

Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko

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

RAZISKAVE S PODROČJA GEODEZIJE IN GEOFIZIKE 2006

zbornik predavanj

12. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko

Ljubljana, 18. januar 2007

ORGANIZACIJSKI ODBOR

Miran Kuhar
Bojan Stegenšek
Janez Goršič
Tanja Jesih

UREDNIŠKI ODBOR

Miran Kuhar
Klemen Kozmus

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(063)(082)
528(063)(082)

SLOVENSKO združenje za geodezijo in geofiziko. Strokovno
srečanje
(12 ; 2007 ; Ljubljana)

Raziskave s področja geodezije in geofizike 2006 : zbornik
predavanj / 12. strokovno srečanje Slovenskega združenja za
geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 18. januar 2007 ; [organizator
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo ; uredniški odbor Miran
Kuhar, Klemen Kozmus]. - Ljubljana : Fakulteta za
gradbeništvo in geodezijo, 2007

ISBN 978-961-6167-70-3

1. Gl. stv. nasl. 2. Kuhar, Miran 3. Fakulteta za gradbeništvo in
geodezijo (Ljubljana)
230283264

Predgovor

Pred nami je zbornik našega letošnjega strokovnega srečanja Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko. Referatov ni veliko, so pa izredno aktualni in zanimivi. Dokazujejo, da smo na področjih, ki jih naše združenje obsega dosegli znanja in rezultate, kot jih narekuje razviti svet, četudi so na tem mestu morda nekateri predstavljeni le kot prispevki, namenjenih širši strokovni javnosti.

Razveseljivo je tudi dejstvo, da so naše raziskave vse bolj interdisciplinarno in internacionalno usmerjene, kar je nedvomno težnja in nuja v sodobni tehnološko in globalno usmerjeni družbi. Osebnostno sem prepričana, da bomo ob takšni odprtosti in napredku slovenski znanstveniki, raziskovalci in strokovnjaki kljub geografski in demografski majhnosti našli mesto in priznanje v Evropi in svetu, četudi nam delo pogosto omejujejo in otežujejo vsakdanji organizacijski in finančni problemi.

Naša srečanja v okviru Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko postajajo že tradicionalna. Kljub raznolikosti sekcij, ki jih naše združenje obsega, nam prav to druženje daje možnost celovitega vpogleda v slovensko znanje na tem področju in s tem prispeva k osebni rasti vsakega posameznika in nas vseh.

Ob letni skupščini in strokovnem srečanju, kjer bo veliko možnosti za sproščen razgovor z dolgoletnimi člani, novimi znanci in študenti, ki jih to področje geodezije in geofizike še posebej zanima, mi dovolite, da vam zaželim veliko uspehov pri vašem delu in upam, da se prihodnje leto ponovno snidemo.

predsednica SZGG

dr. Polona Kralj

Kazalo

Predgovor	3
M. Kuhar, K. Medved, B. Barišić, M. Liker, B. Koler - Izmera gravimetrične mreže Slovenije	7
L. Globevnik - Hidroekološke lastnosti prostora reke Mure v Sloveniji - stanje, trendi	11
D. Radovan - Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS za natančno določanje položaja	21
F. Vodopivec, A. Bilc, L. Placer, M. Poljak, M. Živčič - Šest let projekta CERGOP v Sloveniji	29
L. Stravs, M. Brilly - Razvoj metodologije za izdelavo modelov 7-dnevne napovedi nizkih pretokov	41
B. Stopar, B. Koler, D. Kogoj, O. Sterle, T. Ambrožič, S. Savšek-Safić, M. Kuhar, D. Radovan - Geodetska navezava mareografske postaje Koper	51
D. Medak, B. Pribičević, E. Prelogović - Recent Geodynamical GPS-projects in Croatia	61

Izmera gravimetrične mreže Slovenije

Miran Kuhar^{*}, Klemen Medved^{**}, Bojan Barišić^{***}, Mihajla Liker^{***}, Božo Koler^{*}

Povzetek

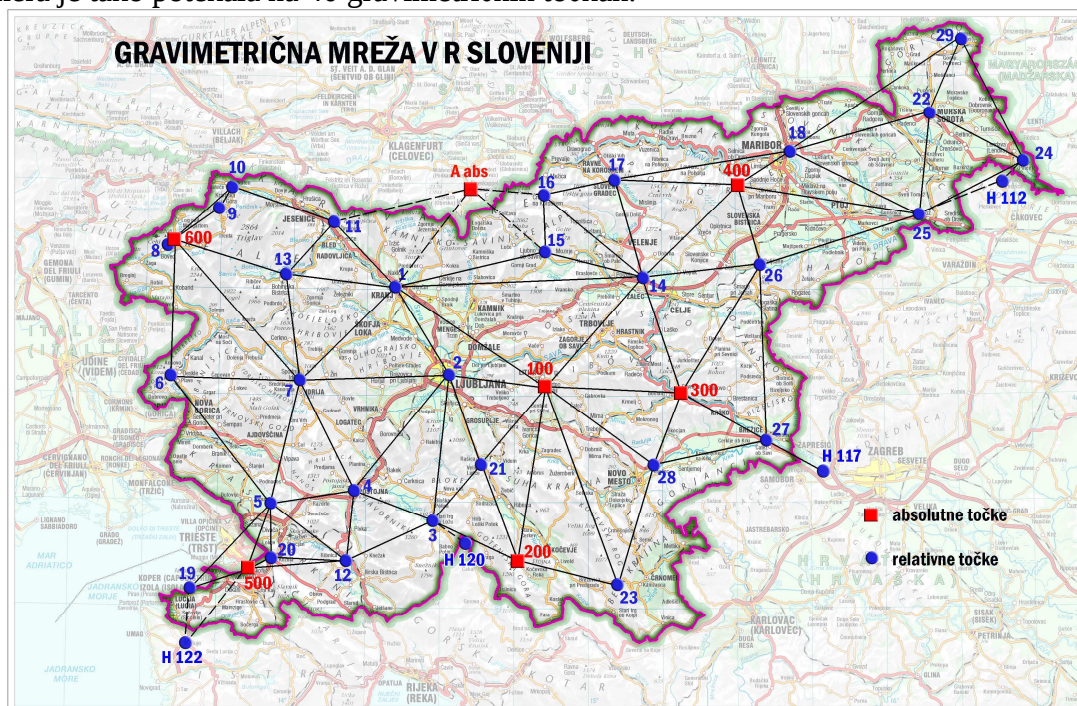
Med 5. septembrom 2006 in 10. novembrom 2006 smo na območju Slovenije izvedli izmero gravimetrične mreže 1. reda Slovenije. Pri izmeri smo uporabili dva gravimetra tipa Scintrex CG-3M. Meritve smo opravili na 29 točkah gravimetrične mreže 1. reda, 6 točkah mreže 0. reda z navezavo na tri točke Hrvaške gravimetrične mreže in eno točko Avstrijske gravimetrične mreže.

Uvod

V Sloveniji smo jeseni 2006 izvedli izmero nove osnovne gravimetrične mreže. Mreža je na teritoriju Slovenije sestavljena iz (Slika 1):

- 29 relativnih točk (I. red)
- 6 absolutnih točk (0. red)

V izmero so vključene tudi točke onstran meja Slovenije: ekscenter avstrijske absolutne točke (oznaka A-abs) in štiri hrvaške relativne točke (oznake HR-112, HR-122, HR-120, HR-117). Tako smo dosegli večjo homogenost naše gravimetrične mreže, poleg tega pa bo mreža navezana na gravimetrične mreže sosednjih držav (Avstrija in Hrvaška). Celotna izmera je tako potekala na 40 gravimetričnih točkah.



Slika 1 – Gravimetrična mreža Slovenije z navezavo na sosednje države

^{*} doc.dr.Miran Kuhar, univ.dipl.inž.geod., doc.dr.Božo Koler, univ.dipl.inž.geod., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

^{**} Klemen Medved, univ.dipl.inž.geod., Geodetska uprava R. Slovenije, Zemljemerska 12, 1000 Ljubljana

^{***} Bojan Barišić, dipl.inž.geod., Mihajla Liker, dipl.inž.geod., Hrvatski geodetski institut, Savska 41, 10144 Zagreb

Izvedba meritev

Meritve smo opravili v 42 delovnih dnevih, od 5. septembra 2005 do 9. novembra leta 2006. Prvi in zadnji delovni dan sta bila namenjena meritvam za potrebe kalibracije gravimetrov. Meritve smo izvajali z dvema relativnima gravimetroma tipa Scintex CG-3M. Prvi, serijska številka 10241, je last Geodetske uprave Republike Slovenije, drugi, serijska številka 704373, pa je last Hrvaškega geodetskega inštituta iz Zagreba. V dnevno delovno ekipo so bili vključeni voznik in slovenski ter hrvaški operater.

Relativni gravimetri so zelo občutljivi instrumenti, s katerimi je potrebno ravnati pazljivo. Posebno pozornost je potrebno posvetiti transportu instrumenta. Med prevozom sta bila instrumenta nameščena v potovalnih zabojih, ki sta bila nameščena in pritrjena v vozilo (Slika 2). Tako poskušamo omiliti tresljaje in nezaželeno premikanje instrumenta, ki bi mu lahko škodovalo. Sama vožnja mora potekati čim bolj tekoče in brez sunkovitih pospeševanj oziroma zaviranj.



Slika 2 – Namestitev zabojev za prevoz relativnih gravimetrov v avtu

Merjenja v osnovni gravimetrični mreži zahtevajo dobro logistično pripravo, detajlni plan meritev in pripravljen instrument. Tako moramo zagotoviti prevozno sredstvo z dovolj prostora za varno namestitev dveh zabojev za prevoz instrumentov in ostale opreme (prevažali smo se z osebnim avtom Renault Kangoo, last GURS), nujno pa je tudi dobro poznavanje cestnih povezav in dostopa k točkam. Prav tako je potrebno dobro poznati lokacije vseh gravimetričnih točk, ki so zabeležene v topografijah. Plan meritev predpostavlja dobro načrtovan gravimetrični dan. Potrebno je definirati metodo merjenja, začetno točko in geometrijski lik, ki se bo zapiral v enem gravimetričnem dnevu. Tako je bil terminski plan meritev izdelan na osnovi naslednjih izhodišč:

1. Za metodo izmere je bila izbrana metoda zvezde in profila.
2. Vsaka stranica v geometrijskem liku mora biti vključena v izmero vsaj dvakrat.
3. Če je mogoče, se geometrijski liki zapirajo dnevno.
4. Upoštevati je potrebno čas, ki ga potrebujemo za prevoz med posameznimi točkami (povprečno naj bi bile izmere zaključene v 10 delovnih urah).

Postopek na posameznih točkah

Po prihodu na točko smo postavili in horizontirali instrumenta. Vedno je bil slovenski instrument levo, hrvaški pa desno od točke. Zatem smo opravili grobo horizontriranje in izmerili višini instrumentov glede na vrh čepa (Slika 3). Sam postopek odčitavanja višine na merskem traku smo za potrebe arhiva in kontrole slikali z digitalnim fotoaparatom (Slika 4).



Slika 3 - Čep, s katerim so stabilizirane relativne gravimetrične točke

Zaradi tresljajev, ki so prisotni pri prevozu in prenosu instrumenta, smo po horizontriranju instrumenta počakali 10 minut, da se merilni sistem umiri. Po 10 minutah smo pričeli z meritvami. Na vsaki točki smo opravili pet 60-sekundnih serij opazovanj.



Slika 3 - Primer dokumentiranega merjenja višine instrumenta

Da bi gravimeter lahko neposredno izračunaval popravke zaradi plimovanja trdne Zemlje smo predhodno vnesli geografske koordinate točk (te smo zajeli iz topografskih kart merila 1 : 50 000 oz. 1 : 25 000). Geografske koordinate smo izračunali kot aritmetično sredino geografskih koordinat točk, ki so na določeni dan vključene v izmero. Tako smo dobili približne geografske koordinate sredine območja, v katerem se na

določeni dan opravljajo meritve. Pri neposredni povezavi med absolutnimi gravimetričnimi točkami smo vnašali geografske koordinate absolutnih gravimetričnih točk.

Zaključek

Med izmero mreže smo imeli skoraj idealne vremenske pogoje, saj je občasno deževalo le nekaj delovnih dni. Tudi nenadnih sprememb temperature in zračnega tlaka ni bilo. Na posameznih točkah so bili prisotni povečani mikroseizmični vplivi, predvsem kot posledica povečanega prometa v okolici točke. To se je odrazilo v večjih standardnih odklonih v posameznih serijah meritev. Več informacij o sami kvaliteti izmere bomo lahko dali šele po končani obdelavi opazovanj.

Izmera gravimetrične mreže je samo eden od korakov, ki jih je potrebno opraviti do celotne vzpostavitve nove gravimetrične mreže Slovenije. Po projektiranju in izmeri mreže nas čakata še, verjetno časovno najdaljši, obdelava in analiza podatkov. Za ustrezno obdelavo podatkov, moramo gravimetrične točke I. reda predhodno navezati na nivelmansko mrežo Republike Slovenije. Na osnovi neposredne navezave absolutnih gravimetričnih točk bomo opravili analizo skladnosti absolutnih gravimetričnih meritev, ki so bile izvedene na posameznih absolutnih gravimetričnih točkah. Na absolutni gravimetrični točki AGT 100 Bogenšperk in AGT 200 Gotenica so bile poleg tega opravljene absolutne gravimetrične meritve z različnimi instrumenti v različnem času. Na osnovi vseh opravljenih meritev bo možno izvesti analizo absolutnih gravimetričnih meritev. Na tej podlagi bomo lahko izbrali ustrezne dane količine za izravnavo relativnih gravimetričnih meritev.

Literatura

Geodetski inštitut Slovenije 2006: Razvoj OGS 2006, Prehod na nov koordinatni sistem, končno poročilo za Geodetsko upravo R. Slovenije: 236 str.

Hidroekološke lastnosti prostora reke Mure v Sloveniji - stanje, trendi

Lidija Globevnik*

Povzetek

Narejena je analiza stanja in trendov hidroloških lastnosti prostora reke Mure v Sloveniji in z njimi povezanih ekoloških dejavnikov. Hidrološke lastnosti tega poplavnega prostora oblikuje reka Mura in manj padavine ter lokalni pritoki. Analiza pretokov pri vtoku v prostor (Petanjci) kaže na velike spremembe v zadnji desetletjih. Velikosti največjih pretokov v letu se večajo, število dni s temi pretoki se manjša. Manjšajo se tudi srednje in nizke vode, število dni z nizkimi pretoki se večja. Analiza 65-letne sezone hidrološke dinamike kaže na razmeroma konstanten odtok iz območja v več kot 40 % delu leta, ki pa se je v zadnjem obdobju močno zmanjšal. V obdobju 1926-1965 je iz območja mokrišč v 60 % delu leta voda stalno odtekala v strugo s pretokom $7 \text{ m}^3/\text{s}$, v 40 % delu leta pa $9 \text{ m}^3/\text{s}$. Te količine so se v obdobju 1966-1990 več kot razpolovile. To kaže na veliko zmanjšanje naravnih zadrževalnih sposobnosti rečnega prostora Mure pod Petanjci. Gladina podzemne vode na Murskem in Prekmurskem polju se v povprečju med letom giblje v razponu od 1.5 do 3.5 m pod površino. V obdobju 1980 - 1998 je zaznan upad povprečnih gladin vode za 20 do 25 cm z izjemo lokacij pri Radmožancih (20 cm), Rankovcih (11 cm) in Zg. Krapju (1 cm).

Uvod

Rečni prostor Mure v Sloveniji ima veliko biotsko raznovrstnost, hkrati pa s svojimi vodnimi, rekreacijskimi in turističnimi potenciali pomeni osnovo ohranjanja in izboljševanja kvalitete življenja na širšem območju. Od pretočnih lastnosti Mure je močno odvisno tudi stanje podzemne vode vodonosnikov murskih ravnin. Podzemna voda je najpomembnejši vir pitne vode območja, hkrati pa jo uporabljajo tudi za namakanje. V zadnjih desetletjih grajeni vodni objekti in naprave, agromelioracijski sistemi ter gospodarski infrastrukturni in drugi objekti spreminjajo hidrološke lastnosti območja. Ker so od hidroloških lastnosti odvisni ključni ekološki dejavniki za ohranjanje biotske raznolikosti prostora, ima poznavanje stanja in trendov velik pomen. To poznavanje je potrebno tudi kot osnova za oblikovanje programov ukrepov za varstvo in rabo tega prostora. Prispevek podaja rezultate analize podatkov o hidroloških lastnostih prostora reke Mure v Sloveniji in z njimi povezanih ekoloških dejavnikov.

Opis območja

Reka Mura, ki izvira v Avstriji (1898 m n.v.) in se kot mejna reka med Hrvaško in Madžarsko izliva v reko Dravo, je dolga 444 km. Velikost njenega porečja je 14304 km^2 . Več kot polovica površin leži v Avstriji. Slovenski del porečja je velik 1393 km^2 , hrvaški 987 km^2 in madžarski 1911 km^2 . Povprečni padec reke je 0,21 %. Povprečni padec v Sloveniji je 0,1 % in manj kot 0,06 % na mejnem odseku med Hrvaško in Madžarsko (Halcrow in Vodnogospodarski inštitut, 2000). Odtokni režim (povprečna razporeditev pretokov preko leta) pa je odvisen predvsem od snežnih padavin in dolžine trajanja snežne odeje v Avstriji (Ilešić, 1947; Kolbezen, 1998; Hrvatin, 1998; Frantar in Hrvatin, 2005).

* dr.Lidija Globevnik, univ.dipl.inž.gradb., Inštitut za vode RS, Hajdrihova 28c, 1000 Ljubljana

Nadpovprečni pretoki se pojavljajo spomladi (marec-maj), medtem ko imajo pozno jesenski in zimski meseci nizke pretoke. Povprečni pretok Mure pri vtoku v Slovenijo (Cmurek) je $153 \text{ m}^3/\text{s}$, najvišji zabeleženi pretok $1293 \text{ m}^3/\text{s}$, srednji nizki pretok pa $59 \text{ m}^3/\text{s}$. Razmerje med najvišjimi in najnižjimi povprečnimi dnevnimi pretoki je 30 (Halcrow in Vodnogospodarski inštitut, 2000).

Zaradi potreb varstva pred poplavami in izkoriščanja energetskega potenciala reke je bila Mura v Avstriji (315 km) večinoma regulirana, zgrajeni so bili visokovodni nasipi, na njej pa je postavljenih 16 hidroelektrarn (SLO-A komisija za Muro, 2000). Zadnja hidroelektrarna leži pred mejo s Slovenijo. Srednji in spodnji del reke Mure, ki se začne na meji med Slovenijo in Avstrijo, je še ohranil nekatere naravne morfološke in ekološke lastnosti rečnega prostora. Regulacije na območju Slovenije so bile izvedene postopoma in manj sistematično kot v Avstriji, hidroelektrarn pa na tem odseku ni. Glavna struga je sicer izravnana in poglobljena, vendar so znotraj visokovodnih nasipov ohranjeni številni stari stranski rokavi in mrtvice. Glavna izravnalna dela na strugi reke Mure v Sloveniji so potekala v 1970-ih in 1980-ih letih. Prostor med visokovodnimi nasipi, ki se ponekod navezujejo na naravne rečne terase, je širok do 1,2 km. Ob večjih pretokih reke je območje znotraj njih poplavljenno. Od Petanjcev proti Murskem Središču se povečuje raznolikost strukture rečnega prostora, ki jo omogoča hidrološka in morfološka dinamika v poplavnem območju. Tu rastejo nižinski poplavni gozdovi (lirsko hrastovo-belogabrovi gozdovi in obrečna vrbovja, jelševja in jesenovja) (Čarni s sodelavci, 1998; Leskovar, 2000), v starih rečnih rokavih, mrtvicah, rečnih otokih in na prodiščih ter erozijskih stenah pa živijo tudi v evropskem merilu redke vrste dvoživk, kačjih pastirjev, metuljev, ptic, sesalcev in rib (Uredba o posebnih varstvenih območjih - območjih Natura 2000, Ur. l. 45/04).

Podatki in metoda dela

Na reki Muri so postavljene štiri vodomerne postaje, tri v upravljanju Agencije za okolje Republike Slovenije (ARSO) (Cmurek, Gornja Radgona, Petanjci) in ena v upravljanju Hrvaškega hidrometeorološkega zavoda (Gornja Radgona). Za analizo so uporabljeni podatki ARSO o dnevni pretokih v Gornji Radgoni in Petanjcih (obdobje 1926-2000), dnevni pretoki v Murskem Središču (Hidrološki godišnjaki, arhiv IzVRS), o letnih vrednostih padavin za Gornjo Radgono, Mursko Soboto in Lendavo za obdobje 1961-2000 (arhiv ARSO) in podatki ARSO o nivojih podzemne vode območja Mure na 18ih lokacijah (obdobje 1961-2000).

Izračunane so povprečne letne padavine in trendi obdobja 1961-2000 za Gornjo Radgono, Mursko Soboto in Lendavo. Določene so velikosti pretokov, pogostosti nastopa 95 %, 90 %, 80 %, 50 % in 1 % pri Petanjcih za šest zaporednih obdobj. Za isto obdobje so izračunana tudi povprečja letnih padavin v Gornji Radgoni in Murski Soboti. S prikazom teh vrednosti na isti sliki je ocenjena medsebojna povezava padavin in pretokov v zgornjem območju prostora reke Mure v Sloveniji. Za Petanjce (obdobje 1926-2000) in Mursko Središče (obdobje 1926-1990) so določene hidrološke lastnosti in časovni trendi srednjih, nizkih (minimalnih) in visokih (maksimalnih) voda. Vodno bilančna dinamika prostora reke Mure v Sloveniji (mokrišča območja Mure pod vtokom Kučnice, to je pod slovensko-avstrijsko mejo) je določena z analizo izbranih statistik pretokov v Petanjcih in Murskem Središču ter analizo sprememb nivojev podzemne vode območja. Z analizo razlik med pretoki pri izbranih dolžinah trajanja je določena stopnja zadrževanja vode v mokriščih glede na pretoke v strugi. Za tri obdobja, 1926-1990, 1926-1965, 1966-1990 so določene krivulje trajanja dnevnih pretokov na obeh vodomernih postajah in izračunane razlike med pretoki pri izbranih vrednostih trajanja za izbrana obdobja. Izbrano je najdaljše

obdobje, za katero so na razpolago podatki (1926-1990). Navedeno obdobje je razdeljeno na dve obdobji. Obdobje 1926-1965 predstavlja stanje pred izvedbo večjih izravnalnih ukrepov na reki Muri v Sloveniji, obdobje po njem pa čas posegov v rečni sistem. Trendi sprememb višin podzemne vode v vodonosnikih ob Muri so izračunani za 18 lokacij, kjer se izvaja republiški monitoring (ARSO). Za dve obdobji, 1961-2000 in 1981-2000 so analizirane povprečne mesečne in največje ter najmanjše povprečne mesečne višine vode z amplitudami.

Rezultati

Trendi letnih padavin po izbranih obdobjih za Gornjo Radgono, Mursko Soboto in Lendavo so prikazani na sliki 1. Trenda padavin na postaji Gornja Radgona in Murska Sobota sta pozitivna, medtem ko je trend padavin v Lendavi negativen. Na Sliki 2 so prikazane povprečne vrednosti pretokov na vodomerni postaji Petanjci s pogostostjo nastopa 95 %, 90 %, 80 %, 50 % za šest zaporednih obdobj. Za primerjavo so prikazane tudi povprečne letne padavine na Murski Soboti in Gornji Radgoni. Linearni trendi pretokov so negativni, medtem ko padavine ne izkazujejo negativnega trenda. Povprečna vrednost pretoka s pogostostjo nastopa v več kot 50 % deležu leta se manjša, vrednost pretoka s pogostostjo nastopa manj kot 10 % deleža leta se večja. Linearni trend letnih srednjih in minimalnih (povprečje najmanjših mesečnih protokov leta) povprečij pretokov na vodomernih postajah Petanjci in Mursko Središče so negativni, trend maksimalnih je pozitiven (Slika 3). Osnovne hidrološke lastnosti so prikazane v Preglednici 1.

Numerične vrednosti krivulje trajanja dnevnih pretokov v Petanjcih, Murskem Središču za tri časovna obdobja so prikazana v Preglednici 2 in Sliki 4. Razlika vtoka (pri Petanjcih) in iztoka (pri Murskem Središču) predstavlja sezonsko dinamiko odtekanja vode iz območja prostora reke Mure v Sloveniji oziroma opisuje način zadrževanja vode na tem območju. Krivulji trajanja za vodomerni postaji Petanjci in Murska Sobota sta gladki, medtem ko se krivulje trajanja pretokov (odtokov iz območja) lomijo na tri dele. Dela krivulje za obdobje 1926-1990, ki predstavljata visoke vode (trajanje manjše od 10 % deleža leta) in nizke vode (trajanje večje od 65 % deleža leta) sta zvezna. Vmesni del predstavlja navidežno konstanten odtok iz območja mokrišč Mure v Sloveniji, ki je velik 7 m³/s in je značilen za 40 % dni v letu. Krivulji odtokov iz območja za obdobje 1926-1965 in 1966-1990 kažeta na to, da je v obdobju 1926-1965 iz območja mokrišč v kar 60 % delu leta stalno odtekala v strugo 7 m³/s, v 40 % delu leta pa s pretokom 9 m³/s. Te količine so se v obdobju 1966-1990 več kot razpolovile. V 40 % leta vode iz območja sedaj odteka le s pretokom 4 m³/s.

Lokacija	Obdobje podatkov	Prispevna površina km ²	Srednji letni		
			Pretočni volumen [10 ⁶ m ³]	pretok [m ³ /s]	odtok [mm]
Petanjci	1926–1990	10 400	5 110	162	490
Mursko Središče	1926–1990	10 980	5 350	170	487
RAZLIKA	1926–1990	580	240	8	415

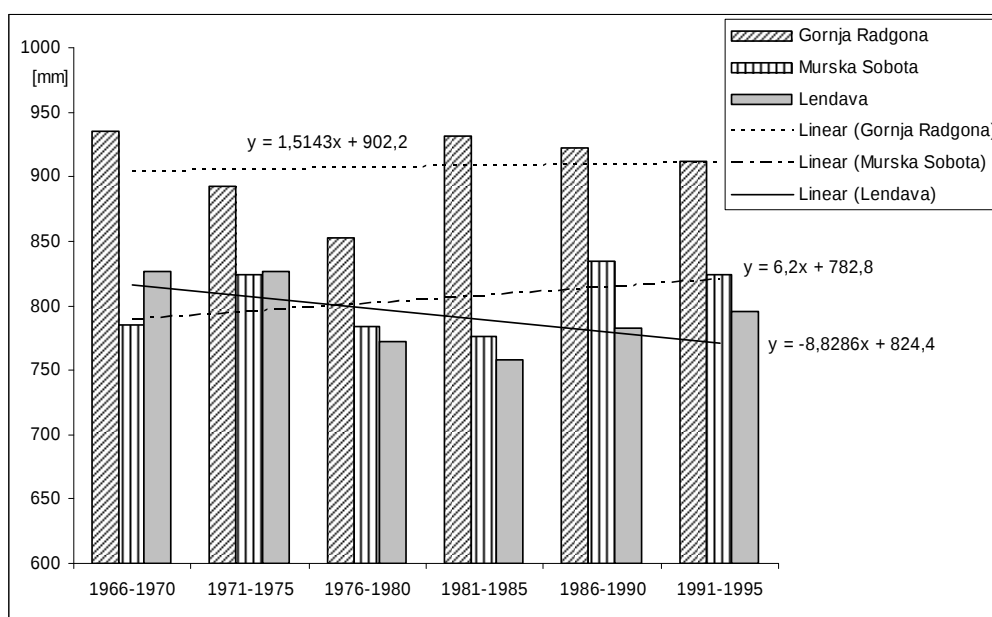
Preglednica 1 - Povzetek hidrologije letnih pretokov

Iz Preglednice 2 povzamemo naslednje ugotovitve. V obdobju 1926-1965 se je na primer pretok Mure v Murskem Središču večji od 169 m³/s (160 m³/s v Petanjcih) v povprečju pojavil v 146 dneh leta (40 % delež leta), v obdobju 1966-1990 se je ta pretok zmanjšal na 158 m³/s (154 m³/s v Petanjcih). Negativni trend potrjuje tudi Slika 2 (krivulje Q50%, Q80%...). Oziroma, pretok, večji od 169 m³/s v Murskem Središču (160 m³/s v Petanjcih), se je obdobju 1966-1990 pojavil v 130 dneh leta. Število dni s srednjimi in visokimi pretoki se manjša.

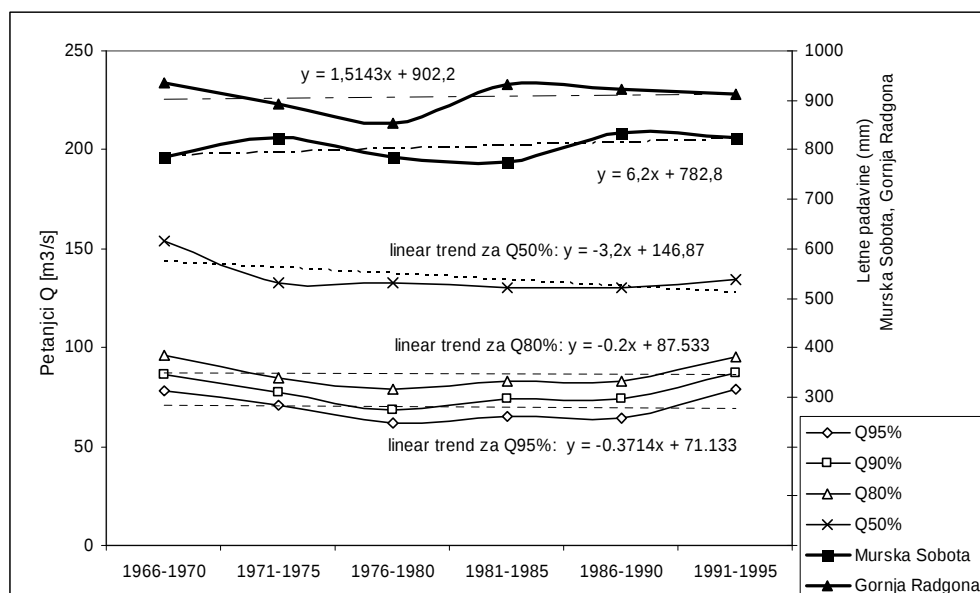
V Preglednici 3 so podane lokacije 18 postaj republiškega monitoringa podzemne vode in začetek meritev, v Preglednici 4 so podani rezultati analize. Največji dvig nivoja podzemne vode (pozitiven trend) je zaznati pri Radmožancih. Dvig je posledica izgradnje vodnega zadrževalnika ob koncu 70-ih let. Dvig je zaznati tudi pri Rankovcih (11 cm). Pri Zg. Krapju se je gladina povprečno dvignila za 1 cm. Na vseh drugih lokacijah je zaznati padec nivoja podzemne vode med 15 in 25 cm.

		Delež leta [%]												
		1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	99
		[m ³ /s]												
Mursko Sr.	1926-90	557	367	290	224	189	164	144	126	109	94	79	66	50
	1926-65	561	375	295	228	194	169	148	131	114	97	81	67	50
	1966-90	552	357	282	218	183	158	138	119	103	90	76	66	51
Petanjci	1926-90	504	346	278	216	182	157	137	119	102	89	75	64	48
	1926-65	523	356	286	219	185	160	139	121	105	90	74	63	46
	1966-90	467	329	270	213	179	154	134	116	100	88	74	65	50
RAZLIKA (odtok iz območja)	1926-90	52	21	11	8	7	7	7	7	7	4	4	3	2
	1926-65	37	18	9	9	9	9	9	9	9	7	7	5	4
	1966-90	85	28	12	6	4	4	4	3	3	2	1	1	1

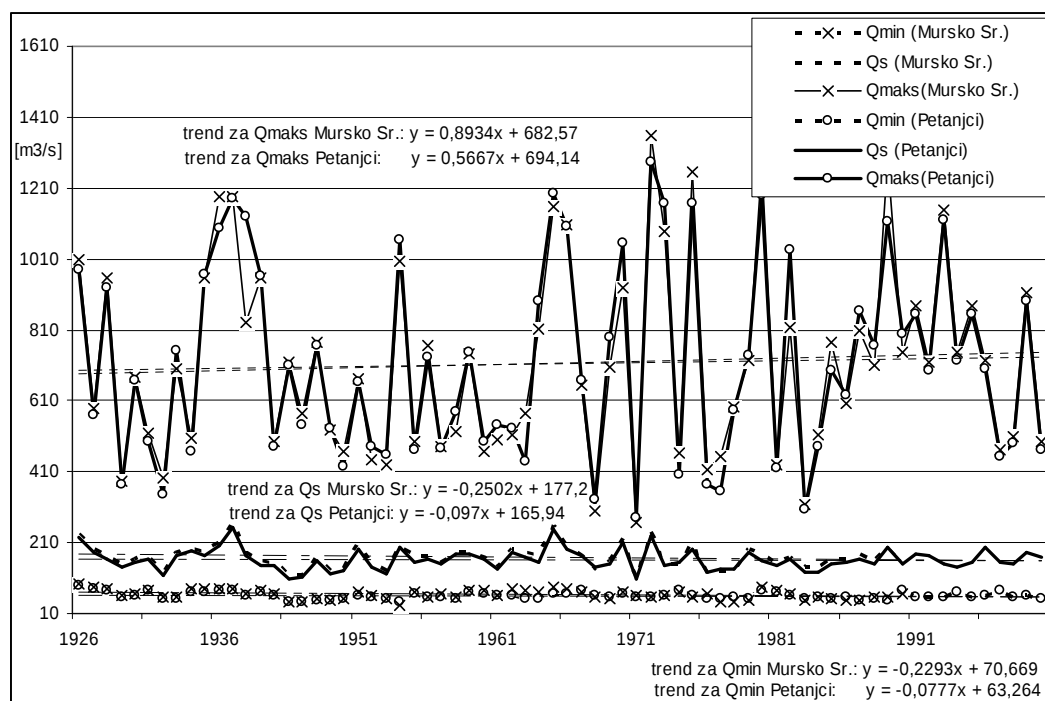
Preglednica 2 - Velikost pretokov (obdobje 1926-1990) na vodomernih postajah Petanjci in Mursko Središče za izbrana trajanja (delež leta, ko je pretok enak ali večji od izračunanih/ krivulja trajanja)



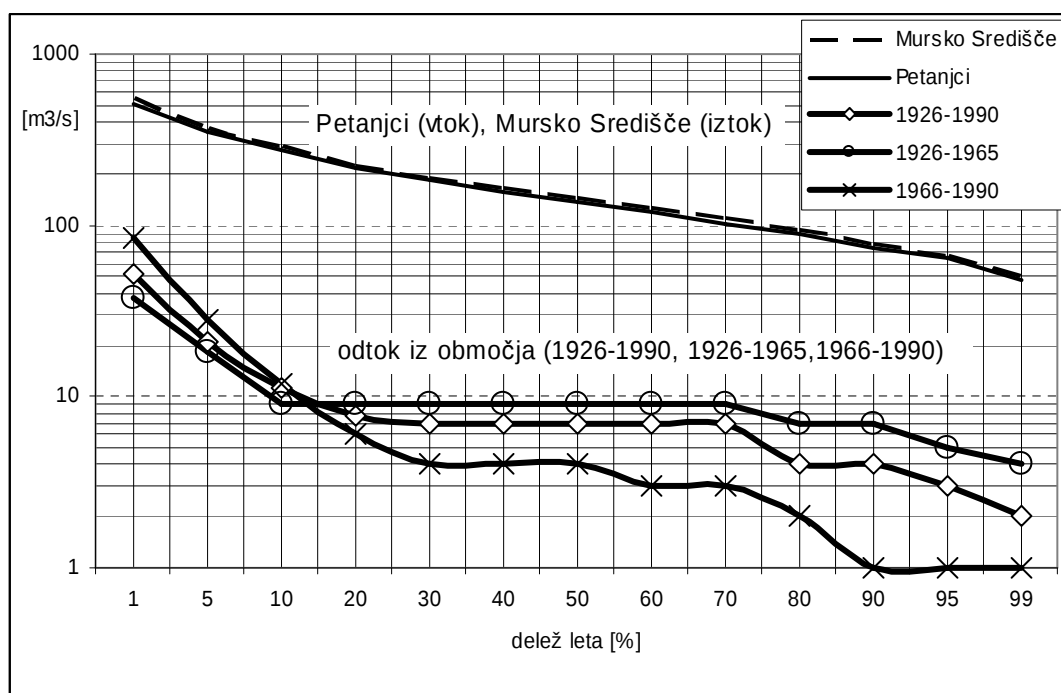
Slika 1 - Povprečne letne padavine za Gornjo Radgono, Mursko Soboto in Lendavo z linearnimi trendi (obdobje 1966-1995)



Slika 2 - Primerjava povprečnih pretokov v Petanjcih s pogostostjo nastopa 95 %, 90 %, 80 %, 50 % in povprečne letne padavine v Murski Soboti in Gornji Radgoni za šest zaporednih obdobj



Slika 3 - Srednji (Qs), minimalni (Qmin) in maksimalni (Qmaks) pretoki na vodomernih postajah Petanjci (obdobje 1926-2000) in Mursko Središče (obdobje 1926-1990) z linearnimi trendi



Slika - Krivulji trajanja srednjih dnevnih pretokov obdobja 1926-1990 za Petanjce (vtok), Mursko Središče (iztok) in krivulja trajanja odtoka iz območja (krivulja razlik pretokov za različna trajanja)

	Zap. št.	Id. š. ARSO	ime	Y Gauss Kruger	X Gauss Kruger	Začetek meritev
Prekmursko polje – leva stran	1	2630	Bakovci	5588000	5164000	1981-
	2	0111	Benica	5615890	515020	1990-
	3	0970	Brezovica	5602970	5162270	1980-
	4	0271	Gor. Lakoš	5609270	5157410	1953-
	5	0473	Kapca	5606240	5157960	1991-
	6	2932	Krog	5587680	5167090	1990-
	7	2270	Lipovci	5594540	5165060	1953-
	8	2000	Melinci	5595200	5159040	1961-
	9	3552	Murski Petrovci	5580520	5169700	1990-
	10	3471	Skakovci	5580300	5173930	1990-
	11	0850	Renkovci	5599660	5166560	1953-
	12	3370	Rankovci	5583050	5170600	1953-
	13	0411	Radmožanci	5606055	5164556	1981-
	14	2761	Nemčavci	5590240	5170760	1990-
Mursko polje – desna stran	15	0610	Bunčani	5587460	5161540	1955-
	16	0540	Ključarovci	5588060	5157460	1955-
	17	0400	Zg. Krapje	5591940	5158460	1955-
	18	0120	Veščica	5596760	5154640	1955-

Preglednica 3: Lokacije monitoringa nivojev podzemne vode (vir: ARSO)

		Povprečni nivo	Maksima lni nivo	Minimalni nivo*	Povprečna globina	Amplituda - globina	Trend	D	K
		1961-1998 ali 1981-1998 če podatkovni niz krajši (**)							
	ime	m n.v.	m n.v.	m n.v.	[m]	[m]		[cm]	%
Leva stran	Bakovci	183,9**	184,56	183,5	4,16	4,6 - 3,5	Neg.		-5
	Benica	153,8**							
	Brezovica	166,7**	167,27	166,14	1,94	2,5 - 1,3			
	Gor. Lakoš	160,61	161,42	159,99	2,19	1,4 - 2,8	Neg.	-15	-18
	Kapca	163,1**							
	Krog	186,4**							
	Lipovci	177,8	178,3	177,31	3,07	2,6 - 3,6	Neg.	-14	-14
	Melinci	173,61	174,3	173,15	1,78	2,1 - 3,2	Neg.	-15	-19
	Mur. Petrovci	198,9**	199,6	198,5					
	Skakovci	204,5**	205,4	203,7	1,70				
	Renkovci	172,6	173,4	172,12	2,47	1,7 - 3,0	Neg.	-16	-15
	Rankovci	196,4	197,2	195,8	1,90	1,1 - 2,4	Pozi.	+11	+13
	Radmožanci	164,0**	164,7	163,6	3,38	2,7 - 3,8	Pozi.		+20
	Nemčavci	188,1**	189,3	187,3	2,54	1,3 - 3,3			
Desna stran	Bunčani	183,8	184,6	183,4	2,61	1,9 - 3,0	Neg.	-5	-10
	Ključarovci	179,3	180,2	178,7	2,17	1,2 - 2,8	Neg.	-26	-20
	Zg. Krapje	175,8	176,4	175,4	3,48	2,9 - 3,9	Posi.	+1	+4
	Veščica	170,2	171,1	169,7	2,62	1,7 - 3,2	Neg.	-9	-12

Preglednica 4 - Analiza podatkov nivojev podzemne vode za 18 lokacij mreže monitoringa

Legenda in razlage: * - maks. (min) mesečno povprečje obdobja; K' : % znižanja (-) ali dviga (+) glede na CL vrednost $K' = k/CL + 100$; CL: interval zaupanja (alfa = 5 %) za 1961-1998; k: koeficient linearnega trenda ($y = k * x + n$); **: povprečje 1981-1989; D: povprečni nivo obdobja

Razprava

Analiza povprečnih vrednosti pretokov reke Mure v Petanjcih in pripadajočih padavin v Murski Soboti in Gornji Radgoni (Slika 2) ne kaže vidnih ali pomembnih vplivov padavin v Sloveniji na pretoke reke Mure pod mejo Slovenije z Avstrijo. Analiza dolgoletne sezone porazdelitve vtokov v rečni prostor, izražena kot delež pretokov v Petanjcih in delež odtoka iz njega kaže na to, da to območje (poplavno oziroma mokriščno) hidrološko oblikuje predvsem reka Mura in manj padavine ter lokalni pritoki. Analiza hidroloških podatkov pri vtoku v ta prostor (Petanjci) kaže na velike spremembe v zadnji desetletjih. Velikosti največjih pretokov v letu se večajo (pozitivni trend, Slika 3), število dni s temi pretoki se zmanjšuje (Preglednica 2, Slika 2). Povprečja srednjih in nizkih voda se manjšajo (Slika 3), število dni z nizkimi pretoki večja. Analiza 65 letne sezone dinamike odtoka vode iz območja prostora reke Mure v Sloveniji kaže na razmeroma konstanten odtok iz območja v več kot 40% delu leta, ki pa se je v zadnjem obdobju močno zmanjšal. V obdobju 1926-1965 je iz območja mokrišč v kar 60% delu leta voda stalno odtekalo v strugo 7 m³/s, v 40% delu leta pa s pretokom 9 m³/s. Te količine so se v obdobju 1966-1990 več kot razpolovile. To kaže na veliko zmanjšanje naravnih zadrževalnih sposobnosti rečnega prostora Mure pod Petanjci.

Gradnja visokovodnih nasipov je zmanjšala obseg poplav, povečanje pretočnega profila reke Mure in zravnanje struge pa povečalo pretočne sposobnosti struge (Halcrow in VGI, 2000). S tem se je zmanjšal čas prevajanja visokih voda, spremenili pa so se tudi pogoji, ob katerih voda začne prelivati rečne bregove in prekrivati poplavne površine. Ker se je zmanjšala pojavnost srednjih in visokih vod, se je zmanjšala tudi možnost (število dni), da rečna voda priteče v rečne rokave in se razlije preko poplavnih površin. Opisane

spremembe vplivajo na ekološke pogoje v rečnem prostoru. Ker se je zmanjšal čas trajanja višjih voda in zmanjšal obseg poplav, se je zmanjšal tudi čas infiltracije vode v tla. S tem se je zmanjšalo obnavljanje podzemnih zalog vode v rečnem prostoru. Večje kmetijske operacije v 80-ih letih izven sedanjega poplavnega prostora, so dodatno zmanjšale obnavljanje podzemnih zalog vode v širšem območju.

Čeprav se gladina podzemne vode na Murskem in Prekmurskem polju med letom lahko giblje tudi v razponu od 1,5 do 3,5 m pod površino, je v obdobju 1980-1998 zaznan upad povprečnih gladin vode za 20 do 25 cm. Glede na celotne vodne zaloge v tleh, to sicer ni velika vrednost, postane pa pomembna, ko se jo obravnava iz ekološkega vidika. Sistem podzemne vode Pomurja in Prekmurja ni vezan le na reko Muro, temveč tudi na njene pritoke, številne manjše potoke, jarke in gozd. Zaključek, da toliko kot se je poglobila v povprečju sama reka, toliko se je znižala povprečna gladina podzemne vode, je preveč enostaven. Funkcijsko povezavo med spreminjanjem morfoloških lastnosti struge reke in nivoji podzemne vode je treba še dokazati. Glede na to, da se je dno struge v zadnjih letih bolj ali manj že stabiliziralo (Globevnik in Kaligarič, 2005; Globevnik in Mikoš, 2006), se namreč zmanjševanje nivojev podzemne vode ne more pripisati sami reki Muri, temveč spremenjeni dinamiki kompleksnega obnavljanja vodnih zalog v tleh, torej vodni dinamiki celotnega prispevnega območja.

Zaključek

Problemi nižanja podzemne vode in krčenja vodnih in obvodnih habitatov v prostoru reke Mure v Sloveniji so nastali kot posledica sprememb rabe tal in vode na celotnem porečju v Avstriji in Sloveniji. Dokazano so se zmanjšale vodozadrževalne sposobnosti območja Mure pod slovensko-avstrijsko mejo. Glavni vzroki so zmanjšanje obsega in povezav rečnih strug, zmanjšanje poplavnih površin ob reki z visokovodnimi nasipi in zmanjšanje števila poplavnih dogodkov, regulacije pritokov, krčenje obrežne vegetacije in osuševanje kmetijskih površin v celotnem porečju reke Mure v Sloveniji. Morebitno zadrževanje vode za višjimi jezovi na reki Muri bi vzdolž reke lahko preprečilo nadaljnje nižanje nivojev podzemne vode, ne bi pa preprečilo nadaljnjega nižanja podzemne vode na celotni murski ravnici. Za ohranjenje in vzpodbujanje ekoloških dejavnikov, značilnih za rečni prostor, je treba vodo v poplavnem območju reke zadrževati dlje časa, pogosteje in na čim večjih površinah. To dosežemo s povezavami glavne struge z rečnimi rokavi in poplavnimi površinami ter z vtoki vode v te sisteme že pri nizkih in srednjih vodah.

Literatura:

- Arhiv Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO)
Arhiv Inštitut za vode Republike Slovenije (IzVRS)
Čarni, A., Jarnjak, M. & Oštir-Sedej, K. 1998. Past and present forest vegetation in NE Slovenia derived from old maps. - *Applied Vegetation Science* 1: 253-258.
Frantar, P. in Hrvatin, M., 2005. Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971 in 2000. *Geografski vestnik* 77-2. 115-127. Ljubljana.
Globevnik, L. in Kaligarič, M., 2005. Hydrological changes of the Mura River in Slovenia, accompanied with habitat deterioration in riverine space. *Materials and Geoenvironment*. Vol. 52, no. 1, pp. 45-49. Aug. 2005.
Globevnik, L. in Mikoš, 2006. The restoration scheme for the Mura river in Slovenia – initial scientific evidences and possible measures. European Geosciences Union General Assembly. Vienna, 2-7-April 2006. Poster.

- Halcrow in Vodnogospodarski inštitut 2000. Transboundary Co-operation in Nature Conservation and Wetland Management for the Danube River Basin. Component 1 : Sustainable River Basin Development and Wetland Management in the Lower Mura River. Ljubljana, 2000.
- Hrvatin, M., 1998. Discharge regimes in Slovenia/Pretočni režimi v Sloveniji. Geografski zbornik, 28. 59-87. Ljubljana.
- Ilešić, S., 1947. Rečni režimi v Jugoslaviji. Geografski vestnik 19. 71-110. Ljubljana.
- Kolbezen, M., 1998. Rečni režimi. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije, Ljubljana.
- Leskovar, I., Rozman B., Jakošič, M., Grobelnik, V., 2000. Kartiranje habitatnih tipov ob reki Muri od Veržaja do Mote. Center za kartografijo flore in faune. Naročnik: WWF for Nature. Poročilo. Miklavž na Dravskem polju.
- (SLO-A komisija za Muro) Stalna slovensko – avstrijska komisija za Muro/ Wasser-Wirtschaftliches grundsatzkonzept für die Grenzmur, Ständige Österreichisch-Slowenische Kommission für die Mur, Načelna vodnogospodarska zasnova za mejno Muro. 2000.

Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS za natančno določanje položaja

Dalibor Radovan*

Povzetek

Primerjalno je opisano določanje položaja s tradicionalnimi geodetskimi metodami (triangulacijo) in z GPS-izmero. Navedena je razlika med GPS-meritvami brez referenčnih postaj GPS, z eno samo referenčno postajo in z omrežjem permanentnih postaj GPS. V Sloveniji postopoma prehajamo na nov državni koordinatni sistem, katerega realizacija bo potekala s pomočjo omrežja permanentnih postaj GPS z imenom SIGNAL. Opisane so lastnosti in principi delovanja omrežja ter pogled na bodočnost določanja položaja s satelitsko tehnologijo, še posebej po uvedbi sistema GALILEO.

Uvod - določanje položaja včeraj in danes

Določanje položaja objektov in pojavov v prostoru je bilo v preteklosti tradicionalno povezano z geodezijo. Do pojava satelitske tehnologije izmere s svetovnim navigacijskim sistemom GPS (Global Positioning System) so precizne meritve lahko izvajali le geodeti. Za določitev položaja so uporabljali metode sferne astronomije, triangulacije, trilateracije, poligonometrije, tahimetrije in ortogonalne izmere, če naštejemo le najpomembnejše. Za izmero nadmorskih višin je še vedno najpomembnejša metoda niveliranje, še posebej, če je podprta z gravimetričnimi meritvami, saj je natančnost višin povezana s poznavanjem oblike geoida oz. gravitacijskega polja Zemlje. Vse našete tradicionalne metode so povezane z detajlnim in ekspertnim poznavanjem tako geodetskega inštrumentarija kot tudi teorije pogreškov in metod izravnalnega računa. Geodetske metode so bile večkrat povezane z dolgotrajnimi in zapletenimi merskimi ter računskimi postopki.

S pojavom GPS je sicer za natančne meritve še vedno potrebno geodetsko znanje, vendar pa sta vseeno zaradi stalne, brezplačne in svetovne razpoložljivosti satelitskih signalov določanje položaja in navigacija z manjšo natančnostjo postali dostopni tudi vsem uporabnikom brez geodetskega znanja, ki imajo cenen prenosni sprejemnik GPS. Meritve z natančnostjo 10 do 15 m so tako od ukinitve t.i. selektivne dostopnosti leta 2000 na razpolago vsakemu uporabniku.

Določanje položaja z referenčnimi postajami GPS

Za natančnejše določanje položaja meritve z enim samim sprejemnikom niso dovolj. Potrebno je uporabiti precej dražji dvofrekvenčni premični sprejemnik (rover) in vsaj en dodatni sprejemnik GPS, ki je postavljen na geodetsko točko z znanim položajem, in sicer začasno (t.i. premična referenčna postaja GPS) ali stalno (t.i. permanentna referenčna postaja GPS). Če je več permanentnih postaj GPS povezanih v omrežje, lahko s posebno programsko opremo iz nadzornega centra (Službe za GPS) distribuiramo popravke položaja, ki omogočajo izračun položaja vsaj na meter natančno, pri dolgotrajnih statičnih meritvah z naknadno obdelavo pa celo na nekaj milimetrov natančno.

* mag. Dalibor Radovan, univ.dipl.inž.geod., Geodetski inštitut Slovenije, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

Zanimivo si je ogledati splošne razlike med klasičnimi geodetskimi meritvami in primerljivo natančnimi meritvami z uporabo referenčnih postaj GPS. Pri klasičnih se omejimo npr. na triangulacijo, ki v ravnini kartografske projekcije, v Sloveniji Gauss-Kruegerjeve, ponuja za državno ozemlje največjo natančnost.

Triangulacija	GPS-izmera z referenčnimi postajami
Potrebne so fiksno stabilizirane trajne geodetske točke na terenu.	Razen za permanentne postaje načeloma niso potrebne trajno stabilizirane točke.
Geodetske točke morajo biti optično vidne med seboj.	Na merjenih točkah mora biti zagotovljena le vidnost ustreznega števila satelitov.
V mreži se masovno in nadštevilo merijo koti ter vsaj ena razdalja, rezultat pa so koordinate v ravnini kartografske projekcije.	Sprejemnik sprejema satelitske signale, iz kodnih ali faznih meritev pa dobimo 3D položaj v prostoru. Prehod v ravnino kartografske projekcije je mogoč s transformacijo.
Kote merimo s teodolitom, razdalje pa z elektronskim razdaljemerom.	Signale sprejemamo z anteno sprejemnika GPS.
Za vsakdanjo geodetsko izmero je potrebno triangulacijo zgostiti na več hierarhično vgnazdenih mrež s stranicami trikotnikov od 30 do 60 km za prvi red, pa do npr. četrtega reda s stranicami med 1 in 4 km. Za Slovenijo to pomeni več kot 15.000 temeljnih geodetskih točk.	Za vsakdanje meritve z nekajcentimetrsko natančnostjo v realnem času je potrebno omrežje permanentnih postaj, ki med seboj ne smejo biti oddaljene več kot 70 km. Za Slovenijo je dovolj le 15 postaj.
Za določitev položaja geodetskih točk triangulacije moramo izravnati mrežo trikotnikov med statičnimi geodetskimi točkami. Točke triangulacije služijo kot referenčne točke (navsezava) za vsakdanjo geodetsko izmero.	Za eno ali več permanentnih postaj moramo predhodno izmeriti in izračunati natančni položaj. Permanentne postaje so referenca za vsakdanjo geodetsko izmero. Za določitev položaja izračunavamo količine v trikotnikih med sprejemnikom na Zemlji in gibajočimi se sateliti GPS.
Triangulacija je običajna metoda izmere v državnih koordinatnih sistemih, ki za obliko Zemlje uporabljajo parametre enega od tradicionalnih referenčnih elipsoidov (npr. Besslovega), ta pa ni geocentrično orientiran. Državni koordinatni sistem je zato v vsaki državi drugačen.	GPS uporablja geocentrični elipsoid sistema WGS 84 (World Geodetic System 1984). Pri geodetskih meritvah v Evropi namesto WGS 84 uporabljamo evropski geocentrični sistem ETRS 89 (European Terrestrial Reference System 1989). Za celotno Evropo v principu uporabljamo isti koordinatni sistem.

Preglednica 1 – Primerjava GPS-izmere in triangulacije

Vloga državnega koordinatnega sistema

V vsaki državi je določen koordinatni sistem, ki je matematična osnova za meritve, opisovanje in kartiranje stanj ter posegov v prostor. Koordinatni sistem je realiziran z geodetskimi točkami. Če so te ponekod določene manj natančno kot druge, se pojavijo deformacije koordinatnega sistema, kot posledica pa se napačno evidentirajo podatki o položajih, dolžinah, oblikah in površinah objektov, ki so izmerjeni s pomočjo teh geodetskih točk.

Prehod na nov državni koordinatni sistem

V sedanjem slovenskem državnem koordinatnem sistemu D 48 (Datum 1948) v preteklosti nakopičene deformacije že presegajo natančnost sodobnih merskih metod, zato bo postopno izveden prehod na nov državni koordinatni sistem, ki bo zagotovil kakovostnejše podatke o prostoru.

Države zelo redko menjajo svoj koordinatni sistem, saj gre za zapleten tehnični proces, ki pa je povezan tudi z uradnimi podatki o nepremičninah. V zadnjih 200 letih je bil na ozemlju Republike Slovenije zamenjan le enkrat. Podlago za vpeljavo novega sistema v Sloveniji dajeta Zakon o evidentiranju nepremičnin in Strategija osnovnega geodetskega sistema, ki jo je leta 2004 sprejela Vlada Republike Slovenije.

Zaradi realizacije novega koordinatnega sistema je Geodetska uprava Republike Slovenije v zadnjih letih pristopila k obnovi in posodobitvi osnovnega geodetskega sistema, t.j. k naslednjim nalogam (Radovan et al. 2005):

- postavitvi državnega omrežja permanentnih postaj GPS z imenom SIGNAL (slov. SlovenIja-Geodezija-NAvigacija-Lokacija, angleško SlovenIa-Geodesy-NAvigation-Location) (Radovan 2002, Stopar et al 2002, Mahnič et al. 2005),
- izmeri in preračunu temeljnih geodetskih točk za povezavo med obstoječim državnim sistemom D 48 in evropskim sistemom ETRS 89, ter s tem za povezavo z evropsko mrežo geodetskih točk EUREF (European Reference Frame) (Berk et al. 2003a, 2003b, 2004, Klanjšček et al. 2005),
- izmeri in izravnavi osnovne gravimetrične mreže (Radovan et al. 2005, Koler et al. 2006),
- sanaciji in dopolnitvi nivelmanske mreže visoke natančnosti ter povezavi le-te z gravimetrično mrežo (Koler et al. 2005),
- izdelavi navodil za meritve v novem koordinatnem sistemu,
- vpeljavi meritev z GPS in novega koordinatnega sistema v zemljiški kataster,
- postopni transformaciji vseh svojih evidenc in kart v nov koordinatni sistem (Stopar et al. 2005),
- podpori vsem drugim državnim resorjem pri postopni transformaciji njihovih prostorskih podatkov v nov koordinatni sistem (Stopar et al. 2005).

Navedena dela tehnično koordinirajo in izvajajo strokovnjaki Geodetske uprave RS, Geodetskega inštituta Slovenije in Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, trajala pa bodo še nekaj let.

Omrežje SIGNAL in njegov namen

Med navedenimi deli je v tem trenutku za praktične potrebe najpomembnejša vzpostavitev omrežja SIGNAL. Omrežje SIGNAL se je začelo vzpostavljati leta 2000 (Mišković et al. 2000) in je z letom 2006 dokončno izgrajeno. Je del sistema za distribucijo geodetskih podatkov, ki obsegajo še podatke o nepremičninah in topografiji državnega ozemlja (Petrovič et al. 2005).

Omrežje SIGNAL je temeljna državna geoinformacijska infrastruktura za določanje preciznega položaja s sodobno satelitsko tehnologijo GPS povsod na ozemlju Slovenije (Radovan 2001). Strateški cilj omrežja SIGNAL je predvsem praktična realizacija novega državnega koordinatnega sistema, ki bo zaradi homogene geodetske natančnosti prinesel

večjo varnost in kakovost nepremičninskih in drugih prostorskih podatkov. Od leta 2008 naprej bodo po Zakonu o evidentiranju nepremičnin vsi novi podatki v zemljiškem katastru vodeni v novem koordinatnem sistemu.

Praktični namen omrežja pa je omogočanje natančnih meritev s satelitsko tehnologijo po celotni državi. Država s tem namreč omogoči, da uporabnikom ni potrebno kupiti lastnega referenčnega sprejemnika, temveč jim zadostuje že en sam premični.

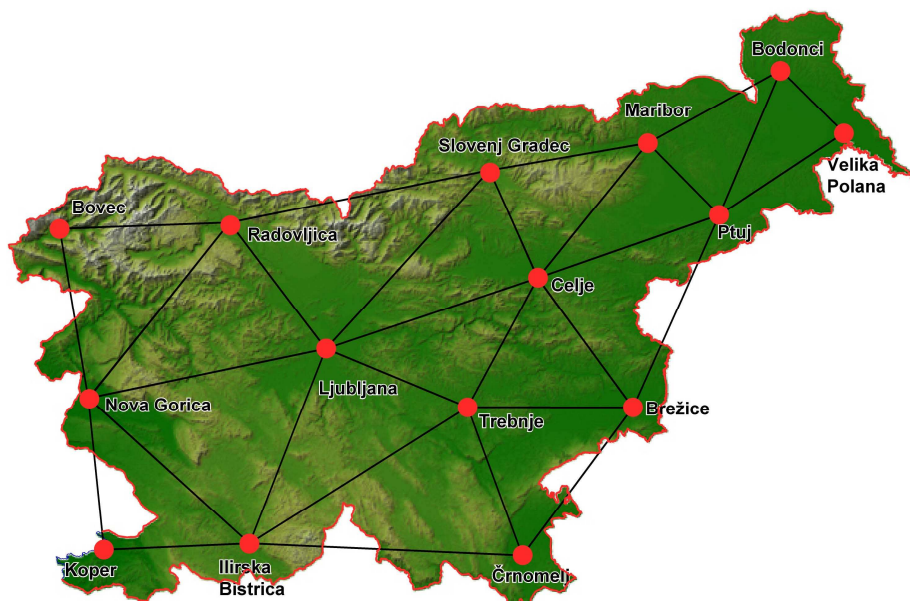
Bodoča vloga satelitskega sistema GALILEO

GALILEO je evropska različica svetovnega navigacijskega sistema GPS, ki je še v preizkusni fazi. V orbiti je od leta 2005 prvi satelit, predvidenih pa jih je skupaj 30. Signali GALILEA zaenkrat še niso javno dostopni. Prve lokacijske storitve GALILEA so predvidene leta 2011. GALILEO bo kompatibilen z GPS, pa tudi omrežje SIGNAL bo kompatibilno z GALILEOM, ko bodo vzpostavljene tehnične možnosti.

Dokončna izgradnja GALILEA bo nedvomno katalizator razvoja evropskega gospodarstva, še posebej pa lokacijskih storitev. Lokacijske tehnologije se že danes širijo z letno rastjo okrog 25 %. V dokumentu "GALILEO Green Paper on Satellite Navigation Applications" je ocenjeno, da bo do leta 2025 trg lokacijskih produktov in storitev vreden okrog 400 milijard evrov in da bo na planetu do leta 2020 kar 3 milijarde satelitskih sprejemnikov za določanje lokacije s svetovnimi navigacijskimi sistemi, t.j. z interoperabilnimi sistemi GPS, GALILEO, GLONASS in še s kakšnim zraven. Okrog Zemlje bo verjetno krožilo blizu 100 takšnih satelitov. Ne pozabimo še, da Slovenija v okviru EU kandidira za vzpostavitev nadzornega centra GALILEA.

Infrastruktura omrežja SIGNAL

Omrežje sestavlja 15 permanentnih postaj GPS in nadzorno-distribucijski center Službe za GPS na Geodetskem inštitutu Slovenije, ki z omrežjem tehnično upravlja (Mahnič et al. 2005). Vsaka permanentna postaja je sestavljena iz sprejemnika in antene GPS ter komunikacijskih naprav. V centru Službe za GPS je strežniška oprema z domačo stranjo omrežja (gl. www.gu-signal.si) in programom za nadzor omrežja, izračun in posredovanje popravkov položaja v realnem času ter za naknadno obdelavo. Postaja v Ljubljani je vključena v evropsko mrežo permanentnih postaj EPN (European Permanent Network). Omrežje SIGNAL v realnem času izmenjuje tudi podatke s petimi postajami avstrijske mreže APOS in s postajo v Zagrebu. Fizična postavitve in inštalacija permanentnih postaj GPS je bila z javnim razpisom oddana zasebnima podjetjema Geoservis d. o. o. in Gisdata d. o. o. iz Ljubljane.



Slika 1- Omrežje SIGNAL



Slika 2 - Omarica s sprejemnikom GPS



Slika 3 - Antena GPS

Osnovni princip delovanja omrežja SIGNAL

Kot že omenjeno, uporabnik lahko z lastnim prenosnim sprejemnikom GPS meri položaj brez uporabe permanentnih postaj le na 10 do 15 metrov natančno, saj so satelitski signali popačeni zaradi atmosferskih in drugih motenj. Položaj vsake permanentne postaje pa je zelo natančno geodetsko izmerjen vnaprej. Permanentna postaja lahko zato iz prejetih satelitskih signalov določi lastni položaj in ga primerja z znanim ter tako dobi diferencialne popravke položaja. Če uporabnik svoje meritve izboljša s popravki ene same permanentne postaje omrežja, potem v radiju 20 km okrog nje meri z natančnostjo nekaj centimetrov. Če pa se uporabnik naveže na omrežje permanentnih postaj SIGNAL, ki v centru Službe za GPS popravke izračunava iz več postaj hkrati, pa takšno centimetrsko natančnost doseže na celotnem državnem ozemlju. Pri tem je dovolj, da so postaje omrežja med seboj oddaljene do 70 km.

Podrobneje podatkovni tok od satelita do uporabnika poteka takole:

5. Sateliti GPS neprestano oddajajo signale proti Zemlji. Signal s satelita nosi kodirano informacijo o položaju satelita v orbiti.
6. Permanentne postaje omrežja SIGNAL sprejemajo signale trenutno vidnih satelitov. Položaji permanentnih postaj GPS so s preciznimi geodetskimi meritvami določeni vnaprej in zato znani.
7. Signal se pretvori v podatkovni tok, ki se s permanentne postaje GPS z varnim protokolom VPN (Virtual Private Network) po komunikaciji preko ADSL prenese v center Službe za GPS.
8. Satelitski signali so na poti do permanentnih postaj podvrženi različnim popačenjem. V centru Službe za GPS programska oprema izračunava položaj permanentne postaje in ga primerja z znanim.
9. Uporabnik na terenu prižge svoj mobilni sprejemnik GPS in se prijavi v omrežje SIGNAL.
10. Pred začetkom meritev uporabnikov sprejemnik pošlje svoj približni položaj v center Službe za GPS. Omrežje SIGNAL ta položaj privzame kot navidezno referenčno postajo GPS (Virtual Reference Station, VRS).
11. Iz razlik med danim in izračunanim položajem permanentnih postaj programska oprema v centru izračuna diferencialni popravek položaja za navidezno postajo, ki velja tudi za uporabnikov sprejemnik.
12. Center Službe za GPS popravke položaja samodejno in stalno sporoča priključenemu uporabniku. Komunikacija do uporabnika lahko teče preko omrežja mobilne telefonije (GPS) ali preko mobilnega interneta (internetnega radia, GPRS, UMTS, EDGE) po protokolu NTRIP (Network Transfer of RTCM data via Internet Protocol).
13. Sprejemnik približni položaj, ki je določen s prostorsko triangulacijo iz vsaj štirih vidnih satelitov, popravi s pomočjo prejetih popravkov.

Ker celotna pot podatkov od sprejema v omrežje SIGNAL pa do uporabnika traja manj kot dve sekundi, lahko uporabnik natančen položaj pridobi praktično v realnem času, tudi če se giblje.

Uporabnik pa lahko meri tudi brez omrežja SIGNAL in šele po prihodu v pisarno z domače strani omrežja prečrpa diferencialne popravke v formatu RINEX za eno samo postajo ali za omrežno rešitev VRS na svoj računalnik. Kadar mobilno telefonsko omrežje ni na razpolago, sateliti pa so vidni, je to tudi najboljša možnost za meritve.

Zaključek

Določanje položaja postaja vedno pomembnejša vsenavzoča dodana vrednost k e-storitvam na čelu z mobilno telefonijo. Omrežje SIGNAL deluje neprestano. Lahko ga uporablja vsak, ki se prijavi Službi za GPS in s tem dobi geslo za dostop do podatkov. Že danes ga uporablja skoraj 200 uporabnikov, med njimi največ geodetov, sicer pa meritve omogoča tudi številnim negeodetskim uporabnikom v prometu, znanosti, vojski, pri zaščiti in reševanju, v kmetijstvu, gradbeništvu, varstvu okolja, geoznanostih in drugje. Bližajoče lansiranje evropskega satelitskega sistema GALILEO bo pomen omrežja SIGNAL še dodatno poudarilo. Slovenija je med izbranimi državami, ki so na to že sedaj dobro pripravljene.

Literatura

- Berk S., Komadina Ž., Marjanović M., Radovan D., Stopar B. 2003. Kombinirani izračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije. *Geod. vestn.*, let. 47, št. 4, str. 414-422.
- Berk S., Komadina Ž., Marjanović M., Radovan D., Stopar B. 2003. Preračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije. V: Kuhar M (ur.). *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2003 : zbornik predavanj*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, str. 45-55, ilustr.
- Berk S., Komadina Ž., Marjanović M., Radovan D., Stopar B. 2004. The Recomputation of the EUREF GPS Campaigns in Slovenia. V: Torres J. A. (ur.), Hornik H. (ur.). *Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Toledo, 4 - 7 June 2003. Reports of the EUREF Technical Working Group (TWG) : International Association of Geodesy, Subcommission for Europe (EUREF)*, (Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Bd. 33), (EUREF Publication, No. 13). Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, str. 132-149.
- Klanjšček M., Berk S., Radovan D. 2005. Preračun GPS-kampanje Vzhodna Slovenija 96. Zvezek 1, Pripravljalna dela za izračun mreže točk Vzhodne Slovenije 96 v evropskem koordinatnem sistemu ETRS 89 : elaborat izvedenih del, tehnično poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.
- Koler B., Jaklič S., Lisec A., Medved K., Vardjan N. 2005. Študija stanja del na nivelmanu visoke natančnosti : končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani , Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za inženirsko geodezijo, 64 str.
- Koler B., Medved K., Kuhar M. 2006. Projekt nove gravimetrične mreže 1. reda Republike Slovenije. *Geod. vestn.*, let. 50, št. 3, str. 451-460.
- Mahnič G., Radovan D., Mesner N., Stopar B., Pavlovčič Prešeren P., Kozmus K., Sterle O. 2005. Operativno delovanje službe za GPS : končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.
- Mišković D., Radovan D., Berk S., Stopar B., Bilc A. 2000. *Osnutek strategije osnovnega geodetskega sistema za področje slovenskega omrežja permanentnih postaj GPS*. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 129 str.
- Petrovič D., Brumec M., Radovan D. 2005. Geodetski in topografski sistem v prostorskem načrtovanju-od geodetskih podlag do koordinate, *Geod. vestn.* št. 4, letn. 49, str. 545-557.
- Radovan D. 2001. Državni geodetski sistem v vlogi temeljnega geoinformacijskega servisa. V: Triglav J. (ur.). *G-Slovenija v e-Evropi: osnovni geodetski sistemi, zemljiški kataster, topografska izmera, prostorska informatika, fotogrametrija, kartografija, svetovanje pri prometu z nepremičninami* : [zbornik mednarodnega posveta], Geodetski vestnik, Letn. 45, 2001, št. 3). Ljubljana: Geodetska zveza Slovenije, str. 459-465.
- Radovan D. 2002. National presentation of Slovenia. V: Multi-functional GNSS systems for reference stations equipment and factors of costs for reference stations : workshop held from 04 - 05 March 2002. Berlin: Ministry of Urban Development, str. 1-5.

- Radovan D., Klanjšček M., Berk S., Stopar B., Kozmus K. 2005. Razvoj osnovnega geodetskega sistema : končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.
- Režek J., Radovan D., Stopar B. Strategija osnovnega geodetskega sistema. *Geod. vestn.*, 2004, let. 48, št. 3, str. 288.
- Stopar B., Radovan D., Berk S., Bilc A. 2002. Projekt izgradnje slovenskega omrežja permanentnih GPS-postaj in vzpostavitve GPS-službe. V: Kuhar M. (ur.), Brilly M. (ur.). *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2002 : zbornik predavanj*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, str. 73-80.
- Stopar B., Ambrožič T., Berk S., Kogoj D., Koler B., Kozmus K., Kuhar M., Pavlovčič Prešeren, P., Radovan D., Vodopivec F. 2004. *Zasnova vzpostavitve novega državnega koordinatnega sistema Slovenije : za obdobje 2001-2004 : zaključno poročilo o raziskovalnem projektu L2-3033*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za matematično in fizikalno geodezijo ter navigacijo, 2004.
- Stopar B., Kogoj D., Ambrožič T., Kuhar M., Koler B., Petrovič D., Savšek-Safić S., Pavlovčič Prešeren P., Kozmus K., Ferlan M., Kosmatin Fras M., Sterle O., Mesner N., Pegan Žvokelj B., Rojc B., Karničnik, I., Radovan D., Berk S., Oven K. 2005. *Zasnova protokola prehoda nacionalne geoinformacijske infrastrukture v evropski koordinatni sistem in raziskava njegovih posledic za različne državne resorje in evidence : ciljni raziskovalni program "Konkurenčnost Slovenije 2001-2006", raziskovalni projekt št. V2-0979 : končno poročilo*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: Geodetski inštitut Slovenije.

Šest let projekta CERGOP

Centralnoevropski regionalni geodinamični projekt

Florjan Vodopivec¹, Andrej Bilc², Marijan Poljak³, Ladislav Placer³

Povzetek

Članek podaja pregled izvedenih del v Sloveniji v okviru geodinamičnega projekta CERGOP.

Uvod

Študij geodinamičnih procesov je interdisciplinarna dejavnost, ki združuje delo mnogih strokovnjakov s področja geoznanosti. Sodobne merske metode v geodeziji omogočajo mnogo bolj množične in predvsem bolj natančne meritve na velikih območjih. Nekdaj je bila za take meritve na razpolago le triangulacija, ki je zahtevala obsežne in drage meritve, pa kljub temu ni dajala posebno dobrih rezultatov. V sedemdesetih letih prejšnjega stoletja so se uveljavile nove merske metode, tako terestrično merjenje velikih razdalj kot satelitske meritve z uporabo laserjev in interferometrije. V našem prostoru je tovrstne raziskave pričel Marjan Jenko. Raziskoval je možnost ugotavljanja premikov na osnovi primerjave stare in nove triangulacije, kasneje pa je uporabil metodo optoelektronskih meritev razdalj. Pomembno je njegovo sodelovanje v Avstrijsko-Slovenskem projektu »Meritev recentnih premikov v Karavankah«, kjer je uporabil razdaljemer AGA 700. Kasneje se je v merjenje trilateracijskih mrež za določanje premikov vključila tudi Katedra za geodezijo na FGG s preciznima razdaljemeroma ME 3000 in ME 5000.

Nove možnosti natančnega določevanja koordinat je odprla uporaba GPS. Ta sistem je natančnejši od razdaljemerov, mnogo enostavnejši za uporabo, predvsem pa omogoča, da se vključimo v globalne sisteme meritev in izkoristimo tudi to, česar lokalno ne moremo realizirati. V razmeroma kratkem času so GPS-meritve zasenčile vse druge metode. Tako na zahodu kot na vzhodu Evrope so razvili GPS-mreže, pri čemer je posebno opazna vloga prof. Dr. Seegerja, ki je marsikje pomagal pri uveljavitvi nove metode. Prve GPS-mreže so služile predvsem kontroli obstoječih mrež geodetskih točk, pa tudi meddržavnemu povezovanju le-teh, kar je bil prvi korak k oblikovanju globalnih rešitev. Iz teh prizadevanj se je oblikoval geodinamični projekt centralne Evrope, ki so ga zasnovali J. Fejes, J. Sledzinski, H. Seeger, E. Reinhart. Projekt je začel 1994 pod oznako CERGOP.

Projekt CERGOP

Projekt CERGOP je v prvi fazi zajel večino srednjeevropskih držav. Tri države – Avstrija, Italija in Nemčija – so bile članice EU, druge – Hrvaška, Češka, Madžarska, Poljska, Romunija, Slovaška, Slovenija in Ukrajina pa so bile v različnih fazah približevanja EU. Obseg projekta je prikazan na Sliki 1. Slovenija je v projektu sprva

¹ Prof.dr.Florjan Vodopivec, UL Fakulteta za Gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

² Andrej Bilc, univ.dipl.inž.geod., 2B geoinformatika d.o.o., Parmova 14, 1000 Ljubljana

³ mag. Marijan Poljak, univ.dipl.inž.geol., Ladislav Placer, univ.dipl.inž.geol. Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana,

sodelovala z eno točko. Tekom treh let izvajanja tega projekta so bile izvedene tri meritve, ki so dale zanimive rezultate. Na podlagi teh je Slovenija kasneje dobila večje število točk. Meritve so se izvajale tudi po uradnem zaključku projekta, prav tako pa so potekale priprave na nov srednjeevropski geodinamični projekt. Razpored točk projekta CERGOP (1) je prikazana Sliki 1.



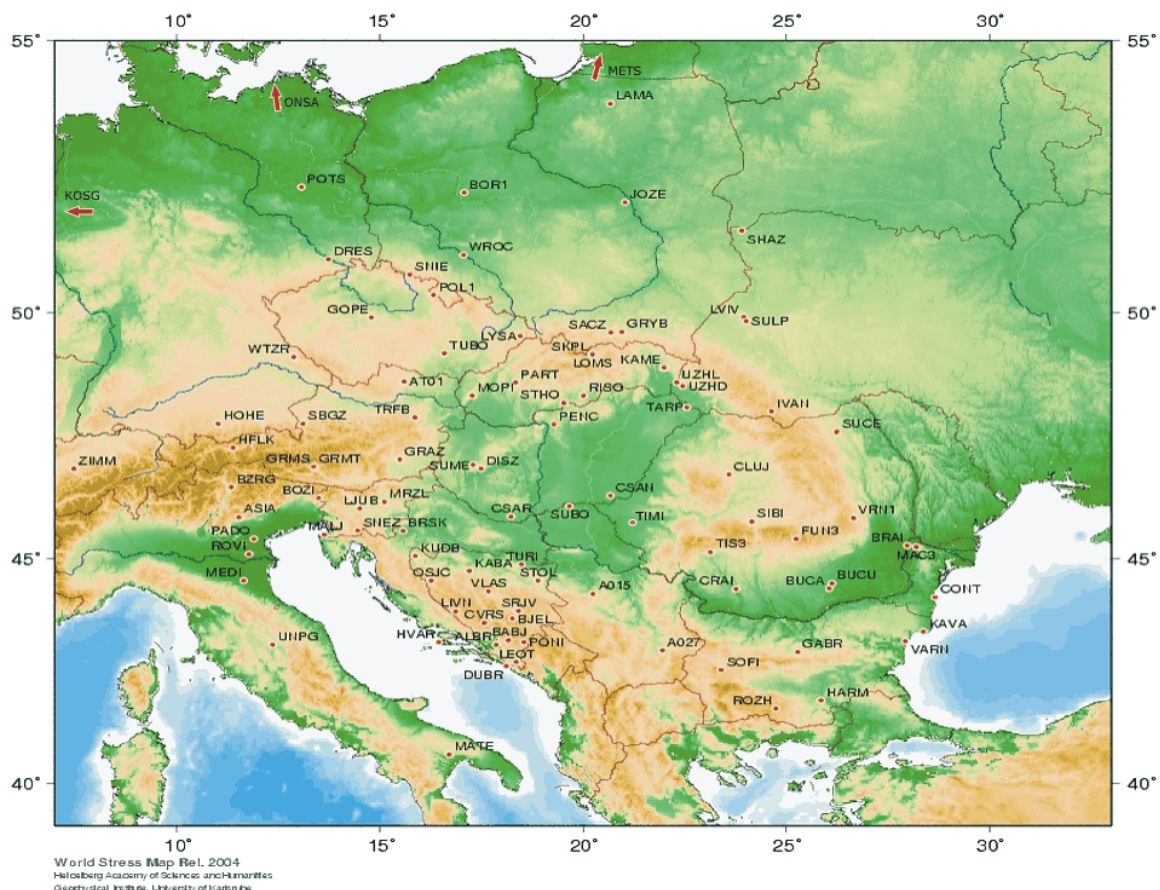
Slika 1- Razpored GPS-točk v projektu CERGOP

Projekt CERGOP 2

Za obdobje 2003 do 2005 je bil sprejet program novega projekta CERGOP-2. Pridružile so se nove države – BiH in Bolgarija, vključenih pa je bilo tudi mnogo novih GPS-točk. Pregled nam daje Slika 2. Projekt ni vseboval zgolj meritve in obdelavo podatkov, temveč tudi vrsto podprojektov, ki so obravnavali probleme meritev in njihovo uporabo, pa tudi vrsto lokalnih geodinamičnih projektov, ki so izkoriščali zbrane podatke. Eden takih je bil tudi projekt »Geodinamika vzhodnega dela Alp in severnega Mediterana« z oznako

W.P.10.1. Nosilka tega projekta je bila Slovenija¹, sodelovale pa so Italija, Avstrija, Hrvaška in BiH. Organizirali smo vrsto sestankov (Ljubljana, Zagreb, Gradec) in skupno meritev dodatnih GPS-točk. Meritve so trenutno še v obdelavi. Za konec projekta pripravljamo tudi monografijo. Levji delež k realizaciji projekta so prispevali kolegi geologi.

Prav vsi sodelujoči želijo nadaljevati z delom, saj je triletno obdobje prekratko za proučevanje geodinamike. Upamo, da bomo lahko dejavno prispevali k projektu CERGOP-3.



Slika 2 - GPS-točke projekta CERGOP -2 v letu 2005

Meritve v okviru CERGOP v Sloveniji

Slovenija je sodelovala v CERGOP-1 z obdobjimi meritvami na točki LJUB. Te meritve so ponovljene vsako leto od 1994 do 1997. V CERGOP 2 je Slovenija vključena s permanentno postajo GSR1, ki je v projekt integrirana preko EPN, pa tudi s štirimi geodinamičnimi točkami, ki so vključene v periodične – letne oz. dvoletne meritve. V letu 1999 je vključena tudi točka LEND – Lendavske gorice, ki je sicer državna točka 1. reda, v letu 2001 pa točka TOSK – Toško čelo, ki je državna točka 3. reda in je bila nekaj časa obravnavana kot možna lokacija permanentne GPS-postaje. Ti dve točki v novejših meritvah nista več vključeni.

Pregled meritev v obdobju 1994 do 2005 podaja spodnja Preglednica 1:

¹ Vodja projekta je prof.dr.Florjan Vodopivec, UL, FGG

Leto				Postaje			
	LJUB	BOZI	LEND	MALI	SNEZ	MRZL	TOSK
CERGOP-1							
1994	1						
1995	1						
1996	1						
1997	1						
1999	1	1	1	1			
2001	1	1		1	1	1	1 (?)

Preglednica 1 – Pregled meritev

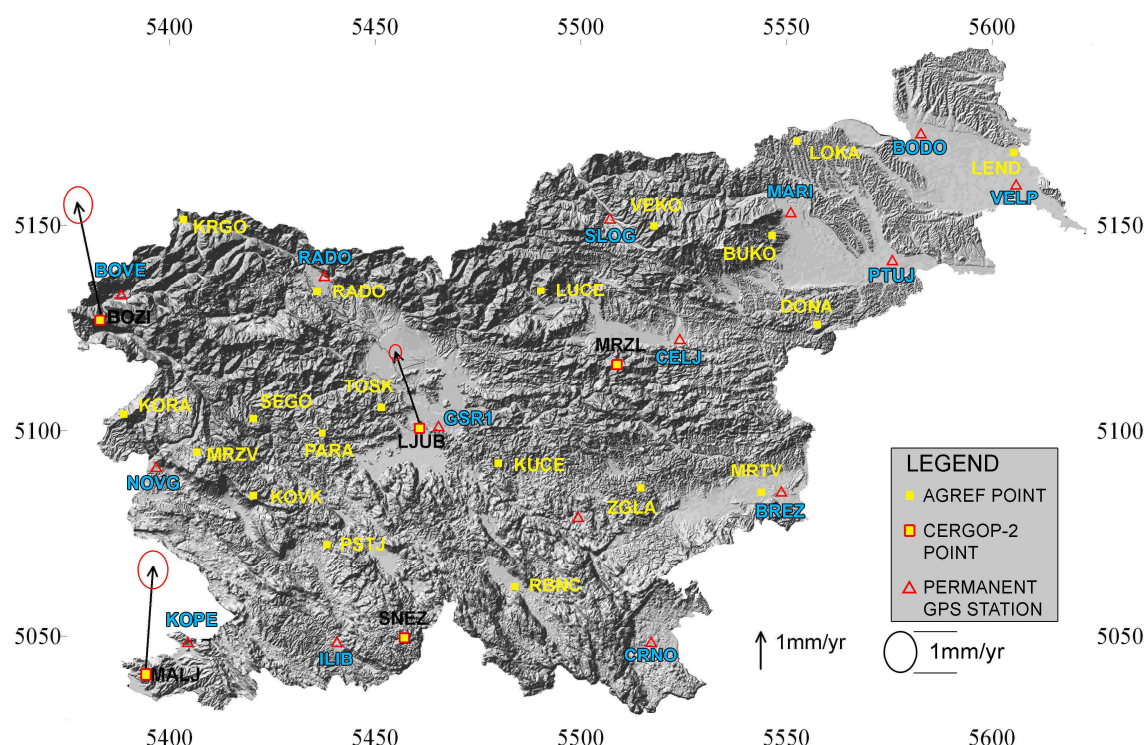
CERGOP-2 je vpeljal nove pristope, predvsem pa je uporabil permanentne GPS-postaje kot osnovo mreže GPS-točk. V Sloveniji je najstarejša permanentna GPS-postaja GSR1 locirana v Ljubljani, delujoča od 1999, v evropsko mrežo permanentnih postaj EUREF pa je vključena od februarja 2000. Zaloga meritev na tej postaji, ki obsega 30-sekundne meritve za celotno obdobje je izjemno dragocena za bodoče študije. V letu 2006 je vključena v meritev, ki je potekala od 19. 05. 2006 ob 0:00 do 21. 05. 2006 ob 23:59. Poleg nje so vključene tudi druge permanentne GPS-postaje v Sloveniji in odprta je možnost, da poleg rešitev za posamezne epohe vključimo tudi permanentno spremljanje vseh teh postaj v okviru srednjeevropske mreže. Predvidevamo, da to ne bi izvedli le kot ponudbo podatkov, temveč bi želeli oblikovati lasten podprojekt, v okviru katerega bi zbirali podatke, jih obdelovali in zagotavljali uporabo pri geodinamičnih študijah. Meritve v letu 2006 moramo v tem konceptu gledati kot ustvarjanje pogojev za tak projekt.

Leto				Postaje			
	LJUB	BOZI	LEND	MALI	SNEZ	MRZL	TOSK
CERGOP-2							
2003	1	1		1	1	1	
2005	1	1		1	1	1	
2006	1			1			

Preglednica 2a - vključenost slovenskih obdobnih GPS-točk v projekt CERGOP-2

Leto	Postaje													
	GSR1	KOPE	ILIB	CRNO	NOVG	CELJ	BOVE	RADO	MARI	PTUJ	BODO	SLOG	BREZ	TREB
CERGOP-2														
(2003)	(1)													
(2005)	(1)			(1)			(1)		(1)					
2006	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Preglednica 2b - pregled vključenih permanentnih postaj za leto 2006, (z rdečo barvo je označeno, za katere permanentne postaje lahko dobimo podatke iz arhiva tudi za leti 2005 in 2003)



Slika 3 - Razpored GPS-točk. Vrste točk so podane v legendi. Za 3 točke so na osnovi večkratnih meritev izračunani vektorji letnih pomikov z elipsami pogreška v modelu premikov kontinentalnih plošč APKIM 2000

Oprema na permanentnih in obdobjnih GPS-točkah tekom meritve v letu 2006 je podana v Preglednici 3. Razpored GPS-točk je prikazan na Sliki 3.

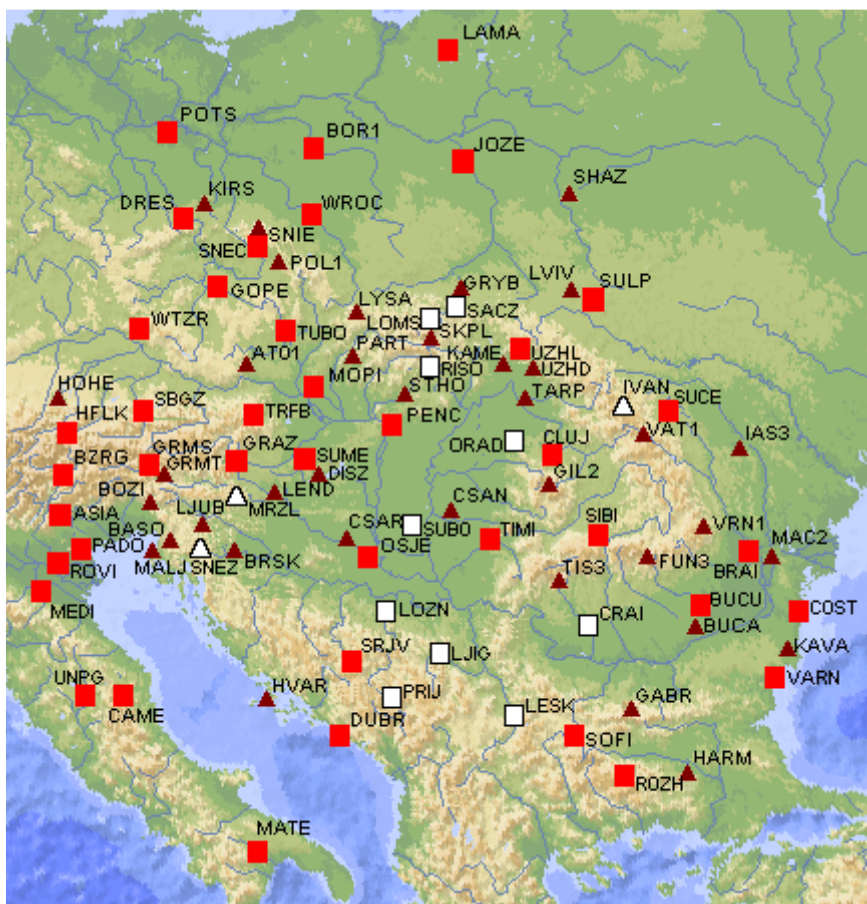
MARKER NAME	REC # / TYPE / VERS	ANT # / TYPE	ANT.VET. OFFSET	SAMPLING RATE
ILIB	45332550 / Trimble / 0.00	TRM41249.00/ TZG	0.0650	15 sec
BODO	45332550 / Trimble / 0.00	TRM41249.00 TZG	0.0650	15 sec
BOVE	0082126 / LEICA SR530/ 5.00	LEIAT504	0.0650	15 sec
CELJ	0459190 /RS1200 / 2.14	LEIAX1202	0.0650	15 sec
CRNO	0000004 / LEICA SR530 / 5.00	LEIAT504	0.0650	15 sec
GSR1	0080244 / LEICA SR530 / 5.00	LEIAT504	0.0650	15 sec
KOPE	0458310 /RS1200 / 2.14	LEIAT504	0.0650	15 sec
MARI	0080286 / LEICA SR530 / 5.00	LEIAT504	0.0650	15 sec
NOVG	0457485 /RS1200 / 2.10	LEIAX1202	0.0650	15 sec
PTUJ	0460425 / RS1200 / 2.14	LEIAX1202	0.0650	15 sec
RADO	44492411/ Trimble / 0.00	TRM41249.00 TZG	0.0650	15 sec
SLOG	43512302/ Trimble / 0.00	TRM41249.00 TZG	0.0650	15 sec
TREB	45332550/ Trimble / 0.00	TRM41249.00 TZG	0.0650	15 sec
VELP	0459182/ RS1200 / 2.14	LEIAX1202	0.0650	15 sec
MALI*	1819 / LEICA SR530 / 3.02	LEIAT502	0.2730	15 sec
LJUB*	14232/ Trimble 4000 /7.32	TRM22020.00+GP	0.5480	30 SEC

* ... obdobjni postaji

Preglednica 3 – Oprema na permanentnih in obdobjnih GPS-točkah

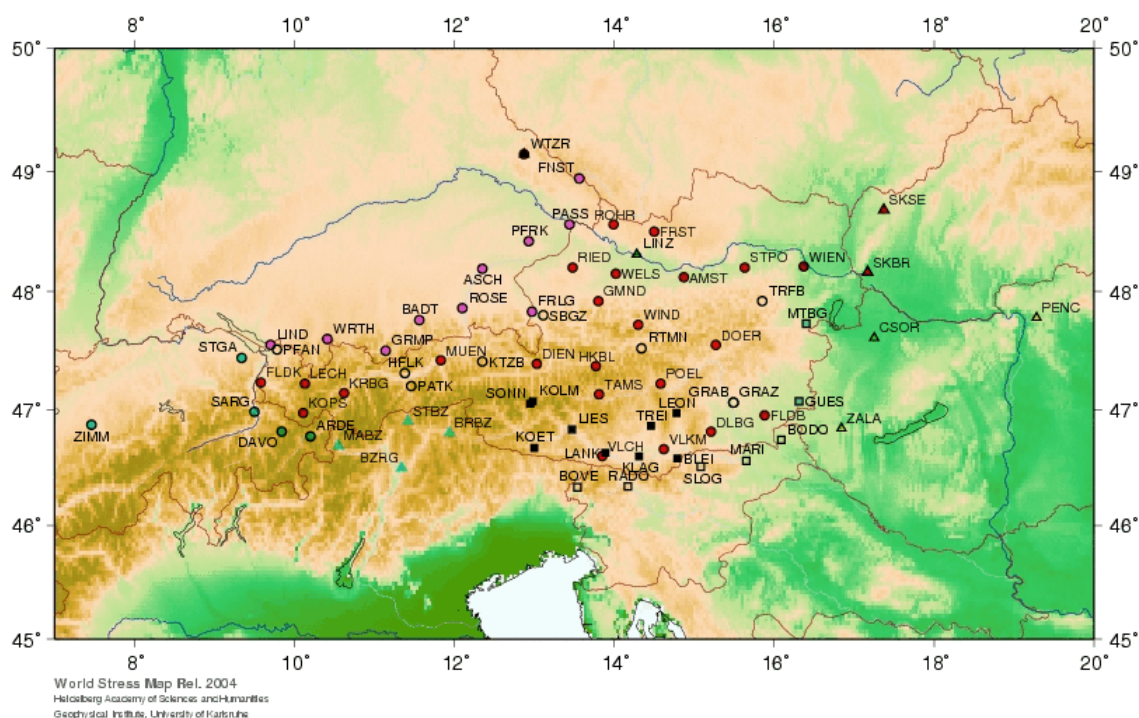
Nadaljevanje in možnosti

Čeprav smo doslej opisali le meritve v Sloveniji, pa je CERGOP predvsem mednarodni projekt, ki se financira tudi s sredstvi EU in katerega podatki in izsledki so na voljo vsem državam, ki participirajo v projektu, pod določenimi pogoji pa tudi drugim. S tem se strokovnjakom, ki se ukvarjajo z geodinamiko in sorodnimi disciplinami, odpirajo nove možnosti, saj niso omejeni na nacionalno ozemlje. V preteklem obdobju dveh projektov CERGOP so strokovnjaki različnih držav, podprti z raziskovalnimi potrebami v domovini, izkoristili te možnosti in izdelali več odmevnih študij.



Slika 4 – GPS-točke CERGOP 2005, (vir: CERGOP data center, spletna stran projekta)

Za majhno ilustracijo obsega projekta CERGOP podajamo karto, ki prikazuje v projekt vključeno območje in GPS-točke – Slika 4. Slika se nanaša na stanje projekta v letu 2005. Z različnimi znaki so prikazani različni statusi GPS-točk. Permanentne GPS-postaje, ki so na sliki predstavljene s kvadrati, predstavljajo najštevilčnejšo kategorijo in že nakazujejo, da bo to v prihodnosti prevladujoča oblika geodinamičnih točk za velika območja. Permanentne GPS-postaje so solidne točke, ki služijo mnogim nalogam, zato ni težko zagotoviti njihovih podatkov tudi za potrebe geodinamičnih študij. Ker dobavljajo te podatke ves čas, ne le tekom terenskih kampanj, omogočajo uporabo znanstveno bolj dognanih metod. Občasne točke bodo vedno bolj služile regionalnim potrebam in bodo tako dopolnjevale osnovno mrežo geodinamičnih točk širšega območja. Zanje je značilno, da so na geološko boljše definiranih lokacijah in verjetno je lažja tudi interpretacija sprememb na teh točkah. Projekt CERGOP sam v prihodnosti verjetno ne bo več temeljil na podatkih obdobjnih postaj, temveč le na permanentnih GPS-postajah, kar nakazuje tudi najnovejša karta CERGOP-mreže – Slika 5.



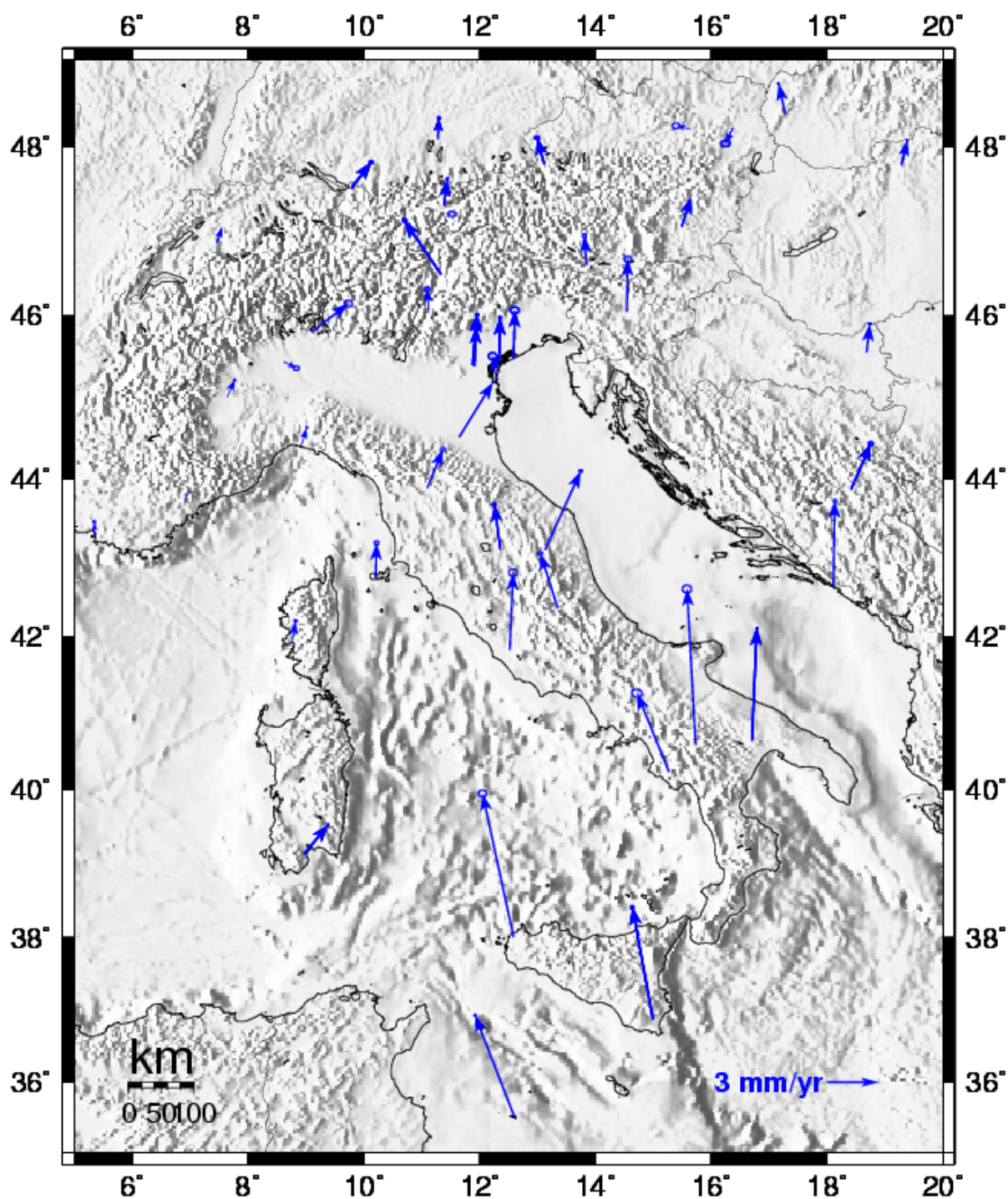
Slika 6 - Omrežje permanentnih postaj v projektu AMON (vir: OLG, spletna stran projekta)

Osnova je omrežje permanentnih GPS-postaj APOS, sicer namenjeno zagotavljanju geodetskega referenčnega sistema in preciznemu določanju položaja v realnem času, ki ga sestavlja 32 GPS-točk, v pripravi pa so še nove. Ena od nalog projekta AMON je tudi spremljanje premikov v vzhodnih Alpah. To je bila tudi naloga projekta AGREF. Slovenija pokriva del področja vzhodnih Alp in zanimivo območje interakcije med Alpami in Dinaridi.

Geološka interpretacija podatkov

Kot je bilo uvodoma omenjeno, služijo podatki, pridobljeni v okviru projekta CERGOP predvsem za preučevanje recentne geodinamike danega območja. To obsega zahodni del Evroazijske litosferske plošče in več manjših mikroplošč, ki ležijo med omenjeno Evroazijsko ter Afriško oz. Nubijsko ploščo.

Iz pridobljenih podatkov (Internetna stran CERGOP-2 Environment) je razvidno, da se celoten navedeni prostor premika generalno proti severu s hitrostjo nekaj milimetrov na leto. Dinamika ožjega prostora, na katerem leži Slovenija, točneje Jadranska mikroplošča, pa je razvidna iz Slike 7. Slika zajema osrednji del Jadranske mikroplošče in njene deformirane robove, točneje Apenine, Dinaride ter Alpe. Podatki meritev znotraj CERGOP-a kažejo generalno isti premik proti severu kot velja za celotno prej omenjeno območje, s tem, da so hitrosti premika večje v Apeninih in manjše v Dinaridih in v Alpah.



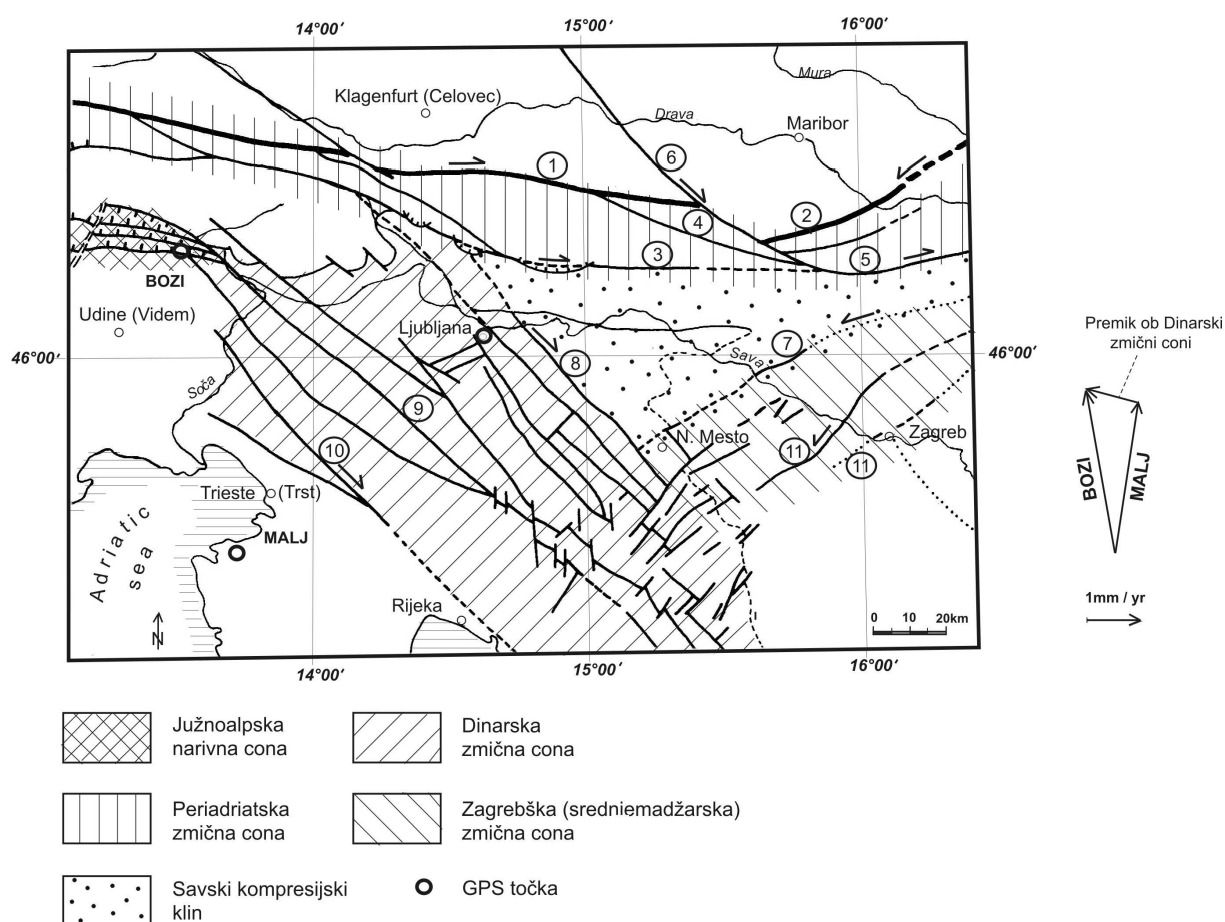
Slika 7 - Vektorji premikov v cirkum - Jadranskem območju, pridobljeni v okviru CERGOP-a. (http://cisas.unipd.it/gps/Italy_area.htm)

Ozemlje Slovenije leži v celoti na severnem delu Jadranske plošče in zajema del Dinaridov in Alp. Smer premikov in njihovih vrednosti so razvidne iz Slike 3 in so generalno v skladu s širšim, prej omenjenim prostorom. Vendar je geodinamika tega ozemlja na stičišču Dinaridov in Alp, kakor tudi struktur, nastalih pri koliziji Evroazijske plošče in Tisine mikroplošče (Srednjemađžarska cona), kompleksna. Ta pogojuje odstopanje smeri premikov posameznih delov terena in njihovih hitrosti.

Shematizirana ponazoritev recentne dinamike slovenskega ozemlja je prikazana na Sliki 8. Iz slike je razvidno, da so na slovenskem ozemlju prisotni Dinaridi, kjer so dominantne

strukture desno zmični prelomi, potem Srednjemadžarska cona z levozmičnimi prelomi ter Alpe z desnozmičnimi regionalnimi prelomi. V Alpah je še prisotno narivanje proti jugu. GPS-točke, prikazane na Sliki 3, so zato preredke in nezadostne za analizo dinamike navedenih geotektonskih enot in posameznih struktur. Za tovrstno analizo bi potrebovali gostejšo mrežo točk, ki bi bile postavljene smiselno glede na določene strukture.

Primer generalizirane geološke interpretacije premikov točk Božica in Malija je podan na Sliki 8. Točka Malija leži na območju Jadranskega predgorja, ki predstavlja osrednji in slabo deformirani del Jadranske mikroplošče. Točka Božica pa je na severnem robu Zunanjih Dinaridov, kjer le-ti mejijo Južne Alpe. Obe enoti pa predstavljata, kot je že prej bilo rečeno, severni do severovzhodni močno deformirani rob mikroplošče. Odklon premika na točki Božica proti severozahodu glede na premik na točki Malija bi potemtakem lahko interpretirali kot rotacijo Zunanjih Dinaridov v nasprotni smeri urinega kazalca, ki se dogaja med Jadranskim predgorjem in Južnimi Alpami ter Periadrijsko zmično cono.



Slika 8 - Shematizirana tektonska karta Slovenije. Prelomi: 1. Smrekovski (Periadrijski), 2. Ljutomerski, 3. Savski, 4. Šoštanjski, 5. Donački, 6. Labotski, 7. Orliški, 8. Stiški, 9. Idrijski, 10. Raški, 11. Svetojanski

Sklep

Projekt CERGOP se bo nadaljeval. Rezultati so za Evropo tako pomembni, da ga financira in ga vključuje tudi v raziskovalne programe naslednjih obdobj. Z njim dobivajo strokovnjaki, ki se ukvarjajo z bolj ali manj regionalnimi aspekti premikanja Zemljine skorje odlično bazo podatkov za svoje delo. Večinoma se ob nacionalni podpori vključujejo z lastnimi podprojekti, ki obsegajo dodatne meritve, predvsem pa nove pristope in znanja. To je tudi ena od poti za pridobivanje sredstev Evropske unije.

Slovenija v preteklih šestih letih ni oblikovala lastnega projekta, s katerim bi se vključila v CERGOP. Pri izvedenih delih gre v veliki meri za entuziazem prof. Vodopivca in pomoč avstrijskih kolegov. Vsi sodelujoči so bili bolj ali manj prostovoljci. Največ je pri tem prispevala Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Ker menimo, da je tak mednarodni in interdisciplinarni pristop lahko odločilen tudi za nadaljnji razvoj znanosti pri nas, želimo oblikovati ekipo in program, ki bosta z nacionalno podporo lahko ustrezno predstavljala Slovenijo v CERGOP-u in tudi izkoristila ponujene možnosti. Ker na FGG očitno ni možnosti za nadaljevanje dela, iščemo novo sredino in upamo, da bo krog strokovnjakov in institucij, združenih v SZGG, lahko ponudil nekaj pravega.

Razvoj metodologije za izdelavo modelov 7-dnevne napovedi nizkih pretokov

Luka Štravs¹, Mitja Brilly

Povzetek

Na podlagi uporabe tako teoretično razvitega znanja o dogajanju v obdobju nizkih pretokov kot tudi metode strojnega učenja M5 za generiranje regresijskih dreves smo razvili metodologijo izdelave modelov napovedi nizkih pretokov, ki so zelo primerni za operativno rabo. Prikazana in na dveh primerih slovenskih rek je uspešno implementirana metodologija razvoja empiričnih modelov nizkih pretokov za 7 dni vnaprej. Variabilnosti v obnašanju recesijskih delov hidrogramov kot posledici raznolikih faktorjev smo se izognili tako, da smo namesto konstantne vrednosti upoštevali variabilnost recesijskega koeficienta v različnih hidroloških razmerah, ki smo jih opisali s spremembo vrednosti nizkega pretoka od včeraj na danes (dQ) in vrednostjo srednjega dnevnega pretoka danes oziroma v dnevu izdelave napovedi (Q_t).

Uvod

Določanje nizkih pretokov je zelo pomembno za različne dejavnosti v okviru vodarstva. Suša s pomanjkanjem vode je namreč največji izziv za upravljanje z vodami zaradi pomanjkanja vira, od katerega so odvisni življenje in mnoge gospodarske dejavnosti. Varnost uporabnikov vode je tesno povezana z razpoložljivimi vodnimi viri, ki jih v suši praviloma primanjkuje. Opredelitev količine razpoložljivih virov vode v sušnih obdobjih je osnovno izhodišče za načrtovanje in izkoriščanje vodnih virov.

V naši raziskavi smo na podlagi uporabe hidrološkega znanja o dinamiki pretočnih količin v sušnih oziroma recesijskih obdobjih in uporabe metode strojnega učenja M5 razvili metodologijo razvoja enostavnih modelov napovedi nizkih pretokov. Metoda je bila implementirana na podlagi podatkov dveh vodomernih postaj na pritokih reke Save, in sicer na podatkih vodomerne postaje Podhom na Radovni in podatkih vodomerne postaje Bodešče na Savi Bohinjki.

Opis porečij

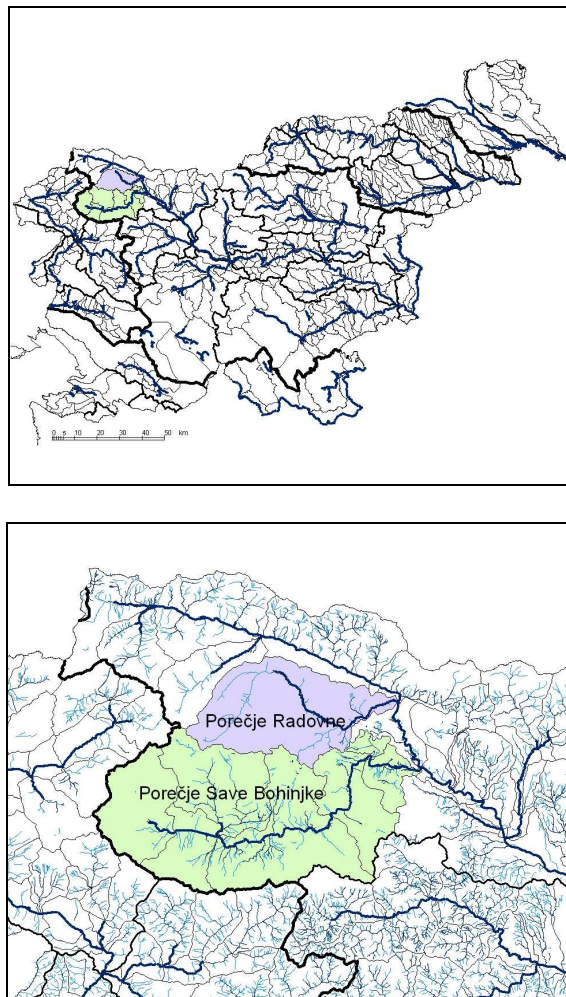
Za gradnjo modelov in za preveritev metodologije smo uporabili podatke o srednjih dnevni pretokih na Savinih pritokih Radovni in Savi Bohinjki. Porečje Save v Sloveniji meri 10746 km², kar znaša več kot 50 % ozemlja Slovenije; dolžina vodotoka Save na ozemlju Slovenije je 220,7 km.

Vodotok	Vodomerne postaja	Prispevno območje [km ²]	Obdobje	Q ₉₅	Q ₈₀	Q ₅₀	Q ₃₀
Radovna	Podhom	165,6	1991-2003	1,9	2,6	4,8	7,4
Sava Bohinjka	Bodešče	354,5	1991-2003	4,1	6,0	11,4	19,3

Preglednica 1 - Podatki o prispevnih območjih vodomernih postaj in značilne nizkopretočne karakteristike

¹ Luka Štravs, univ. dipl. inž. gradb., prof. dr. Mitja Brilly, univ. dipl. inž. gradb., UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

Radovna in Sava Bohinjka skupaj s Savo Dolinko, Tržiško Bistrico, Kokro, Soro, Ljubljano, Kamniško Bistrico, Savinjo in Krko so glavni pritoki osrednje slovenske reke Save. Porečji Radovne in Save Bohinjke sta locirani na severozahodnem delu Slovenije (Slika 1), značilne nizkopretočne karakteristike in velikost prispevnih površin za vodomerni postaji Podhom in Bodešče za obdobje 1991-2003 pa so podane v Preglednici 1.



Slika 1 - Prikaz porečij Radovne in Save Bohinjke

Metode

Podatki

Za določitev krivulj trajanja pretokov in karakterističnih statistik srednjih dnevnih pretokov Q_{95} (vrednost srednjega dnevnega pretoka, ki je presežen v 95 % časa), Q_{80} , Q_{50} in Q_{30} (Tabela 1) na posameznih vodomernih postajah smo uporabili podatke o srednjih dnevnih pretokih v letih od 1991 do 2003 na vodomernih postajah Podhom na Radovni in Bodešče na Savi Bohinjki; podatke je posredovala Agencija Republike Slovenije za okolje.

Za gradnjo oziroma razvoj modelov napovedi nizkih pretokov smo uporabili podatke iz obdobja od vključno leta 1991 do vključno leta 2002, za verifikacijo modelov napovedi pa smo uporabili podatke o srednjih dnevnih pretokih za leto 2003, katerega lahko uvrstimo med bolj sušna obdobja v zadnjem obdobju. Za verifikacijo modelov napovedi nizkih pretokov smo izbrali 5 sušnih obdobji v letu 2003. Modeli napovedi so bili verificirani

samo na tistih podatkih, ko je srednji dnevni pretok v času napovedi (Q_t) znašal manj kot 150 % vrednosti Q_{30} , torej pretoka, ki je bil presežen vsaj 30 % časa v obdobju od 1991 do 2003. Tako smo modele preverili tudi na podatkih o srednjem dnevnem pretoku, ki niso bili vključeni v razvoj modelov.

Metoda strojnega učenja M5 za razvoj regresijskih dreves

Za razvoj modelov v obliki regresijskih dreves, ki predstavljajo modele variabilnega recesijskega koeficienta k , smo v naši raziskavi uporabili metodo strojnega učenja M5 iz programskega orodja WEKA. To orodje je bilo razvito na Univerzi Waikato na Novi Zelandiji (Witten & Frank, 2000). S tem, ko metodi strojnega učenja ponudimo dovolj vhodnih (atributov) in izhodnih podatkov, ki opisujejo modelirani proces, se le-ta iz posameznih primerov nauči vzorce obnašanja v okviru modeliranega procesa. Pri tem se celotni podatkovni prostor vhodnih spremenljivk deli na podprostore, katerih meje so v procesu razvoja modela optimizirane, znotraj posameznih podprostorov celotnega podatkovnega n -dimenzijskega prostora pa veljajo določeni vzorci, ki se jih lahko aproksimira z npr. nominalno ali konstantno numerično vrednostjo in linearno funkcijo. Odločitvena drevesa se generirajo na podlagi iterativnega deljenja podatkov v podatkovne podprostore celotnega podatkovnega prostora, pri čemer je cilj, da je razdalja med posameznimi podatkovnimi podprostori čim večja (Breiman et al., 1984; Quinlan 1986, 1992; Kompare, 1995; Mitchell, 1997; Witten & Frank, 2000; Solomatine & Dulal, 2003).

Glavne komponente odločitvenih dreves so odločitvena vozlišča, veje in listi. Odločitveni proces se začne pri glavnem oziroma zgornjem odločitvenem vozlišču, v katerem je specificiran razdelitveni kriterij. Glede na odgovor na ta razdelitveni kriterij se odločitveno drevo razdeli v veje. Vsaka veja lahko vodi do podrejenih vej ali pa zaključnih delov odločitvenih dreves, ki se imenujejo listi in predstavljajo vrednost, ki jo zavzame model. Rezultati modeliranja so torej modeli v obliki odločitvenih dreves, ki predstavljajo zaporedje pravil. Ta pripeljejo do vrednosti razreda, numerične vrednosti ali linearne funkcije uporabljenih atributnih spremenljivk. Glede na to lahko razdelimo vrste odločitvenih dreves v:

- klasifikacijska drevesa z nominalnimi vrednostmi razreda kot listi modela,
- regresijska drevesa s konstantnimi numeričnimi vrednostmi kot listi modela in
- modelna drevesa z linearnimi kombinacijami oziroma funkcijami uporabljenih atributov kot listi modela.

Razvoj modela napovedi s konstantno vrednostjo recesijskega koeficienta k

V prvi fazi smo želeli izdelati modele napovedi nizkih pretokov za n -dni vnaprej na podlagi najbolj poznane enačbe recesijskega dela hidrograma (Tallaksen, 1995):

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-k \cdot n} \quad (1)$$

kjer predstavljajo Q_t in Q_{t+n} srednji dnevni pretok na posamezni vodomerni postaji v dnevih t in $t+n$, n število dni vnaprej, za katero se izdela napoved (npr. za 1 dan vnaprej $n = 1$), in k recesijski koeficient konstantne vrednosti.

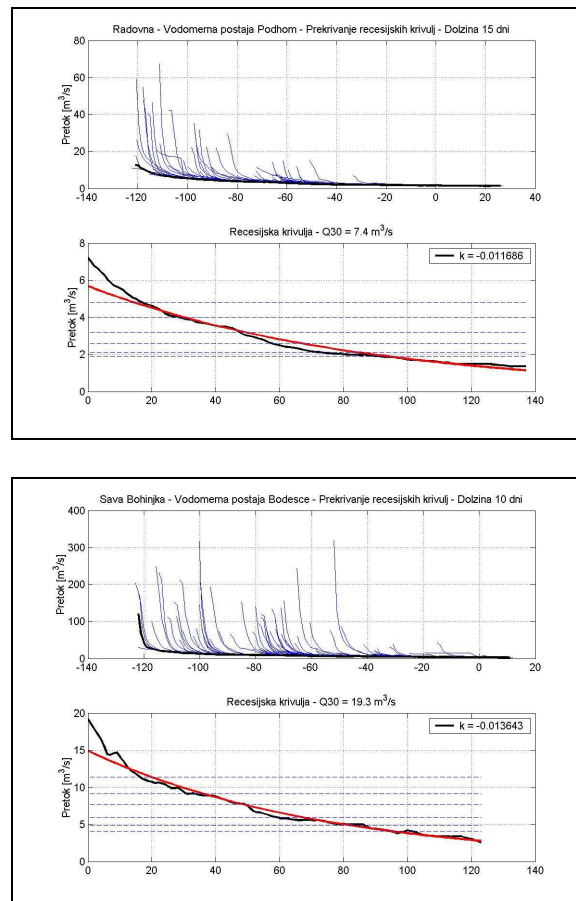
Enačba (1) se v literaturi (Tallaksen, 1995) pojavlja tudi v naslednjih podobnih oblikah:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-n/C} \quad (1a)$$

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-a1 \cdot n} \quad (1b)$$

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot k^n \quad (1c)$$

kjer predstavljajo C , $a1$ in k konstante in je n število dni vnaprej, za katero se izdelava napoved.

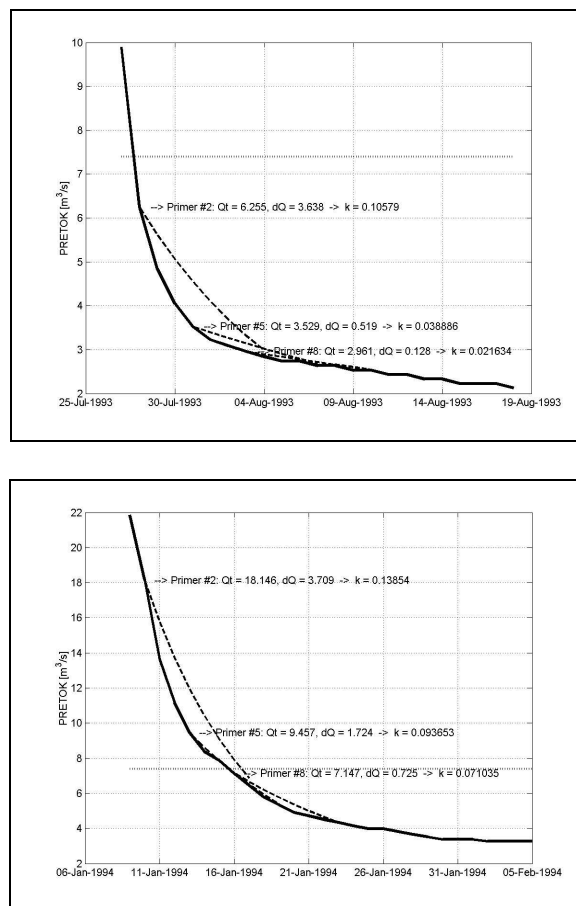


Slika 2 - Določitev konstantne vrednosti koeficienta k na podlagi določitve glavne recesijske krivulje

Za vsako izmed vodomernih postaj smo določili glavno recesijsko krivuljo (angl. master recession curve) in ji določili eksponentno krivuljo z eksponentnim koeficientom, ki se ji najbolj prilega po kriteriju najmanjšega odstopanja kvadratov (Slika 2). Tako smo določili konstantno vrednost recesijskega koeficienta k , ki se ob uporabi v enačbi (1) uporabi za izdelavo 7-dnevne napovedi nizkih pretokov.

Razvoj modela napovedi s spremenljivo vrednostjo recesijskega koeficienta k

Za razliko od modela napovedi s konstantno vrednostjo recesijskega koeficienta smo na podlagi analize recesijskih obdobj v letih od 1991 do 2002 razvili modele variabilnega recesijskega koeficienta k , ki se ga kasneje uporabi v modelu napovedi nizkih pretokov za 7 dni vnaprej. Razvili smo torej regresijsko drevo variabilnega recesijskega koeficienta k iz enačbe (1), ki ni konstanten, temveč variira glede na vrednost pretoka v dnevu izdelave napovedi (Q_t) in glede na spremembo pretoka v zadnjih 24 urah (dQ).



Slika 3 - Zbiranje atributov (Q_t in dQ) in razredov (koeficient k) posameznih primerov iz podatkov o srednjih dnevni pretokih na Radovni

Osnovna oblika modela torej ostane enaka (enačba 1), le recesijski koeficient ni več konstanten v vseh hidroloških pogojih v trenutku izdelave napovedi, temveč je odvisen od spremembe pretoka v zadnjih 24 urah dQ in vrednosti pretoka v dnevu izdelave napovedi Q_t :

$$k = f(Q_t, dQ)$$

Modele oziroma regresijska drevesa recesijskega koeficienta k smo razvili tako, da smo za obdobje let od 1991 do 2002 identificirali vsa obdobja, ko je bil pretok v upadanju (Slika 3). Za vsako tako obdobje in vrednosti nižje od Q_{30} smo določili koeficient eksponencialne krivulje, ki se najbolje prilega vrednostim pretoka za 7 dni vnaprej. Za vsak tako dobljeni k smo odčitali še vrednost pretoka v trenutku izdelave napovedi Q_t in vrednost spremembe pretoka glede na prejšnji dan dQ . Tako smo za vsako posamezno postajo pridobili večje število trojic (primerov), kjer sta dQ in Q_t atributa (oziroma vhodni spremenljivki), razred (oziroma modelirana spremenljivka) v obliki konstante vrednosti pa je recesijski koeficient k (Preglednica 2).

Primer #	Q_t [m ³ /s]	dQ [m ³ /s]	k
1	4,76	0,400	0,0617
2	4,19	0,570	0,0538
3	4,01	0,180	0,0518
4	3,66	0,350	0,0443
5	3,49	0,170	0,0419
6	3,33	0,160	0,0365
7	3,17	0,160	0,0291
8	3,02	0,150	0,0211
9	2,88	0,140	0,0178
10	2,74	0,140	0,0148
...	...	...	...
549	2,64	0,127	0,0301
550	2,52	0,122	0,0200

Preglednica 2 - Prikaz posameznih zbranih trojic (primerov) Q_t , dQ in k , na podlagi katerih metoda M5 sama zgradi regresijsko drevo recesijskega koeficienta k .

Tako smo za VP Podhom na Radovni zbrali 550 primerov (Tabela 2) in za VP Bodešče na Savi Bohinjki 340 primerov, iz katerih smo z uporabo metode strojnega učenja M5 razvili regresijski drevesi, ki predstavljata model recesijskega koeficienta k v funkciji dQ in Q_t .

Rezultati

Za vrednost konstantnega recesijskega koeficienta k za vodomerno postajo Podhom je bil določen $k = 0.01168$ in za vodomerno postajo Bodešče določen $k = 0.01364$ (Slika 2). Razvita modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim k iz enačbe (1) za 7 dni vnaprej sta torej:

- za vodomerno postajo Podhom na Radovni:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-0.01168 \cdot n}$$

- in za vodomerno postajo Bodešče na Savi Bohinjki:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-0.01364 \cdot n}$$

Na podlagi uporabe metode strojnega učenja M5 smo za vsako vodomerno postajo razvili regresijsko drevo (Slika 4), ki predstavlja model variabilnega recesijskega koeficienta k . Ta se ob uporabi v enačbi (1) uporabi za izdelavo 7-dnevne napovedi nizkih pretokov.

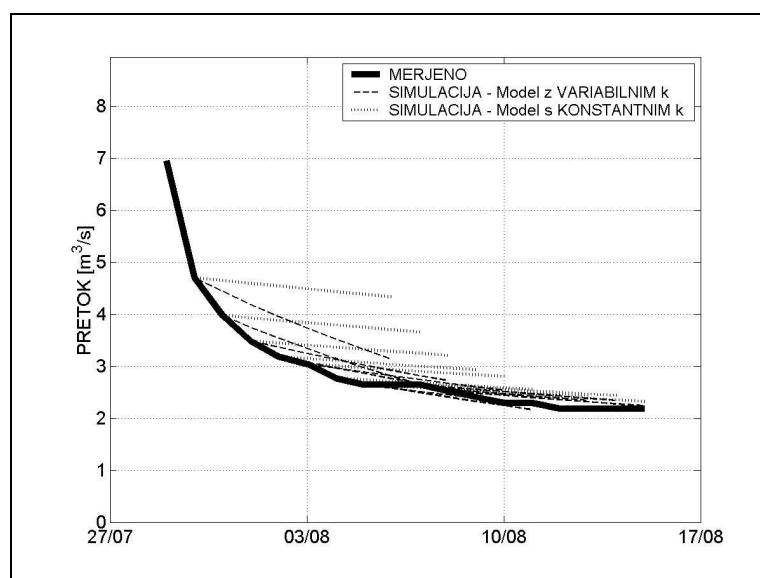
Radovna - VP Podhom	Sava Bohinjka - VP Bodešče
$dQ \leq 0,207$: $dQ \leq 0,123$: $Q_t \leq 2,2$: $k = 0,00813$ $Q_t > 2,2$: $k = 0,01730$ $dQ > 0,123$: $k = 0,02580$ $dQ > 0,207$: $dQ \leq 0,554$: $k = 0,03520$ $dQ > 0,554$: $k = 0,05770$	$dQ \leq 1,52$: $dQ \leq 0,727$: $Q_t \leq 6,52$: $k = 0,0269$ $Q_t > 6,52$: $k = 0,0418$ $dQ > 0,727$: $k = 0,0548$ $dQ > 1,52$: $dQ \leq 3,18$: $k = 0,0752$ $dQ > 3,18$: $k = 0,0990$

Slika 4 - Regresijski drevesi recesijskega koeficienta k za vodomerni postaji Podhom na Radovni (levo) in Bodešče na Savi Bohinjki (desno)

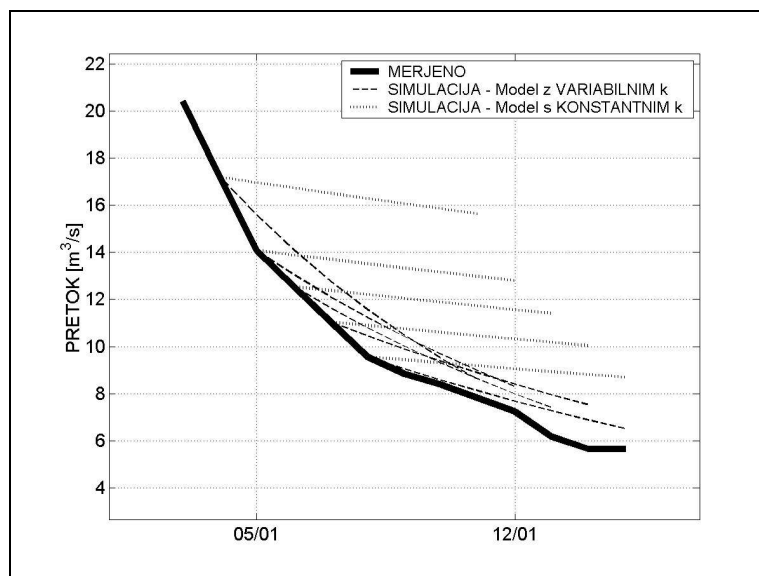
Model recesijskega koeficienta k za VP Bodešče se uporabi na naslednji način:

14. če je dQ manjši od ali enak $0,727 \text{ m}^3/\text{s}$ in Q_t manjši od ali enak $6,52 \text{ m}^3/\text{s}$, potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient $k = 0,0269$;
15. če je dQ manjši od ali enak $0,727 \text{ m}^3/\text{s}$ in Q_t večji od $6,52 \text{ m}^3/\text{s}$, potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient $k = 0,0418$;
16. če je dQ večji od $0,727 \text{ m}^3/\text{s}$ in manjši od ali enak $1,520 \text{ m}^3/\text{s}$, potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient $k = 0,0548$;
17. če je dQ večji od $1,520 \text{ m}^3/\text{s}$ in manjši od ali enak $3,180 \text{ m}^3/\text{s}$, potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient $k = 0,0752$;
18. če je dQ večji od $3,180$, potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient $k = 0,0990$;

Maksimalna vrednost pretoka, pri kateri se lahko izdela 7-dnevna napoved za vodomerno postajo Podhom je enaka $Q_{30} = 7,4 \text{ m}^3/\text{s}$ in je enaka $Q_{30} = 19,3 \text{ m}^3/\text{s}$ za vodomerno postajo Bodešče.



Slika 5 - Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Podhom na Radovni



Slika 6 - Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Bodešče na Savi Bohinjki

Modeli 7-dnevne napovedi srednjega dnevnega pretoka v sušnih obdobjih so bili testirani na podatkih o srednjih dnevni pretokih iz leta 2003. Tako je bil model napovedi nizkih pretokov na VP Podhom na Radovni (Tabela 3) testiran na sedmih sušnih obdobjih, model napovedi nizkih pretokov na VP Bodešče na Savi Bohinjki pa na petih daljših sušnih oziroma recesijskih obdobjih (Tabela 4) v letu 2003. Za vsako izbrano sušno obdobje smo za vsak dan kontinuirano simulirali 7-dnevno napoved (Sliki 5 in 6) in jo primerjali z dejansko dinamiko spremembe pretoka v naslednjih 7 dneh. Za vsako tako obdobje smo izračunali povprečno absolutno in povprečno relativno napako (Preglednici 3 in 4).

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ _{AVG} [m³/s]	dQ _{AVG} [%]	dQ _{AVG} [m³/s]	dQ _{AVG} [%]
1	0.14	3.41	0.43	10.24
2	0.12	3.73	0.24	7.43
3	0.04	2.12	0.06	3.01
4	0.11	5.21	0.20	9.59
5	0.13	4.50	0.09	3.09
6	0.20	7.44	0.44	16.29
7	0.17	7.11	0.46	19.28

Preglednica 3 - Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Podhom

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ _{AVG} [m ³ /s]	dQ _{AVG} [%]	dQ _{AVG} [m ³ /s]	dQ _{AVG} [%]
1	1.10	13.58	3.63	45.20
2	0.44	10.62	0.69	16.54
3	0.53	9.45	0.66	11.77
4	1.23	12.27	2.51	25.84
5	0.42	8.13	0.97	18.67

Tabela 4 - Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Bodešče

Primerjava natančnosti modelov (Tabeli 3 in 4) pokaže, da je model z variabilnim recesijskim koeficientom večinoma precej bolj natančen kot model s konstantnim recesijskim koeficientom. Medtem ko je relativna povprečna napaka pri napovedih z modelom s konstantnim recesijskim koeficientom znašala tudi do 45 % (primer za obdobje #1 na VP Bodešče), pa je bila maksimalna povprečna relativna napaka obeh modelov z variabilnim recesijskim koeficientom nekaj več kot 13.5 % (primer za obdobje #1 na VP Bodešče). Razen za primer obdobja #5 na VP Podhom je bila napaka modela z variabilnim recesijskim koeficientom k občutno manjša.

Iz strukture modelov recesijskega koeficienta k v obliki regresijskih dreves za VP Podhom na Radovni in VP Bodešče na Savi Bohinjki pa se vidi tudi naslednje:

- razvita modela sta povsem v skladu s pričakovanji, saj s povečevanjem razlike v vrednosti srednjega pretoka med včeraj in danes (dQ v modelu) raste tudi absolutna vrednost recesijskega koeficienta k;
- prav tako se v strukturnih delih modelov, kjer se kot odločitveni kriterij pojavi Q_t , vidi, da je absolutna vrednost recesijskega koeficienta večja pri višjih vrednoti Q_t ;
- v modelu kot odločitveni kriterij prevladuje atribut dQ, kar pomeni, da variiranje recesijskega koeficienta ni v toliki meri odvisno od vrednosti srednjega dnevnega pretoka v dnevu izdelave napovedi (Q_t), temveč da je dQ boljši indikator dogajanja v naslednjih 7 dneh kot pa vrednost srednjega dnevnega pretoka Q_t .

Zaključki

Na podlagi uporabe tako teoretično razvitega znanja o dogajanju v obdobju nizkih pretokov kot tudi metode strojnega učenja M5 za generiranje regresijskih dreves smo razvili zelo uporabne modele napovedi nizkih pretokov, ki so zelo primerni za operativno rabo. Prikazana in na dveh primerih uspešno implementirana je bila metodologija razvoja empiričnih modelov nizkih pretokov. Variabilnosti v obnašanju recesijskih delov hidrogramov kot posledici raznolikih faktorjev (na primer vpliv sezonskosti ali predhodne vlažnosti) smo se izgonili tako, da smo namesto konstantne vrednosti upoštevali variabilnost recesijskega koeficienta v različnih hidroloških razmerah, ki smo jih opisali s spremembo vrednosti nizkega pretoka od včeraj na danes (dQ) in vrednostjo srednjega dnevnega pretoka danes oziroma v dnevu izdelave napovedi (Q_t).

Iz rezultatov v obliki modelov, ki so predstavljeni kot regresijska drevesa, se vidi, da nam o dinamiki vrednosti pretoka v naslednjih nekaj dneh več pove sprememba vrednosti pretoka (dQ) kot pa sama vrednost pretoka v dnevu, ko se izdela napoved (Q_t). Model napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom, ki ga izrazimo kot funkcijo vrednosti srednjega dnevnega pretoka (dQ) in spremembe le-tega v dnevu izdelave napovedi (Q_t), predstavlja z vidika obnašanja modelov napovedi nizkih pretokov izrazito izboljšavo.

Še enkrat je bila prikazana uspešnost in primernost uporabe modernih matematično-modelarskih orodij strojnega učenja v hidrologiji. Vseeno pa menimo, da je poznavanje področja dela, v okviru katerega se razvijajo modeli oziroma regresijska drevesa z metodami strojnega učenja, nepogrešljiva postavka, brez katere sta razvoj in še posebej interpretacija razvitih modelov skoraj nemogoča oziroma lahko interpretacija včasih pripelje do absurdnih situacij.

Literatura

- Breiman L, Friedman JH, Olshen RA, Stone CJ. (1984) Classification and regression trees. Wadworth, Belmont.
- Kompare B. (1995) The use of artificial intelligence in ecological modelling. Ph. D. Thesis, Royal Danish School of Pharmacy, Copenhagen, Denmark.
- Mitchell T. (1997) Machine Learning. MIT Press and The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Quinlan JR. (1986) Induction of Decision Trees. Machine Learning 1: 81-106.
- Quinlan JR. (1992) Learning with continuous classes. In: Proceedings of the Fifth Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, pp 343–348.
- Solomatine DP, Dulal KN. (2003) Model trees as an alternative to neural networks in rainfall-runoff modelling. Hydrological Sciences Journal 48: 399–411.
- Tallaksen, L.M. (1995) A review of baseflow recession analysis. Journal of Hydrology 165, 349-370.
- Witten I H, Frank E. (2000) Data mining: Practical machine learning tools and techniques with java implementations. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, USA.

Geodetska navezava mareografske postaje Koper

B. Stopar*, B. Koler, D. Kogoj, O. Sterle, T. Ambrožič, S. Savšek-Safić, M. Kuhar, D. Radovan**

Povzetek

V Kopru je bila pod okriljem Agencije Republike Slovenije za okolje vzpostavljena nova, sodobna mareografska postaja. V prispevku predstavljamo geodetska dela, potrebna za kakovostno določitev lege mareografske postaje v terestričnem koordinatnem sistemu, ki so se izvajala v času poskusnega delovanja postaje od konca leta 2005 do začetka leta 2006.

Uvod

Agencija RS za okolje – ARSO je v okviru evropskega projekta FP5 ESEAS–RI (Framework Programme 5 European Sea Level Service – Research Infrastructure) in nacionalnega projekta posodobitve hidrološke mreže prenovila in nadgradila mareografsko postajo Koper. Triletni projekt FP5 ESEAS–RI se je začel novembra 2002 z namenom vzpostavitve in razvoja infrastrukture Evropske službe za spremljanje višin morja. Namen projekta je vzpostavitev infrastrukture za izvajanje sodobnih standardiziranih mareografskih in drugih opazovanj v okviru Evropske službe za spremljanje višine morja ESEAS.

V zadnjih desetletjih so se pojavile nove tehnologije za spremljanje nivoja morske gladine. Z geodetskega stališča so pri tem pomembni satelitski navigacijski sistemi GNSS (Global Satellite Navigation System) in kakovostni gravimetrični instrumenti. Uporaba opazovanj v GNSS omogoča določitev lege referenčne točke mareografske postaje ter povezavo opazovanj nivoja morja s terestričnim referenčnim sistemom. Neprekinjena ali ponavljajoča se GNSS- opazovanja omogočajo tudi določitev premikov antene GNSS- sprejemnika (posledično kopnega) kar omogoča ločitev premikov mareografske postaje in opazovanj sprememb nivoja morja. Tako lahko pridobimo »pravi« nivo morja kot funkcijo časa. Z meritvami sprememb težnosti v okolici mareografske postaje pa lahko povsem neodvisno določimo iste višinske premike kopnega.

V Kopru je bila tako konec leta 2005 postavljena nova mareografska postaja (v nadaljnjem besedilu: MP), ki ustreza mednarodnim standardom in zahtevam za registracijo in dolgoročno spremljanje nivoja morja. Postavljena je na Ukmarjevemu trgu, kjer je več desetletij stal stari mareograf. Da ne bi izgubili dolgoletnega neprekinjenega niza opazovanj, ki so bila pridobljena s starim mareografom, smo zagotoviti ustrezno povezavo starega mareografa in nove MP. Ker smo iz raziskav višinske stabilnosti starega mareografa vedeli, da je območje, na katerem je postavljeno nestabilno, je, za zagotovitev čim boljše lokalne stabilnosti, temeljenje objekta nove MP izvedeno s pomočjo pilotov. MP je opremljena s permanentno GPS-postajo, ki je vključena v slovensko omrežje GPS-

* izr.prof.dr.Bojan Stopar, univ.dipl.inž.geod., doc.dr.Božo Koler, univ.dipl.inž.geod.,izr.prof.dr.Dušan Kogoj, univ.dipl.inž.geod., Oskar Sterle, univ.dipl.inž.geod., doc.dr.Tomaž Ambrožič, univ.dipl.inž.geod., asist.dr. Simona Savšek Safić, univ.dipl.inž.geod., doc.dr.Miran Kuhar, univ.dipl.inž.geod., vsi UL - Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

** mag.Dalibor Radovan, univ.dipl.inž.geod., Geodetski inštitut Slovenije, Jamova 2, 1000 Ljubljana

postaj SIGNAL, MP pa je vključena tudi v državni višinski sistem. Objekt nove MP je prikazan na Sliki 1.



Slika 1 - Objekt nove MP v Kopru

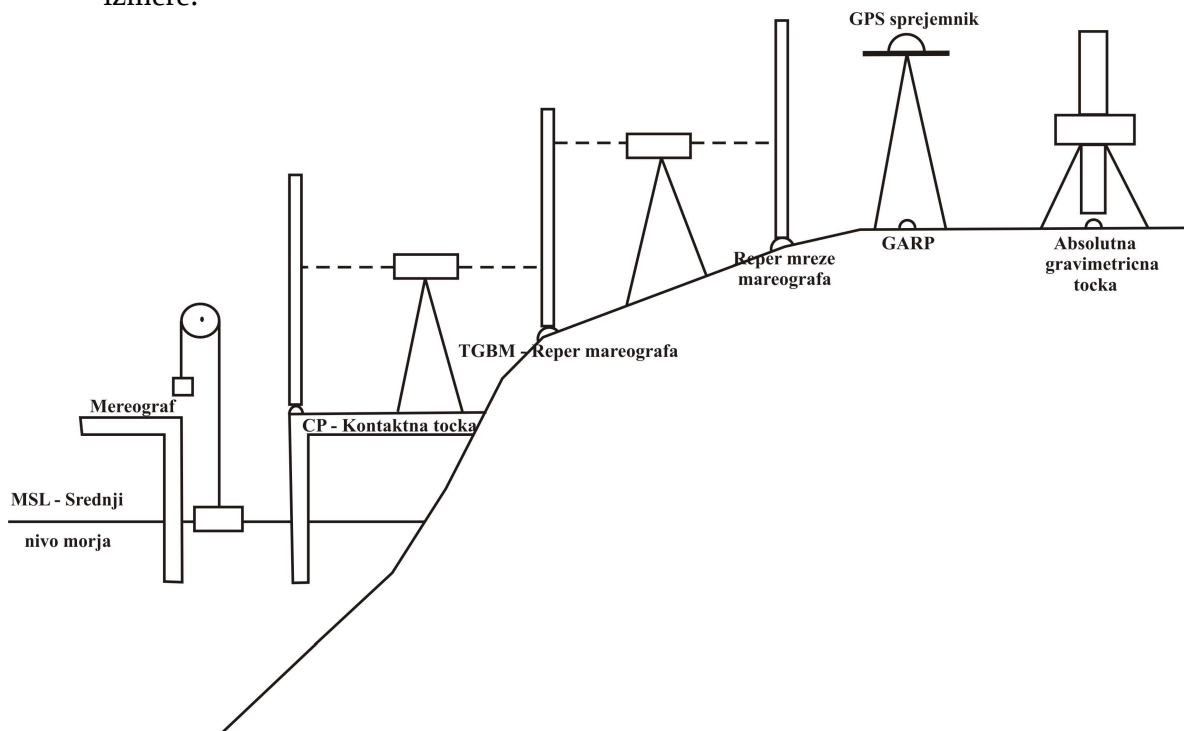
Zahteve IOC za geodetsko izmero MP

K spremljanju klimatskih sprememb, ki smo jim priča v zadnjih desetletjih, globalnega ogrevanja ozračja ter posledičnega dvigovanja nivoja svetovnih morij lahko v veliki meri prispevajo kakovostni in enotno pridobljeni podatki o globalni razporeditvi nivoja morske gladine. V zadnjem desetletju se tako nove MP praviloma vzpostavljajo po priporočilih medvladne oceanografske komisije IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) (Manual on Sea level Measurement and Interpretation, 1985, 1994, 2002). Med drugimi priporočili IOC je posebej pomembna nedvoumna in kakovostna povezava opazovanj nivoja morja s terestričnimi koordinatnimi sistemi. To je naloga, ki zahteva kakovostno geodetsko izmero karakterističnih točk MP. Z geodetskega stališča so pri MP tako pomembne tri točke (Slika 2):

- **Kontaktna točka mareografske postaje** (CP – Contact Point) je reper oziroma ustrezna višinska točka, na katero je možno navezati mareografska opazovanja. Kontaktna točka MP (CP) je povezana z reperjem MP (TGBM).
- **Reper mareografske postaje** (TGBM – Tide Gauge Bench Mark) je najpomembnejši reper, ki predstavlja izhodišče za višinsko navezavo mareografskih opazovanj oziroma predstavlja višinski datum mareografskih opazovanj. Po priporočilih IOC je priporočljivo v bližini MP stabilizirati vsaj še štiri reperje, ki so

povezani z reperjem MP (TGBM). Tako imamo možnost, da lahko za višinsko izhodišče izberemo tudi drugi reper, če se reper MP (TGBM) uniči. Za reper MP izberemo najstabilnejšega izmed štirih reperjev. Reper MP (TGBM) predstavlja fundamentalno točko, katere položaj je določen v terestričnem koordinatnem sistemu z GPS-izmero in na katero so navezana vsa mareografska opazovanja.

- **Referenčna točka GPS-antene** (GARP – GPS Antenna Reference Point) je geodetska točka, ki izpolnjuje zahteve geodetske točke najvišje kakovosti, glede stabilnosti, trajnosti, dokumentacije v zvezi z izmerami in glede dostopnosti. Poleg tega mora izpolnjevati vse zahteve v zvezi z optimalnimi pogoji za izvedbo GPS-izmere.



Slika 2 - Shema MP in karakterističnih geodetskih točk (Vir: Manual on Sea level Measurement and Interpretation, 1994, 2002)

Po priporočilih IOC je potrebno, kadar je to mogoče, anteno GPS-sprejemnika postaviti neposredno na samo MP, tako da sta kontaktna točka MP in GPS-antena stabilizirani na istem objektu. Signal GPS-satelitov naj bi bilo možno sprejemati v čim večjem prostorskem kotu, kakršne koli ovire sprejemanja signala naj bi segle do višinskega kota 15° nad horizontom. Območje mora biti ugodno s stališča pojava večpotja in možnih sevanj radarjev in podobnih naprav. Antena mora biti prisilno centrirana, možni premiki položaja stabilizirane antene so lahko velikosti 0.1 mm. Antena mora biti ena izmed kakovostnih anten, ki zagotavlja čim bolj stabilen položaj faznega centra in čim večjo odpornost na moteče signale in pojav večpotja. GPS-oprema mora tako zagotoviti neprestan sprejem in registracijo GPS-signala. Priporočljivo je, da je GPS-točka na MP vključena v omrežje več permanentnih postaj, katerim se skupaj določa položaj čim bolj pogosto. Za lokalno stabilnost območja MP (nekaj kilometrov) je potrebno s ponavljajočimi se opazovanji (terestričnimi in GPS) opazovati kontrolne točke v bližini MP. Položaj GPS antene MP (in tudi ostalih GPS-točk v mreži) je potrebno določiti s programskim paketom, ki je zmožen določiti položaj z najvišjo možno kakovostjo.

Rezultati obdelave morajo za različne programske pakete zagotavljati statistično enake rezultate.

Meritve absolutnega težnostnega pospeška se morajo izvajati v bližini MP. Gravimetrične meritve predstavljajo možnost določitve višinskih premikov v fizičnem prostoru, v polju zemeljske težnosti, medtem ko GPS-opazovanja omogočajo določanje višinskih premikov v geometrijskem prostoru (glede na referenčni elipsoid). Opazovanja se morajo izvajati v temperaturno nadzorovanem prostoru, povezava z reperjem MP pa se izvede z nivelmanom visoke natančnosti. Opazovanja težnosti morajo biti popravljena za vplive plimovanja morja in čvrste Zemlje in drugih sistematičnih vplivov (npr. hod inštrumenta). Glede na natančnost sodobnih gravimetrov lahko z gravimetričnimi opazovanji določimo višinske premike na nivoju natančnosti premikov, pridobljenih z GPS-opazovanji.

V preglednici 1 so podane zahteve IOC v zvezi z natančnostjo izvajanja geodetske izmere za potrebe izvajanja mareografskih opazovanj.

Merska tehnika	Dolžina: natančnost
1. Niveliranje nivelmanske zanke MP	0 – 1 km: $\sigma < 1$ mm
2a. Niveliranje na širšem območju	1 – 10 km: $\sigma < 1$ cm
2b. GPS-izmera na širšem območju	Enako
3. Absolutna gravimetrična izmera v bližini MP	$\sigma < 2$ μ gal
4. GPS-izmera na točkah v bližini MP	$\sigma < 1$ cm

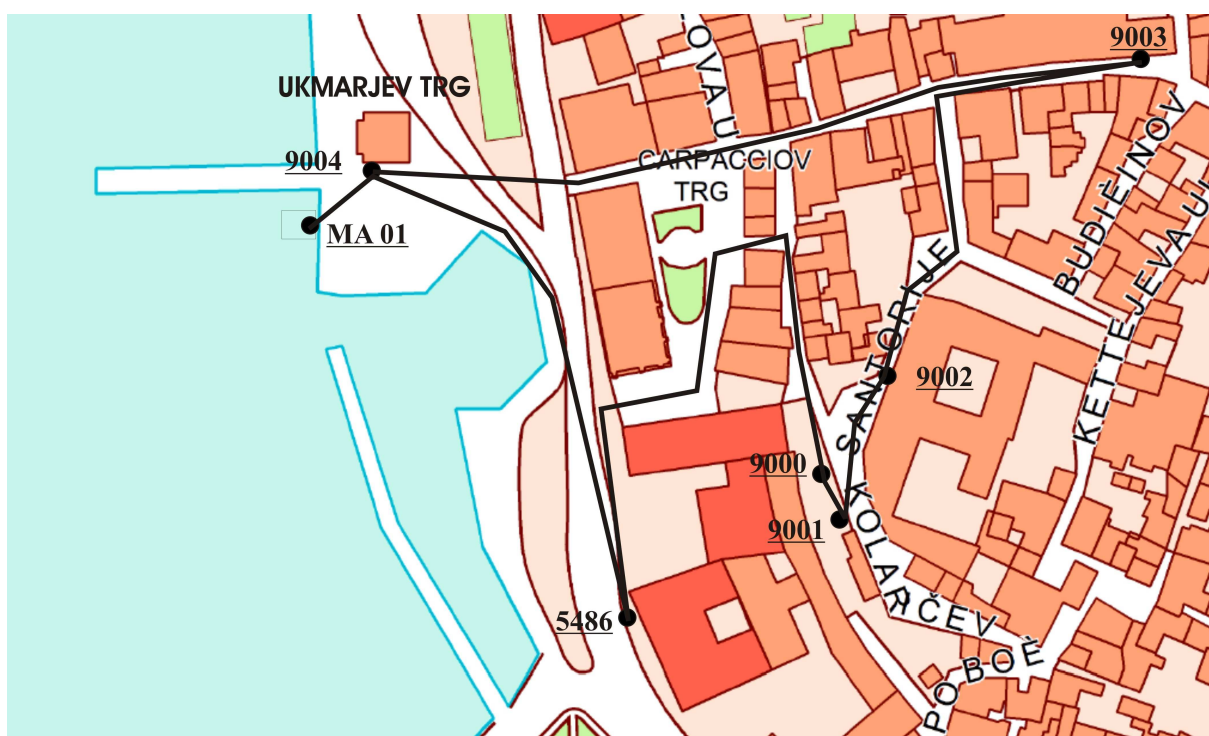
Preglednica 1 - Zahteve IOC v zvezi z geodetsko izmero za potrebe določitve koordinat točk MP.

Geodetska izmera MP Koper

Če želimo obravnavati MP kot geodetsko referenčno točko (točko omrežja SIGNAL ter točko višinskega sistema), ki bo hkrati izpolnjevala zahteve IOC, mora biti referenčna točka MP lokalno stabilna oziroma moramo poznati njen premik v času. Zato moramo spremljati horizontalno in višinsko stabilnost referenčne točke MP. Kontrolne meritve v nivelmanski zanki MP so bile izvedene za spremljanje stabilnosti MP v višinskem smislu. V na novo vzpostavljeni mikro mreži smo izvajali terestrična in GPS-opazovanja predvsem za kontrolo stabilnosti nosilca GPS-antene na MP, saj je le-ta zaradi fizičnih ovir v okolici (ladje, jambori, ...) visok okoli štiri metre. Geodetska dela so, poleg GPS-opazovanj, terestričnih opazovanj za potrebe spremljanja lokalne stabilnosti in gravimetričnih opazovanj, vsebovala tudi geometrični nivelman in gravimetrična opazovanja. Z nivelmanom visoke natančnosti in gravimetrijo smo povezali reperje MP in kontaktno točko MP z državno višinsko mrežo (Stopar et al., 2006).

Nivelmanska izmera MP Koper

Za potrebe spremljanja višinske stabilnosti tedanje MP smo v sodelovanju z Geodetsko upravo Republike Slovenije leta 2000 na območju Kopra izvedli rekognosciranje terena. Tako smo z geologom pregledali reperje, ki so stabilizirani na območju Kopra. Pri oceni kakovosti objektov, v katerih so stabilizirani reperji, je bilo upoštevano stanje objektov in na kakšnih tleh so objekti temeljeni, kar je seveda povezano s stabilnostjo objektov oziroma reperjev. Na osnovi ogleda geologa je bilo ugotovljeno, da so reperji, ki so stabilizirani v bližini MP, stabilizirani v objekte, ki so večinoma temeljeni na nasutih ali močvirnatih mehkih podlagah, in da so torej verjetno nestabilni. Zato smo v skalo, za katero je geolog zagotovil, da je stabilna, stabilizirali dva nova reperja 9000 in 9001, ki predstavljata t. i. reper MP (TGBM). Reperja nadomeščata reper 5486, na katerega so bila navezana mareografska opazovanja starega mareografa. Trenutno imamo v okolici MP stabiliziranih šest reperjev in reper na MP, ki so povezani v nivelmansko zanko.



Slika 3 - Nivelmanska zanka MP Koper (Vir: DPK-1000 GURS)

Z izmero, ki je bila izvedena leta 2001, je bilo potrjeno, da je širše območje Kopra nestabilno. Tako je za potrebe določitve višin MP v državnem višinskem sistemu, nivelmansko zanko MP potrebno navezati na reper, ki je stabiliziran v Dekanih.

Za potrebe spremljanja višinske stabilnosti MP so bili v času izgradnje MP v talno ploščo objekta, v katerem je postavljen MP, stabilizirani trije talni reperji in kontaktne točke (CP), ki so vključene v izmero nivelmanske zanke MP.

Višine točk nivelmanske mreže MP so določene z metodo geometričnega nivelmana. Višinske razlike med reperji so izmerjene s preciznim digitalnim nivelirjem Leica NA3000 in kompariranimi invarnimi nivelmanskimi latami. Kvaliteto nivelmanske izmere ocenimo na osnovi analize natančnosti, temelječi na odstopanjih, ki jih dobimo pri dvakratnem niveliranju višinskih razlik nivelmanskih linij, na odstopanjih pri zapiranju nivelmanske

zanke in na osnovi popravkov merjenih količin, ki jih dobimo po izravnavi nivelmanske zanke. Rezultat izravnave nivelmanske zanke so ocenjene nadmorske višine reperjev in natančnost ocene določitve nadmorske višine posameznega reperja. Višine točk in njihova natančnost, ki so bile določene v različnih časovnih obdobjih, so osnova za izračun višinskih premikov in natančnost ocene določitve višinskih premikov reperjev nivelmanske zanke MP.

Gravimetrična izmera MP Koper

Nivelmanska mreža RS je z evropsko nivelmansko mrežo – UELN95 (United European Levelling Network 95) povezana preko vozliščnih reperjev in povezav nivelmanske mreže Slovenije z nivelmanskimi mrežami sosednjih držav. Na območju Kopra imamo stabiliziran vozliščni reper 5486 (7010 – oznaka v UELN95), ki ima v UELN95 določeno geopotencialno koto in normalno višino. Določeni sta v višinskem datumu Amsterdam. Da lahko določimo razliko v višinskih datumih nivelmanske mreže Slovenije (Trst) in evropske nivelmanske mreže UELN95 (Amsterdam), moramo reperjem nivelmanske zanke MP določiti geopotencialne kote in normalne višine.

Geopotencialne kote reperjev in točk so določene na osnovi niveliranih višinskih razlik in srednje vrednosti izmerjenega težnostnega pospeška med dvema točkama. Težnostni pospešek na posameznih točkah določimo z relativno gravimetrično izmero, ki smo jo izvedli z relativnim gravimetrom Scintrex CG 3M. Po priporočilih IOC bi morali izvajati absolutna gravimetrična opazovanja, vendar smo izvajali relativna, saj v Republiki Sloveniji nimamo absolutnega gravimetra. Relativno gravimetrično izmero smo navezali na absolutno gravimetrično točko Socerb AGT500 oziroma na ekscenter omenjene absolutne gravimetrične točke Socerb AGT501.



Slika 4 - Ekscenter AGT501 absolutne gravimetrične točke Socerb AGT500

GPS-izmera MP Koper

Permanentna GPS-postaja KOPE je opremljena je z GPS-sprejemnikom Leica GRX1200 in GPS anteno Leica AT504 ter deluje kot permanentna postaja v sklopu

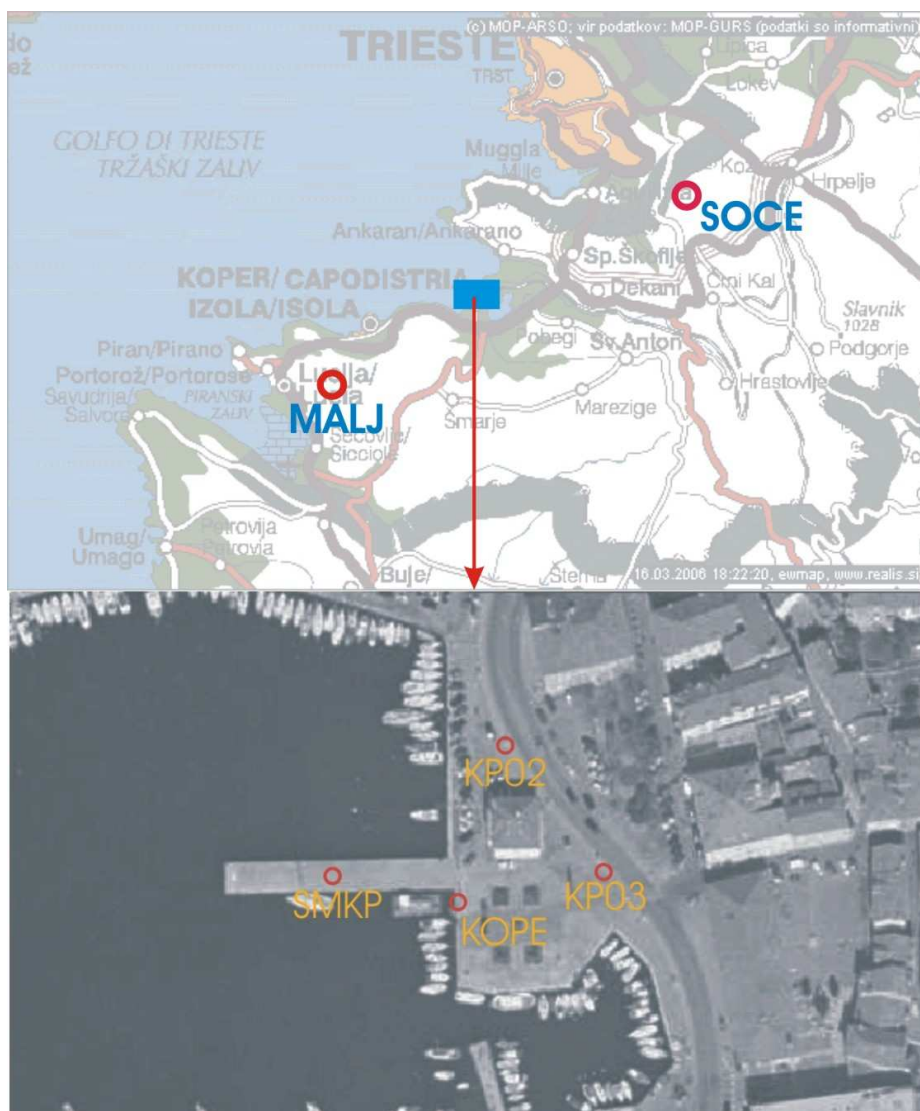
slovenskega omrežja permanentnih postaj SIGNAL. Točka je stabilizirana in opremljena po priporočilih za vzpostavitev permanentnih GPS-postaj, medtem ko so ostale točke GPS-mrež MP stabilizirane kot geodinamične točke: medeninast ali jeklen drog vzdan v čvrsto podlago.

Koordinate točk MP v koordinatnem sestavu ITRF2000 smo določili s skupno obdelavo GPS-opazovanj na referenčnih točkah IGS (International GNSS Service) ter opazovanj na vseh točkah GPS-mreže MP. GPS-mrežo MP sestavlja 6 točk, poleg permanentne GPS-postaje KOPE še dve točki Malija (MALJ) in Socerb (SOCE), ki sta oddaljeni od MP nekaj kilometrov, ter tri točke: SMKP, KP02 in KP03, ki so od permanentne GPS-postaje KOPE oddaljene nekaj deset metrov. Rezultat obdelave GPS-opazovanj so koordinate vseh točk s pripadajočimi natančnostmi v koordinatnem sestavu ITRF2000, kot ga definirajo znani položaji IGS-točk. Ker pa so položaji točk, določeni v koordinatnem sestavu ITRF2000 obremenjeni z globalno geodinamiko (na območju Slovenije okoli 2.5 cm/leto v smeri SV), so bile koordinate točk preračunane v koordinatni sestav ETRF89 (European Terrestrial Reference Frame 1989). Poleg samih položajev se v ponovljenih GPS-izmerah ocenjuje tudi vektorje hitrosti tako v ITRF2000, kot tudi v koordinatnem sestavu ETRF89. Za dobro oceno vektorja hitrosti neke točke morajo biti na voljo opazovanja v časovnem obdobju nekaj let.



Slika 5 - Referenčne IGS točke v GPS izmeri MP Koper.

IGS točke, ki smo jih uporabili za določitev koordinat točke KOPE v ITRF2000 prikazujemo na Sliki 5. Na Sliki 6 prikazujemo GPS-točke v okolici MP.

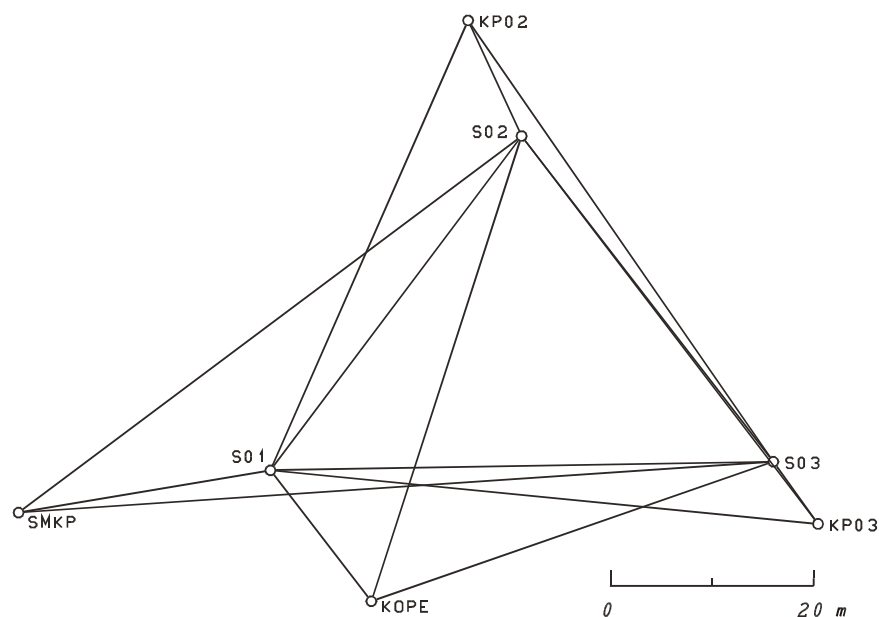


Slika 6 - GPS mreža MP Koper.

Terestrična izmera mikro mreže MP Koper

Z namenom spremljanja lokalne stabilnosti MP je na območju MP vzpostavljena lokalna geodetska mikro mreža. Majhne dimenzije mreže, zahtevana visoka natančnost določitve koordinat točk mreže in urbano območje narekujejo poseben način stabilizacije točk mreže. Izbrana je bila talna stabilizacija z ekscentričnim stojiščem. Poleg GPS-izmere mikro mreže MP smo namreč v mreži izvedli tudi klasična terestrična opazovanja.

Referenčne točke terestrične mikro mreže so talne točke SMKP, KP02, KP03, ki omogočajo prisilno centriranje nastavkov za reflektor. Meritve smo izvedli na ekscentričnih stojiščih S01, S02, S03, ki ležijo na oddaljenosti od 5 do 15 m od referenčnih točk. Ekscentrično stojišče zagotavlja stativ, približno centriran na kovinski čep, ki označuje točko. Stativi so v času meritev fiksni, prisilno centriranje zagotavlja trinožni podstavek. S posameznega stojišča so vidne vse druge točke mreže.



Slika 7 - Mikro mreža MP Koper.

Za določitev horizontalnega položaja točk v mreži MP smo uporabili metodo triangulacije in trilateracije, za določitev višin točk pa metodo trigonometričnega višinomerstva. Višine referenčnih točk smo določili v državnem višinskem sistemu, zato so te točke vključene v izmero nivelmanske zanke MP.

Pri terestričnih opazovanjih v geodetski mikro mreži MP smo uporabili precizni elektronski tahimeter Leica Geosystems TC2003 (natančnost kotnih opazovanj: $\sigma_{DIN18723-Theo}$ je 0,5" in natančnost dolžinskih meritev: σ_s je 1 mm ; 1 ppm). Za signalizacijo smo uporabili originalne precizne reflektorje tipa Leica ter precizni psihrometer in barometer za merjenje meteoroloških podatkov.

Horizontalne koordinate točk smo določili na osnovi opazovanj horizontalnih smeri in reduciranih dolžin med točkami. Mrežo smo izravnali kot prosto mrežo in jo nato s transformacijo S transformirali na referenčne točke SMKP, KP02 in KP03, ki določajo datum terestrične mikro mreže. Rezultata izravnave so ocenjene horizontalne koordinate točk in ocena natančnosti določitve koordinat točk. Ocenjene višine točk smo določili na osnovi izmere vseh količin, ki omogočajo določitev višinskih razlik med točkami. Tudi višinsko mrežo smo izravnali po posredni metodi kot prosto mrežo in jo nato s transformacijo S transformirali na referenčne točke. Rezultata izravnave so ocenjene višine točk z ocenjeno natančnostjo višin točk.

Ocenjene koordinate točk in njihova natančnost so osnova za izračun sprememb koordinat točk v mreži in vektorjev premikov med posameznimi serijami meritev tako v horizontalnem kot višinskem smislu. S pomočjo statističnega testiranja smo ugotavljali stabilnost referenčnih točk in morebitni značilni premik točke KOPE. Zaradi pričakovanih majhnih premikov ocenjujemo, da bo za zanesljivo ugotavljanje stabilnosti potrebno stalno spremljanje v daljšem časovnem intervalu.

Zaključek

Republika Slovenija je z vzpostavitvijo nove MP pridobila kakovostno infrastrukturo za spremljanje nivoja morja, ki je primerljiva s sodobnimi MP po svetu. Vzpostavitev MP,

dolgotrajne in natančne meritve nivoja morja ter spremljajoča geodetska dela predstavljajo izredno zanimivo nalogo s stališča hidrografije, oceanografije in predvsem geodezije. MP izpolnjuje vse standarde IOC za kakovostno in nepristransko določitev srednjega nivoja morja, tako s stališča opazovanj nivoja morja kot tudi s stališča vključitve MP v državni koordinatni sistem z geodetskimi deli, predstavljenimi v prispevku.

MP so imele v preteklosti nalogo definirati ničelno nivojsko ploskev, ki je definirala višinski sistem določene regije oziroma države. S poenotenjem višinskih sistemov v Evropi na UELN95, MP nima več naloge določitve lege višinske izhodiščne ploskve, temveč omogoča določitev višine geoida oziroma kvazigeoida glede na referenčni elipsoid. Kakovostni srednji nivo morja dobimo le z odstranitvijo znanih sprememb lege kopnega v višinski smeri, kar lahko ocenimo s ponovljenimi GPS in gravimetričnimi meritvami. Določitev višinskih premikov je možna le ob navezavi GPS-vektorjev, nivelmanskih in gravimetričnih nivelmanov na točke, ki ležijo na tektonsko stabilnih območjih.

Literatura

- Manual on Sea level Measurement and Interpretation – Volume I: Basic Procedures (1985). Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO.
- Manual on Sea level Measurement and Interpretation – Volume II: Emerging Technologie. (1994). Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO.
- Manual on Sea level Measurement and Interpretation – Volume III: Reappraisals and Recommendations as of the year 2000 (2002). Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO.
- Stopar, B., Kogoj, D., Koler, B., Ambrožič, T., Savšek-Safić, S., Sterle, O., Kuhar, M., Radovan, D. (2006). Izvedba geodetskih dela na modernizirani mareografski postaji Koper. Tehnično poročilo, Geodetski inštitut Slovenije.

Recent Geodynamical GPS-projects in Croatia

Damir Medak¹, Bosko Pribičević¹, Eduard Prelogović²

Abstract

ABSTRACT: This paper summarizes recent research activities on application of contemporary geodetic methods for determination of geodynamic activities in Croatia. During the period of five years starting in 2000, two IGS stations were operable in Dubrovnik and Hvar. The project CERGOP2/Environment resulted in valuable datasets about the movements of several long term epoch sites: Brusnik and Hvar, recently Pula and Zagreb permanent stations. Several GPS-campaigns were performed in the City of Zagreb area, which is the boundary zone of Eastern Alps, Dinarides and Pannonian Basin. Due to the proximity of Croatian capitol, special attention has been paid to the effects of possible hazard on construction code. All these results are combined with geologic measurements and results of seismic activity studies in order to give more detailed and more accurate picture of the current situation in the tectonically very active region of Dinarides. The future of geodynamical geodesy is discussed as well.

Introduction

Research on the regional structure fabric, structural classifications and deep geological structure of Dinarides was summarised in numerous papers (Dewey et al., 1973; Martinis, 1975; Premru, 1976; Herak, 1986; Aljinovic et al., 1987; Skoko et al., 1987; Horvath, 1984; Mantovani et al., 1992, 1995; Prelogovic et al. 1997; Moors & Twiss, 1995; Decker & Peresson, 1996). Several papers from the NATO Workshop confirmed that the geology, tectonics and geodesy should closely cooperate in solving the hypotheses of movements in the area of Adriatic micro-plate and Dinarides (Pinter et al. 2006). Since 1960, the movement of the Earth's lithospheric plates has been explained by the analysis of global ocean floor spreading rates, transform fault systems and earthquake slip vectors. According to this theory, the Earth's crust consists of 14 to 16 major lithospheric plates, floating on the fluid asthenosphere.

The major role in geodynamics of Croatia belongs to the Adriatic Microplate and Dinarides. Figure 1 shows the structural map of Croatia. Movements of the Adriatic micro-plate are crucial in formation of the recent structure fabric. Pushed by the African plate it is being indented into the European continent thus causing deformation of the Earth's crust and gradual shaping of the Alpine-Dinarides orogenic belt.

¹ Prof.dr.sc.Boško Pribičević, University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Zagreb, Croatia

¹ Prof.dr.sc.Damir Medak, University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Zagreb, Croatia

² Prof.dr.sc.Eduard Prelogović, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierrotieva 6, Zagreb

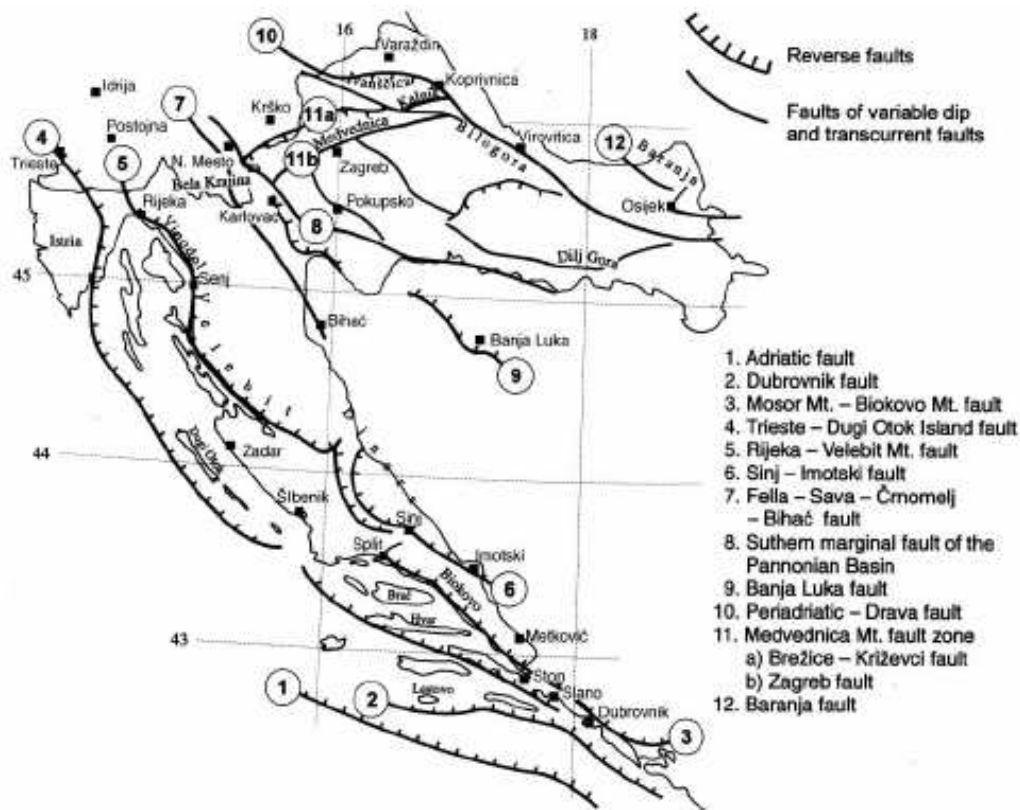


Figure 1 - Map of major faults in Croatia related to the tectonic activity

Geodetic GPS-measurements

Since 1960, the movement of the Earth's lithospheric plates has been explained by the analysis of global ocean floor spreading rates, transform fault systems and earthquake slip vectors. According to this theory, the Earth's crust consists of 14 to 16 major lithospheric plates, floating on the fluid asthenosphere.

At the mid-oceanic ridge hot magmatic material emerges, spreading the ocean floor apart. By this spreading the plates are shifted on their boundaries and begin to move. The horizontal motions of the lithospheric plates generally range from a few to more than 150 mm/yr.

The NUVEL-1 model describes motions of 14 major plates relative to the fixed Pacific Plate (DeMets et al., 1990). The NNR-NUVEL1 model (no net rotation) gives absolute angular velocities of the plates (Argus and Gordon, 1991). Tectonic development of the Adriatic Sea area was and still is a very interesting puzzle for scientists. Some of them believe that the Adriatic Microplate is a promontory of the African Plate (Mantovani et al., 1995), asserting that this promontory moves in the northwest direction with the velocity of cca. 5 mm/yr.

On the other hand, other scientists explain the earthquakes that are frequently occurring in this area as an internal deformation of the Adriatic microplate (Anderson and Jackson, 1987). The measurement of such small movements between points that are far away from each other has been made possible by the development of the space techniques like Very Long Baseline Interferometry (VLBI), Satellite Laser Ranging (SLR) and recently with GPS.

Since the late 1980s, the U.S. Global Positioning System (GPS) constellation of satellites has come to play a major role in regional and global studies of Earth. In the face

of continued growth and diversification of GPS applications, the worldwide scientific community has made an effort to promote international standards for GPS data acquisition and analysis, and to deploy and operate a common, comprehensive global tracking system.

IGS stations in Croatia

In order to enable precise ground control for GPS measurements, a multi-purpose international network has been established: International GPS-Service for Geodynamics (IGS). Besides the controlling of measurement accuracy for the whole system (orbit determination and correction), the role of such a network is substantial in the determination of the movement of the Earth's crust. Croatian geodesy joined to this world project in 2000 through establishing of two permanent GPS-stations (Dubrovnik and Osijek) within the EUREF Permanent subproject of IGS Network. Activity of these stations should have contributed to our knowledge of motions of the Adriatic Microplate as an important successor of the CRODYN project (Altiner, 1999; Altiner et al. 2001).

In 1998, several reconnaissance campaigns were undertaken in order to determine which sites suit the needs of potential GPS Permanent sites. The shape of the Croatian territory dictated the choice: one point in the north-east and one point in the south-east. Finally, the experts from BKG agreed with Croatian colleagues to set up the stations in Osijek and Dubrovnik. According to the guidelines for European Permanent Network that were valid at that time (Gurtner, 1992), the area in north-east Croatia was not particularly suitable since it was not possible to set up the marker onto a bedrock foundation. Therefore, the building of the Geodetski zavod Osijek was chosen for stabilization of the marker. In Dubrovnik, the station was placed in an ancient fortress named Imperial, located at the Mount Srđ, the hill dominating the area. Special construction for antenna support was erected to achieve better angle for low-elevation satellites.



Figure 2 - The monument at DUBR station.

The stations were operating since October 2000 to December 2005. Unfortunately, due to the custom regulations, the equipment had to be returned to German owners (Bundesamt

für Kartographie und Geodäsie). On the other hand, the State Geodetic Administration finally funded the re-establishment of both stations, and these are going to continue the operation in the beginning of 2007.

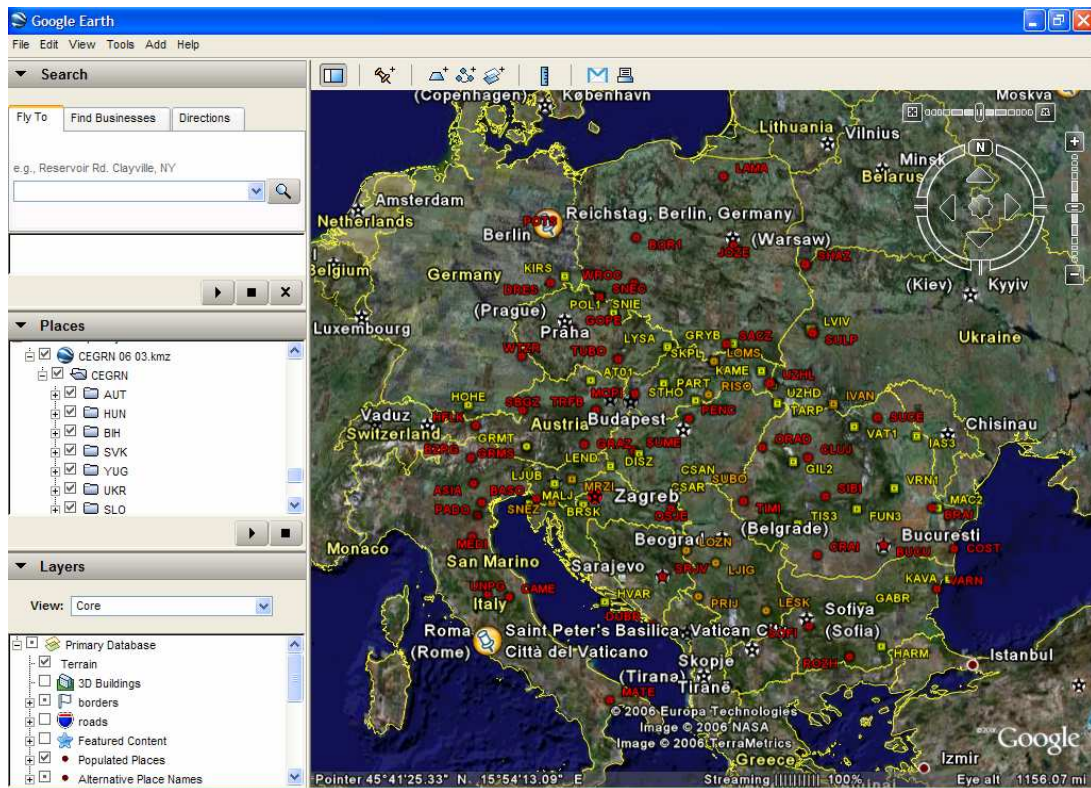


Figure 3 - GoogleEarth map of IGS stations in EUREF permanent tracking network and CEGRN sites.

Figure 3 shows the IGS stations in EUREF permanent tracking network as in April 2006. To encourage the installation of EPN stations in less dense regions, the EUREF Technical working group has adopted a new guideline concerning the station location: a minimal distance of 300 km to already existing EPN stations is required, accepting the interest of each nation to have at least one EPN station.

Two another permanent stations, in Zagreb and Pula, are operating for even longer time, but these stations were not included into international projects so far. Because of their location and good stabilization, their inclusion in international projects has been recently considered.

One such project is CERGOP2/Enviroment funded by European Union Fifth Framework Programme. CERGOP2 is based on CERGOP1 (the Central Europe Regional Geodynamics Project) which lasted from 1994 to 1998, (Reinhart and Becker, 1998). Afterwards it was decided by the participants to continue the long term project resulting in CEGRN - a dense network of geodynamic GPS-network in 14 European countries. Faculty of Geodesy, University of Zagreb organized the measurements on two sites of the network: Brusnik and Hvar. Measurements were performed without difficulties and all data has been transferred to Graz after obtaining the data from permanent stations in Zagreb (CAOP) and Pula.

GPS-Network of the City of Zagreb

The station in Zagreb is operated by the City Cadastre and located on an independent part of the building of the City Computing Centre. This station had an important role in both geodynamical GPS-campaigns within the project Geodynamic GPS-Network of the City of Zagreb (Medak and Pribicevic 2001).

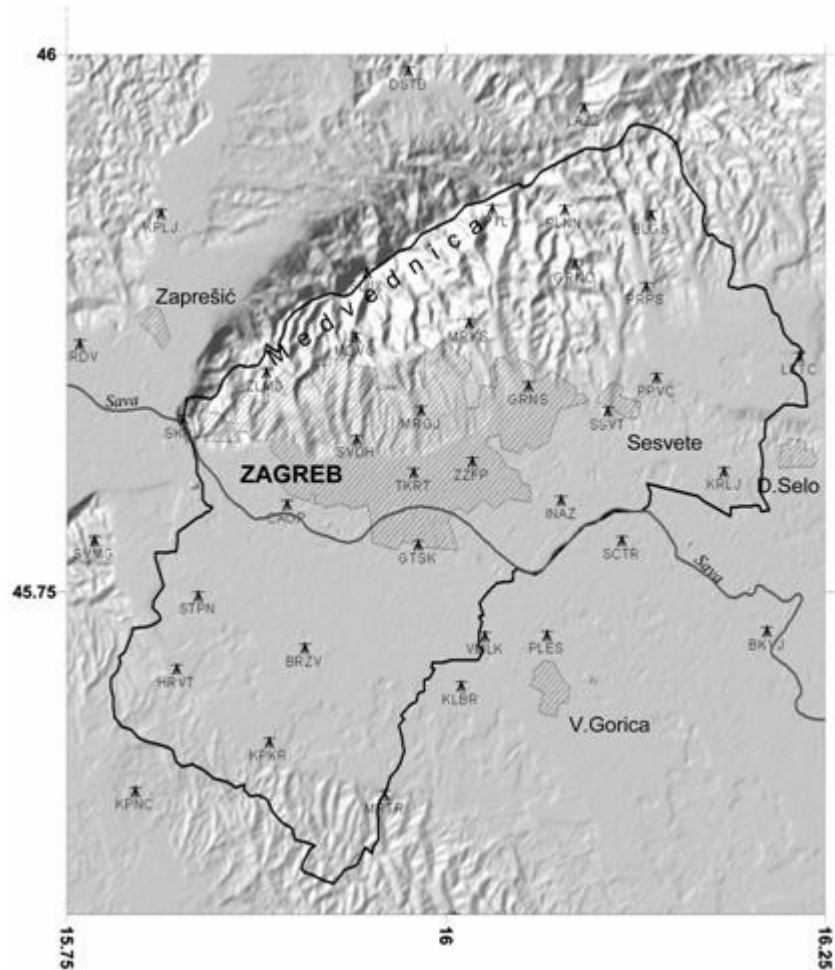


Figure 4 - Distribution of points in the Zagreb Geodynamic Network

Through the realization of the project GPS-network for Zagreb, a well-founded network of points, shown on Figure 4, was established (Medak and Pribicevic, 2001). All 43 points in the base network had special stabilization that fulfilled all criteria for geodynamic research. During the choice of point locations scientists from other disciplines were included: geologists, geophysicists, seismologists and civil engineers. The stability of points was the most important issue during the preparatory phase of the project. All pillars are equipped with forced centering screws. Since the area is mainly gravel, special stabilization is constructed and checked with precise leveling after a couple of years to determine if the pillars are vertically stable with respect to nearby leveling points. Locations are chosen with respect to fault zones to optimally describe motions. Several other criteria were important: nearby leveling points, durability with respect to landslides, engineering works, vehicle accessibility and, clear sky view at 10-15° elevation and above, especially in S, SW and SE direction. Sources of strong radio-emission, and reflective

surfaces were avoided. Altogether, 33 points were stabilized with special pillars, while the rest of the points had other marks for forced centering of GPS-antennas.

The first measurements were carried out in 1997. The purpose of the network was twofold: to be used for the state survey and to monitor tectonic movements. The first goal was fulfilled in 1998, as the homogenous field with more than 4000 GPS-points in Zagreb area was measured and adjusted. The second goal, geodynamic monitoring is a long-term project involving repeated observations every 2 years. Figure 5 shows the damaging effects of tectonic activity in the area of Kasina, where the most seismic activity is recorded.



Figure 5 - Examples of damages on houses in the epicentral area near Zagreb.

Aside from CEGRN GPS-campaigns, researchers from the Faculty of Geodesy, University of Zagreb are performing precise GPS-measurements on the Geodynamic Network of the City of Zagreb since 1997. First results has been presented in (Medak and Pribicevic 2001), and a comprehensive description of achievements can be found in (Medak and Pribicevic 2006).

Future of Geodynamics in Croatia

An important contribution to the application of GPS-technology in geodynamic research is the implementation of virtual reference networks. This process improves not only positioning and state survey, but also the possibility of better and more detailed contribution of geodesy to geodynamic research. The situation in neighbouring countries is quite good: in Slovenia there is the network SIGNAL with 15 stations (Stopar 2004) fully operable in 2006; in Serbia there is the network AGROS - Active Geodetic Referent Network of Serbia (maintained by the Republic Geodetic Authority - Republic of Serbia) with 34 stations, operable in 2006. In Croatia, the network CROPOS with 30 stations is planned for testing in 2007. We hope that this project shall open new epoch of GPS-technology in Croatia, both for practical and research purposes.

Conclusion

The zone of Dinnarides delineated by the Alps in the north, the Adriatic in the south west, and with the Pannonian basin in the north-east is seismically and tectonically very active area, which deserves further interdisciplinary research. Geodesy is contributing a lot with precise GPS-measurements which yield very accurate displacements even on local or regional level. The CEGRN network observed several times in this region has proven the hypothesis that Dinnarides are an important research area. Several campaigns performed on the Geodynamic GPS-Network of the City of Zagreb confirm the hypothesis that the movement of Eastern Alps toward Dinnarides and Pannonian basin is causing significant tectonic activity in the Mount Medvednica area. Further measurements and interdisciplinary and international cooperation is necessary in order to track these potential hazard movements. Wider usage of GPS-technology in Croatia depends on the implementation of the virtual reference stations network, which is scheduled for the end of 2007.

References:

- Altiner, Y. (1999): Analytical Surface Deformation Theory for Detection of the Earth's Crust Movements, Springer Verlag.
- Altiner, Y., Marjanovic-Kavanagh, Medak, D., Medic, Z., Prelogovic, E., Pribicevic, B., Seliskar, A. (2001): Is Adria a Promontory or does it exist as an Independent Microplate? Proceedings of the EGS G9 Symposium "Geodetic and Geodynamic Programmes of the CEI (Central European Initiative)", Nice, France 25-30 March 2001. Reports on Geodesy No.2. Sledzinski, Janusz (ur.). Warsaw, Poland : Warsaw University of Technology, 225-229.
- Aljinovic, B., Prelogovic, E., Skoko, D. (1987): New data on deep geological structure and seismotectonic active zones in region of Yugoslavia. *Geod. vjesnik*, 40, 255-263, Zagreb.
- Argus, D. F., Gordon, R. G. (1991): No-Net-Rotation model of current plate velocities incorporating plate rotation model NUVEL-1, *Geophys. Res. Lett.*, 18, 2039-2042.
- Decker, K., Peresson, H. (1996): Tertiary kinematics in the Alpine-Carpathian-Panonian system: Links between thrusting, transform faulting and crustal extension. In *Oil and Gas in thrust belts and basins*. (Ed. W. Liebl and G. Wessely). Laan van Vollenrode, Netherlands.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., Stein, S. (1990): Current plate motions, *Geophys. Journal. Int.* 101, 425-478.
- Dewey, J.F., Pitman, W.C. Ryan, W.B., Bornin, J. (1973): Plate tectonics and the evolution of the Alpine System. *Geod.sve.Am. Bull.*, 84, 3137-3180, New York.
- Gurtner, W. (1992): Guidelines for a Permanent EUREF GPS Network.
- Herak, M., (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides. *Deta geod. JAZU*, 16, 1-42, Zagreb.
- Horvath, F. (1984): Neotectonics of the Panonian basin and the surrounding mountain belts: Alps, Carpathians and Dinarides. *Am. Geophys.*, 2(2), 147-154.
- Mantovani, E., Albarello, D., Babbucci, D.R., Tramburelli, C., (1992): Recent Geodynamic Evolution of the Central Mediterranean Region. *Tipografia Senese*, 1-88, Siena.
- Martinis, B. (1975): The Friulian and Julian Alps and Pre-Alps. *Struc.model of Italy*. C.N.R. Quaderni de "La Ricerca Scient", 90, 17-49, Roma.
- Medak, D. Pribicevic, B. (2001): Geodynamic GPS-Network of the City of Zagreb - First Results, Quantitative Neotectonics and Seismic Hazard Assessment: New Integrated Approaches for Environmental Management / Gabor, Bada (ed.). p 80.
- Medak, D., Pribicevic, B. (2001): Croatian Permanent Stations within International GPS-Service for Geodynamics. *Hvar Obs. Bulletin*, 25 (1), 61-73.

- Medak, D., Pribicevic, B. (2006): Processing of geodynamic GPS-networks in Croatia with GAMIT software, *The Adria Microplate, GPS Geodesy, Tectonics and Hazards* / Pinter, Nicholas et al. (eds).
- Pinter, N., Grenerczy, G., Weber, J., Stein, S., Medak, D. (2006): *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*. NATO Science Series: IV. Earth and Environmental Sciences - Vol. 61, Springer, Amsterdam.
- Prelogovic, E., Saftic, B., Kuk, V., Velic, J., Dragas, M., Lucic, D. (1997): Tectonic activity in the Croatian part of the Panonian basin. *Tectonophysics*, 297, 283-293.
- Reinhart, E., Becker, M. (1998): *Das Zentraleuropaeische Geodynamikprojekt CERGOP*, Mitteilungen des Bundesamtes fuer Kartographie und Geodaesie, Frankfurt am Main, Band 1, 109-120.
- Skoko, D., Prelogovic, E., Aljinovic, B. (1987): Geological structure of the Earth's crust above the Moho discontinuity in Yugoslavia. *Geophys. J.R.A.S.*, 89, 379-382.
- Stopar, B. (2004): "National Report of Slovenia", Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for Europe (EUREF) held in Bratislava, 2 - 5 June 2004.