odločitev o nadaljnji uporabi pregrade ali potrebi za njeno sanacijo neposredno po potresu. Istočasno tako pridobimo realne podatke o učinkovitosti novih materialov ali metod projektiranja. Žal je za potresno inženirstvo potres edini pravi eksperiment.

Pomemben element pri seizmološkem opazovanju so izhodni podatki instrumentov. Zaželeno je, da so ti v takšni obliki, da se iz njih na licu mesta (neposredno po potresu) pridobi informacija o moči potresa in odzivu konstrukcije. Na osnovi tega je moč sprejeti odločitev o nadaljnji uporabi pregrade. Na primer, če je pregrada projektirana za pospešek $a = 0,25$ g, kot projektni parameter, a je bila maksimalna amplituda zabeleženega pospeška manjša od te vrednosti, potem se lahko z veliko zanesljivostjo sprejme odločitev o nadaljnji uporabi brez posebnih potrebnih ojačitvenih ali sanacijskih del. Če pa je bil registriran pospešek večji od 0,25 g, pa je priporočljivo, tudi kadar ni vidnih znakov poškodovanosti pregrade, da se naredi posebna študija in da se preveri velikosti sil in deformacij pregrade zaradi takšne potresne sile.

V zadnjih treh desetletjih je bil narejen velik napredek v poznavanju delovanja potresa na betonske in zemeljske pregrade. Razvoj instrumentov za točno beleženje realnih premikov zaradi potresa kot tudi napredek v računalniško analitičnih postopkih vodita k boljšim ocenam potresnega odziva pregrad. Mnogo naporov je bilo vloženi v pripravo analitičnih in numeričnih metod za simuliranje odziva pregrade na potres, ki je v splošnem predstavljen z odgovarjajočim pospeškom. Bistven napredek je napravljen tudi pri definiranju potresnih vhodnih podatkov za opredeljevanje izpostavljenosti konstrukcije potresu.

Menimo, da je neobhodno potrebno, da projektanti bolje poznajo rezultate in pomen zabeleženih podatkov – realnega obnašanja pregrade pri delovanju potresnih sil. Le tako bodo lahko te podatke uporabljali v vsakodnevni praksi. Tako bomo pomagali pripraviti pogoje za čim racionalnejši pristop pri potresno odpornem projektiranju pregrad (Huber, 1995, Zadnik, 1997).

Zaščita pred potresi – tehnična regulativa

Tehnični predpisi in standardi so ena od osnovnih mer zaščite pred potresi. Obstaja več takšnih predpisov. Vendar, na žalost, le-ti ne morejo zaobjeti vseh področij in faz projektiranja in planiranja, ki lahko dvignejo nivo zaščite pred potresi. Zaradi specifične narave nastanka potresa in njegovega delovanja na objekte predpisi ne morejo neposredno zajeti vseh vplivov potresa, od katerih so neposredno odvisni obnašanje, stabilnost in tudi ranljivost objekta. Zato je potrebno (poleg upoštevanja tehničnih predpisov kot mere zaščite) tudi iskati nove vsebine in oblike zaščite pred potresi v vseh področjih tehničnih strok.

Potresno opazovanje pregrad je relativno zapleten proces predvsem zaradi nezadostne definiranih narave samega potresa in obnašanja objektov pod njegovim vplivom. V več državah obstajajo predpisi in normativi za potresno opazovanje konstrukcij – v bistvu so definirani kriteriji za potresno opazovanje.

V bivši Jugoslaviji je bil v začetku leta 1988 sprejet Pravilnik o tehničnih normativih za seizmično opazovanje visokih pregrad (UL SFRJ 6/1988), ki je še vedno v veljavi v nekaterih državah, nastalih iz bivše SFRJ. Koncem leta 1999 je bil v Sloveniji sprejet Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade (UL RS 92/99), s čimer je prenehala veljavnost prejšnjega pravilnika.

Obveznost iz Pravilnika SFRJ je bilo opazovanje (v tem primeru instrumentiranje) širšega območja pregrade in akumulacije kot tudi same pregrade. To opazovanje je sestavljeno iz dveh delov:

- potresno opazovanje inducirane seizmičnosti,
- potresno opazovanje za beleženje dinamičnega obnašanja tal, temeljev in telesa pregrade ob močnem potresu.

Za zagotavljanje teh informacij, ki so po naravi različne, so potrebne preiskave in opazovanje pregrad s pomočjo:

- lokalne mreže seizmoloških postaj,
- seizmografov,
- instrumentov za beleženje močnih potresov - akcelerografov.

Lokalna seizmološka mreža je sestavljena iz najmanj treh premičnih seizmoloških opazovalnic, ki so razporejene tako, da pokrivajo opazovano območje in omogočajo vrednotenje lokalne potresne aktivnosti, lociranje epicentrov in določitev energetskih karakteristik potresa. Delo takšne mreže se mora začeti vsaj dve leti pred pričetkom izgradnje pregrade, nadaljevati pa se mora do zaključka polnjenja oziroma še leto dni po pričetku obratovanja. Zaželeno je, posebej na območjih velike potresne aktivnosti, da takšna mreža deluje kot stalna mreža – brez prekinitve. Pri tem opazovanju je zelo pomembno obdobje polnjenja akumulacije zaradi možnosti nastanka induciranih lokalnih potresov (naravno stanje se poruši zaradi spremembe napetostnega stanja v tleh).

Instrumenti za beleženje močnih potresov, postavljeni na pregradi, nam omogočajo pridobivanje osnovnih podatkov o obnašanju pregrade v času potresa oziroma nam omogočajo sprejem odločitev o nadaljnji uporabi pregrade ali potrebi po njeni sanaciji neposredno po potresu.

Zaradi specifičnih pogojev lokacij posameznih pregrad (geološke, seizmološke ...), posebnega tipa konstrukcije pregrade, velikosti akumulacije, kot tudi zaradi resnosti posledic, ki lahko nastanejo zaradi poškodb pregrade, je včasih potrebno izdelati podrobno študijo o optimalnem številu in lokaciji instrumentov za beleženje močnih potresov.

Dosedanje izkušnje po svetu nam govorijo, da je inducirana seizmičnost pri polnjenju akumulacij v glavnem v neposredni povezavi z velikimi pregradami (višjimi od 100 m). Medtem pa so manjše pregrade, glede na njihovo veliko število relativno visoka potencialna nevarnost. Zato stroka predlaga, da je lokalna mreža seizmoloških postaj vezana le na zelo visoke pregrade, mreža instrumentov za beleženje močnih potresov pa na vse pregrade na potresno aktivnih območjih. Zato bodo v nadaljevanju prikazani le nekateri od splošnih principov za instrumentiranje pregrad z instrumenti za beleženje močnih potresov.

Potresno opazovanje pregrade in akumulacije se načrtuje, projektira, izvaja in organizira za vsak objekt posebej. Pri tem je obvezno, da se projekt opazovanja seizmičnosti izdelava na osnovi zahtev pravilnika in morebitnih podrobnejših raziskav lokacije pregrade.

Opazovanje seizmičnosti

Sestavni del ocene potresne nevarnosti območij in lokacij pregradnih objektov je opazovanje seizmičnosti pregradnih objektov. Poleg tega je to opazovanje bistveno za presojo potresne odpornosti objektov. Tako dobljeni podatki omogočajo smotrne projektne odločitve pri novogradnjah, pri obstoječih pregradah pa omogočajo čim stvarnejše odločitve pri popravilih ali ojačevanjih po morebitnih poškodbah zaradi potresov. Zapisi dejanskih potresov nam pomenijo edine prave rezultate. Tako dobljene rezultate uporabljamo za presojo projektnih obtežb, obnašanja in celovito oceno varnosti pregrad (Fajfar, Zadnik, 1996).

Na osnovi Pravilnika o tehničnih normativih za seizmično opazovanje visokih pregrad (UL SFRJ 6/88) in Zakona o varstvu okolja (UL RS 32/93) smo se zato v Sloveniji odločili, da je za zagotavljanje varnosti pregrad potrebno nadaljevati z njihovim potresnim opazovanjem. Pri pripravi pravilnika so bile uporabljene tudi izkušnje drugih držav. Izkušnje s potresnim opazovanjem imajo med drugimi v Avstraliji, Avstriji, Kanadi, Italiji, Japonski, Švici in ZDA.

Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velikih pregrad objavljen v Uradnem listu RS št. 92 leta 1999, predpisuje:

- način opazovanja inducirane seizmičnosti, ki jo povzroča voda v zbiralniku, zajezena z veliko pregrado,
- način opazovanja dinamičnega obnašanja telesa in temelja velikih pregrad, zbiralnikov oziroma prostora za njimi ter prostega površja v njihovi neposredni bližini ob delovanju potresov,
- tehnične normative seizmoloških instrumentov in normative za njihovo vzdrževanje in
- pogoje, ki jih mora izpolnjevati izvajalec opazovanja vpliva seizmičnosti na velike pregrade.

Velika pregrada (v nadaljnjem besedilu: pregrada) po tem pravilniku je:

- vsaka pregrada, ki je višja od 15 metrov ali
- vsaka pregrada med 10 in 15 metri višine, ki izpolnjuje vsaj enega od naslednjih pogojev:
 - dolžina krone ni manjša od 500 metrov,
 - vsebina zbiralnika, ki ga ustvari pregrada, ni manjša od enega milijona kubičnih metrov,
 - maksimalna visoka voda, ki vpliva na pregrado, ni manjša od 2000 kubičnih metrov na sekundo,
 - pregrada je imela težke pogoje temeljenja in
 - pregrada je neobičajna konstrukcija.

Višina pregrade je opredeljena v skladu s privzeto terminologijo velikih pregrad, in sicer se višina pregrade meri od najnižje točke temeljenja do vrha pregrade. Namen pravilnika je zagotoviti opazovanje inducirane seizmičnosti in opazovanje dinamičnega obnašanja pregrade.

Pri tem pomeni:

- opazovanje inducirane seizmičnosti zaznavanje in zapisovanje sprememb potresne dejavnosti, ki nastajajo zaradi vode v zbiralniku, zajezene v prostoru za veliko pregrado,

- opazovanje dinamičnega obnašanja pregrade pa zaznavanje in zapisovanje odziva telesa in temelja pregrade ter prostega površja okoli nje na potres.

Zavezanec za zagotovitev opazovanja inducirane seizmičnosti in opazovanja dinamičnega obnašanja pregrad je po pravilniku lastnik pregrade. Zavezanec za postavitev instrumenta oziroma instrumentov za opazovanje inducirane seizmičnosti (seizmograf) in instrumentov za opazovanje dinamičnega obnašanja pregrade (akcelero graf) je prav tako lastnik pregrade. Zavezanec za zagotavljanje izvajanja obratovalnega monitoringa je upravljalec pregrade.

Inducirana (trigerirana/prožena) seizmičnost

Pojav potresov, ki so povezani s človeško dejavnostjo, imenujemo inducirana ali, bolj pravilno, trigerirana seizmičnost. Le-ta se manifestira v širokem prostorsko-časovnem in energetskem razponu: od mikropotresov v neposredni bližini vira sprememb do rušilnih potresov z žariščem na globini večji od deset kilometrov.

Poznamo več vzrokov za inducirano (trigerirano) seizmičnost. Najbolj pogosti so:

- vodna zajetja,
- injektiranje tekočin ali plinov v Zemljino notranjost,
- črpanje nafte in plina,
- rudarjenje in kamnolomi,
- črpanje geotermalne energije,
- podzemni jedrski poskusi.

Potresi, ki so sproženi z vodnimi zajetji, sodijo med močnejše. Do sedaj je nedvomno ugotovljen in dokumentiran pojav sprememb potresne aktivnosti na vsaj 120 vodnih zajetjih. Najmočnejši so bili:

- Koyna, India, 10. 12. 1967, $M = 6,5$
- Kremasta, Grčija, 05 .02. 966, $M = 6,3$
- Kariba, Rodezija-Zambija, 23. 09. 1963, $M = 5,8$

V vseh teh primerih je bila globina vode večja od 80 m. Enostavna statistika poda, da je vsako petdeseto vodno zajetje z globino vode večjo od 80 m sprožilo potres magnitude 5,7 ali več.

Sloveniji najbližja primera sta v Piave de Cadore (Italija), kjer je 13. 01. 1960 nastal potres, in Vajont v Italiji s potresi magnitude okoli 3.

Čeprav je raziskanost teh pojavov in znanje o njihovih vzrokih (zaenkrat) precej pomanjkljivo, je precej verjetno, da potresov ne povzroča človeška dejavnost. V območju, kjer taki potresi nastajajo, morajo obstajati tektonsko ugodni pogoji za nastanek potresov in spremembe seizmičnosti.

Zaenkrat sta ugotovljena dva možna mehanizma, ki lahko sprožita spremembo naravne seizmičnosti. V obeh primerih gre za motnje v naravnem napetostnem stanju. Teža vode v zajetju izvaja dodaten pritisk v vertikalni smeri. Potresi, sproženi s tem mehanizmom, so praviloma šibkejši (ker je masa vode tudi pri največjih zajetjih relativno majhna v primerjavi z maso kamnine pod zajetjem) in se pojavljajo kmalu (nekaj dni ali mesecev) po začetku polnjenja zajetja na majhnih globinah (do 3 km) in v neposredni bližini. Zelo pogosto je število potresov povezano z višino vode ali s hitrostjo polnjenja in praznjenja zajetja. V določenih pogojih je sprememba taka, da se naravna seizmičnost zmanjša. Tako je v pogojih, kjer je največja napetost vertikalna ali ima strm vpad, pričakovati pojav novih

potresov (območja, v katerih prevladujejo normalni in zmični prelomi), ker teža vode poveča naravne napetosti. V območjih, v katerih je največja napetost horizontalna, je pogost pojav zmanjšanja naravne seizmičnosti, ker teža vode deluje nasprotno od naravnih pogojev.

Drugi mehanizem je povečanje pornega pritiska podzemnih voda, ki zmanjšuje upor kamnine ob prelomu proti zmičnim napetostim. Potresi, proženi na ta način, nastajajo v večjih globinah (tudi več kot 10 km), lahko tudi na večjih oddaljenostih (nekaj deset kilometrov) od vodnega zajetja. Ker voda potrebuje precej časa, da prodre do globin (odvisno od permeabilnosti kamnin), se taki potresi lahko prvič pojavijo tudi več let po polnjenju (do 20 let). Potresi večjih magnitud nastajajo ob večjih prelomih. Vodne zajezitve so praviloma v rečnih dolinah, ki so nastale z erozijo v območjih z aktivno tektoniko in jih večinoma sekajo številni prelomi, ali so ob njih celo nastale.

Dinamika pojava trigerirane seizmičnosti je lahko različna. Zaenkrat so spoznali nekaj »tipičnih« obnašanj:

- potresi takoj po polnjenju (najbolj pogosti) so povezani s spremembo nivoja vode in se včasih prenehajo ponavljati po nekaj letih,
- stalni potresi (redkejši pojav) kažejo na stalno spremembo seizmičnosti,
- seizmičnost v kraških območjih, ki je včasih tudi v povezavi z zelo majhnimi zajetji,
- aseizmična zajetja, pri katerih pride do zmanjšanja potresne aktivnosti in
- mešana zajetja, v katerih s časom pride do prehoda iz enega tipa v drugega.

Pojav inducirane seizmičnosti je nevarnost tako za sam jez kakor tudi za okolico. V primeru močnejšega potresa lahko pride do poškodb pregrade in iztekanja vode ali do plazov v vodno zajetje, ki hitro dvignejo vodno gladino in sprožijo vodni val. Tveganju so posebej izpostavljena območja z nizko naravno seizmičnostjo, kjer pregrade niso projektirane za močnejše potrese, kot je to praviloma v območjih z visoko seizmičnostjo in močnimi potresi v preteklosti.

Poznavanje problema inducirane seizmičnosti v vodnih zajetjih je pomanjkljivo in ni možno z gotovostjo trditi, da bi bilo kakšno vodno zajetje kjerkoli na svetu varno pred možnostjo induciranih potresov. Kontinuirano spremljanje potresne aktivnosti v bližini vodnega zajetja pripomore k boljšemu razumevanju pojava trigerirane seizmičnosti in mehanizmov, ki jo povzročajo, kot tudi tektonskih pogojev, v katerih je ta pojav bolj ali manj verjeten. Za opazovanje šibkih potresov je nujna uporaba občutljivih instrumentov v neposredni bližini, da lahko ugotovljamo nastanek potresov in ga skušamo korelirati z drugimi parametri (višina vode, hitrost sprememb nivoja vode ...). Za vse do sedaj ugotovljene močne trigerirane potrese je ugotovljeno, da so sledili številnim manjšim potresom. Opazovanje trigeriranih potresov je specifično področje seizmologije, v katerem se strokovnjaki strinjajo, da je napovedovanje potresov mogoče. Nekateri avtorji so celo mnenja, da je trigerirano seizmičnost mogoče kontrolirati z režimom delovanja vodne pragrae.

Opazovanje inducirane seizmičnosti se mora izvesti na pregradah, katerih višina je večja od 40 metrov, in sicer:

- pregrada, katere višina je večja od 100 m, mora imeti na prostem površju v oddaljenosti do pet kilometrov od obale zbiralnika lokalno mrežo najmanj treh seizmografov,
- pregrada, katere višina je med 40 in 100 m, mora imeti na prostem površju v oddaljenosti do pet kilometrov od obale zbiralnika najmanj en seizmograf.

Za zagotovitev optimalnega zaznavanja in zapisovanja ter določanja parametrov lokalnih potresov je potrebno izdelati poseben projekt, v katerem se določi lokacije

seizmografov, vrsto opreme in način njene postavitve. Posebni projekt odobri ministrstvo, pristojno za varstvo okolja. Ta posebni projekt je sestavni del projekta za pridobitev dovoljenja za poseg v prostor za graditev pregrade.

Lastnik pregrade mora zagotoviti začetek opazovanja inducirane seizmičnosti najmanj tri leta pred začetkom polnjenja zbiralnika oziroma prostora za pregrado ter zagotavljati to opazovanje najmanj deset let po (prvi) zapolnitvi do kote polnitve, določene s projektom za pridobitev dovoljenja za poseg v prostor za graditev pregrade.

Ministrstvo lahko po preteku predpisane dobe na predlog zavezanca odloči, da opazovanje inducirane seizmičnosti preneha, če iz analize z opazovanjem dobljenih podatkov izhaja, da se seizmičnost ozemlja, na katerem stoji pregrada, zaradi pregrade ni spremenila. V pravilniku je opredeljena oprema seizmografov.

Opazovanje dinamičnega obnašanja pregrade

Zahteve pravilnika:

- za pregrade z višino 60 ali več metrov mora biti postavljena mreža najmanj štirih akceleroagrafov, od katerih je eden v temelju, dva v telesu pregrade, eden pa na prostem površju,
- za pregrade višine od 30 do 60 metrov mora biti postavljena mreža najmanj treh akceleroagrafov, od katerih je eden v temelju, eden v telesu pregrade, eden pa na prostem površju,
- za druge pregrade morata biti postavljena najmanj dva akceleroagrafa, od katerih je eden v temelju pregrade, drugi pa na prostem površju.

Vsi akceleroografi, postavljeni na posamezni pregradi, morajo biti povezani v enoten sistem merjenja in zbiranja podatkov o opazovanju dinamičnega obnašanja pregrade. Pravilnik predpisuje opremo akceleroagrafa in sestavine oz. lastnosti.

Namestitev instrumentov

Instrumenti na prostem površju

Zapisujejo potresno nihanje tal, na katero ne vpliva obstoj pregrade in vodnega zajetja. Prikazujejo nihanje, ki bi bilo na območju pregrade, če le-te ne bi bilo. Instrumenti morajo biti postavljeni čim bližje pregradi, vendar dovolj daleč, da lahko zanemarimo vpliv objekta na zapise. Ta oddaljenost naj bi bila enaka dvojni višini pregrade.

Instrumenti v temelju pregrade

Te instrumente instaliramo na značilna temeljna tla. Lokacijsko se postavljajo v celice na betonskih temeljih, ki omogočajo povezavo z osnovno hribino, na kateri stoji pregrada.

Instrumenti v/na telesu pregrade

S temi instrumenti se meri odziv konstrukcije. Osnovno mesto je na največji višini pregrade, kjer pričakujemo največje pomike objekta.

Zagotavljanje opazovanja

Opazovanje inducirane seizmičnosti in dinamičnega obnašanja pregrade lahko za zavezanca iz pravilnika izvaja pravna ali fizična oseba, ki ima pooblastilo ministrstva, pristojnega za varstvo okolja. Pooblastilo navedenega ministrstva lahko pridobi pravna ali fizična oseba, ki ima registrirano geofizikalno ali drugo ustrezno dejavnost opazovanja, meritev in kartiranja (seizmološki opazovalec).

Ministrstvo izda pooblastilo ob izpolnjevanju pogojev iz pravilnika v obsegu, za katerega zavezanec oziroma oseba zaprosi, in sicerglede na vrsto in obseg izvajanja opazovanja.

Seizmološki opazovalec mora za pridobitev pooblastila izpolnjevati naslednje pogoje:

- da je gospodarska družba, zavod ali samostojni podjetnik,
- da ima sedež v Republiki Sloveniji.

Seizmološki opazovalec dobi pooblastilo na podlagi vloge pri ministrstvu, pristojnem za varstvo okolja. Vloga mora vsebovati podatke o prosilcu ter navedbo vrste in obsega izvajanja seizmološkega opazovanja, za katerega prosilec želi pooblastilo.

Seizmološkemu opazovalcu se lahko izda pooblastilo za največ šest let. Pooblastilo se lahko obnovi na podlagi ponovne vloge prosilca, če izpolnjuje pogoje, določene v 26. členu tega pravilnika.

O opazovanju inducirane seizmičnosti ter opazovanju dinamičnega obnašanja pregrade med potresi je seizmološki opazovalec dolžan vsako leto izdelati letno poročilo v predpisani obliki, najkasneje do 31. marca za preteklo leto.

Seizmološki opazovalec je dolžan ob vsakem potresu, pri katerem vršni pospešek na prostem površju preseže vrednost 5 odstotkov zemeljskega pospeška, pripraviti posebno poročilo, ki mora vsebovati vse izvirne registracije potresnega nihanja in pripadajočo obdelavo. To poročilo je potrebno dostaviti ministrstvu, pristojnem za varstvo okolja, v roku 30 dni po dogodku. Poročila mora zavezanec hraniti deset let. Nadzor nad izvajanjem tega pravilnika opravljajo inšpektorji, pristojni za varstvo okolja.

Zavezanci za izvajanje seizmološkega opazovanja morajo za obstoječe pregrade zagotoviti opazovanje v skladu s tem pravilnikom najkasneje v enem letu po njegovi uveljavitvi. V enakem roku morajo zavezanci uskladiti z določbami pravilnika tudi obstoječe sisteme seizmološkega opazovanja, ki so bili postavljeni po Pravilniku o tehničnih normativih za seizmično opazovanje visokih vodnih pregrad (Uradni list SFRJ številka 6/88).

Ne glede na določbe 8. člena tega pravilnika morajo zavezanci zagotoviti tudi opazovanje inducirane seizmičnosti za pregrade iz 5. člena tega pravilnika. To opazovanje mora trajati najmanj tri leta, po preteku tega časa pa lahko preneha ob predpisanih pogojih in po predpisanem postopku.

Potres potresnega opazovanja

Za učinkovito in zanesljivo spremljanje seizmičnosti lokacije pregrade in dinamičnega obnašanja same pregrade je potrebno izdelati poseben projekt izvajanja potresnega opazovanja pregrade.

Osnovni parametri za izdelavo takšnega projekta so razdeljeni v dve skupini:

- globalni parametri, ki jih definira pravilnik, in
- parametri, ki so opredeljeni z lokacijo in samo konstrukcijo pregrade.

Prva skupina parametrov je opredeljena v navedenem pravilniku. Kot taki morajo biti upoštevani v projektu potresnega opazovanja.

Parametri druge skupine se definirajo za vsako pregrado posebej in so odvisni od:

- režima seizmičnosti v mikro in makro regiji,
- dinamičnih karakteristik lokalnih tal,
- načina temeljenja,
- tipa pregrade in temeljenja,
- dinamičnih karakteristik pregrade,
- interakcije tla – temelj pregrade,

- geometrijskih značilnosti pregrade,
- možnosti izvedbe opazovanja in
- površine akumulacije.

Vsi navedeni parametri imajo parcialen in interaktiven učinek na dinamične značilnosti obnašanja pregrad. Te značilnosti, ki imajo velik vpliv na potresno opazovanje, se na pregradah običajno opredeljujejo z dinamično analizo na matematičnem modelu pregrade ali pa z raziskavami na pregradah z metodo vsiljenih vibracij ali z ambientnimi vibracijami. Tako se dobijo:

- lastne (naravne) frekvence,
- koeficient dušenja konstrukcije in
- nihajne oblike pregrade.

Na osnovi analize dobljenih rezultatov se izdelava projekt za potresno opazovanje, s katerim se definira:

- optimalni sistem potresnega opazovanja,
- lokacije instrumentov, ki bodo instalirani v telesu pregrade in
- tip seizmoloških instrumentov s karakteristikami, ki ustrezajo zahtevam Pravilnika o opazovanju seizmičnosti na območju velikih pregrad in z možnostjo njihovega telemetričnega povezovanja.

Priporoča se, da je posebej izdelan projekt telemetrične povezave postavljenih instrumentov s središčem za opazovanje pregrade.

Tako pridobljeni podatki imajo več pomenov, med katerimi posebej poudarjamo:

- verifikacijo vhodnih seizmičnih parametrov, na osnovi katerih so bili projektirani pregrada in pripadajoči objekti,
- možnost kontrole – analize nivoja potresne odpornosti pregrade glede na dobljene zapise,
- analizo učinkov akumulacije na seizmični režim v bližnji okolici,
- optimizacijo postopkov projektiranja bodočih pregrad.

Za potrebe instrumentiranja pregrad v Sloveniji so bili v letih 2003 in 2004 izdelani projekti za opazovanje posameznih pregrad.

Vsi navedeni parametri in kriteriji so bili upoštevani pri izdelavi projektov opazovanja seizmičnosti na pregradah Savskih, Dravskih in Soških hidroelektrarn. Pri izdelavi in ocenjevanju projektov so bile ugotovljene nekatere nedoslednosti in pomanjkljivosti v Pravilniku o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade, ki so bile kasneje odpravljene (ali pa so v fazi odpravljanja).

Stanje v Sloveniji

Seizmološko opazovanje pregrad v Sloveniji ima relativno dolgo zgodovino. Prvi instrumenti za beleženje močnih potresov (SMA-1, Kinematics, ZDA) so bili postavljeni na pregradah Soških elektrarn. Na HE Dobljar so bili instalirani koncem osemdesetih let prejšnjega stoletja, nekaj let kasneje pa na pregradi HE Solkan.

Zatem sta bili instrumentirani pregradi HE Fala in HE Zlatoličje na Dravi. V sredini devetdesetih je bilo začeto tudi seizmološko opazovanje na pregradi HE Moste.

V tem času je postavitve, vzdrževanje in obdelavo podatkov v Sloveniji opravljal IZIIS (Inštitut za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo, Skopje, Makedonija).

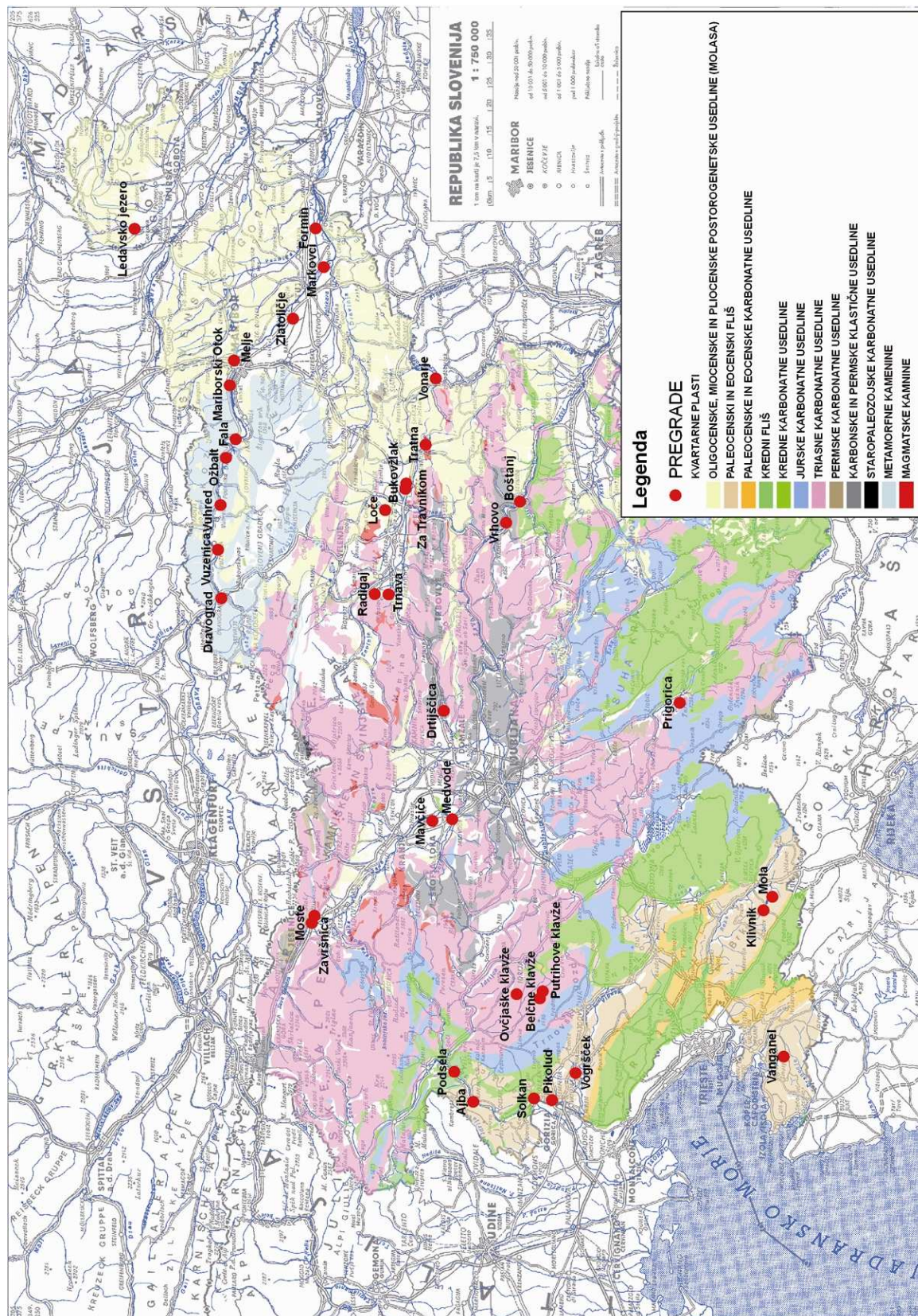
Na tem mestu bi poudarili, da so bili v tistem obdobju (do leta 1998) instrumenti postavljeni na osnovi takratnih svetovnih znanstvenih in strokovnih znanj ter izkustev na področju seizmološkega opazovanja pregrad in v skladu z zahtevami Pravilnika o tehničnih normativih za opazovanje visokih pregrad (UL SFRJ 6/1988). Novejšemu slovenskemu pravilniku žal tisto opazovanje ni ustrezalo, ker Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velikih pregrad (UL RS 92/99) zahteva instrumente nove generacije.

V letu 2009 se seizmološko opazovanje v skladu z veljavno zakonodajo izvaja na 17 pregradah:

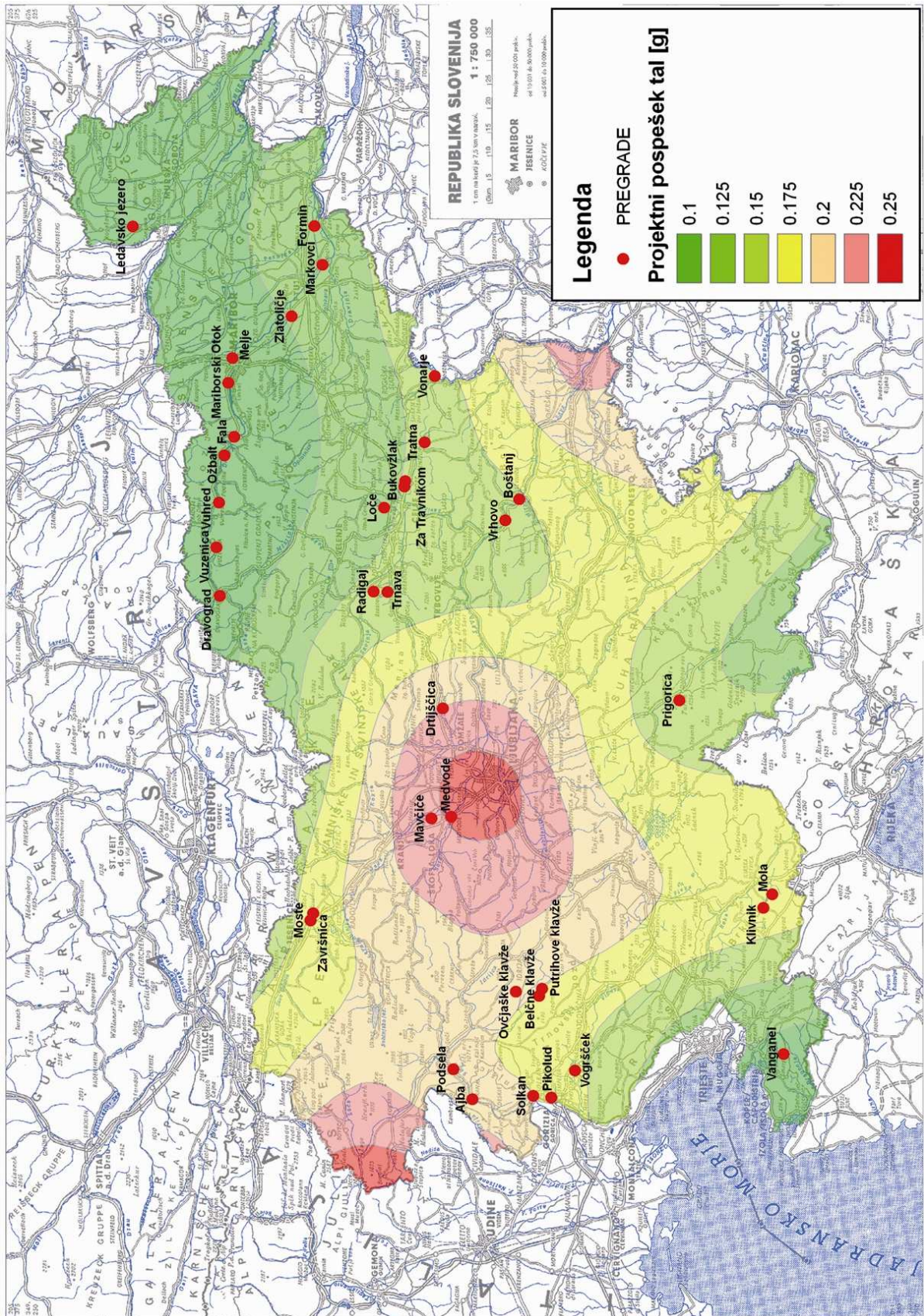
- Podsela – HE Dobljar (Soča),
- Ajba – HE Plave (Soča),
- Solkan – HE Solkan (Soča),
- Mavčiče (Sava),
- Moste (Sava),
- Medvode (Sava),
- Vrhovo (Sava),
- Dravograd (Drava),
- Vuzenica (Drava),
- Vuhred (Drava),
- Ožbalt (Drava),
- Fala (Drava),
- Mariborski otok (Drava),
- Zlatoličje (Drava),
- Markovci (Drava),
- Formin (Drava),
- Vogršček (Vogršček).

	PREGRADA	IME ZAJEZITVE	LETO IZGRADNJE	KONSTRUKTIVNA VIŠINA (m)	HIDRAVLIČNA VIŠINA (m)	DOLŽINA KRONE (m)	PROSTORNINA ZAJEZITVE (1000m ³)	DOLŽINA ZAJEZITVE (km)	VELIKA PREGRADA	ŠTEVILO AKCELEROGRAFOV	ŠTEVILO SEIZMOGRAFOV
1	Dravograd		1942	23,0	8,9	180	7000	10,0	da	2	
2	Vuzenica		1952	34,0	13,8	191	14200	12,0	da	3	
3	Vuhred		1956	33,0	17,4	167	19300	13,0	da	3	
4	Ožbalt		1960	33,0	17,4	167	12880	13,0	da	3	
5	Fala		1928	34,0	14,6	248	4095	8,0	da	3	
6	Mariborski otok		1943	33,0	14,2	184	18700	16,0	da	3	
7	Melje		1977	17,0	8,2	160	4600	6,0	da	2	
8	Zlatoličje		1968	54,0	24,8	50		17,0	da	3	1
9	Markovci	Ptujsko jezero	1968	19,0	11,5	120	23000	6,0	da	2	
10	Formin		1977	49,0	29,0	49		8,0	da	3	1
11	Moste		1952	59,6	48,0	52	6240	5,0	da	3	1
12	Završnica		1914	15,0		32	135	1,0	da	2	
13	Mavčiče		1986	38,0	17,5	118	10700	7,0	da	3	
14	Medvode	Zbiljsko jezero	1953	30,0	21,2	134	7000	6,0	da	3	
15	Vrhovo		1993	24,0	8,1	140	8650	10,0	da	2	
16	Podsela	Doblarsko jezero	1939	55,0		56	5800	8,0	da	3	1
17	Ajba		1940	39,0		72	1600	5,0	da	3	
18	Solkan		1984	35,0	22,0	138	7600	10,0	da	3	
19	Loče	Šmartinsko jezero	1970	16,0	11,0	205	6500	2,0	da	2	
20	Tratna	Slivniško jezero	1975	17,0	13,0	81	4000	2,5	da	2	
21	Račigaj	Braslovško jezero		cca 20 nepr.					da	2	
22	Trnava	Žovneško jezero	1978	13,5	7,5	333	1720	1,5	da	2	
23	Vodnarje	Sotelsko jezero	1980	19,0	13,3	120	12400	6,5	da	2	
24	Prigorica			9,8	7,3	960	8800		da	2	
25	Vogršček		1988	37,0	31,0	200	8500	2,7	da	3	
26	Pikolud		1989	9,5	7,5	250	1000	1,3	ne	0	
27	Klivnik		1987	28,0		252	4300	3,0	da	2	
28	Mola		1979	23,5		90	4300	3,7	da	2	
29	Vanganel		1964	19,0	17,3	130	244	0,2	da	2	
30	Belčne klavže		1769	18,0		35			da	0	
31	Putrihove klavže		1779	15,0		44			da	0	
32	Ovčjaške klavže		1812	16,0		35			da	0	
33	Bukovžlak			41,0		520			da	3	1
34	Za travnikom			49,0		630			da	3	1
	SKUPAJ									76	6

Preglednica 1 - Seznam pregrad v Sloveniji.



Slika 2. Lokacije velikih pregrad v Sloveniji na geološki karti



Slika 3. Lokacije velikih pregrad v Sloveniji na karti potresne nevarnosti.

Dobljeni rezultati

Od pričetka izvajanja opazovanja pregrad v Sloveniji in širše na območju tedanje Jugoslavije se je zgodilo nekaj močnih potresov ($M \geq 5,5$) in več zmernih potresov ($M \geq 3,0$). Pri tem je bilo pridobljenih več zapisov, katerih rezultati so bili neposredno uporabljeni v vsakodnevni inženirski praksi – pri projektiranju, sprejemu odločitev o možnosti nadaljnje uporabe pregrade itd.

Potres 12. 4. 1998 v Zgornjem Posočju z magnitudo $M = 5,6$ je bil zabeležen na pregradah HE Doblar, HE Solkan in HE Moste.

Ob tem poudarjamo, da je to le majhen del izbranih podatkov, ki imajo za cilj ilustrirati rezultate, ki so dobljeni s seizmološkim opazovanjem pregrad.

Zaključek

Stanje seizmološkega opazovanja pregrad v Sloveniji je relativno dobro. V zadnjem času se je na posamezne pregrade namestila nova oprema, kar je bistveno izboljšalo stanje – še vedno pa se opazovanje seizmičnosti na velikih pregradah ne izvaja v skladu zahtevami veljavne zakonodaje. Seizmološko opazovanje se izvaja na 17 pregradah od skupno 31 velikih pregrad, na katerih bi ga bilo potrebno izvajati.

Seizmološko opazovanje pregrad je vedno aktualen problem v potresnem inženirstvu. Rezultati pridobljeni z obdelavo zapisov dajo velik doprinos eksperimentalnim in analitičnim študijam dinamičnega obnašanja pregrad. Vse to vpliva na optimizacijo procesa projektiranja in izgradnjo potresno odpornih pregrad.

Število instrumentov na pregradah, ki so postavljene na potresno aktivnih območjih je relativno majhno (v svetovnih razmerah) in bo še dolgo nezadostno za popolno definiranje obnašanja konstrukcij – to je za definiranje odziva pregrade na potres. Zato je izjemno pomembno, da se iz relativno malega števila instrumentov pridobi največje možno število informacij. Nujni pa so napor, da se lastniki pregrad zavedajo svoje odgovornosti za opremljanje obstoječih pregrad.

Povečanje števila opazovanih pregrad je posebej pomembno za nove pregrade (nove tehnologije, novi pristopi k projektiranju, novi materiali). Čim prej je potrebno dobiti odziv na novosti, ki se ga lahko uporabi pri naslednjih pregradah. Prav tako pa je potrebno poudariti, da so stroški te opreme pri novih pregradah zanemarljivi glede na celotno investicijo.

Pri pripravi projekta za potresno opazovanje smo ugotovili nekatere nedoslednosti in napake v Pravilniku o opazovanju seizmičnosti na območju velikih pregrad. Posebej izstopata:

- Število instrumentov na pregradah je vezano le na višino pregrade. Ostali odločujoči parametri niso upoštevani, čeprav imajo lahko bistven vpliv na določitev minimalnega števila instrumentov na telesu pregrade. Vpliv ostalih parametrov se lahko doda vsaj kot priporočilo pri pripravi projektne dokumentacije.
- Problem pregrad v nizu (Sava, Soča, Drava) ni obdelan. Rešitev tega problema je vezana na ekonomske aspekte seizmološkega opazovanja.

Literatura

Fajfar, P., Zadnik, B., 1996. Strokovne podlage za pravilnik o seizmološkem monitoringu velikih pregrad. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.

- Godec, M., Vidrih, R., 2003. Opazovanje seizmičnosti na območju velikih pregrad, 5. posvetovanje SLOCOLD, Aktualne teme v pregradnem inženirstvu: seizmika in velike pregrade, 61-77, Ljubljana.
- Godec, M., Sinčič, P., Vidrih, R., 2004. Opazovanje seizmičnosti na območju velikih pregrad, UJMA 17-18, 208-217, Ljubljana.
- Huber, B., 1995. Earthquake Induced Damage to Dams – Classification and Statistical Evaluation. University of Technology Vienna, Vienna.
- Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade (UL RS 92/1999, UL RS 44/2003).
- Pravilnik o tehničnih normativih za opazovanje visokih pregrad (UL SFRJ 6/1988).
- Mihailov, V. 1985. Yugoslav Strong Motion Network, Physics of the Earth and Planetary Interiors 3:110-122. Elsevier Science Publishers B.. Amsterdam.
- Mihailov, V. 1990. Yugoslav Strong Motion Network- Some Experience and Results. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie. Volume 1, pp. 41-51, Walferange, Luxembourg.
- Mihailov, V., Trnkoczy A., 1990. Instalation of Network of Instrument for Recording of induced Seismicity and Dynamics Behavior of Body Dams. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie. Volume 1, pp. 103-112, Walferange, Luxembourg.
- Zadnik, B., 1997. Tehnični slovar za pregrade. Slovenski nacionalni komite za velike pregrade, str. 425, Ljubljana.

Določitev recentnega gibanja Jadranske mikroplošče iz meritev GPS v Istri in Padski nižini

John Weber^{*}, Marko Vrabc^{**}, Polona Pavlovčič-Prešeren^{***},
Tim Dixon^{****}, Yan Jiang^{****}, Bojan Stopar^{***}

Povzetek

V prispevku obravnavamo študijo gibanja Jadranske mikroplošče glede na stabilno Evrazijo, izpeljano na osnovi izračunanih hitrosti premikov položajev GPS točk. S kombinacijo obravnavanih hitrosti premikov GPS točk in geoloških kriterijev smo določili parametre Eulerjevega pola ter hitrosti vrtenja Jadranske mikroplošče. Trajektorije gibanja Jadranske mikroplošče glede na Evrazijo predvidevajo na ozemlju Slovenije krčenje s hitrostjo deformiranja < 5 mm/leto v smer NNW-SSE. Iz dobljenih rezultatov lahko potrdimo, da se severnojadranski blok premika kot enotna mikroplošča.

Uvod

Orogenski lok, ki ga tvorijo Apenini, Alpe in Dinaridi, je nastal pri koliziji Evrazijske plošče z Jadransko mikroploščo. Koncentracija potresne aktivnosti v tem orogenskem pasu, ki se pojavlja vzdolž celotne meje Jadranske mikroplošče, potrjuje, da kolizijski procesi potekajo še danes. Od konca 80. let prejšnjega stoletja (Anderson in Jackson, 1987) se z različnimi geodetskimi in geofizikalnimi pristopi poizkuša opredeliti recentno kinematiko Jadranske mikroplošče. Medsebojno gibanje dveh litosferskih plošč, v našem primeru Evrazije in Jadranske mikroplošče, opišemo na sferični Zemlji s parametri t.i. Eulerjevega pola, ki ga sestavljajo vektor lege pola ter vektor smeri in hitrosti vrtenja ene plošče glede na drugo. Ker pretežni del Jadranske mikroplošče prekriva Jadransko morje, kopenski deli pa so bodisi pokriti z nestabilnimi nekonsolidiranimi mladimi sedimenti (Padska nižina) ali pa so podvrženi aktivnim naravnim deformacijam, ki niso reprezentativne za premikanje mikroplošče, tudi s sodobnimi geodetskimi metodami, kot sta GPS in VLBI, kinematika mikroplošče doslej ni bila nedvoumno opredeljena. To se odraža v precejšnji razpršenosti ocenjenih lokacij Eulerjevega pola Jadranske mikroplošče glede na Evrazijo (npr. Anderson in Jackson, 1987; Ward, 1994; Calais et al., 2002; Battaglia et al., 2004; D'Agostino et al., 2008), ki je v veliki meri posledica majhnega števila točk GPS z zanesljivo določenimi premiki na sami Jadranski mikroplošči.

V naši raziskavi so bile prvič doslej uporabljene ponovljene meritve GPS na točkah v Istri, ki je edini površinski izdanek nedeformirane Jadranske mikroplošče. Skupaj s podatki javno dostopnih permanentnih postaj GPS v območju Padske nižine in njenega obrobja ter s podatki o smereh zdrsov pri močnih potresih, ki jih lahko štejemo za reprezentativne za kinematiko mikroplošče. Z analizo teh podatkov smo določili nove parametre Eulerjevega pola Jadranske mikroplošče glede na Evrazijo (Weber et al., v tisku).

* Department of Geology, Grand Valley State University, ZDA

** Oddelek za geologijo, NTF, Univerza v Ljubljani, Ljubljana

*** Oddelek za geodezijo, FGG, Univerza v Ljubljani, Ljubljana

**** Geodesy Lab, RSMAS-MGG, University of Miami, ZDA

Analiza podatkov meritev

V naši analizi smo uporabili podatke 7 točk v slovenski in hrvaški Istri, na katerih so bile opravljene meritve GPS v obdobju od 1994 do 2004. Uporabili smo tudi podatke meritev na 15 italijanskih permanentnih postajah GPS, ki pokrivajo območje severne Italije med Trstom in Torinom. Podatke smo obdelali s programskim paketom GIPSY-OASIS z uporabo preciznih efemerid satelitov GPS. Hitrosti premikov točk so bile izračunane v referenčnem sestavu IGSb00 in nato preračunane v referenčni sestav stabilne Evrazije, kakor so ga predlagali Sella et al., 2002.

Vektor kotne hitrosti gibanja Jadranske mikroplošče glede na Evrazijo smo izračunali večkrat iz več različnih kombinacij točk GPS iz Istre in Padske nižine, s čimer smo želeli preveriti in izločiti vpliv morebitnih robnih učinkov, kot je npr. kopičenje elastične deformacije na zataknjenih aktivnih prelomih na obrobju mikroplošče.

Na osnovi meritev GPS smo določili hitrosti premikov točk ter na podlagi geoloških kriterijev smo kot najboljši rezultat za parametre Eulerjevega pola ocenili vrednosti, določene na osnovi 17 točk GPS. V tej rešitvi je bil položaj Eulerjevega pola 45.03N in 6.52E ter hitrost vrtenja Jadranske mikroplošče $0.297^\circ/\text{Ma} \pm 0.116^\circ/\text{Ma}$ v protiurni smeri.

Položaj Eulerjevega pola smo neodvisno izračunali tudi iz podatkov vektorjev premikov, ki smo jih določili iz žariščnih mehanizmov močnih potresov ($M > 5.0$) v obdobju 1976-2008, povzetih iz italijanskega regionalnega kataloga (Pondrelli et al., 2006). V analizi smo uporabili le podatke potresov iz severnega bloka Jadranske mikroplošče, ki je od južnega dela ločen z linijo Gargano - Dubrovnik, saj se južni blok verjetno premika neodvisno od severnega (Battaglia et al., 2004; D'Agostino et al., 2008). S tem izračunom smo pridobili položaj Eulerjevega pola 45.59N, 6.29E in s protiurno smerjo vrtenja Jadranske mikroplošče, kar se v okviru napake dobro ujema z našim rezultatom iz podatkov meritev GPS.

Rezultati in diskusija

Trajektorije gibanja Jadranske mikroplošče glede na Evrazijo, ki sledijo iz položaja naših parametrov Eulerjevega pola, predvidevajo na ozemlju Slovenije krčenje (pritiske Jadranske mikroplošče) s hitrostjo deformiranja < 5 mm/leto, v generalni smeri NNW-SSE. Predvidena smer krčenja se dokaj dobro ujema z opazovanimi smermi premikov točk GPS v slovenski Istri in zaledju, prav tako pa tudi z velikim delom vektorjev premikov iz žariščnih mehanizmov potresov. Na osnovi meritev GPS določene hitrosti točk se v celotnem analiziranem območju spreminjajo postopno in sistematično, kar se ujema z modelom enotne mikroplošče v severnem jadranskem območju. Razlike med hitrostmi premikov točk, izračunanih na osnovi meritev GPS ter hitrostmi premikov točk, izračunanimi glede na naše parametre Eulerjevega pola premikanja Jadranske mikroplošče, kažejo na konsistentnost modela na nivoju ~ 1 mm/leto, kar je znotraj območja točnosti izračunanih hitrosti na osnovi meritev GPS. Naši podatki torej potrjujejo, da se severnojadranski blok premika kot enotna mikroplošča.

Analiza razlik izmerjenih ter modeliranih hitrosti premikov točk je potrdila, da so točke GPS na južnem in severnem obrobju Padske nižine, ležeče na aktivnih narivih, dejansko podvržene robnim učinkom in smo jih zato izločili iz izračuna parametrov Eulerjevega pola. Sistematično povečanje razlik hitrosti se pojavi tudi pri točkah GPS v vzhodnem delu Istre, kar kaže, da se z aktivnim narivanjem povezani elastični učinki najbrž pojavljajo tudi tam.

Literatura

- Anderson H., and Jackson J. (1987) Active tectonics of the Adriatic region, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 91, 937-983.
- Battaglia, M., Murray, M., Serpelloni, E., and Burgmann, R. (2004) The Adriatic region: An independent microplate within the Africa-Eurasia collision zone, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L09605, doi:10.1029/2004GL019723.
- Calais, E., Nocquet, J.M., Jouanne, F., Tardy, M. (2002) Current strain regime in the Western Alps from continuous Global Positioning System measurements, 1996-2001, *Geology*, 30, 651-654.
- D'Agostino, N., Avallone, A., Cheloni, D., D'Anastasio, E., Mantenuto, S., and Selvaggi, G. (2008) Active tectonics of the Adriatic region from GPS and earthquake slip vectors, *J. Geophys. Res.*, 113, B12413, doi:10.1029/2008JB005860.
- Pondrelli, S., Salimbeni, S., Ekström, G., Morelli, A., Gasperini, P., and Vannucci, G. (2006) The Italian CMT data set from 1997 to the present, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 159, 286-303, doi:10.1016/j.pepi.2006.07.008.
- Sella, G., Dixon, T., Mao, A. (2002) REVEL: A model for recent plate velocities from space geodesy, *J. Geophys. Res.*, 107(B4), 2081, doi:10.1029/2000JB000033.
- Ward, S. (1994) Constraints on the seismotectonics of the central Mediterranean from Very Long Baseline Interferometry, *Geophys. J. Int.*, 117, 441-452.
- Weber, J., Vrabec, M., Pavlovčič-Prešeren, P., Dixon, T., Jiang, Y., Stopar, B. (v tisku) GPS-derived motion of the Adriatic microplate from Istria Peninsula and Po Plain sites, and geodynamic implications, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2009.09.001

Potres 6. aprila 2009 v osrednjih Apeninih

Ina Cecić*, Matjaž Godec*, Renato Vidrih*

Povzetek

Italijo je 6. aprila 2009 ob 03. uri in 32 minut po lokalnem času zatresel močan potres z navorno magnitudo $M_w = 6,3$ (lokalna magnituda $M_l = 5,8$). Žarišče potresa je bilo v pokrajini Abruzzo, nekaj kilometrov od srednjeveškega mesta L'Aquila, ki leži okoli 120 km severovzhodno od Rima. Potres je zahteval skoraj 300 življenj in povzročil zelo veliko gmotno škodo.

Uvod

Širše območje L'Aquile so od konca leta 2008 skoraj vsak dan stresali manjši potresi. Najmočnejši je bil 30. marca 2009 (lokalna magnituda 4,0). Prebivalstvo je bilo zaradi tega že močno vznemirjeno, posebej zato, ker so se, kot ponavadi v takšnih situacijah, pojavili različni »napovedovalci« prihajajočih katastrof in podžigali strah med ljudmi. Razdejanju glavnega potresa so sledili številni močni popotresni sunki, nekateri celo z magnitudo 5 in več. Popotresi nastajajo še vedno in povečujejo gmotno škodo, ponekod pa tudi ogrožajo človeška življenja.

Potresni niz se je zgodil na območju, kjer so italijanski seizmologi potrese te moči predvideli in pričakovali. Katalogi potresov nam povedo, da je bilo to območje v preteklosti večkrat porušeno (1349, 1461, 1703, 1762, 1916, 1958). Zato zadnja serija potresov ni bila nobeno presenečenje. Pokazala se je slaba gradnja, saj je prav potres tisti, ki odkrije vse nepravilnosti pri gradnji objektov. Ob upoštevanju predpisov o potresno odporni gradnji na seizmičnih območjih bi bila gmotna škoda bistveno manjša, prav gotovo pa ne bi bilo toliko smrtnih žrtev.

Zbiranje makroseizmičnih podatkov in terensko delo

Takoj po potresu so italijanski seizmologi začeli s prvo oceno intenzitet potresa v prizadetih krajih. Ker temelji italijanska zakonodaja na lestvici MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), so za potrebe Civilne zaščite obiskali 134 krajev in naredili prve, zelo preliminarne ocene intenzitet po tej lestvici. Evropska potresna lestvica EMS zahteva veliko obsežnejše in natančnejše podatke, zato je njihovo zbiranje zamudnejše. V ta namen je 14. aprila interventna skupina italijanskih seizmologov QUEST (QUick Earthquake Survey Team) začela zbirati makroseizmične podatke na najbolj prizadetih lokacijah. Makroseizmični podatki so podatki o tem, kakšne posledice je v nekem naseljenem kraju potres imel na ljudi, stavbe, predmete in naravo. Po rušilnem potresu je z zbiranjem podatkov treba zelo pohiteti, saj je prava slika potresnih učinkov uničena takoj, ko se začne z odstranjevanjem ruševin. V ta namen je koordinator makroseizmičnega terenskega dela Romano Camassi (INGV, Bologna) povabil Ino Cecić in Matjaža Godca, da se priključiva terenski ekipi in pomagava pri zbiranju in obdelavi podatkov.

Tako visokih intenzitet potresa in posledično velikih poškodb v Sloveniji nismo imeli več kot sto let. Terensko delo v Italiji je bila enkratna priložnost za naju, da izpopolniva

* ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, Ljubljana,

svoje znanje tudi pri obdelavi takšnih potresnih učinkov. To je posebej pomembno zato, ker je prizadeto območje tako po geološki zgradbi kakor tudi po tipu in načinu gradnje dokaj podobno potresno najbolj ogroženim delom Slovenije, kjer so tudi možni in pričakovani podobni potresni učinki.

Organizacija zbiranja makroseizmičnih podatkov po takšnem potresu je zahtevna z več plati. Treba je zbrati ljudi, ki imajo potrebna specifična znanja in izkušnje za pravilno zbiranje podatkov, pridobiti zanje vsa potrebna dovoljenja za vstop v zavarovana območja, zagotoviti bivanje v nekoliko odmaknjenem varnem kraju ter poskrbeti za komunikacije in koordinacijo dela, da se ne bi po pomoti podvajalo. Tokrat smo bili nameščeni v kraju Gioia dei Marsi kakšno uro vožnje od epicentralnega področja. Abruzzo, posebej pa notranjost dežele, ni turistično razvito področje, večina kapacitet je bila že zapolnjena s tistimi, ki se po potresu niso mogli vrniti v svoje domove, kot tudi s temi, ki so iz vseh koncev Italije prišli na pomoč v najbolj prizadeto območje (karabinjerji, gradbeniki, geodeti, psihologi itn.).

Pri terenskem delu nama je težave delalo dejstvo, da na ARSO nimamo niti ustrezno označenih zaščitnih oblačil (na naših dežnih plaščih, čeladah itn. nikjer ni jasno vidno ime institucije) niti nobenega uradnega dokumenta (izkaznice s sliko), s katerim bi se lahko identificirali kot uslužbenci ARSO. V nekem primeru sploh ne bi mogla vstopiti v zavarovano območje, če nama italijanski kolegi ne bi posodili delov svoje opreme z jasno izpisanim logom njihovega inštituta.

Pri delu na terenu so nam največ pomagali gasilci. Kljub obilici lastnega dela, utrujenosti, mrazu in dežju so bili vedno pripravljeni na sodelovanje. V njihovem spremstvu smo lahko vstopali v zaprta območja (zapore so bile narejene zaradi nevarnosti porušitev stavb in tudi zato, da se prepreči ropanje). Ob tej priliki se jim zahvaljujemo za prijaznost in pomoč.

Zbiranje makroseizmičnih podatkov je trajalo dva meseca; medtem so seizmologi obiskali in popisali približno 100 krajev. Prvi rezultati te obsežne študije so bili predstavljeni novembra 2009 (Barbano in dr., 2009).

Učinki potresov

Glavni potres je bil po seizmoloških merilih dokaj plitev – žariščna globina naj bi bila okoli 9 km. Čeprav ni bilo sproščene veliko energije, je prišlo na površju vseeno do obsežnih poškodb. Sam potres je bil po magnitudi primerljiv s potresom leta 1997 v bližnjih regijah Umbrija in Marche. Toda število žrtev je bilo v L'Aquili večje, ker je potres nastal v neposredni bližini večjega mesta in predvsem zato, ker se je izkazalo, da predpisi o potresno odporni gradnji marsikje niso bili spoštovani.

Potres je zahteval 295 žrtev in znatno poškodoval objekte v L'Aquili in v okoliških krajih. Več kot 1100 ljudi je bilo ranjenih. Skupno je bilo poškodovanih ali porušeni okoli 15000 objektov, v sami L'Aquili je okoli dve tretjini vseh objektov bodisi hudo poškodovanih ali porušeni. Zaradi potresa je ostalo brez strehe okoli 60000 ljudi. Civilna zaščita sproti objavlja poročila o pregledanih objektih. V poročilu iz 22. maja 2009 navajajo, da so do tega dne pregledali 44035 zgradb (od tega 41000 stanovanjskih). Uporabnih jih je 52 %. V to skupino so vštete tudi takšne z manjšimi nekonstrukcijskimi poškodbami. Preostalih 48 % zgradb zahteva ali večja popravila ali jih bo potrebno popolnoma porušiti.

Zgradbe v centru srednjeveške L'Aquile so predvsem zidane. Gradbinci so v siromašnem srednjem veku skoparili pri kvaliteti materiala tako v primerjavi s kvaliteto gradnje v času Rimljanov (natančna obdelava kamna in kvalitetne malte) kot tudi v renesansi (dobro obdelan kamen, gradnja v pravih razmerjih). Rezultat tega je, da so bile

srednjeveške zgradbe zelo ranljive in zaradi tega pri potresu močno poškodovane ali porušene. Osnovni material srednjeveških zgradb je bil večinoma neobdelan ali delno obdelan kamen, vezan s slabo malto, stropovi pa so bili leseni. Desetletja oz. stoletja pomenijo degradacijo materialov, zgodovinsko gledano pa so vsi starejši objekti prestali marsikaj (tudi potrese), kar je oslabilo povezanost elementov zgradb. Večina žrtev je bila posledica delne ali popolne porušitve objektov.

Poleg starih zgradb so se porušile tudi novejše, predvsem zato, ker pri gradnji niso bili upoštevani pravila in standardi potresno odporne gradnje (tu so bili med hudo poškodovanimi predvsem neduktilni betonski okviri). Pri ogledu terena nas je dejansko presenetilo število novih, včasih še ne vseljenih, blokov na obrobju mesta, ki so utrpeli resne konstrukcijske poškodbe. Tudi v širšem centru mesta smo videli novejše večnadstropne stavbe, ki so se popolnoma sesedle in pod seboj pokopale več ljudi. Od pred kratkim prenovljenega študentskega doma je ostal le kup ruševin, v katerem je ugasnilo šest mladih življenj. Velik problem je bila tudi resna poškodovanost bolnišnice. Po potresu je bila uporabna le ena operacijska dvorana, tako da so nujne operacije izvajali v šotorih.

Za L'Aquilo je veljalo, da je imela 99 trgov in prav toliko cerkva. Od slednjih je ostalo bore malo. Večina sakralnih in drugih posebnih objektov, ki smo jih videli, je utrpela hude poškodbe.

Tudi v manjših okoliških krajih so bile poškodbe objektov zelo obsežne. Zelo opazna so bila velika nihanja v intenziteti, predvsem zaradi odziva lokalnih tal. Vasi v hribih (Colimento, Colle di Lucoli) v neposredni bližini epicentra so utrpela le manjše poškodbe. Drugod (Paganica, Tempera, Onna) je bilo število poškodovanih objektov bistveno večje in pod ruševinami so umrli številni prebivalci.

Najbolj poškodovano naselje je vsekakor Onna. Mestece je med potresom izgubilo 40 od okoli 200 prebivalcev, veliko jih je bilo ranjenih. Čeprav smo vedeli, da je situacija težka, nas je vseeno presunilo razdejanje, ki smo ga tam videli. Kot veliko nasprotje je ponekod stala kakšna novejša, kvalitetno grajena ali montažna stavba, ki je potres prestala brez vidnih poškodb, toda večina tradicionalnih stavb je porušena. Onna je tudi najbolj zavarovana lokacija, za vstop je bilo treba pridobiti več dovoljenj, med drugim tudi dovoljenje vojaškega poveljstva, ki tam skrbi za varnost.

Kakšen kilometer in pol od Onne leži kraj Monticchio. V novejšem delu, kjer je poslovna cona, smo videli hude poškodbe na armiranobetonskih stavbah in takšnih, ki so zgrajene iz prefabriciranih elementov. Toda v samem Monticchiju, zgrajenem na trši podlagi, poškodb skorajda ni, kar se zdi prav neverjetno glede na stopnjo razdejanja nedaleč stran.

Poleg seizmologov so bili na terenu tudi geologi, ki so skušali najti prelom na površju. Kljub natančnemu delu pa dokazov o površinskem pretrgu ni bilo videti, zanimivi so bili kvečjemu različni sekundarni pojavi. Obiskali smo jezero Sinizzo, kjer je del obale potonil v vodo, v razmočenih tleh okoli jezera pa so se pokazale velike in globoke razpoke.

Življenje v prizadetem območju

Že nekaj ur po potresu so v nadžariščno območje začeli prihajati reševalci. Vojska in Rdeči križ sta postavila šotorišča, da bi prebivalcem čim prej zagotovili varno prenočišče. Gasilci skrbijo za reševanje neposredno po potresu, zavarovanje objektov, organizirano preiskavo hiš, da bi se rešili osebni predmeti prebivalcev, in še za vrsto zadev. Oblasti so hitro organizirale prehrano, prostore za osebno higieno, zdravniško in psihološko pomoč, poskrbljeno je bilo tudi za živali, ki so zaradi potresa izgubile lastnike. V najbolj prizadetih območjih prebivalci do nadaljnjega ne bodo prejeli računov (plin, elektrika itn.). Mobilni operaterji so po potresu poslali v prizadeto območje veliko število mobilnih

telefonov, baterij in polnilcev, postavili so tudi postaje za polnjenje telefonov in omogočili prizadetim v potresu, da telefonirajo brezplačno. Tudi cestnina na avtocesti je bila za tiste, ki so jih preselili v hotele na jadransko obalo, brezplačna.

Prebivalcem v šotoriščih je aprila življenje grenilo mrzlo in deževno vreme, ki je še tako enostaven popravek, kot je odhod na stranišče ali na kosilo, spremenilo v borbo z blatom in mrazom. Marsikakšno šotorišče ni imelo sodobnih ogrevanih šotorov. Kljub temu so ljudje zavračali možnost, da se začasno preselijo v hotele na obalo, saj so želeli ostati čim bližje svojim porušnim domovom. Poročilo Civilne zaščite iz 24. maja 2009 navaja, da je bilo postavljeno več kot 5500 šotorov.

Italija je tudi ob tej priložnosti pokazala izredno solidarnost. Že dan po potresu je na prizadeto področje prispelo več tisoč prostovoljcev – ljudi, ki so vzeli dopuste in prišli pomagat prizadetim. Med njimi so bili celo znani kuharji iz prestižnih restavracij, pa tudi številni pripadniki religijskih redov.

Prizadete je v tednih po potresu večkrat obiskal predsednik vlade Berlusconi, ki je med drugim obljubil, da bodo v petih ali šestih mesecih namesto šotorov tam stale hiše. Vložene so bile tudi prve prijave zoper osebe in družbe, ki so gradile ali obnavljale zgradbe, ki so se v potresu porušile.

Literatura

Barbano, M.S., R. Azzaro, R. Camassi, I. Cecić, S. D'Amico, A. Mostaccio, L. Scarfi, A. Tertulliani, T. Tuve, 2009. The L'Aquila 2009 earthquake: an application of the European Macroseismic Scale to the damage survey. Gruppo nazionale di geofisica della terra solida (GNGTS), 28° Convegno NAzionale, Trieste, 16-19 novembre 2009, Riassunti estesi delle comunicazioni, 433-437.

Cecić, Ina, Matjaž Godec in Renato Vidrih, 2009. Potres 6. aprila 2009 v osrednjih Apeninih. http://www.ars.gov.si/o_agenciji/knjiznica/mesečni%20bilten/NASE_OKOLJE2009_04.pdf (21. 12. 2009)

CSEM-EMSC:

http://www.emsc-csem.org/index.php?page=current&sub=recent&evt=20090406_ITALY (21. 05. 2009)

Dnevni časopisi Il Centro, Il Messagero Abruzzo, Il Tempo

Galli, P. e R. Camassi, 2009. Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009. <http://www.mi.ingv.it/eq/090406/quest.html> (21. 05. 2009)

INGV: Elaborazioni storico-macrosismiche - Terremoto aquilano del 6 aprile 2009.

<http://www.mi.ingv.it/eq/090406/> (21. 05. 2009)

INGV: Localizzazione del terremoto del 6 aprile aggiornata con tutti i dati a disposizione <http://portale.ingv.it/primo-piano/archivio-primo-piano/notizie-2009/terremoto-6-aprile/localizzazione-del-terremoto-del-6-aprile-aggiornata> (21. 05. 2009)

INGV: <http://portale.ingv.it/primo-piano/archivio-primo-piano/notizie-2009/terremoto-6-aprile/la-sequenza-sismica-dell-aquilano-aprile-2009/view> (21. 05. 2009)

Protezione Civile Nazionale: Sopralluoghi su danni e agibilità sismica degli edifici - 22 maggio 2009. http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?cms_pk=15728&dir_pk=395 (25. 05. 2009)

Protezione Civile Nazionale: Emergenza sismica in regione Abruzzo, 6 Aprile 2009: Assistenza alla popolazione, aggiornamento ore 08.00 del 24-05-2009.

http://www.protezionecivile.it/cms/attach/editor/aggiornamento_dati_24052009.pdf (25. 05. 2009)

http://www.boston.com/bigpicture/2009/04/the_laquila_earthquake.html (22. 05. 2009)

http://en.wikipedia.org/wiki/2009_L%27Aquila_earthquake (22. 05. 2009)



Slika 1. Ob obali jezera Sinizzo so nastale velike in globoke razpoke v tleh. (foto: I. Cecić)



Slika 2. Od študentskega doma v ulici 20. septembra v L'Aquili je ostal le kup ruševin.
(Foto: M.Godec)



Slika 3. Pred poškodovanim petnadstropnim objektom v širšem centru L'Aquile je stal 7 etažni objekt zgrajen v letih med 1960 in 1970, ki se je popolnoma porušil. Porušeni objekt je bil tudi armirani betonski okvir. Uporabljena je bila gladka armatura, stremena pa so bila redka. (Foto: M.Godec)



Slika 4. Ena izmed številnih poškodovanih cerkva v L'Aquili. Vse cerkve v mestu so bile zgrajene po letu 1703, ko je potres popolnoma porušil mesto. (Foto: M.Godec)



Slika 5. Porušeno središče vasi Camarda. Material hiš je bil mešan (obdelan in neobdelan kamen, opeka), stropi leseni, malta pa slaba. (foto: I. Cecić)



Slika 6. Ena izmed ulic v popolnoma porušeni vasi Onna. Vzrok tako obsežnih poškodb v Onni so slabi seizmo-geološki pogoji (Foto: M.Godec).



Slika 7. V novem delu vasi Monticchio je prišlo do poškodb tudi na novih industrijskih objektih grajenih na seizmo-geološko slabših tleh (foto: I. Cecić).



Slika 8. V L'Aquili so bili močno poškodovani tudi novejši stanovanjski objekti. Večinoma so bili poškodovani fasadni elementi armirano betonskih okvirji s polnili izven osi okvira (Foto: M.Godec).

Zagate modeliranja v hidrologiji

Mitja Brilly*, Anja Horvat*, Andrej Vidmar*

Povzetek

Modeliranje hidroloških pojavov je postalo del vsakodnevne prakse. Problem je v nezadostni pozornosti pri umerjanju in verifikaciji modelov. Posledica so slabi rezultati izračunov, ki pogosto nimajo povezave z realnimi pojavi, ki jih posamezniki poskušajo simulirati. V članku bo predstavljeno umerjanje hidrološkega modela reke Save za določanje verjetno maksimalnih poplav, simulacije poplave leta 1990 in analiza modelov za napoved podnebnih sprememb.

Uvod

V zadnjem obdobju je postala simulacija hidroloških pojavov zelo razširjena. Simulacije so že postale sestavni del projektantske prakse. Pri tem se srečujemo z vrsto problemov, ker se posamezniki lotevajo dela brez zadostnih izkušenj in praktičnega znanja, naročniki pa zahtevajo hitre izračune ne zavedajoč se pasti, ki jih takšno početje nastavlja.

V članku bodo poleg nekaj teoretičnih izhodišč podani tudi praktični primeri simulacij iz slovenske in evropske prakse.

Modeliranje v hidrologiji

Hidrološki pojavi, ki se oblikujejo v hidrološkem sistemu, so razčlenjeni procesi, ki jih določa narava. Pojavi so enkratni - neponovljivi in spreminjajoči se v prostoru in času. Zaradi pomanjkanja podatkov poskušamo integrirati izredno razgibane zvezne funkcije z grobimi poenostavitvami vsot oziroma končnih razlik. Omenjeni postopki povzročajo napake oziroma odstopanja od merjenih vrednosti, ki jih nato s spreminjanjem posameznih empiričnih koeficientov poskušamo zmanjšati. Z zelo grobo aproksimiranimi podatki poskušamo doseči neprimerno visoko točnost. Po drugi strani je vsako povodje enkratno s svojimi naravnimi lastnostmi in zahteva lasten model za simulacijo pojava.

Pri razvoju simulacijskega modela moramo predvsem opredeliti del hidrološkega kroga, ki ga želimo simulirati, in določiti vhodne in izhodne spremenljivke. Osnovne enote pri simulaciji površinskega odtoka so povodja ali prispevna območja z enostavno določenimi pogoji na meji.

Naslednji korak je izbira strukture modela. Opredeliti moramo temeljne spremenljivke naravnih pogojev in vodne bilance. Poleg lastnosti sistema moramo upoštevati tudi potrebe po rezultatih simulacije. Nato jih smiselno med seboj povežemo na osnovi poznavanja konkretnega hidrološkega sistema. Omenjene povezave prenesemo v matematično obliko uporabno za računalniško programiranje (Slika 1).

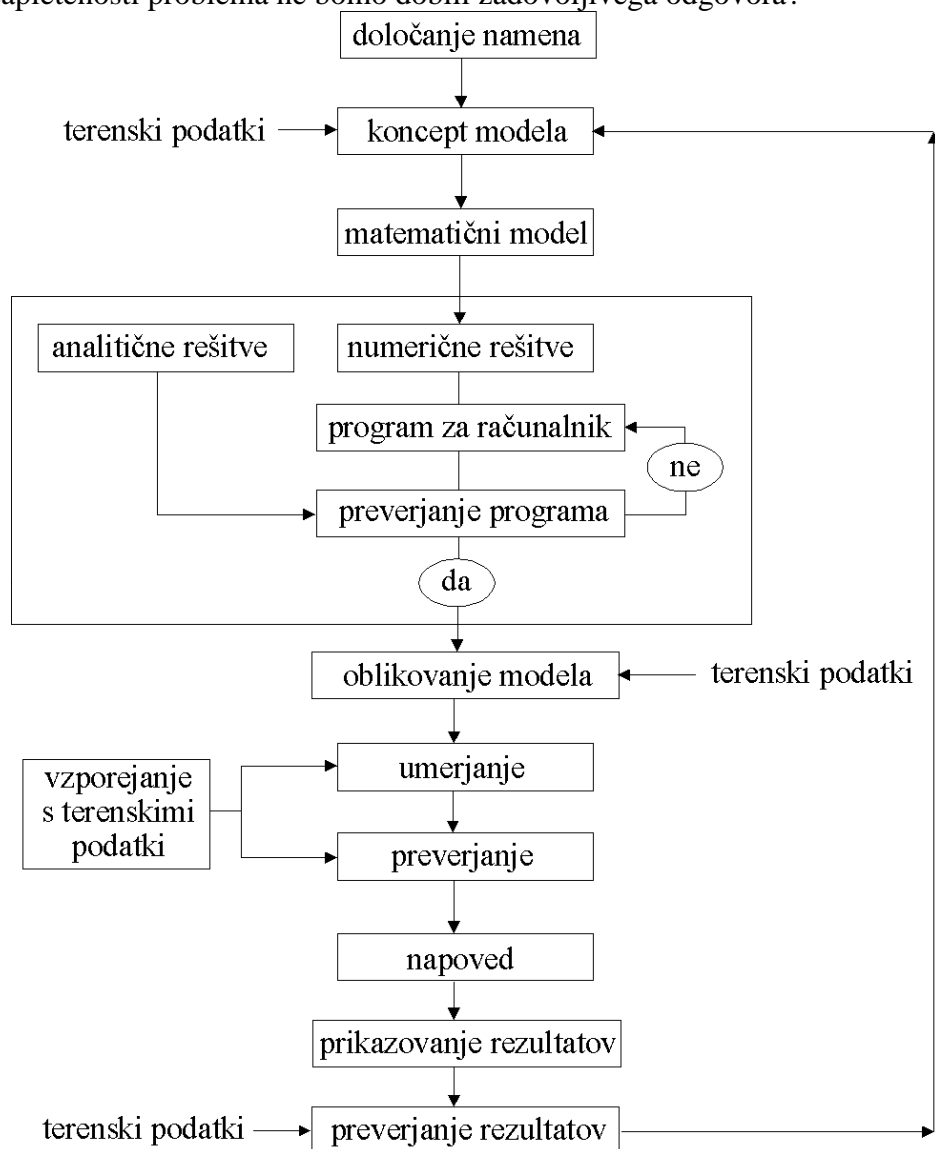
Tretji korak je izbira kriterija oziroma kriterijev točnosti modela. To je predvsem pomembno za umerjanje modela, saj določa osnovo za prilagajanje vrednosti parametrov. Temeljni pogoj točnosti je minimiziranje odstopanj med merjenimi podatki v naravi in izračunom, oziroma rezultatom simulacije.

* UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

Želena točnost dosežemo z vzporejanjem rezultatov simulacij z enakimi vhodnimi podatki in različnimi vrednostmi posameznih parametrov modela. Da bi bil proces popoln, moramo analizirati vse možne kombinacije sprememb parametrov. Če imamo majhno število parametrov (do tri), je postopek enostaven, pri večjem številu parametrov pa je bolj zapleten. Na primer pri 14 parametrih s po tremi vrednostmi je število možnih kombinacij simulacij 4.782.969.

Izbiri modela prilagodimo namenu modeliranja na osnovi problema, ki ga želimo rešiti. Namen ugotovljamo na osnovi odgovorov na vprašanja:

1. Zakaj potrebujemo model: za napoved, analizo vodnega režima ali analizo uporabnosti modela?
2. Kaj želimo spoznati s pomočjo modela in kakšne odgovore pričakujemo?
3. Ali je model najboljše sredstvo za reševanje problema?
4. Ali lahko problem rešimo z analitično metodo in ali moramo uporabiti numerični model?
5. Kateri model najbolj ustreza obravnavanim naravnim pojavom in namenu modeliranja?
6. Ali so stroški modeliranja upravičeni, čeprav vemo, da zaradi pomanjkanja podatkov ali zapletenosti problema ne bomo dobili zadovoljivega odgovora?



Slika 1. Diagram poteka postopka izdelave modela.

Na osnovi namena se odločimo za tip enačb, ki jih moramo rešiti, in način reševanja. Nato oblikujemo koncept in pričnemo z zbiranjem podatkov ter njihovo analizo. Naslednja faza je izdelava programa za računalnik ali izbira ustreznega komercialnega programa. V obeh primerih je potrebno izpeljati preverjanje programa, če ga ni izvajalec dokumentiral v priloženih navodilih.

Oblikovanje modela pomeni izbiro porazdelitve poroznega prostora na mrežo elementov, določanje robnih pogojev, izbiro obdobja za umerjanje in časovnega koraka.

Umerjanje modela je najzahtevnejša faza dela. Rezultate izračuna primerjamo z meritvami in analiziramo razlike. Spreminjamo privzete vrednosti parametrov in ugotavljamo občutljivost modela na spremembo posameznih parametrov.

Napoved izdelamo za predvidene spremembe v robnih pogojih: povečano črpanje, večji poseg v vodni režim ipd. Tveganje in točnost rezultatov sta odvisna od uspešnega umerjanja modela.

Predstavitev rezultatov izračuna. Rezultati morajo biti urejeni in razumljivi uporabnikom oziroma naročnikom modela.

Preveritev rezultatov opravimo več let po opravljenem modeliranju. Ugotavljamo točnost rezultatov in realnost napovedi. V primeru večjih odstopanj in problemov opravimo novo analizo in izbiro modela ali njegovo umerjanje.

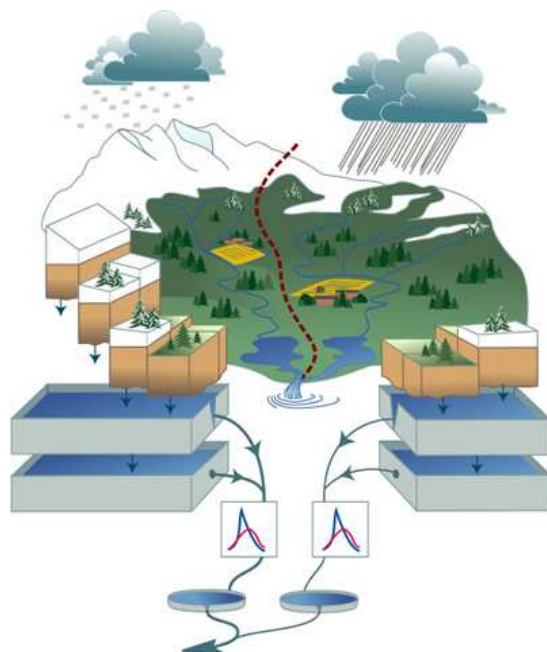
Probleme pri modeliranju oziroma analizi hidroloških podatkov lahko porazdelimo na (Klemeš #):

- Znane neznane vrednosti (known unknown - kunk) – neznane vrednosti so dobro opredeljene in merljive. Vse kar je možno meriti, merimo in upoštevamo pri simulaciji.
- Neznane neznane vrednosti (unknown unknowns - unkunk - USAF) – nepredvidljivi problemi. Probleme obravnavamo z vso pozornostjo in jih obravnavamo v bodočih raziskavah.
- Znane vrednosti, ki »smrdijo« (known which stinks - skunks) – problemi, ki jih moramo izločiti oziroma se jim izogniti.

Najbolj neprijetni so pojavi »skunksov«. Vzroki so različni, lahko jih pa pripravimo tudi sami, če »kunk« obravnavamo kot »unkunk« in obratno. Problem lepo ponazarja simulacija občutljivosti podtalnice na območju glavnega mesta Danske, Kopenhagne.

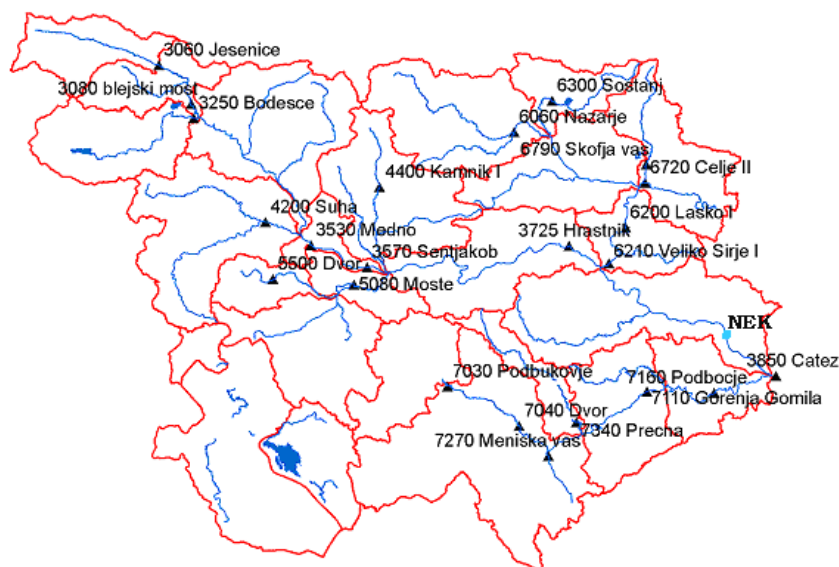
Modeliranje verjetno maksimalnih pretokov reke Save

Za simulacijo je bil izbran model HBV, konceptualni model za kontinuirano računanje odtoka, ki je namenjen hidrološkemu napovedovanju. Razvit je bil v sedemdesetih letih na Švedskem meteorološkem in hidrološkem inštitutu (SMHI). Ime pa je dobil po oddelku za vodno bilanco oddelka za hidrologijo (**H**ydrologiska **B**yrans **V**attenbalansavdelning). Danes se uporablja v več kot 40 državah po vsem svetu, in sicer za računanje pretokov rek, napovedovanje poplav, za potrebe hidroelektrarn, namakanja, varnosti jezov in končno tudi za spremljanje podnebnih sprememb. Zadnja verzija modela HBV je model HBV-96, ki je integriran v hidrološki sistem IHMS (**I**ntegrated **H**ydrological **M**odelling **S**ystem) (Lindström et al., 1997) (Slika 2).



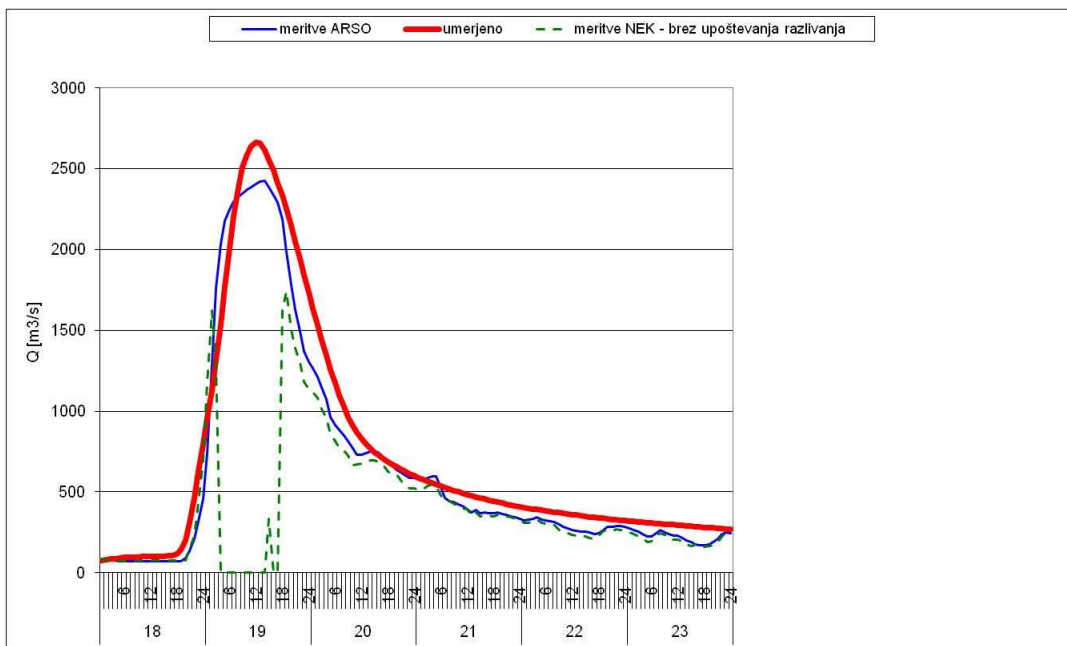
Slika 2: Shematični prikaz modela povodja.

Za potrebe simulacije je porečje reke Save porazdeljeno na 26 manjših področij, (Slika 3). Za potrebe umerjanja modela je bilo izbranih 12 vodomernih postaj (KSH 2009).

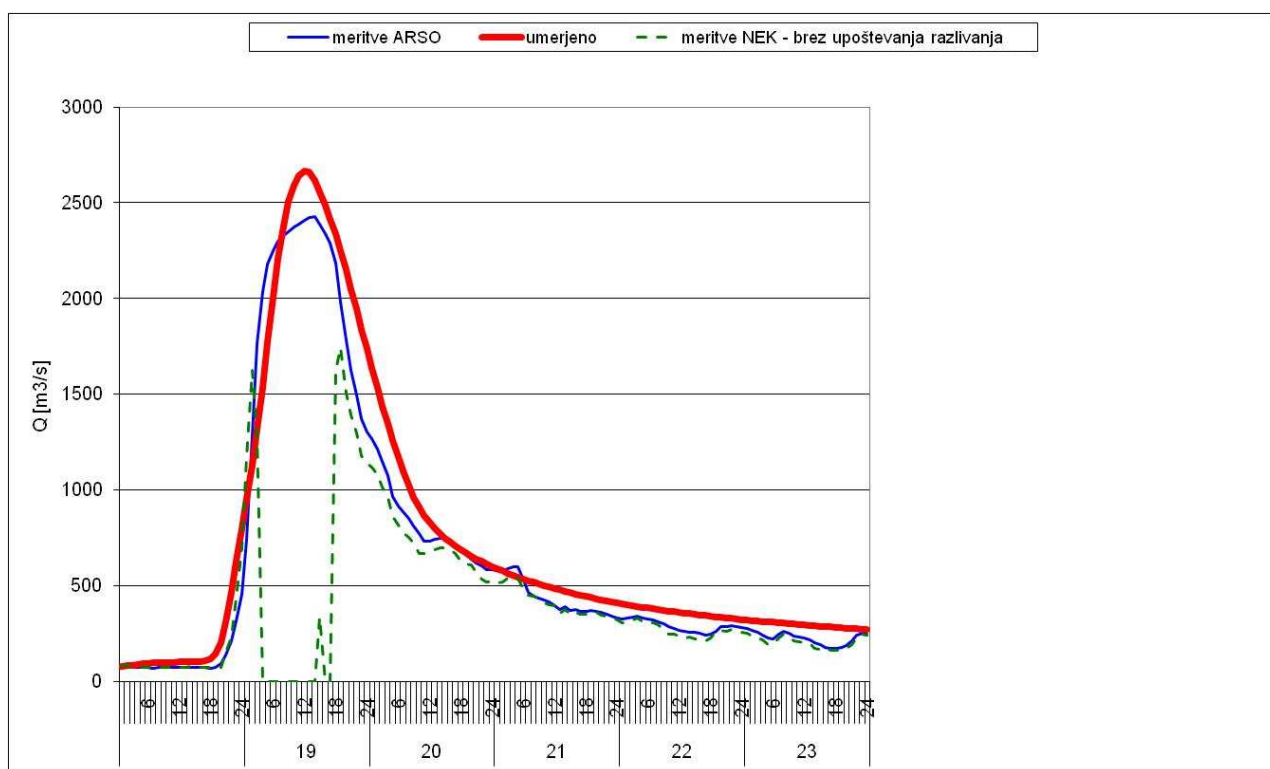


Slika 3: Porazdelitev porečja in položaj izbranih vodomernih postaj

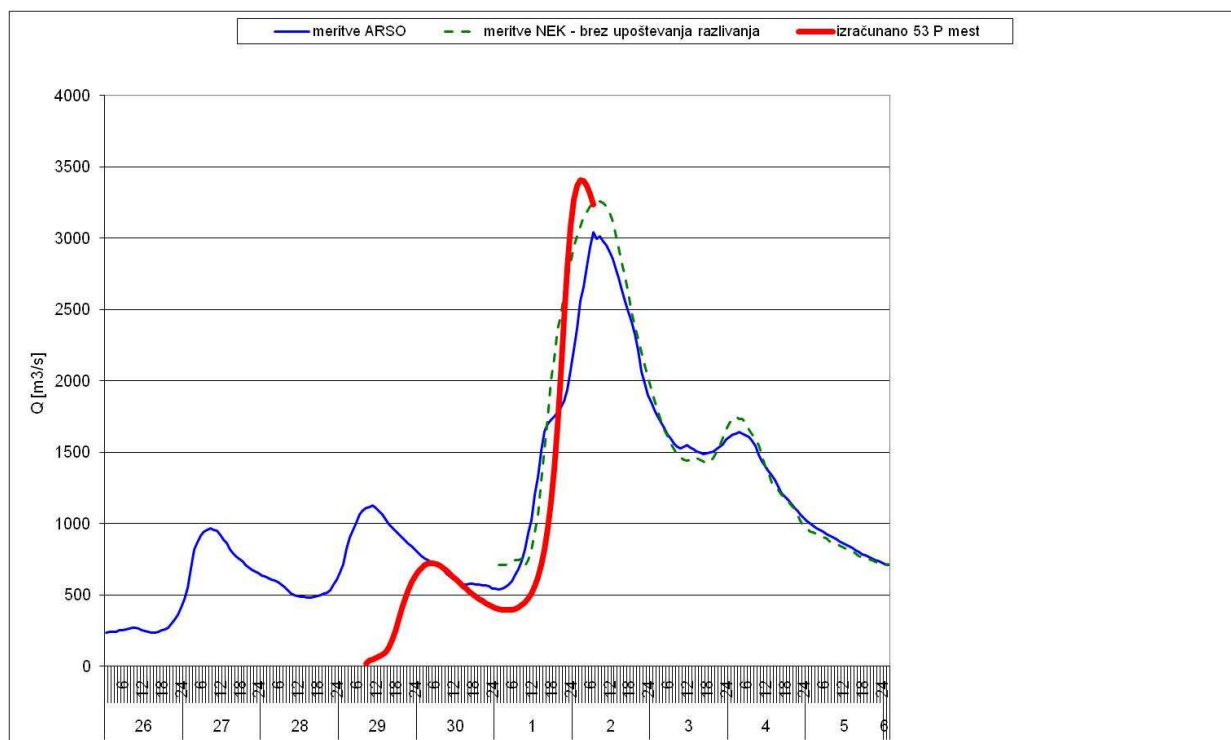
Za umerjanje in verifikacijo modela reke Save z dnevnimi podatki je bilo izbrano obdobje 16 let. Od tega je bilo obdobje od 1990 do 1999 uporabljeno za umerjanje modela, obdobje od 2000 do 2006 pa za njegovo verifikacijo. Parametri vodne bilance modela so umerjani s časovnim korakom enega dne. Nato smo nadaljevali umerjanje s časovnim korakom ene ure za obdobje 1998-1999. Parametre, ki kontrolirajo dinamiko poplavnih valov vzdolž toka reke, smo še umerjali za poplavna valova v letu 1998 in 2007 ter verificirali za poplavni val leta 1990. Leto 1990 smo izbrali za verifikacijo modela, ker je bilo veliko vodomernih postaj med poplavo poškodovanih in so podatki izgubljeni. Rezultati umerjanja in verifikacije so prikazani na Slikah 4, 5 in 6.



Slika 4: Umerjen poplavni val septembra 2007 na Savi pri Krškem.



Slika 5: Umerjen poplavni val novembra 1998 na Savi pri Krškem.



Slika 6: Verifikacija vala leta 1990 z urnimi podatki.

V procesu umerjanja porečja se za vsako podpovodje spreminjajo parametri, tako da je razlika med izračunanimi in dejanskimi pretoki najmanjša. Sosledje umerjanja posameznih podpovodij poteka v smeri toka. Najprej se umerja podpovodje ob izviro, ko je to umerjeno, se nadaljuje z umerjanjem dolvodno. Poleg parametrov se umerja tudi evapotranspiracijo.

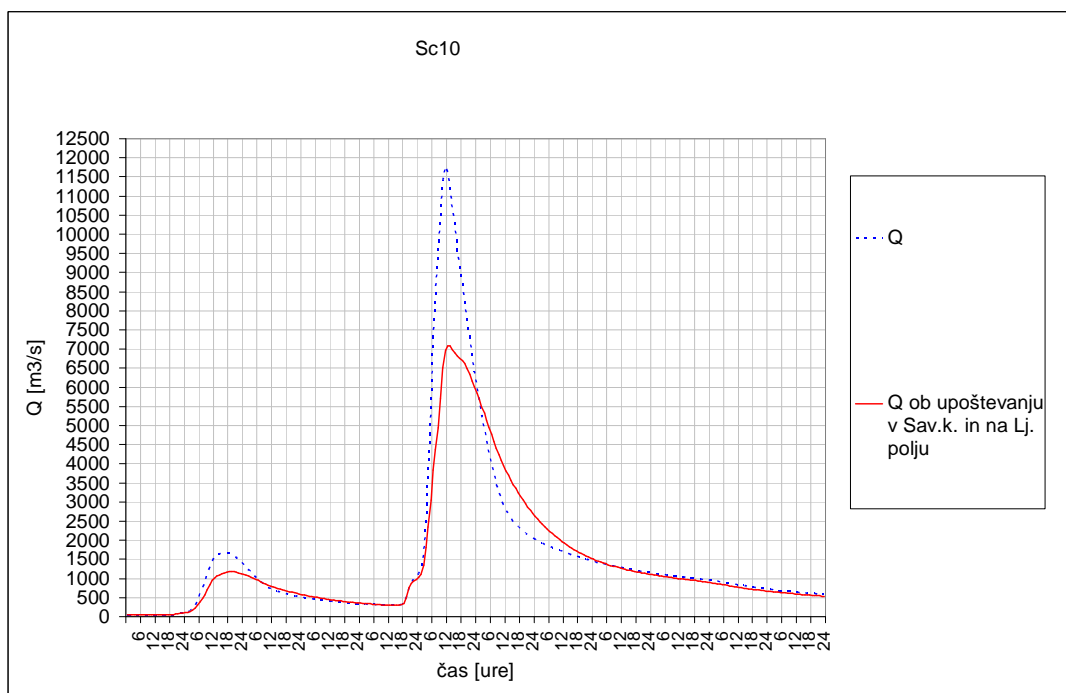
Podatki simulacije hidrogramov v letih 1998 in 1990 kažejo, da sta si bila maksimalna pretoka v obeh dogodkih zelo blizu, skoraj enaka.

Za določanje Največjih možnih pretokov (PMF) so bile opredeljene verjetno maksimalne padavine in snežna odeja s 100 letno povratno dobo. Izdelanih je bilo več variant izračunov. Največje pretoke sta podala scenarija s predhodnimi padavinami Sc 9 in Sc 10, dosti manjše pa scenarija s snežno odejo in padavinami Sc 13 in Sc 15, preglednica 1.

Scenarij	pretok konice m ³ /s
Sc 9	11650
Sc 10	11776
Sc 13	8955
Sc 15	8662

Preglednica 1: Pretoki konic poplavnih valov PMF

Pri umerjanju modela smo ugotovili, da se zaradi nasipov za zaščito pred poplavami voda ne razliva po poplavnih površinah v Ljubljanski in Celjski kotlini. Za scenarij Sc 10 smo ob upoštevanju zadrževanja vode na poplavnih območjih dobili dokončne hidrograme pretoka PMF pri NEK.



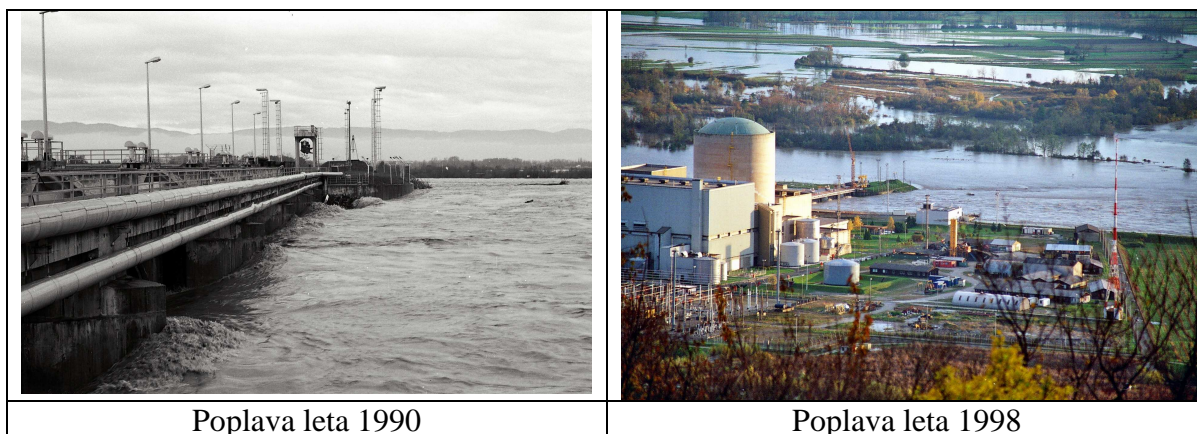
Slika7: Rezultati PMF za SC 10 na območju NEK ob upoštevanju poplavljanja Savinjske in Ljubljanske kotline.

Pretok PMF se je zaradi upoštevanja zadrževalnih površin Ljubljanske in Savinjske kotline zmanjšal iz prvotnega modeliranega 11776 m³/s na 7081 m³/s. Izračun z zadrževanjem vode v Ljubljanski in Savinjski kotlini je dejansko »unkunk«, ker nismo imeli na razpolago hidroloških meritev. Problem bi zahteval še bolj natančno meritev topografije in zahtevne hidravlične izračune, za katere pa tudi ni na voljo podatkov. Vse skupaj v analizo vnaša dodatno negotovost, ki jo je potrebno upoštevati z vso pozornostjo.

Analiza poplavnega vala leta 1990 na območju mesta Krško

V letih 2008 in 2009 je nastalo več analiz na osnovi hidravličnih simulacij, ki so zahtevale spremembe v opredelitvi maksimalnih pretokov reke Save leta 1990. Problema smo se lotili kot »unkunka« z vso pozornostjo in na več načinov.

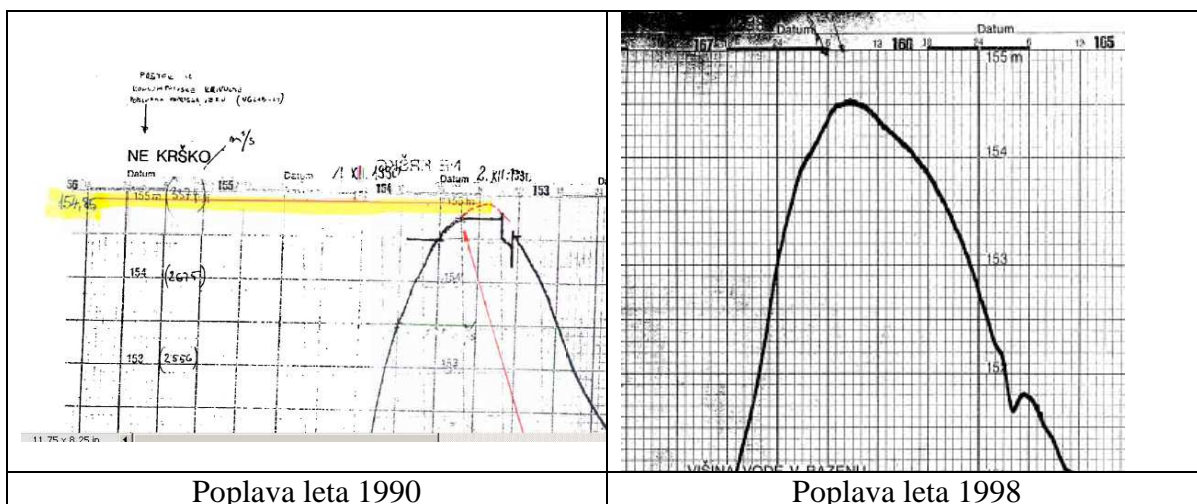
Na razpolago smo imeli meritve gladin in pretokov pri NEK in fotografije poplav leta 1998 in 1990 ter podatke o obsegu poplave leta 1990 (VGI in VGP NM, 1991). Tako smo lahko izdelali DMR poplavnega območja in ugotovili volumen vode, ki naj bi se leta 1990 razlila v okolici NEK. Volumen vode smo nato izračunali in dobili vrednost 2,6 mio m³ vode. Namreč voda, ki je bila razlita po površini, je bila dokaj plitva, kar lahko sklepamo tudi na osnovi fotografij poplav leta 1990 in 1998 (Slika 8) ter limnigrafskih zapisov (Slika 8). Razlika v gladinah znaša dobrih 30 cm in obliki poplavnih valov sta si zelo podobni, kar tudi kaže na podobnost dogodkov. Enako razliko najdemo tudi na objektu na naslovu Cesta krških žrtev 59, ki je bil med visoko vodo leta 1990 in leta 1998 poplavljen do sledi, ki sta označeni na fotografiji (Slika 9). Iz omenjenih razlik lahko sklepamo, da izlivanje vode na poplavna območja ni bistveno vplivalo na razliko v znižanju pretokov pri obeh dogodkih v sicer uniformirani urejeni strugi reke Save od jezua pri NEK do Krškega. Tok vode v poplavnem območju je izrazito oblikovan samo mimo jezua z izrazito počasnim tokom oziroma majhno hitrostjo vode.



Poplava leta 1990

Poplava leta 1998

Slika 8. Posnetki jez pri NEK v poplavi leta 1990 in 1998



Poplava leta 1990

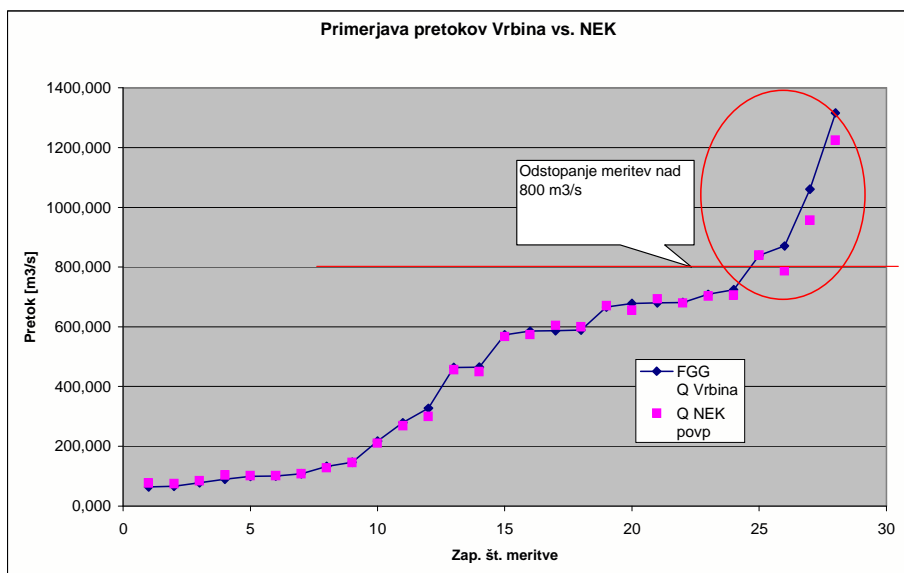
Poplava leta 1998

Slika 9. Limnigrafski zapisi poplavnih valov



Slika 10. Objekt na naslovu Cesta krških žrtev 59 (IHR, 2008)

V obdobju 2006-2009 je Katedra za splošno hidrotehniko opravila 34 meritev pretokov dolvodno od NEK. Primerjava meritev s pretoki določenimi na osnovi pretočne krivulje pri NEK (Slika 11) kaže na dobro ujemanje meritev in pretočne krivulje do pretokov $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri večjih pretokih se pojavijo sistematična odstopanja pri katerih kaže pretočna krivulja za okoli $100 \text{ m}^3/\text{s}$ večje vrednosti od merjenih. Pri večjih pretokih lahko pričakujemo samo še večja odstopanja.



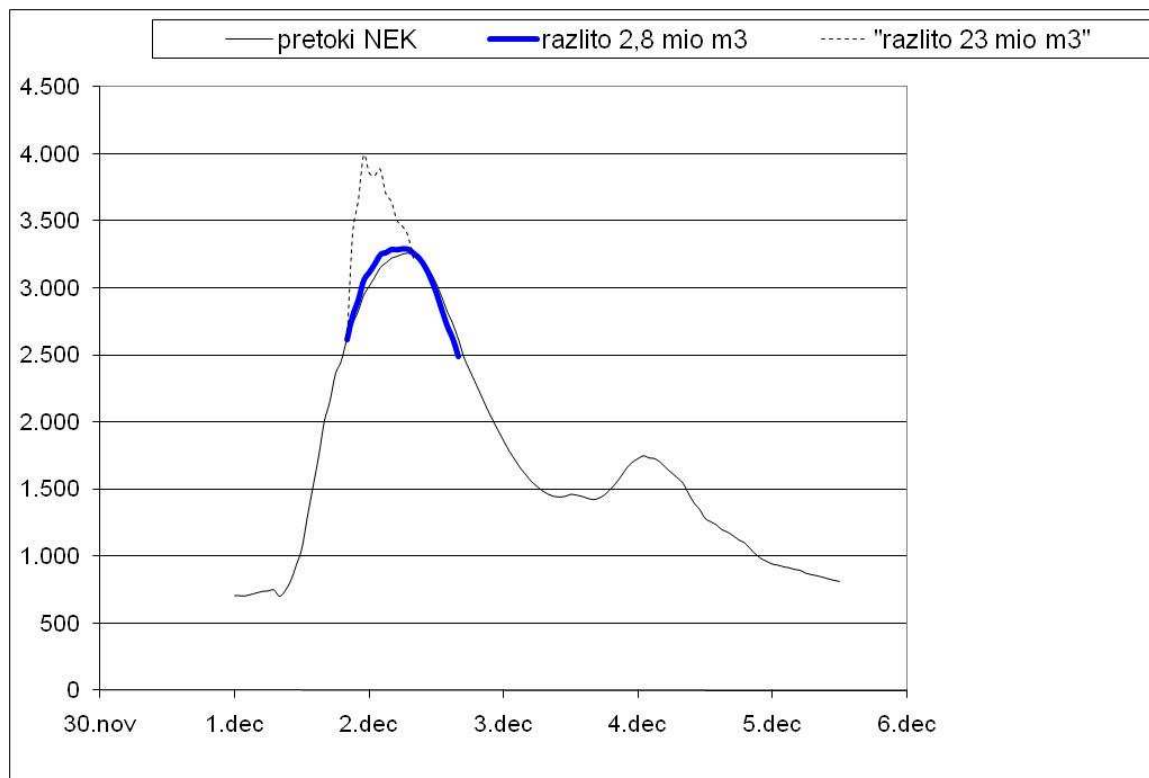
Slika 11: Grafični prikaz primerjave pretokov

Rekonstrukcija poplavnega vala pri NEK

S pomočjo modela na osnovi Muskigumove enačbe smo računali oziroma konstruirali poplavni val na reki Savi, ki bi moral priti skozi Krško in povzročiti poplavo podobnih razsežnosti ob desnem bregu reke Save pri NEK. Nato smo še opredelili kolikšen bi moral biti volumen poplave v primeru, ko bi pretoki v Krškem dosegali $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Slika 12).

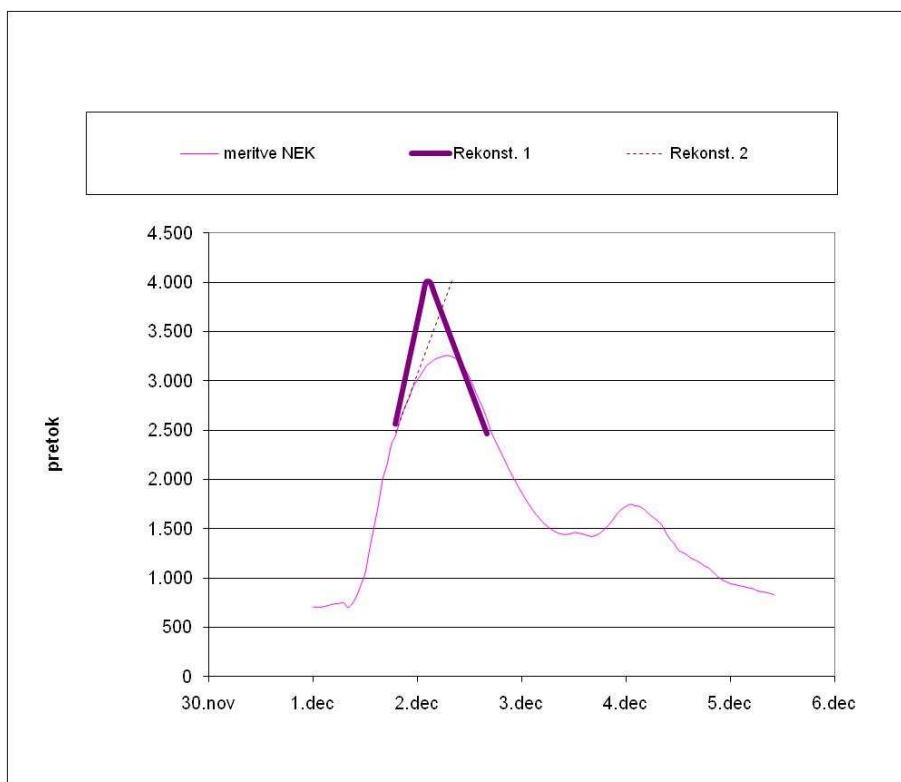
Ob upoštevanju volumna poplave $2,6 \text{ mio m}^3$ vode smo dobili povečane pretoke tudi do $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ob nastopu poplavnega vala, sama konica pa je bila večja samo za $28 \text{ m}^3/\text{s}$ (debelejša polna črta).

Pri določanju volumna potrebnega za val s $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ vode smo se srečali s težavo nestabilne računske sheme, pa vendarle je oblika vala dokaj primerna (prekinjena črta). Volumen poplave bi v tem primeru dosegel 23 mio m^3 ali devetkrat večjo vrednost, kot smo jo ugotovili na osnovi analize DMR. Tudi sama oblika vala kaže, da bi njegovo preoblikovanje na $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ pretoka imelo dokaj čudno obliko. Namreč razlivanje se prične pri pretoku vode $2600 \text{ m}^3/\text{s}$, ko se intenziteta naraščanja vode že krepko zmanjšuje. Prikazana analiza ne podpira domneve o maksimalnem pretoku $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ pri poplavi leta 1990. Pretoki so bili lahko večji največ do $200 \text{ m}^3/\text{s}$, in sicer ob upoštevanju toka vode ob desnem bregu jezusa pri NEK.



Slika 12. Poplavni valovi pri NEK, merjeni in simulirani z modelom.

Izvedli smo tudi morfološko analizo poplavnega vala in njegovo rekonstrukcijo na osnovi linearne interpolacije (Slika 13). Pri analizi upoštevamo, da se poplavni val pri NEK ne razlikuje od poplavnega vala v Krškem, dokler je voda še v strugi. Do sprememb prihaja samo zaradi izlivanja vode na poplavno območje ob desnem bregu reke. Rekonstrukcijo smo izvedli ob upoštevanju maksimalnega naraščanja vode v strugi v velikosti $205 \text{ m}^3/\text{s}$ na uro (Rekonstrukcija 1) in $118 \text{ m}^3/\text{s}$ na uro (Rekonstrukcija 2). Večje naraščanje je imel poplavni val dokler ni dosegel $2000 \text{ m}^3/\text{s}$. Potem se je naraščanje postopno zmanjševalo in je pred razlivanjem znašalo $118 \text{ m}^3/\text{s}$ na uro. Pri Rekonstrukciji 1 smo nato upoštevali upadanje vala z nekoliko manjšo intenziteto ($118 \text{ m}^3/\text{s}$). Pri Rekonstrukciji 1 se je nova oblika nekako ujela s staro, s tem da smo dobili neobičajno oster vrh poplavnega vala, Rekonstrukcija 2 pa enostavno ni uspela, pretoka bi lahko povečali samo za $500 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 13. Rekonstrukcija vala na osnovi morfološke analize

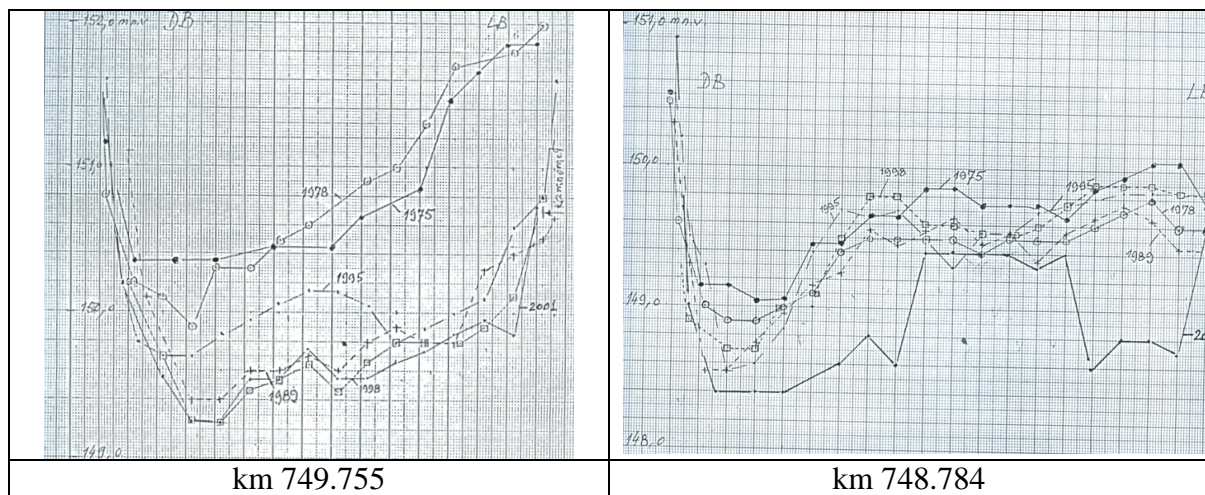
Poplavni val na reki Savi leta 1990 pri NEK smo analizirali na šest različnih načinov. Pri tem smo na osnovi meritev ugotovili, da so izmerjene vrednosti pretokov pri NEK leta 1990 lahko tudi precenjene. Namreč meritve pretokov višjih od 1224 m³/s, kot smo jih izmerili, ni na razpolago. Bodoče meritve še večjih pretokov bodo pokazale bolj točno pretočno krivuljo NEK.

Analize oblike hidrograma kažejo na možnost večjih maksimalnih pretokov za slabih 100-200 m³/s, kar potrjuje tudi analiza količin zbrane vode na poplavnem območju.

Hidravlična simulacija s pomočjo fizičnega modela, na osnovi katere je opredeljen pretok 4000 m³/s leta 1990 je lep primer »skunka«, IHR 2008. Simulacija je zajela del struge save med stacionažami KM 747.520 in KM 752.340. Problem, ki je »kunk« je bil površno obravnavan brez vseh nujnih analiz in je postal »skunk«. Namreč pri analizi podatkov so izdelovalci izločili vse meritve z izjemo dveh vrednosti in pri morfološki analizi so ugotovili, da se morfologija struge ni bistveno spreminjala v zadnjih dvajsetih letih. Spremembe naj bi bile znotraj 0,5 m in se pri seimulaciji pojava leta 1990 lahko enaka oblika struge kot za pojav iz leta 2007. Obe izhodišči nista upravičeni oziroma sta privzeti, »kar tako« brez obrazložitve. Namreč izvršene vrednosti meritev kažejo dosti nižje gladine vode v strugi reke Save kot v zaprtem stopnišču stavbe na Cesti krških žrtev 59 (0,61 m, IHR, 2008). Tudi morfologija struge se je na obravnavanem odseku precej spreminjala, in sicer bolj kot so to ugotavljali avtorji simulacije, predvsem se ja pe poglobila. Na Sliki 14 je prikazani prečni profil reke Save v km 749.755 in km 748.784.

Še večji »skunk« je simulacija maksimalnega pretoka iz leta 1990 na območju VP Radeče, IZVRS 2009. Simulacija je opravljena z modelom, ki ni bil umerjen še manj pa verificiran. Simulacije so bile opravljene z načrtom, da se opraviči pretok 4000 m³/s. Za doseganje cilja ni bilo odveč tudi spreminjanje podatkov o registrirani gladini poplave leta 1990 na sicer poškodovani VP Radeče. Pri izračunih niso bile upoštevani podatki o

poplavlach leta 2007 in 1998 niti vrsta simulacij opravljenih na omenjenem odseku reke v preteklosti. Na osnovi je omenjenih simulacija je prišlo do spremembe uradne vrednosti pretoka iz leta 1990 z 2991 m³/s na 3550 m³/s, ARSO 2009.



Slika 14. Prečni profili reke Save

Modeliranje vpliva podnebnih sprememb

Podnebne spremembe so napovedane na osnovi simulacij z več modeli. Simulacije napovedujejo različna povišanja temperatur v naslednjih desetletjih glede na različne scenarije. Prof. D. Koutsoyiannis, laureat Darsyve medalje EGU za leto 2009, in njegova skupina s Tehniške univerze v Atenah je leta 2008 na konferenci EGU na Dunaju predstavila raziskavo simulacije modelov podnebnih sprememb za zadnjih 120 let in jih skušala verificirati z meritvami na šestih točkah Zemljine oble. Upoštevani so modeli:

- ECHAM4/OPYC3: model sta razvila Inštitut Max-Planck-Institute for Meteorology in Deutsches Klimarechenzentrum iz Hamburga, Nemčija,
- CGCM2: razvit s strani Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis,
- HADCM3: razvit s strani Hadley Centre for Climate Prediction and Research.

in podatki o temperaturah in padavinah za Aliartos (Grčija), Matsumoto (Japonska), Alice Springs (Australija), Vancouver (ZDA), Colfax (ZDA), Albany (ZDA) in Manaus (Brazilija). Analiza izračunov in meritev spremenjenih na osnovi pomikajoče se srednje vrednosti 30 let je pokazala izredno velika odstopanja. Modeli enostavno niso sledili naravni spremenljivosti merjenih vrednosti in kar je še huje ti tudi med seboj niso podali dovolj dobro primerljivih rezultatov.

Namesto zaključka lahko samo potrdimo, da izrek »garbage in – garbage out«, nastal v rosnih začetkih modeliranja pred tridesetimi leti, še velja. Dobra simulacija zahteva potrpežljivo in vestno delo. Površne in ne dovolj domišljene simulacije pa zavajajo in ustvarjajo zmedo.

Literatura

ARSO 2009, Korekcija hidroloških podatkov in določitve novega Q100 za reko Savo za profile Radeče, HE Krško in HE Brežice.

- IHR, 2008: IZVEDBA HIBRIDNIH HIDRAVLIČNIH MODELOV ZA OBMOČJE SPODNJE VODE HE KRŠKO, OBMOČJE HE BREŽICE IN OBMOČJE HE MOKRICE« Model toka Save skozi Krško – obstoječe stanje Preliminarno poročilo, November 2008
- IzVRS, 2009, Hidravlični izračun visokih vod na območju vodomerne postaje Radeče
- KSH, 2009, Izdelava analize »Preparation of new revision of pmf study and conceptual design package for flood protection of NPP Krško«, november 2009. naročnik naloge – NEK.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M., Bergström, S. 1997. Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. Journal of Hydrology 201: 272-288.
- VGI in VGP NM, 1991: Elaborat poplav v Sloveniji, november 1990
- Klemeš V., Risk analysis: Unburbable clavernings of blafing.