

Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko

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

**RAZISKAVE S PODROČJA
GEODEZIJE IN GEOFIZIKE
2007**

zbornik predavanj

13. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko

Ljubljana, 17. januar 2008

ORGANIZACIJSKI ODBOR

Miran Kuhar
Bojan Stegenšek
Janez Goršič
Tanja Jesih

UREDNIŠKI ODBOR

Miran Kuhar

LEKTORIRANJE

mag. Brigita Lipovšek

ORGANIZATOR SREČANJA IN ZALOŽNIK

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

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

550.3(063)(082)
528(063)(082)

SLOVENSKO združenje za geodezijo in geofiziko. Strokovno
srečanje
(13 ; 2008 ; Ljubljana)

Raziskave s področja geodezije in geofizike 2007 : zbornik
predavanj / 13. strokovno srečanje Slovenskega združenja za
geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 17. januar 2008 ; [organizator
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo ; uredniški odbor Miran
Kuhar]. - Ljubljana : Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
2008

ISBN 978-961-6167-84-0

1. Gl. stv. nasl. 2. Kuhar, Miran 3. Fakulteta za gradbeništvo in
geodezijo (Ljubljana)
236529408

Predgovor

Pred nami je zbornik letošnjega strokovnega srečanja Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko. Prispevkov ni veliko, vendar prinašajo sodobne teme, ki so zelo aktualne, še posebej v slovenskem prostoru. Dokazujejo, da smo na področjih, ki jih naše združenje obsega dosegli znanja, s katerimi se enakopravno vključujemo v svetovne raziskovalne tokove. Veseli me, da so prispevki napisani tako, da bodo zanimivi tudi za širšo strokovno javnost, tudi zato, ker je prav interdisciplinarnost značilnost in prednost našega združenja.

Potresna dejavnost nedvomno ogroža prebivalstvo Slovenije, četudi vemo, da tako silovitih potresov, kot so v preteklih letih prizadeli nekatera tektonsko močno aktivna področja v svetu, ni pričakovati. Svojstveno problematiko gotovo predstavlja tektonska stabilnost področja jedrske elektrarne Krško. Z morebitnimi tveganji za širšo geografsko regijo bi morala biti objektivno seznanjena tudi laična javnost, saj le dobra informiranost in zavest prebivalstva lahko prepreči ali omili posledice naravnih nesreč. Podobno velja za ogrožanje vodnih virov, ekosistemov in podnebne spremembe, katerih razsežnosti je kljub sodobni tehnologiji zelo težko napovedovati. Upamo, da bo konferenca o klimatskih spremembah na Baliu prinesla konkretne in takojšnje usmeritve in zaveze, kajti čas za ukrepanje se neusmiljeno izteka.

Zemeljski plazovi imajo lahko izredno rušilno moč, še posebej če se nasvoji poti spremene v blatne tokove. Ti pojavi so pogosti na vulkansko aktivnih področjih. V preteklosti so terjali ogromno človeških življenj, in jih bodo, žal, tudi v prihodnje. V letošnjem letu je zemeljski plaz zasul in popolnoma spremenil podobo Doline gejzirjev na Kamčatki, ki je veljala za eno od najznamenitejših naravnih lepot. Predvidevajo, da je k tej katastrofi močno pripomogel tudi človeški dejavnik – nenehno pristajanje in vzletanje helikopterjev.

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

Ob letni skupščini, kjer bo veliko možnosti za sproščen pogovor s člani, starimi in novimi sodelavci ter študenti, ki jih področje geodezije in geofizike še posebej zanima, mi dovolite, da Vam v novem letu zaželim veliko delovnih uspehov in osebne sreče v upanju, da se prihodnje leto ponovno snidemo.

predsednica SZGG

dr. Polona Kralj

Vsebina

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Predgovor | 3 |
| S. Savšek-Safić- Spremljanje stabilnosti Nuklearne elektrarne Krško | 7 |
| S. Šebela, B. Koš'ták, J. Mulec J. Stemberk- Merjenje tektonskih premikov v Postojnski jami | 21 |
| S. Rusjan, M. Brilly, M. Padežnik, A. Vidmar - Monitoring vpliva urbanizacije na potok Glinščica na urbanem območju mesta Ljubljane | 27 |
| B. Stopar, M. Kuhar, B. Koler - Novi koordinatni sistem v Sloveniji | 37 |
| B. Stopar, O. Sterle - Kombinacija klasičnih terestričnih opazovanj in opazovanj GNSS v geodinamičnih raziskavah | 51 |
| F. Benin, R. Čop - Pridelki soli v piranski komuni v času Maunderjevega minimuma * | 63 |
| R. Čop, A. Bilc, S. Beguš, D. Fefer, D. Radovan - Magnetne nevihte in njihov vpliv na navigacijo | 71 |
| M.G. Fernandez, I. Cčić, A. B. Walker - Evropska seizmološka komisija - preteklost, sedanjost in prihodnost ** | 81 |

* lektorirala Marjetka Stegel, uni.dipl.prof.slov.

** nelektorirano

Spremljanje stabilnosti Nuklearne elektrarne Krško

Simona Savšek-Safić – Ljubljana*

Izvleček

Nuklearna elektrarna Krško (NEK) je za državo Slovenijo strateško pomemben objekt, saj s pridobivanjem električne energije, ki temelji na sproščanju toplotne energije ob cepitvi jeder v reaktorju, oskrbuje odjemalce v Sloveniji in na Hrvaškem. Letno proizvede nad pet milijard kWh električne energije, kar predstavlja približno 40% skupne proizvedene električne energije v Sloveniji in približno 17% na Hrvaškem. V NEK je pomembna visoka stopnja varnosti, zato se izvaja celovit nadzor posameznih objektov in naprav. Posebno pozornost se namenja varnostnim sistemom, med katere sodijo tudi meritve vertikalnih premikov reperjev in meritve horizontalnih premikov jezovne zgradbe na Savi. Periodična geodetska opazovanja se izvajajo na pomembnih tehnoloških objektih in obsegajo nuklearni otok, jez na Savi ter skladišče radioaktivnih odpadkov. V članku želimo predstaviti rezultate geodetskih opazovanj za ugotavljanje stabilnosti ter varnosti obratovanja tega pomembnega objekta.

Uvod

Prve raziskave na Krškem polju je izvedla delovna skupina Poslovnega združenja energetike Slovenije v letih od 1964 do 1969, ko je to območje postalo možna lokacija za jedrsko elektrarno. Investitorja prve jedrske elektrarne sta bila Savske elektrarne Ljubljana in Elektroprivreda Zagreb, ki sta z investicijsko skupino izvedla pripravljala dela, razpis in izbrala najugodnejšega ponudnika. Avgusta 1974 sta investitorja sklenila pogodbo o dobavi opreme in graditvi jedrske elektrarne moči 632 MW z ameriškim podjetjem Westinghouse Electric Corporation, projektant je bilo podjetje Gilbert Associates Inc., izvajalca del na gradbišču sta bila domači podjetji Gradis in Hidroelektra, montažo pa sta izvajala Hidromontaža in Đuro Đaković. Prvega decembra 1974 je bil položen temeljni kamen za Nuklearno elektrarno Krško (v nadaljevanju NEK). Januarja 1984 je NEK pridobila dovoljenje za redno obratovanje (URL 1).

NEK komercialno obratuje že več kot dvajset let. V tem obdobju je izpolnila temeljna pričakovanja in usmeritve glede varnosti in stabilnosti obratovanja, konkurenčnosti proizvodnje v primerjavi z drugimi viri in sprejemljivosti v javnosti. NEK se danes po standardnih merilih jedrske varnosti in stabilnosti obratovanja uvršča v zgornjo četrtino obratujočih jedrskih elektrarn v svetu (URL 1).

Energija je ključni dejavnik človekovega življenja in razvoja. Ena najpomembnejših oblik energije je električna energija. Njena poraba v svetu narašča glede na raven in hitrost gospodarskega razvoja. V zadnjih desetih letih se je v državah Evropske unije poraba električne energije v povprečju povečala za dva odstotka na leto. Slovenija in Hrvaška nista izjemi, saj se rast porabe te energije v povprečju povečuje za tri odstotke na leto (URL 1). Električno energijo pridobivamo v elektrarnah iz različnih virov, kot so fosilna goriva (premog, nafta, plin), jedrska goriva (uran, plutonij, torij), voda, veter, biomasa in sonce. Na drugi strani se razpoložljivi viri primarne energije, na osnovi katerih pridobivamo električno energijo, krčijo ali pa so že v veliki meri izkoriščeni. Smisleno je

* asist.dr. Simona Savšek-Safić, univ.dipl.inž.geod., UL-Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

torej izkoriščati vse razpoložljive vire. Tudi okoljske zahteve pri proizvodnji električne energije v klasičnih termoelektrarnah so vedno večje. Onesnaževanje atmosfere s škodljivimi plini postaja globalni problem. Zanesljivost oskrbe porabnikov z električno energijo strateško postaja tudi vse resnejše vprašanje za nacionalna gospodarstva. Električne energije namreč ni možno uvažati v neomejenih količinah, zato je visoka stopnja samooskrbe nujna. Električno energijo najpogosteje pridobivamo na različne načine.

- V *jedrskih elektrarnah* temelji pridobivanje električne energije na sproščanju toplotne energije ob cepitvi jeder v reaktorju. Sproščena energija je vir za proizvodnjo pare.
- V *termoelektrarnah* poteka pridobivanje električne energije s pretvarjanjem energije fosilnih goriv, kot so premog, plin in nafta, v električno. Ob izgorevanju goriv v kotlu nastaja toplota, ki uparja vodo. Paro vodijo na turbino, ta poganja generator, ki pretvarja mehansko energijo v električno. Iz turbine potuje para v kondenzator, kjer se utekočini in se vrača v kotel. Kondenzator hladijo s hladilnimi stolpi ali pretočno z vodo iz rek.
- V *hidroelektrarnah* proizvajajo električno energijo iz potencialne energije vode. Voda vrti turbino, ki poganja generator in pretvarja mehansko energijo v električno. Količina pridobljene energije je odvisna od padca in količine vode. Ločimo različne tipe hidroelektrarn: pretočne, akumulacijske in črpalne.
- Z *drugimi obnovljivimi viri* (veter, sonce) pretvarjamo energijo vetra pretvarjamo v električno energijo s pomočjo vetrnic, ki poganjajo električni generator. Sončno energijo pa je mogoče pretvoriti v električno energijo preko sončnih celic. Sončno energijo je mogoče izkoristiti za ogrevanje, osvetljevanje prostorov in pripravo tople vode.

V NEK je pomembna visoka stopnja jedrske varnosti. V ta namen se opravlja celovit nadzor posameznih objektov, opreme in sistemov, pri tem pa posebno pozornost namenjajo varnostnim sistemom. Del varnostnih sistemov so tudi tehnična opazovanja, ki jih realizirajo različni izvajalci, obsegajo pa naslednja dela (Skube, 2006):

- opazovanja poškodb in razpok na objektih,
- meritve razpok in delovanja razpok,
- opazovanja dilatacij,
- geotehnično poročilo,
- koordinacija programa opazovanj,
- meritve vertikalnih premikov reperjev in
- meritve horizontalnih premikov jezovne zgradbe.

Tehnična opazovanja varnostnih objektov

Že med izgradnjo NEK oziroma skupaj s projektom je bil izdelan plan stabilizacije reperjev za objekte nuklearnega otoka, za turbinske zgradbe in za hladilne stolpe, ter plan opazovanja vertikalnih in horizontalnih premikov. Opazovanja se izvajajo na pomembnih tehnoloških objektih, poleg tega so v program tehničnih opazovanj vključeni tudi drugi objekti, ki se po svoji funkciji ali konstrukciji smatrajo tako pomembni in zahtevni, da jih je potrebno sistematično opazovati (Kogovšek, 1990).

Opazovanja za ugotavljanje vertikalnih premikov se opravljajo na naslednjih objektih tehnološkega dela NEK: nuklearni otok, diesel generator, turbinska zgradba, jez na Savi, črpališče hladilne vode, izliv hladilne vode, hladilni stolpi, črpališče nujne vode, iztočni objekt nujne vode, zgradba za dekarbonatizacijo vode, rezervoar demineralizirane vode,

rezervoar reaktorske dodajne vode, rezervoar kondenzata, nevtralizacijski bazen, zgradba za radiološko zaščito, skladišče radioaktivnih odpadkov, prostor za dekontaminacijo in temelj za transformator. Opazovanja za ugotavljanje horizontalnih premikov pa se skladno s Pravilnikom o tehničnem opazovanju visokih pregrad (Ur. List, 1966) izvajajo le na jezu na Savi.

Najpomembnejši objekti z vidika sevalne in jedrske varnosti so nuklearni otok, jez na Savi in skladišče radioaktivnih odpadkov.

- *Nuklearni otok* vključuje reaktorsko zgradbo in pomožno reaktorsko zgradbo. Reaktorska zgradba je osrednja zgradba glavnih pogonskih objektov, ki je sestavljena iz zunanje armirano-betonske ščitne konstrukcije, jeklenega zadrževalnega hrama, notranje armirano-betonske konstrukcije in temeljne plošče. Pomožna reaktorska zgradba je sestavljena iz ščitne, pomožne, vmesne in komandne zgradbe ter zgradbe za ravnanje z gorivom in zgradbe za sisteme za hlajenje komponent. Za ugotavljanje vertikalne stabilnosti je v nuklearni otok vgrajenih 29 reperjev.
- *Jez na Savi* je zgrajen zato, da ustvari minimalno gladino Save in s tem omogoči črpanje vode za potrebe hlajenja NEK. Jezovna zgradba ima šest prelivnih polj, širokih po 15 metrov. Zaradi potresne varnosti je jez razdeljen na dve monolitni armiranobetonski okvirni konstrukciji. Gradbena višina objekta znaša 15,5 m, zato objekt sodi v skupino visokih pregrad in ga je potrebno tehnično opazovati. Na jezu je za ugotavljanje vertikalne stabilnosti stabiliziranih 19 reperjev, za ugotavljanje horizontalne stabilnosti objekta pa je stabiliziranih 7 kontrolnih točk. vzdolž iztoka je dodatno stabiliziranih 5 referenčnih opazovalnih stebrov.
- *Skladišče radioaktivnih odpadkov* je enonadstropna nadzemna armiranobetonska zgradba, namenjena začasnemu skladiščenju radioaktivnih odpadkov, ki izvirajo iz tehnoloških procesov in vzdrževanja naprav v NEK. V objekt je vgrajenih 8 reperjev za kontrolo vertikalne stabilnosti objekta.

Stabilizacija točk in izvedba meritev

Višinska mreža

Izhodiščni reper R100 (Slika 1) ob skladišču radioaktivnih odpadkov je stabiliziran z globokim betonskim stebrom s podolžno ploščico, s kovinskim drogom in zaščitno kapo. Na vzhodu in zahodu platoja NEK sta stabilizirana še izhodiščna reperja RII in RIV (Slika 2), ki sta vodoravno vzdana v armiranobetonska opazovalna stebra s temeljem globoko pod zemljo.



Slika 1 - Stabilizacija reperja R100



Slika 2 - Stabilizacija reperja RIV

Kontrolne točke na objektih so stabilizirane v deformacijski sredini objekta tako, da se premikajo skupaj z objektom. Stabilizacija je izvedena z lepilom ali drugim povezovalnim materialom. V zunanjih prostorih objektov NEK so nizki reperji vzdani v stene, v notranjosti objektov pa so v večini primerov reperji stabilizirani na tleh.

Meritve so izvedene s preciznim digitalnim nivelirjem Leica 3003. V večji meri smo uporabljali 3-metrski invarni kodni nivelmanski lati – (GPCL3), ki ju redno kompariramo. V primerih, kjer zaradi ovir ni bilo mogoče uporabiti lat GPCL3, smo uporabili invarne kodne nivelmanske late GPCL2, GWCL92 in GWCL182 ali kodni invarni trak GWCL60. Poleg instrumenta in lat smo uporabili še opremo, brez katere izvedba meritev ne bi bila mogoča: stativ, dve stojali za lati, podnožki, merski trak, termometer in ročno svetilko.

Uporabljena metoda je bila geometrični nivelman z niveliranjem iz sredine. Z navezavo točk na reper, ki ima podano višino v absolutnem smislu, določimo točkam nadmorske višine. Geometrični nivelman velja za najnatančnejšo geodetsko metodo, ker je merski postopek v osnovi zelo enostaven, teorija geometričnega nivelmana pa je izdelana do podrobnosti. Najbolj pomembno pri metodi niveliranja iz sredine je, da so razdalje med instrumentom in lato zadaj ter lato spredaj čim bolj enake. S tem tudi eliminiramo večino sistematičnih vplivov (nehorizantalnost vizurne osi, vpliv nivelmanske refrakcije in vpliv ukrivljenosti Zemlje) na pogreške. Z metodo merjenja lahko odpravimo tudi pogreške posedanja ali dviganja stativa in podnožk, na katerih so postavljene late (Skube, 2006).

Pomembna je tudi temperaturna odvisnost dimenzij razdelbe nivelmanske late, ki jo moramo pri najnatančnejših meritvah upoštevati. Pogrešek je majhen in ima sistematičen značaj. Določen je linearni razteznostni koeficient invarnega traku late α , ki je podan tovarniško ali pa je določen ločeno s komparacijo. Temperaturni popravek je določen z naslednjo enačbo:

$$\Delta l_t = \alpha(T - T_0), \quad (1)$$

kjer so

T dejanska temperatura,

$T_0 = 20$ °C referenčna temperatura in

α linearni razteznostni koeficient invarnega traku

Popravek višinske razlike zaradi temperaturnega popravka in popravka razdelbe lat (dobljeni s komparacijo) so imeli tako rekoč neznamenit vpliv na višinske razlike, saj se njihova vrednost giblje pod stotinko milimetra, kar pa je precej manj od natančnosti meritev, ki se gibljejo v okviru 0,2–0,5 mm. Vzrok za tako minimalne popravke so majhne višinske razlike med merjenimi reperji na platoju elektrarne in razmeroma majhne razlike med dejanskimi temperaturami in referenčno temperaturo. Pogrešek popravka pete late ali pogrešek začetne črtice razdelbe je sistematičen pogrešek, ki smo ga eliminirali z metodo dela tako, da smo na začetni in končni reper postavili vedno isto lato (Skube, 2006).

Horizontalna mreža

Referenčne točke osnovne mreže, s katerih izvajamo meritve, so stabilizirane z betonskimi stebri, kar predstavlja klasično stabilizacijo položajnih geodetskih točk za deformacijska merjenja. Izbrana stabilizacija omogoča prisilno centriranje instrumenta in reflektorja - sistem *Leica Wild*.

Stabilizacija kontrolnih točk na pregradi prav tako omogoča prisilno centriranje reflektorja – sistem *Leica Wild*. Kontrolne točke so stabilizirane z vijakom v betonsko podlago, kamor je mogoče priviti podnožje z nosilcem prizme z možnostjo horizontiranja. Slika 3 prikazuje stabilizacijo in signalizacijo referenčne in kontrolne točke.

V mikro trigonometrični mreži Krško je izbrana klasična terestrična izmera. Meritve so izvedene s preciznim elektronskim tahimetrom *Leica TC2003*, ki je namenjen najnatančnejšim meritvam kotov in dolžin v preciznih terestričnih geodetskih mrežah (Savšek-Safić in drugi, 2007). Za prisilno centriranje instrumenta, signalizacijo merskih točk ter merjenje meteoroloških parametrov je uporabljen preizkušen in kalibriran dodatni pribor (reflektorji, podnožja z nosilci reflektorjev, psihrometer, barometer).



Slika 3 - Stabilizacija in signalizacija opazovalnega stebra in kontrolne točke

Za določitev horizontalnih koordinat referenčnih in kontrolnih točk sta uporabljeni metodi *triangulacije in trilateracije*. Na ta način pridobimo večje število nadštevilnih opazovanj, kar zagotavlja večjo natančnost in zanesljivost položajev kontrolnih točk. Pri metodi trilateracije so za redukcijo dolžin uporabljene nivelirane nadmorske višine referenčnih in kontrolnih točk. Koordinate referenčnih točk se določajo z namenom ugotavljanja njihove položajne stabilnosti ter določitve geodetskega datuma mreže. Horizontalni koti so merjeni po girusni metodi, obojestransko med referenčnimi točkami in enostransko na kontrolne točke. Istočasno so merjene tudi poševne dolžine in zenitne razdalje. Metoda izmere zagotavlja ugotavljanje statistično značilnih horizontalnih premikov kontrolnih točk na jezu.

Določitev geodetskega datuma in izračun

Višinska mreža

Geodetski datum višinske mreže je realiziran z izhodiščnimi reperji R100, RII in RIV, ki imajo podano nadmorsko višino. V štirih letih je prišlo do napetosti med izhodiščnimi reperji v okviru 1 mm, kar je z vidika določitve natančnosti 0,1 mm prevelik premik.

Tako je izravnava potekala v dveh korakih. Najprej smo na osnovi danega reperja R100 izravnali ostala dva izhodiščna reperja RII in RIV. S tem smo odpravili napetost v mreži in posledično pridobili boljšo globalno oceno natančnosti. Nato smo dani reper R100 in oba izravnana izhodiščna reperja RII in RIV v drugem koraku izravnave privzeli kot dane količine in izravnali celotno višinsko mrežo. S postopkom dvakratne izravnave smo pridobili informacijo o relativnih premikih med izhodiščnimi reperji in s tem primernost njihove uporabe v prihodnjih meritvah.

Horizontalna mreža

Geodetski datum horizontalne mreže določata dve dani domnevno stabilni točki – referenčni točki O1 in O5. Na osnovi ohranitve identične geometrije mreže, metode izmere ter opazovanj smo najprej testirali stabilnost referenčnih točk. Primerjava sprememb koordinat med zadnjimi izmerami je pokazala, da sta stebra O1 in O5 najbolj stabilna. Na ta način določen datum v mreži zagotavlja ugotavljanje statistično značilnih premikov kontrolnih točk z večjo verjetnostjo (Savšek-Safić in drugi, 2007).

Horizontalne koordinate so preračunane v obstoječi lokalni koordinatni sistem mreže na nivo najnižje točke (referenčna točka O4). Opazovanja so testirana za morebitno prisotnost grobih pogreškov po danski metodi. Vhodni podatek za horizontalno izravnavo so reducirane sredine treh girusov ter reducirane poševno merjene dolžine na izbrani nivo. Pri redukciji dolžin smo upoštevali instrumentalne, meteorološke, geometrične in projekcijske popravke (Kogoj, 2005). Zenitne razdalje so opazovane za ugotavljanje višinske stabilnosti referenčnih in kontrolnih točk. Opazovanja v horizontalni mreži so izravnana po metodi posrednih opazovanj. Najprej izvedemo izravnavo proste mreže, s čemer pridobimo nepristransko oceno opazovanj, v naslednji fazi pa mrežo izravnamo kot vpeto, kjer geodetski datum določata domnevno najstabilnejši referenčni točki O1 in O5. Rezultat horizontalne izravnave so najverjetnejše vrednosti horizontalnih koordinat merskih točk v lokalnem koordinatnem sistemu s pripadajočimi ocenami natančnosti.

Stabilnost varnostnih objektov

Testiranje vertikalnih premikov

Osnova za ugotavljanje premikanja zgrajenega objekta je določitev spremembe položajev točk objekta. O premikih točk med dvema terminskima izmerama govorimo takrat, ko gre za statistično značilne premike identičnih točk, izmerjenih v dveh terminskih izmerah. Po izravnavi dveh terminskih izmer lahko določimo premike točk s pripadajočimi merili natančnosti premikov. V praksi se pogosto uporablja test za ugotavljanje statistične značilnosti premika kot razmerje med premikom in pripadajočo natančnostjo premika točke. Testno statistiko zapišemo v obliki:

$$T = \frac{dH}{\sigma_{dH}}, \quad (2)$$

kjer vertikalni premik izračunamo po enačbi:

$$dH = H_{t+\Delta t} - H_t, \quad (3)$$

varianco vertikalnega premika pa po enačbi:

$$\sigma_{dH}^2 = \sigma_{H_t}^2 + \sigma_{H_{t+\Delta t}}^2. \quad (4)$$

Testno statistiko (3) testiramo glede na postavljeno ničelno in alternativno hipotezo:

$H_0 : dH = 0$: točka se v obdobju dveh terminskih izmer ni premaknila in

$H_0 : dH \neq 0$: točka se je premaknila v obdobju dveh terminskih izmer.

Testno statistiko (2) primerjamo glede na kritično vrednost, ki jo izračunamo na podlagi porazdelitvene funkcije. Izračunamo jo za premik vsake točke med posameznimi serijami meritev, pri tem pa predpostavimo, da so premiki točk porazdeljeni po normalni verjetnostni funkciji. V primeru, ko je testna statistika manjša od kritične vrednosti ob izbrani stopnji značilnosti testa α , je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze preveliko. V tem primeru zaključimo, da premik ni statistično značilen. Če je vrednost testne statistike večja od kritične vrednosti porazdelitvene funkcije, pa zaključimo, da je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze manjše od izbrane stopnje značilnosti testa α . Zato upravičeno zavrnemo ničelno hipotezo in tako potrdimo, da je obravnavani premik statistično značilen.

Za lažjo odločitev izračunamo dejansko tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze. Dejansko tveganje α_T izračunamo iz porazdelitvene funkcije pri izračunani vrednosti testne statistike T . Dejansko tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze primerjamo s stopnjo značilnosti testa α . Uporabnik glede na dejansko tveganje in posledice napačne odločitve presodi, ali je tveganje zanj še sprejemljivo ali ne. Odločitev ima za posledico uvrstitev določene točke med stabilne ali nestabilne (Savšek-Safić in drugi, 2003).

Testirali smo značilnost vertikalnih premikov kontrolnih točk na jezu na Savi med izmerami v časovnem obdobju od decembra 2003 do oktobra 2007, torej smo obravnavali devet primerljivih izmer.

Preglednica 1 - Kumulativni vertikalni premiki kontrolnih točk na jezu na Savi v obdobju od decembra 2003 do oktobra 2007

| Točka | Premik dH [mm] | σ_{dH} [mm] | T | T_{crit} ($\alpha = 1\%$) | α_T (%) |
|-------|---------------------|-----------------------|--------|----------------------------------|-------------------|
| H1 | 0,7 | 0,5 | 1,4052 | 2,5758 | 16,00 |
| H2 | 1,3 | 0,5 | 2,7214 | 2,5758 | 0,65 |
| H3 | 1,7 | 0,5 | 3,4992 | 2,5758 | 0,05 |
| H4 | 0,6 | 0,5 | 1,2315 | 2,5758 | 21,81 |
| H5 | 1,8 | 0,4 | 4,1010 | 2,5758 | 0,00 |
| H6 | 2,0 | 0,4 | 4,8346 | 2,5758 | 0,00 |
| H7 | 1,3 | 0,4 | 3,1768 | 2,5758 | 0,15 |

Med posameznimi meritvami v obdobju od decembra 2003 do oktobra 2007 lahko zasledimo statistično značilne vertikalne premike praktično na vseh kontrolnih točkah velikostnega reda ± 3 mm. Ti premiki med posameznimi meritvami imajo izrazito periodičen značaj, medtem ko za celotno obdobje 4 let kumulativni vertikalni premiki niso statistično značilni za kontrolni točki H1 in H4, saj testna statistika pri teh dveh kontrolnih

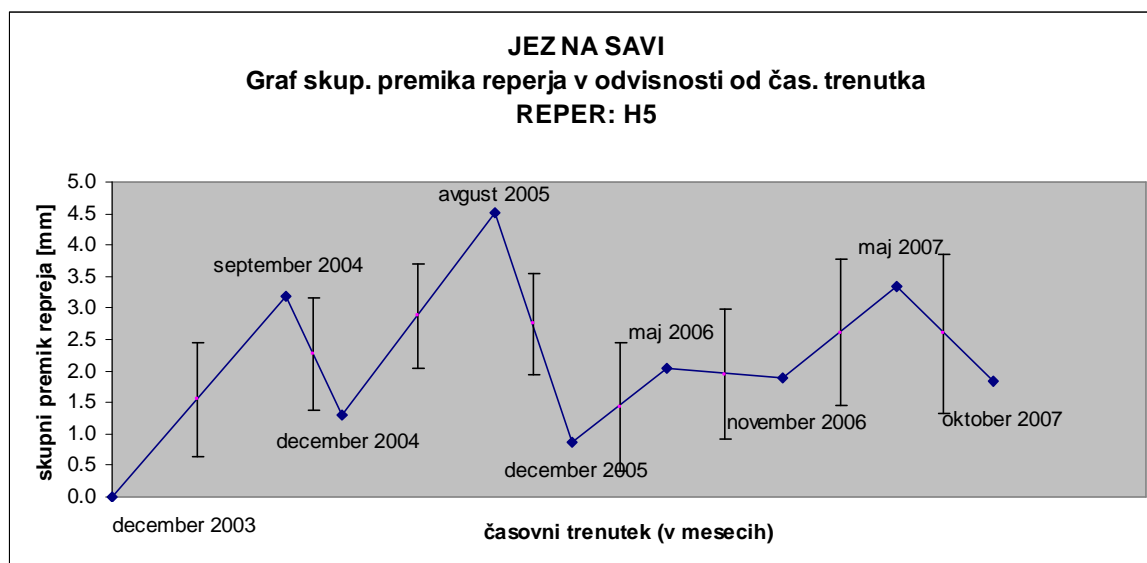
točk ne preseže kritične vrednosti, kar se vidi tudi iz preglednice 1. Ker je jez na Savi podvržen velikim silam Save, je logično, da prihaja do tako izrazitih vertikalnih premikov med posameznimi izmerami, vendar v daljšem časovnem obdobju. Zaradi njihove periodičnosti premiki niso izraziti.

Časovni potek vertikalnega gibanja kontrolnih točk na jezu na Savi

Funkcijo spremembe vplivne količine smo predstavili s kinematičnim deformacijskim modelom. Za vse reperje v višinski mreži, pri katerih smo zasledili premik ob določeni stopnji značilnosti testa, smo izdelali grafikone, ki predstavljajo funkcijo spremembe višine repera v odvisnosti od časa.

V prispevku smo izbrali kontrolno točko H5 kot reprezentativno točko objekta. Druge točke na jezu na Savi se obnašajo podobno.

Vodoravna os na Sliki 4 prikazuje časovni trenutek, kjer ena enota predstavlja en mesec. Izhodišče $t = 0$ mesecev je v začetni izmeri *decembra 2003*. Premik med dvema terminskima izmerama predstavlja daljica. Natančnost določitve premika, izračunana pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 1\%$ (standardna deviacija premika je torej pomnožena s 2,576) pa prikazuje vertikalna linija, postavljena na premici premika med dvema izmerama. Višino kontrolne točke glede na začetno izmero predstavlja vertikalna os oziroma graf prikazuje gibanje kontrolne točke, in sicer v odvisnosti od časovne komponente glede na začetno izmero.

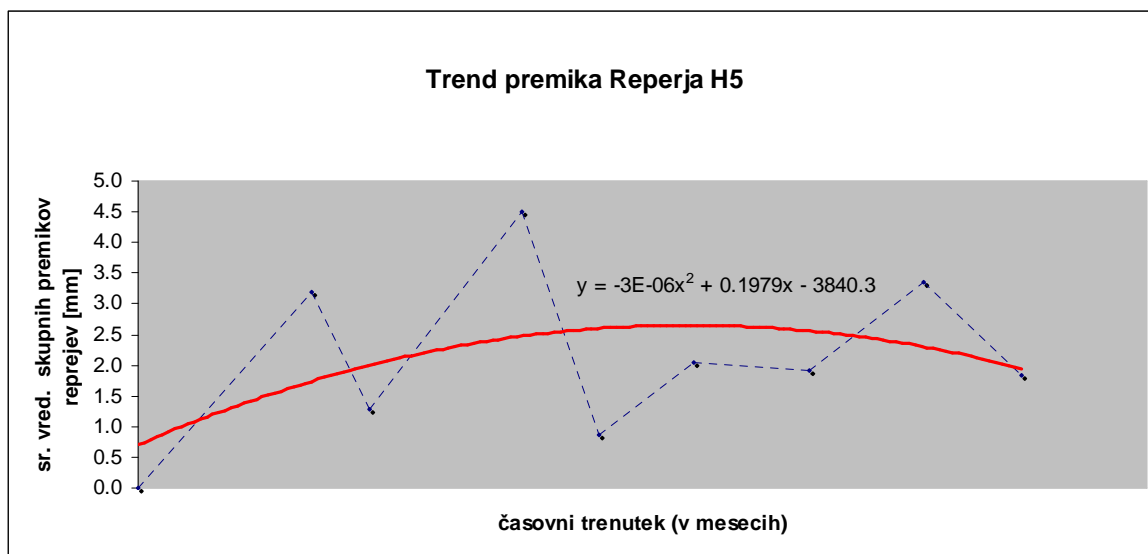


Slika 4 - Grafični prikaz premika repera H5 v časovnem obdobju štirih let

Iz izrisanih premikov in pripadajočih standardnih deviacij premikov od decembra 2003 do oktobra 2007 bi lahko sklepali, da so premiki statistično značilni pri izbrani stopnji značilnosti testa. Zaradi očitne periodičnosti premikanja pa kumulativni premiki niso statistično značilni. Po decembru 2005 ugotavljamo, da so premiki in kumulativni premiki statistično neznačilni.

Dogajanje premikov objektov v NEK smo poskušali predstaviti z regresijsko krivuljo, ki smo jo aproksimirali za vsak objekt, za del objekta ali za vsak reper posebej. Na osnovi reperjev, ki pripadajo določenemu objektu in imajo podoben značaj premikov, smo izračunali povprečni premik celotnega ali dela objekta in ga aproksimirali s krivuljo poligona druge stopnje, s katere lahko enostavno razberemo preteklo dogajanje na objektu

in predvidimo, kako se bo objekt obnašal v prihodnje. Pred izračunom trendovske krivulje smo predpostavili, da se vse meritve nanašajo na začetno serijo meritev izvedenih decembra 2003.



Slika 5 - Grafični prikaz trenda premika reperja H5 na jezu na Savi

Rdeča krivulja predstavlja enačbo druge stopnje, ki aproksimira graf povprečnega premika reperja H5, ki je stabiliziran na jezu na Savi. Iz njene oblike lahko razberemo, da je hitrost premika pozitivna (celotna trendovska krivulja je pozitivna), medtem ko je pospešek negativen (krivulja je konveksna), kar pomeni, da se objekt s časom umirja in lahko pričakujemo trend umirjanja tudi v prihodnje. Velikost pospeška lahko razberemo iz enačbe krivulje, prav tako pa iz enačbe regresijske krivulje lahko izračunamo, kdaj se bo objekt vrnil na nivo začetne meritve izvedene decembra 2003.

Testiranje horizontalnih premikov

Na območju NEK obravnavamo horizontalno stabilnost jezu na Savi na podlagi devetih primerljivih terminskih izmer. Decembra 2003 smo s prehodom na nov način meritev (metoda izmere, instrument, geometrija mreže) ter z določitvijo novega geodetskega datuma v mikro mreži Krško izpolnili pogoje za ugotavljanje statistično značilnih premikov z večjo verjetnostjo. Po izravnavi najmanj dveh terminskih izmer je mogoče določiti premik točke d po enačbi (5) ter varianco premika σ_d^2 po enačbi (6).

$$d = \sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2} = \sqrt{(y_{t+\Delta t} - y_t)^2 + (x_{t+\Delta t} - x_t)^2}, \quad (5)$$

$$\sigma_d^2 = \left(\frac{\Delta y}{d}\right)^2 (\sigma_{y_t}^2 + \sigma_{y_{t+\Delta t}}^2) + 2 \frac{\Delta y}{d} \frac{\Delta x}{d} (\sigma_{y_t x_t} + \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}}) + \left(\frac{\Delta x}{d}\right)^2 (\sigma_{x_t}^2 + \sigma_{x_{t+\Delta t}}^2). \quad (6)$$

Podobno kot pri testiranju vertikalnih posedkov obe količini uporabimo v statističnem testu:

$$T = \frac{d}{\sigma_d} . \quad (7)$$

Potrebno je poudariti, da izračunani premik ni linearna funkcija spremenljivk Δy in Δx , zato se testna statistika (7) ne porazdeljuje po standardni normalni verjetnostni porazdelitvi. Verjetnostjo funkcijo za testno statistiko (7) določimo empirično s simulacijami in jo primerjamo s kritično vrednostjo glede na izbrano stopnjo značilnosti testa α . Premike točk je mogoče z zadostno verjetnostjo odkriti šele tedaj, ko so premiki statistično značilno večji od natančnosti ocene premikov (Savšek-Safić, 2002).

Testno statistiko testiramo glede na postavljeno ničelno in alternativno hipotezo:

$H_0 : d = 0$: točka je stabilna in

$H_a : d \neq 0$: točka ni stabilna.

Testno statistiko (7) primerjamo glede na kritično vrednost, ki jo izračunamo na osnovi simulirane porazdelitvene funkcije. Če je testna statistika manjša od kritične vrednosti ob izbrani stopnji značilnosti testa α , je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze preveliko. V tem primeru zaključimo, da premik ni statistično značilen. Če je testna statistika večja od kritične vrednosti, je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze manjše od izbrane stopnje značilnosti testa α . Zato upravičeno zavrnemo hipotezo in tako potrdimo, da je obravnavani premik statistično značilen.

Testiramo značilnost horizontalnih premikov kontrolnih točk na jezu na Savi med izmerami v časovnem obdobju od decembra 2003 do oktobra 2007, torej obravnavamo devet primerljivih izmer.

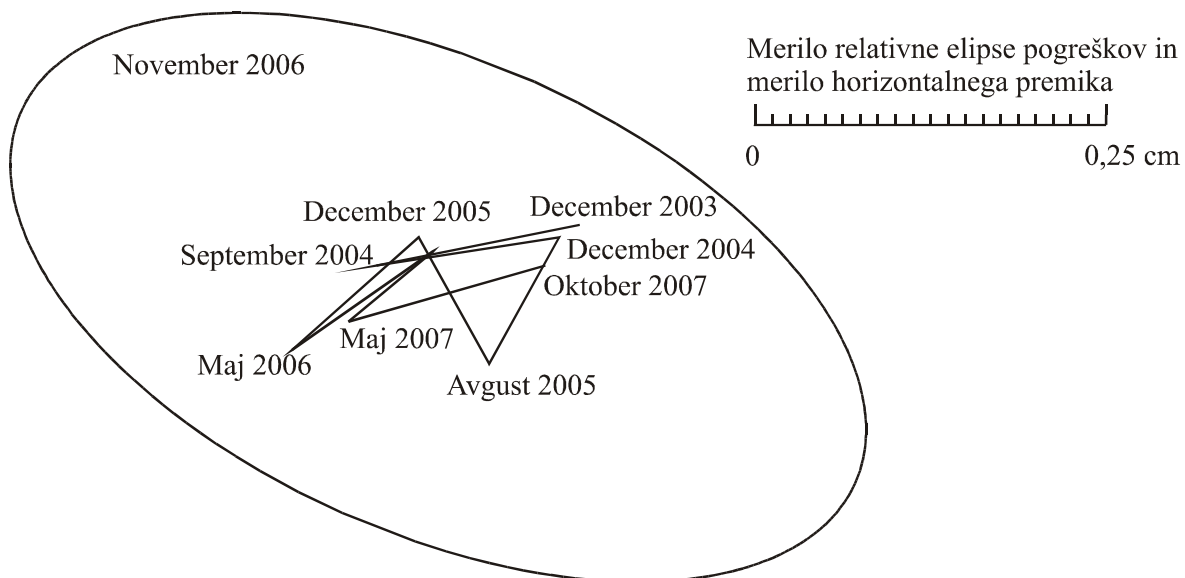
Preglednica 2 - Kumulativni horizontalni premiki kontrolnih točk na jezu na Savi v obdobju od decembra 2003 do oktobra 2007

| Točka | Premik d [mm] | σ_d [mm] | T | T_{crit} ($\alpha = 1\%$) | α_T (%) |
|-------|--------------------|--------------------|--------|----------------------------------|-------------------|
| H1 | 4,8 | 0,9 | 5,6010 | 2,9608 | 0,00 |
| H2 | 0,4 | 0,5 | 0,6732 | 2,8787 | 76,26 |
| H3 | 0,8 | 0,8 | 0,9814 | 2,8682 | 56,39 |
| H4 | 0,6 | 0,9 | 0,6459 | 2,8691 | 77,40 |
| H5 | 0,4 | 0,6 | 0,7670 | 2,8437 | 69,74 |
| H6 | 1,2 | 0,6 | 2,1511 | 2,8154 | 6,21 |
| H7 | 1,4 | 0,9 | 1,5839 | 2,7981 | 21,08 |

Ugotavljamo, da med posameznimi izmerami, izvedenimi od decembra 2003 do oktobra 2007, v večini primerov točki H1 in H7 izkazuje značilne premike, ki se v povprečju gibljejo od 4 do 7 mm s povprečno standardno deviacijo premika od 1 do 1,5 mm. Ko obravnavamo kumulativni premik v obdobju štirih let, lahko zaključimo, da so dejanski kumulativni premiki dosti manjši od periodičnih sezonskih premikov med spomladansko in jesensko izmero. Iz preglednice 2 se vidi, da ob izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 1\%$ le za točko H1 lahko trdimo, da se je značilno premaknila v obravnavanem obdobju. Premik je statistično značilen in znaša 4,8 mm. Za ostale obravnavane točke na jezu ne moremo trditi, da so se značilno premaknile, saj so premiki premajhni, natančnosti določitve premikov pa zelo visoke.

Časovni potek horizontalnega gibanja kontrolnih točk na jezu na Savi

Časovni potek horizontalnega gibanja točk na jezu na Savi smo predstavili s premiki kontrolnih točk in pripadajočimi relativnimi elipsami premikov, ki se nanašajo na premike med dvema izmerama. Relativne elipse premikov izračunamo iz natančnosti določitve točk v posamezni izmeri.



Slika 6 - Grafični prikaz premika kontrolne točke H5 v časovnem obdobju štirih let

Na Sliki 6 prikazujemo premik reprezentativno izbrane kontrolne točke H5 v času. Velikost premika med posameznimi izmerami je od 0,5 mm do 1,8 mm. Tudi pri analiziranju horizontalnih premikov vidimo periodičnost gibanja točk na Jezu na Savi. Na Sliki 6 prikazujemo tudi relativno elipso premika med dvema izmerama, izračunano pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 1\%$ (dolžini osi standardne elipse sta torej pomnoženi s 3,035), ki je najmanjša od vseh relativnih elips premikov med posameznimi izmerami, in smo jo narisali kar v težišču premikov kontrolne točke. Iz slike je razvidno, da premik kontrolne točke H5 ni statistično značilen ob izbrani stopnji značilnosti testa.

Zaključki

NEK je zaradi svoje strateške pomembnosti izpostavljena podrobnim ocenam stabilnosti objekta ter varnosti obratovanja. Na območju NEK se izvajajo periodična geodetska merjenja z namenom določitve vertikalnih in horizontalnih premikov reperjev in kontrolnih točk na objektih in napravah. Najpomembnejši objekti z vidika sevalne in jedrske varnosti so nuklearni otok, jez na Savi in skladišče radioaktivnih odpadkov. Zaradi sprememb v merski tehniki in celovitejšega pristopa določanja premikov obravnavamo opazovanja iz zadnjih štirih let, ki so ocenljiva in zagotavljajo določanje premikov z veliko verjetnostjo. Pridobljeni rezultati so sestavni del letnih poročil obveznih tehničnih opazovanj, ki se izvajajo na objektih in napravah v NEK. Interpretacija stabilnosti in trend premikov sta z vidika varnega delovanja pomembna in zanimiva tudi za širšo javnost.

Na večini objektov, ki so vključeni v vseh devet serij meritev, so ugotovljena periodična nihanja, kar pomeni, da se pojavljajo vertikalni premiki izmenoma različnih predznakov. V poletnem obdobju so se reperji navadno dvignili, v zimskem pa zopet posedli. Potrebno je

poudariti, da poleg temperaturnih razlik na višino reperjev vplivajo tudi drugi dejavniki, kot je remont, saj v tistem času jedrska elektrarna miruje.

V zadnjih štirih letih je vsaj enkrat prišlo do večjega (do 5 mm) vertikalnega premika na vseh navedenih treh objektih. V avgustovski seriji 2005 je prišlo na nuklearnem otoku do velikega premika (do 5 mm), vendar so se že v naslednji seriji meritev decembra 2005 reperji vrnili na prejšnjo raven. Vzrok za premik ni popolnoma znan. Situacija ni kritična, saj na tem delu objekta niso odkrili poškodb, prav tako pa so se reperji premaknili za približno enako vrednost že v naslednji seriji meritev.

Jez na Savi je specifičen objekt NEK, saj je podvržen velikim silam pretoka Save, razlikam v polnjenju in praznjenju akumulacije in tako razlikam med visoko in nizko vodo. Zato lahko pričakujemo tudi večje premike celotnega jezua. Vertikalni premiki imajo izrazito periodičen značaj in so glede na premike reperjev drugih objektov precej veliki. Največji vertikalni premiki se pojavljajo med zaporednimi meritvami in dosežejo vrednosti tudi nad ± 3 mm. Ko ocenjujemo kumulativne vertikalne premike reperjev na jezua v časovnem obdobju štirih let, ugotavljamo, da premiki reperjev praktično niso statistično značilni. Podobno lahko zaključimo, da skrajni kontrolni točki H1 in H7 na jezua med zaporednimi izmerami izkazujeta periodične horizontalne premike od 4 do 7 mm, medtem ko drugih kontrolnih točk ne moremo obravnavati kot nestabilnih. Če ocenjujemo kumulativne horizontalne premike kontrolnih točk v obdobju štirih let, lahko zaključimo, da so v povprečju zelo majhni, le na točki H1 zaznamo kumulativni premik, ki pa je manjši od 5 mm, kar je z vidika dopustnih odstopanj premikov za jedrske objekte zanemarljivo malo.

Premiki reperjev skladišča za radioaktivne odpadke so izrazito periodični, vrednosti se pri najbolj problematičnem reperju R49 gibljejo od $-2,8$ mm do 3 mm. Do velikega premika je prišlo v seriji meritev avgusta 2005. Vzrok je glede na neodkrite poškodbe objekta, neznan. Že v naslednji seriji meritev se je reper premaknil za isto vrednost na prejšnjo raven. Premiki ostalih reperjev se gibljejo v mejah od $-2,2$ mm do 2,2 mm. Med prvo in zadnjo serijo meritev so bili prav tako odkriti statistično značilni vertikalni premiki reperjev, njihova vrednost pa je glede na zaporedne meritve precej manjša kot med zaporednimi serijami meritev.

Možna razlaga izmerjenega periodičnega nihanja reperjev je tudi v višini podtalnice pod Krškimi poljem. To bi bilo možno spremljati s piezometri. Dodatno pa bi periodično nihanje lahko določili z navezavo višinske mreže oziroma izhodiščnih reperjev na stabilno okolico.

Pospešek krivulje trenda je pri večini objektov negativen, kar pomeni, da se objekti s časom umirjajo in lahko glede na trend v prihodnosti pričakujemo, da se bodo počasi dokončno umirili. Pri tem je potrebno opozoriti, da je trendovska krivulja izračunana na osnovi povprečnih premikov reperjev, kar pomeni, da je trend v večji meri samo predpostavka in ne z visoko geodetsko natančnostjo pridobljena informacija. Kljub temu nam omogoča predvideti prihodnje dogajanje na objektu. Vrednosti maksimalnih dopustnih premikov objektov so opredeljene glede na tip konstrukcije in vrsto tal in se gibljejo od 7,5 cm za opečne zgradbe do 30 cm za težke betonske konstrukcije (Kogovšek, 1990). Splošno gledano so objekti NEK glede na maksimalne dopustne premike reperjev in kontrolnih točk stabilni, saj se povprečni statistično značilni premiki z redkimi izjemami gibljejo v okviru $\pm 2,0$ mm.

Zahvala: Zahvaljujemo se družbi IBE, d.o.o., in odgovornemu sodelavcu za tehnična opazovanja NEK g. B. Kogovšku za uporabo merskih podatkov v znanstveno-raziskovalne namene in Mateju Ključevšku, ki je opravil večino nivelmanskih meritev.

Literatura

- Kogovšek, B. (1990): Projekt tehničnega opazovanja Nuklearne elektrarne Krško, Inženirski biro elektroprojekt, Ljubljana.
- Kogoj, D. (2005): Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji, UL-FGG, Ljubljana.
- Savšek-Safić, S. (2002): Optimalna metoda določanja stabilnih točk v deformacijski analizi, UL-FGG, Doktorska disertacija, Ljubljana.
- Savšek-Safić, S., Ambrožič T., Stopar B., Turk G. (2003): Ugotavljanje premikov točk v geodetski mreži, Geodetski vestnik, 47/1&2, 7 – 17.
- Savšek-Safić, S., Kogoj, D., Marjetič, A., Jakljič, S. (2007): 49. geodetska izmera horizontalnih premikov geodetskih točk NEK, UL-FGG, Tehnično poročilo.
- Skube, K. (2006): Vertikalni premiki reperjev na objektih NE Krško med leti 2002 in 2006, UL-FGG, Diplomsko naloga, Ljubljana.
- Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih pregrad, Ur. list SFRJ 7/66.
- URL 1: Nuklearna elektrarna Krško, <http://www.nek.si/sl/>, (12.11.2007).

Merjenje tektonskih premikov v Postojnski jami

Stanka Šebela^{*}, Blahoslav Košťák^{**}, Janez Mulec^{**} in Josef Stemberk^{**}

Povzetek

V najdaljši kraški jami v Sloveniji že od februarja 2004 na dveh lokacijah, ki sta med seboj oddaljeni 260 m, opravljamo redne mesečne meritve tektonskih premikov z dvema ekstenziometroma TM 71. Od julija 2005 potekajo tudi meritve radona ter od aprila 2006 meritve živega srebra. Po štiriletnem merjenju tektonskih premikov ob dinarsko usmerjenem prelomu, ki je od Predjamskega preloma oddaljen okrog 1 km proti severu, smo v generalnem smislu določili manjše premike, in sicer povprečno -0,02 mm na leto, desni horizontalni zmik. Pred močnejšimi potresi pa smo zaznali večji nemir, ki je v enem mesecu lahko dosegel tudi 0,08 mm, po potresu pa se je premik stabiliziral na -0,05 mm.

Uvod

Merjenja tektonskih premikov s češkimi ekstenziometri so se začela v letu 2004 v okviru projekta COST 625 (*3-D monitoring of active tectonic structures*) in se danes nadaljujejo v okviru slovensko-češkega bilateralnega projekta BI-CZ/06-07-011 (*Merjenje aktivnih tektonskih struktur na krasu*).

Metode merjenja tektonskih premikov z ekstenziometri TM 71 so bile že večkrat opisane (Košťák, 1969, 1977, 1991; Košťák et al., 2007; Šebela & Gosar, 2005; Šebela, 2005). S TM 71 merimo premike tudi do 0,01 mm natančno. V letu 2004 smo se s češkimi sodelavci na projektu odločili za opazovanje aktivnih tektonskih struktur v Sloveniji. Trije inštrumenti TM 71 so nameščeni na površju (Gosar et al., 2007), dva inštrumenta pa sta v Postojnski jami (Šebela & Gosar, 2005; Šebela, 2005), kjer opazujemo dinarsko usmerjeni prelom, ki ga sledimo čez Pisani rov, Veliko goro ter vse v Lepe jame. Opazovani prelom je od Predjamskega preloma oddaljen okrog 1 km proti severu.

Merjenje tektonskih premikov s TM 71 v Postojnski jami

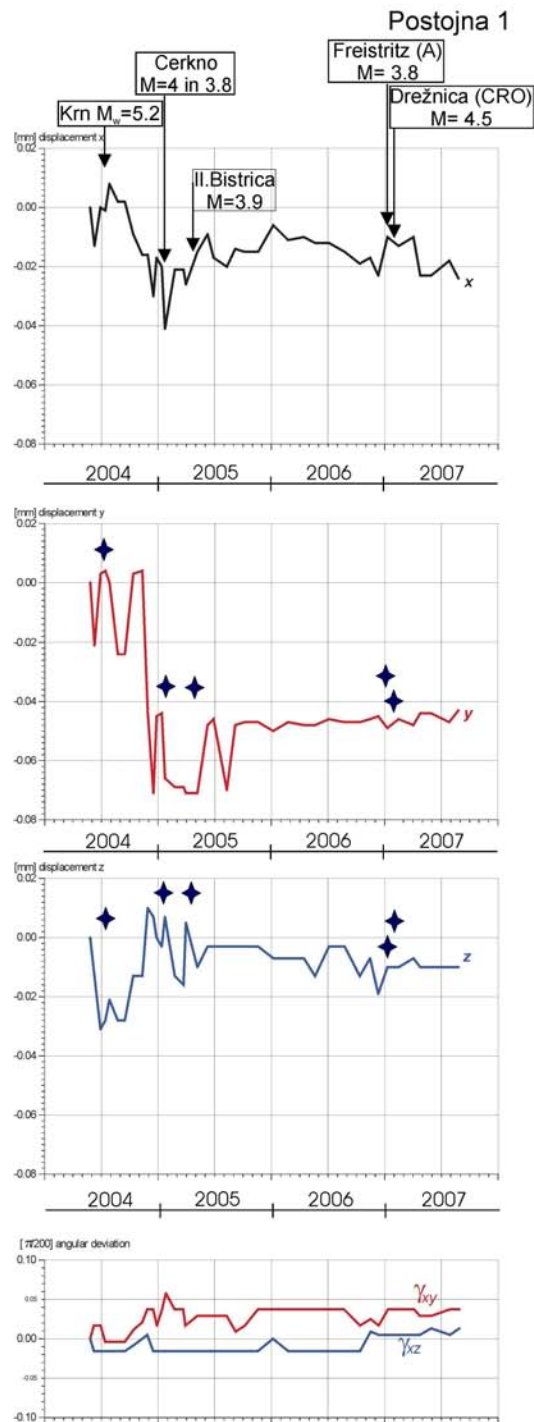
Merjenje tektonskih premikov s TM 71 se je na opazovanem mestu Postojna 1 začelo 26. 5. 2004, na drugi točki (Postojna 2) pa 26. 2. 2004. Podatke predvidoma odčitavamo enkrat mesečno. Čeprav je Postojna na sorazmerno tektonsko stabilnem področju, smo se za namestitev TM 71 v Postojnsko jamo odločili zaradi dobre geološke karte jame, zaradi dobrega poznavanja jame ter zaradi velikega turističnega obiska in splošne prepoznavnosti jame. Na Sliki 1 so prikazani rezultati meritev opazovanega mesta Postojna 1 v treh oseh x , y in z ter večji potresi, ki so povzročili premike.

* IZRK ZRC SAZU, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija

** Institute of Rock Structure and Mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, V Holešovičkách 41, 18209 Prague, Czech Republic

** Institute of Rock Structure and Mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, V Holešovičkách 41, 18209 Prague, Czech Republic

** Institute of Rock Structure and Mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, V Holešovičkách 41, 18209 Prague, Czech Republic



Slika 1 – Diagrami premikov v treh smereh x , y in z ter diagram rotacije za ravnini xy in xz glede na časovno obdobje od 2004 do danes za opazovano mesto Postojna 1 (Velika gora, Postojnska jama). Označeni so tudi močnejši potresi, ob katerih je prišlo do premikov

Analize rezultatov merjenja tektonskih premikov s TM 71 zajemajo tri koordinate x , y , z , kjer $+x$ predstavlja kompresijo opazovanega preloma, $+y$ levi horizontalni zmik in $+z$ vertikalni premik (severni blok se je spustil in južni dvignil). Zabeležili smo tudi manjšo rotacijo v vertikali $+\gamma_{xz}$ in horizontali $+\gamma_{xy}$.

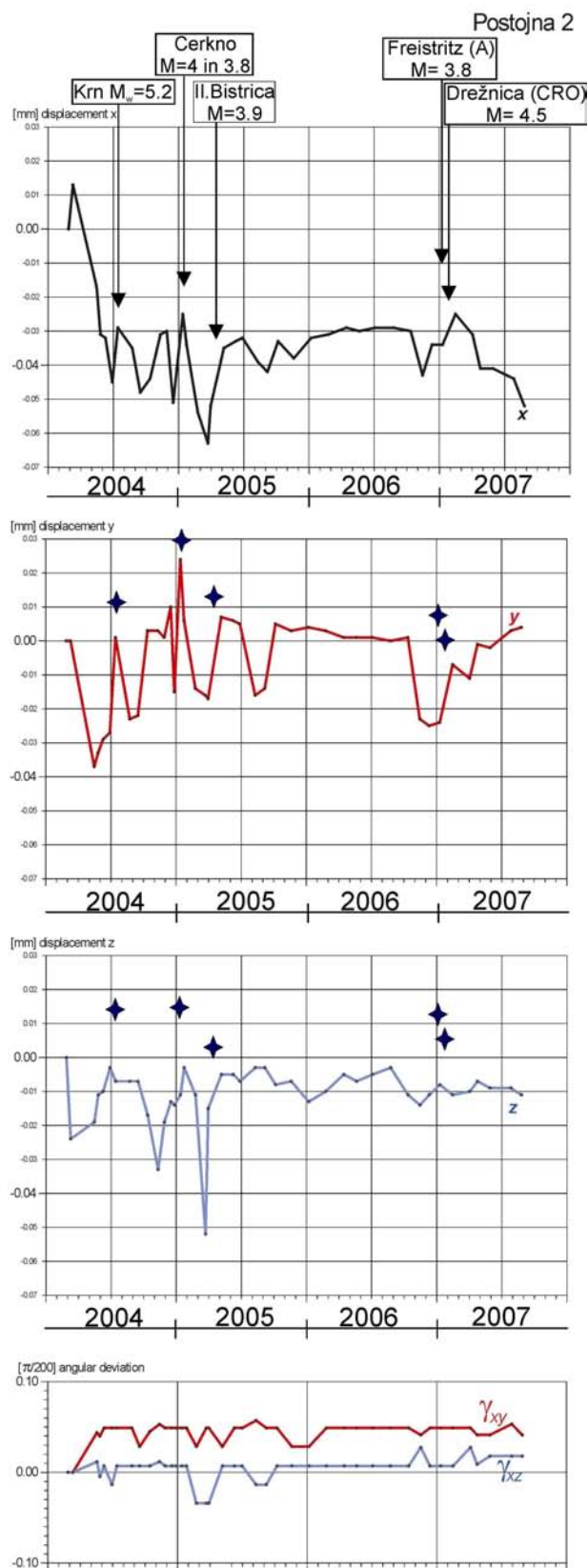
Rezultati meritev kažejo na manjše premike v vseh treh oseh. Na opazovanem mestu Postojna 1 (Slika 1) imamo v povprečju $-0,02$ mm/leto levi horizontalni zmik (y). V krajšem časovnem obdobju pa smo v letu 2004 zabeležili v povprečju $-0,05$ mm (y). Premiki v osi y v letu 2006 so podobni za oba inštrumenta (Postojna 1 in 2), pravzaprav gre za dolgo obdobje mirovanja.

Oba inštrumenta sta 12. 7. 2004 ob Krnskem potresu ($M_w = 5.2$) zabeležila podobne premike. Oddaljenost epicentra od merilnih točk je bila okrog 70 km. Pred potresom je premik vzdolž osi y ustrezal desnemu horizontalnemu zniku, tik pred potresom ali med potresom pa se je premik obrnil v levi zmik reda velikosti okrog 0,03 mm (Šebela et al., 2005).

Večinoma beležimo manjše premike v vseh treh smereh na obeh inštrumentih TM 71 istočasno. Glede na to, da imamo obdobja nemira in obdobja skoraj brez premikov (npr. os y v letu 2006), menimo, da imamo opravka s tektonskimi premiki. Konec leta 2004 in v začetku leta 2005 smo na osi y (Postojna 1, Slika 1) zaznali večji premik. Od 10. 11. 2004 do 15. 12. 2004 smo na osi y opazili $-0,08$ mm (horizontalni desni zmik) Med 15. 12. 2004 in 27. 12. 2004 se je premik obrnil v horizontalni levi zmik za $+0,03$ mm. Po tem zaenkrat največjem zabeleženem premiku je v osi y ostal permanentni premik za $-0,05$ mm. Čeprav sta oba inštrumenta TM 71 postavljena na isto prelomno cono, pa na lokaciji Postojna 2 (Slika 2) nismo zabeležili tako velikega premika kot na lokaciji Postojna 1. Dejstvo je, da sta ekstenziometra postavljena v isti prelomni coni, vendar na različne prelomne ploskve. Med obema inštrumentoma, ki sta okrog 260 m oddaljena, poteka tudi močnejša prečno-dinarska prelomna cona, ki je lahko vzrok za določene razlike v velikosti premikov.

Med 14. 1. 2005 in 6. 5. 2005 smo v osi y na Veliki gori (Postojna 1) zabeležili desni horizontalni zmik za $-0,03$ mm. Podoben premik smo v osi y v istem časovnem obdobju določili tudi v Lepih jamah (Postojna 2). V tem obdobju imamo tudi tri močnejše potrese (Cerkno $M = 4,0$ in $3,8$ ter Ilirska Bistrica $M = 3,9$). Zanimiv pa je večji premik v oseh z in x na opazovanem mestu Postojna 2 (Slika 2). Med 26. 1. 2005 in 22. 3. 2005 smo v osi z zabeležili vertikalni premik za $-0,05$ mm. Do 6. 5. 2005 se je stanje povrnilo nazaj v položaj, kot je bil 26. 1. 2005. Tudi v osi x (Slika 2) smo opazili premik za $-0,04$ mm v obdobju od 14. 1. 2005 do 22. 3. 2005. Tudi ta premik se je povrnil na skoraj predhodno stanje do 6. 5. 2005. Menimo, da sta premika v oseh x in z na opazovanem mestu Postojna 2, povezana s potresom na področju Ilirske Bistrice ($M_L = 3,9$) dne 24. 4. 2005, ki je bil od Postojne oddaljen 25 km. Zanimivo je, da tudi na opazovanem mestu Postojna 1 (Slika 1) v prvih mesecih leta 2005 v oseh x in z beležimo premike, ki pa so manjši kot na vzorčnem mestu Postojna 2.

Po daljšem obdobju mirovanja na obeh opazovanih mestih smo konec leta 2006 in v letu 2007 zopet začeli beležiti manjše premike v vseh treh oseh, s tem da so nekoliko večji premiki zabeleženi v Lepih jamah (Postojna 2). Najmočnejša bližnja potresna dogodka v tem obdobju sta 80 km oddaljeni potres 1. 1. 2007 v južni Avstriji (Freistritz, $M_L = 3,8$) in okrog 90 km oddaljen potres na Hrvaškem v Drežnici dne 5. 2. 2007 ($M_w = 4,5$). Največji premik velikosti 0,025 mm smo izmerili v osi y v Lepih jamah (Slika 2) v obdobju od 13. 10. 2006 do 12. 1. 2007. Od 12. 1. 2007 do 16. 2. 2007 se je stanje povrnilo nazaj, skoraj na enak položaj, kot je bil pred 13. 10. 2006.



Slika 2 – Diagrami premikov v treh smereh x , y in z ter diagram rotacije za ravnini xy in xz glede na časovno obdobje od 2004 do danes za opazovano mesto Postojna 2 (Lepe jame, Postojnska jama). Označeni so tudi močnejši potresi, ob katerih je prišlo do premikov.

Na dinarsko usmerjeni prelomni coni v Postojnski jami, ki jo opazujemo z dvema ekstenziometroma TM 71, lahko določimo tudi sledove starih tektonskih deformacij. In sicer v JV delu jame tektonske drse kažejo na horizontalni levi zmik, na Veliki gori (Postojna 1) se opazi reverzni prelom, kjer je severni blok dvignjen glede na južnega, v Lepih jamah (Postojna 2) pa imamo pol metra narazen 2 prelomni ploskvi, kjer ob severni tektonske drse kažejo na horizontalni desni zmik (Slika 3), ob južni pa na normalni prelom, kjer je severni blok relativno spuščjen glede na južnega. Tako imamo dokaze za vsaj 4 različne tektonske dogodke, s tem da nam današnja merjenja z TM 71 v generalnem smislu kažejo blag desni horizontalni premik, kar je tudi v skladu z aktivnimi tektonskimi razmerami na dinarskem krasu v JZ Sloveniji.



Slika 3 – Tektonske drse in TM 71 v Lepih jamah, Postojna 2 (foto S. Šebela)

Zaključek

V najdaljši slovenski jami - Postojnski jami - z dvema ekstenziometroma TM 71 že od leta 2004 opazujemo dinarsko (SZ-JV) usmerjeni prelom, ob katerem beležimo blage premike (povprečno 0,02 mm/leto) v horizontalni smeri. Pred in med močnejšimi potresi (kot je bil npr. potres v Posočju dne 12. 7. 2004, $M_w = 5,2$) pa registriramo močnejše opazen nemir, kar pomeni, da se v obdobju enega meseca ob prelomu vršijo premiki velikosti do 0,08 mm, vendar se po potresu stanje ob prelomu navadno vrne v stanje pred potresom. Podobno obnašanje opazujejo tudi v drugih kraških jamah, npr. na Češkem in Slovaškem (Briestenský et al., 2007). Dejstvo je, da so registrirani premiki v Postojnski jami zelo majhni, vendar pa bo merjenje potekalo še vrsto let, tako da bomo zanesljive zaključke lahko podali po večletnem opazovanju. Gre za spremljanje mikro deformacij ob aseizmičnem prelomu v temperaturno stabilnem okolju ($9-11^{\circ} C$) kraške jame ter za razumevanje obnašanja preloma pred, med in po potresih.

Literatura

- Briestenský, M., Stemberk, J. & Petro, L., 2007. Displacements registered around the 13 March 2006 Vrbové earthquake $M=3.2$ (Western Carpathians).- *Geologica Carpathica*, 58/5, 7pp.
- Gosar, A., Šebela, S., Košťák, B., Stemberk, J., 2007. Micro-deformation monitoring of active tectonic structures in W Slovenia. *Acta Geodyn. Geomater.* Vol. 4, No. 1, 87-98.
- Košťák, B., 1969. A new device for in-situ movement detection and measurement. *Exp. Mechanics* 9, Easton (Pa, USA), 374-379.
- Košťák, B., 1977. Terčové měřidlo TM-71 a jeho užití pro měření velmi pomalých pohybů na poruchách a trhlinách. *Inž. Stavby* 25, 5, 213-218.
- Košťák, B., 1991 Combined indicator using Moiré technique. *Proc. 3rd Int. Symp. on Field Measurements in Geomechanics*, 9-11 Sept. 1991 Oslo, 1, 53-60, Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Košťák, B., Cacoń, S., Dobrev, N.D., Avramova-Tacheva, E., Fecker, E., Kopecký, J., Petro, L., Schweizer, R., Nikonov.A.A., 2007. Observations of tectonic microdisplacements in Europe in relation to the Iran 1997 and Turkey 1999 earthquakes. *Izvestiya - Physics of the Solid Earth* Vol. 43, No 6, 503-516.
- Stemberk, J., Košťák, B., 2007. 3-D trend of aseismic creep along active faults in western part of the Gulf of Corinth Greece. *Acta Geodyn. Geomat.* 4, 1, (145), 53-65.
- Šebela, S., 2005. Monitoring of active tectonic structures – Project COST 625. *Acta carsologica* 34/2, 471-488.
- Šebela, S. & Gosar, A., 2005. Začetek meritev premikov ob prelomih v zahodni Sloveniji s 3D ekstenziometri TM 71.- *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2004*, zbornik predavanj, 37-45, Ljubljana.
- Šebela, S., Gosar, A., Košťák, B., Stemberk, J., 2005. Active tectonic structures in the W part of Slovenia - setting of micro-deformation monitoring net. *Acta Geodyn. Geomat.* 2/1(137), 45-57.

Monitoring vpliva urbanizacije na potok Gliščica na urbanem območju mesta Ljubljane

Simon Rusjan, Mitja Brilly, Matej Padežnik, Andrej Vidmar*

Povzetek

Hidrološki režimi odtoka so definirani s klimatskimi, geološkimi, topografskimi, talnimi, vegetacijskimi in antropogenimi karakteristikami prispevnih območij. V procesu urbanizacije so naravne površine zamenjane z umetnimi, večinoma manj prepustnimi oz. neprepustnimi tlakovanimi površinami, kar povzroči velike spremembe v hidrološki odzivnosti prispevnih površin. Skladno s širitvijo tlakovanih urbanih površin se gradi sistem urbane odvodnje meteorne vode, katerega osnovni namen je učinkovito zbiranje in odtekanje padavinskega dotoka. Vpliv urbanizacije na hidrološki vodni krog je kompleksen, običajno se najpogosteje odraža na povečanih volumnih padavinskega dotoka ter zvišanju konic hidrogramov odtoka. Z vidika ekološke vloge vodotoka kot habitata pospešen odtok s prispevnih urbanih površin povzroči intenzivno spiranje onesnažil v vodotok ter ob dodatnih posegih zaščite pred vodami vodi v ekološko in ekomorfološko degradacijo urbanih vodotokov. Magnituda vpliva urbanega okolja na vodotoke se običajno povečuje z manjšanjem velikosti vodotoka. V prispevku predstavljamo rezultate meritev vpliva urbanih površin na območju Ljubljane na potok Gliščica. Prispevno območje Gliščice je bilo opremljeno z hidrološko mersko opremo, kar je omogočilo sledljivost hidrološke odzivnosti potoka na spremenjene hidrometeorološke pogoje. Hidrološki monitoring je bil dopolnjen s periodičnimi meritvami parametrov kvalitete vode (pH, temperatura vode, elektroprevodnost, vsebnost raztopljenega kisika, ORP, koncentracija nitrata in amonija), ki so nam omogočili analizo vpliva spremenjenega hidrološkega in morfološkega stanja na ekološke razmere v vodotoku. Meritve so se izvajale v okviru evropskega projekta URBEM (Urban River Basin Enhancement Methods).

Uvod

Vodotoki so kompleksni ekosistemi v katerih je prisotna velika dinamika ekoloških procesov. Navkljub tej dinamiki naravno ohranjeni odseki vodotokov izražajo neko stopnjo samoreguliranja procesov in ohranjanja v določenem obsegu ekoloških razmer oz. v t. i. dinamičnem ravnotežju (Fogg in Wells, 1998; Wharton, 2000). Modifikacija ali prevlada neke funkcije vodotoka nad drugimi funkcijami lahko privede do nestabilnosti v vodotoku kot sistemu in posledično vodi v degradacijo vodnega okolja in zmanjšanje njegovega ekološkega potenciala. Značilen takšen primer so vodotoki v urbanem okolju. Voda je bila skoraj v vsej zgodovini urbanizma pomembna sestavina mestnega oblikovanja. Odseki vodotokov na urbanih območjih predstavljajo neposreden stik in povezavo med sodobnimi potrebami življenja v urbanih središčih ter naravnimi prvinami okolja. Mesta, ki so bila zgrajena ob rekah z urejenim obvodnim okoljem, imajo komunalno-higiensko, ekološko, prometno, obrambno, klimatsko in estetsko prednost pred mesti, ki so brez večjih vodnih površin. Razvoj urbanih središč v težnji po pridobivanju novih površin večino teh prednosti ni upošteval in izkoristil. Nekoč obsežne poplavne ravnice so bile pozidane vse do brežin vodotoka. Vodotok je bil in je še vedno večinoma obravnavan le kot geometrijski arhitekturni element ter kot odvodnik za odpadno komunalno in padavinsko vodo. Temu primerna je bila tudi njegova ureditev. Da bi se zagotovilo čim boljše hidravlično

* UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

prevodnost ter s tem večjo varnost pred poplavami je struga vodotoka enotno geometrijsko oblikovana (uporaba hidravlično najugodnejših korit) ter poglobljena in obdana z visokimi brežinami, trasa vodotoka je izravnana, padci dna se na posameznem odseku vodotoka ne spreminjajo. Ostenje struge vodotoka ter brežine so zgrajene iz umetnih gradiv, da se zagotovi čim manjšo hrapavost. Manjši vodotoki so nekoč predstavljali moteč element v mestnem okolju, zato so pogosto umeščeni v betonske kanale in ločeni od sosednjih površin s strmimi brežinami, visokimi ograjami, pogosto so tudi zacevljeni. Posledično je ekološka vloga vodotoka povsem razvrednotena (SEPA, 2000).

Za obvladovanje procesa izboljševanja stanja vodnih teles na osnovi pravnih določil bomo potrebovali metode za kemijsko, biološko in hidromorfološko vrednotenje stanja vodotokov. Detajlnější vpogled v specifično problematiko posameznih urbanih vodotokov je osnova za konkretizacijo ukrepov za izboljšanje obstoječega slabega ekohidrološkega stanja urbanih vodotokov. Takšen vpogled je možen s pridobitvijo podatkov tako o hidroloških karakteristikah, dinamiki kvalitete vode v vodotoku kot tudi strukturi življenjskih združb v vodotoku.

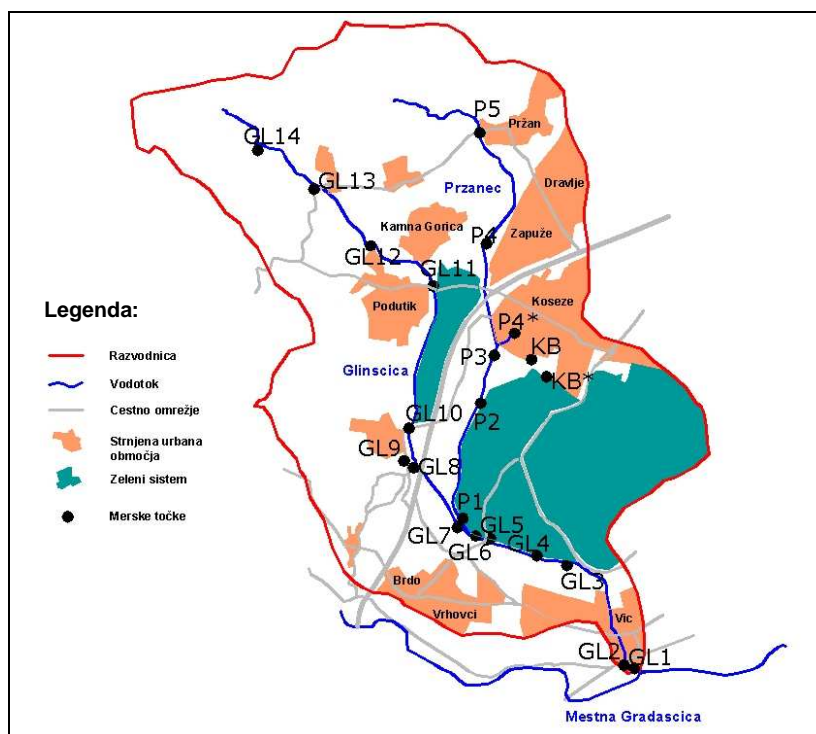
Baza podatkov o ekohidrološkem in hidromorfološkem stanju urbanih vodotokov na območju mestne občine Ljubljana s poudarkom na analizi stanja na vodotoku Glinščica je bila pridobljena z dvoletnim monitoringom v okviru izvajanja evropskega projekta URBEM (Urban River Basin Enhancement Methods). Cilj pridobivanja podatkov je bil ovrednotiti vplive urbanega okolja na ekohidrološko stanje urbanih vodotokov za potrebe načrtovanja rehabilitacijskih ukrepov na obravnavanih vodotokih.

Opis prispevnega območja Glinščice

Glinščica izvira pod severovzhodnimi obronki Toškega čela (590 m n. m.) in pri Podutiku preide v ravninski del Ljubljanske kotline. Odseki na srednjem delu Glinščice mejijo na krajinski park. Topografska slika porečja je sestavljena iz gričevnatega dela na vzhodu in zahodu ter ravninskega dela, ki se razširi v južnem delu. Relief porečja Glinščice je precej raznolik in obsega strma povirna območja in ravnice. V povezavi z značilnostmi reliefa, pokrovnostjo površja z vegetacijo, karakteristično sestavo tal ter deležem prepustnih in neprepustnih površin varirajo tudi karakteristike površinskega odtoka. Obsežne urbane površine se raztezajo predvsem na vzhodnem in južnem delu porečja ter območju Podutika in Kamne Gorice. Ravninski del porečja je slabo prepusten. Povirje Glinščice sega na severni strani v pobočje Toškega čela in Črnega vrha (482 m n. m.), razvodnica na vzhodu sega v urbano območje mesta Ljubljana (Dravljje, Šiška), preko Šišenskega hriba in Rožnika (393 m n. m.) do izliva v Gradaščico (293 m n. m.), ki je najjužnejša točka porečja. V smeri proti zahodu poteka razvodnica skozi urbano območje preko Brda vse do Tičnice (352 m n. m.), kjer se usmeri proti severu preko Stražnega vrha (439 m n. m.) in Prevala do Toškega čela. Večji pritok Glinščice je Pržanec, čigar povirje sega v pobočje Velike trate (518 m n. m.) in Male trate (436 m n. m.) in odvaja vodo s pretežno ravninskega dela vzhodno od Glinščice (Slika 1).

Padavinsko prispevno območje Glinščice obsega 17,4 km². Položaj odvodnice znotraj urbanega območja določa odvodnja meteornih voda s kanalizacijskim sistemom, zato orografska razvodnica ne sovпада vedno s prispevnim območjem Glinščice. Skupno prispevno območje Glinščice do izliva v Gradaščico je nekoliko večje in zajema 19,3 km² površine, ker je padavinski odtok z območja med Guncljami, železnico in orografsko razvodnico med porečjema Glinščice in Save ter delom urbanih površin ob izlivnem delu Glinščice preko kanalizacijskega meteornegega omrežja speljan na območje porečja Glinščice. Ocenjeno je bilo, da je na celotnem porečju Glinščice delež urbanih površin 21

%. Ob tem se na porečje Glinščice steka tudi pretežen del meteornih vod z 1,9 km² površin z območja Šentvida (VGI, 2001).



Slika 1 – Prispevno območje reke Glinščice s sistemom merskih točk

Praktično celotna trasa struge je bila z regulacijskimi deli izravnana, odsek struge od izliva v Mestno Gradaščico do mostu na Brdnikovi ulici je bil urejen kot kanal z betonsko oblogo dna in dela brežin. Rezultat teh del je z ekomorfološkega vidika močno degradirana struga z betonsko oblogo dna in dela brežin (Rusjan, 2003) (Slika 2).



Slika 2 – Regulirana struga Glinščice v Rožni dolini

Glede na ekomorfološko kategorizacijo vodotokov, s katero se opisuje stopnjo naravne ohranjenosti vodotokov, je odsek Glinščice od zaključka betonskega tlakovanja ob brvi na Poti gorvodno uvrščen v 2. do 3. razred (VGI, 2002). V 2. do 3. razred so uvrščeni odseki rek, ki so bili v preteklosti urejani v obliki klasičnih regulacij ali starih regulacij s pretežno vzdolžnimi zavarovanji. S časom so se regulacijski ukrepi zarasli. Ustvarili so se pogoji za

sekundarne biotope, ki pa so manj pestri od naravnih. Izgled takšnih odsekov je sicer dokaj naraven, vendar je profil struge monoton, brez pretiranih sprememb vodnatosti, globalna linija pa enakomerna in enolika. Odsek struge s tlakovanim dnom vse do izliva v Gradaščico je uvrščen v 4. razred (Slika 2). V 4. razred so uvrščeni vodotoki, kjer so brežine in dno popolnoma utrjene z umetnimi ali polumetnimi materiali (npr. beton, tlak in lomljenec v betonu, asfalt itd.).

Metode

Za spremljanje hidroloških odzivov prispevnih površin Glinščice so bili na prispevnem območju postavljeni trije dežmeri ter merilec višine vode, 1-D hitrosti vodnega toka in temperature vode v vodotoku Starflow. Za merjenje pretokov vode v obdobjih višjih vodostajev se je uporabljalo Dopplerjev merilec hitrosti vodnega toka ADV, v času nizkih vodostajev pa sondo, ki omogoča določitev pretoka na osnovi razredčenja ob vnosu sledila (v našem primeru kuhinjske soli) v vodotok. Merilec višine vode je postavljen v profilu merske točke GL3 (Slika 1).

Kemizem vode v potoku Glinščica smo spremljali s pomočjo multiparametrške minisonde Hydrolab, ki omogoča merjenje več parametrov kvalitete vode hkrati. Parametri, ki jih merimo z minisondo so naslednji: Temperatura vode, pH, elektroprevodnost, vsebnost raztopljenega kisika, skupne raztopljene snovi, redoks potencial, koncentracija nitrata in amonija. Vz dolž struge Glinščice je bilo določenih 19 merskih točk, v katerih smo izvajali meritve kvalitete vode s pomočjo minisonde (Slika 1). Merska oprema je prikazana na sliki 3.



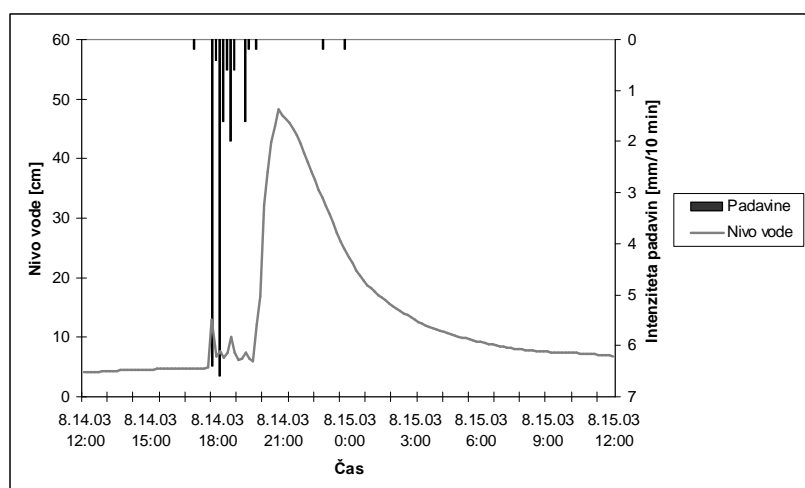
Slika 3 – Merilec višine vode Starflow (levo) in multiparametrška sonda Hydrolab (desno)

Rezultati

Hidrološke karakteristike prispevnega območja Glinščice

Širitev urbanih površin na prispevnem območju Glinščice je spodbudila vprašanje vpliva spremembe rabe površin na hidrološko odzivnost porečja Glinščice. Urbanizacija na obravnavanem območju je bila najintenzivnejša zlasti v zadnjih 20-tih letih, ko so se obsežne urbane površine razširile na območju Kosez, Podutika, kamne Gorice, Dravelj in

Brda (Slika 1). Pred urbanizacijo so ta povečini nižinska območja občutno upočasnjevala koncentracijo padavinskega odtoka in njegov nadaljnji odtok proti izlivu v Mestno Gradaščico. S širitvijo tlakovanih urbanih površin so se koeficienti odtoka bistveno povečali. Zaradi povečanega površinskega odtoka z neprepustnih površin prihaja na ravninskih predelih ob nastopu visokih voda do poplav. Z izdelavo hidrološkega modela porečja Glinščice pa se je izkazalo, da poplavna ogroženost dolvodnih urbanih območij ni direkten rezultat povečanja odtočnih koeficientov z gorvodnega prispevnega območja, ampak predvsem neprimernih regulacijskih ureditev rečne struge z nezadostno hidravlično prevodnostjo (Brilly et al., 2006). Na podlagi hidrološkega modela predvidevamo, da je sicer povečan površinski odtok z novih urbanih prispevnih površin Glinščice (področje Podutik, Kamna Gorica, Koseze, Zapuze, Dravlje) zaradi topografije ravninskega dela prispevnega območja dolvodno upočasnjen do te mere, da se čas koncentracije padavinskega odtoka, merjen na merilcu višine vode Starflow, postavljenem v neposredni bližini biološkega središča, ni občutno spremenil. Čas nastopa konice poplavnega vala je med 2 in 3 ure. Na sliki 4 je prikazan manjši poplavni val na Glinščici, ki se je formiral po poletni nevihti, v kateri je padlo 22 mm dežja.



Slika 4 – Manjši poplavni val na Glinščici

Kontinuirno spremljanje nivojev vode v vodotoku pa je razkrilo drug problem ekomorfološko degradirane tlakovane struge Glinščice. Tlakovana struga Glinščice je z vidika hidravličnih razmer ugodna za učinkovito odvajanje padavinskega odtoka, kar je razvidno tudi iz hitrosti upada vodostaja v primeru hidrograma predstavljenega na sliki 4. Kmalu po nastopu konice hidrograma odtoka se vodostaj hitro zniža, posledično je vodnatost struge Glinščice večino časa zelo majhna. Tlakovana struga tudi ne omogoča izmenjave vode v strugi in podtalne vode in s tem zadrževanja hitrosti upada baznega odtoka.

Spremenljivost kemizma vode v strugi Glinščice

Z vidika preučevanja kakovostnega stanja vode v urbanih vodotokih so za spremljanje vplivov urbanih površin na vodotok zlasti zanimivi manjši urbani vodotoki, v katerih je dinamika časovne in prostorske spremenljivosti kakovostnega stanja vode izrazitejša. Merjenje kemizma vode z uporabo minisonde Hydrolab v izbranih merskih točkah vzdolž struge Glinščice (Slika 1) se je izvajalo vsaj 4-krat letno od julija 2003 do maja 2005. Na ta

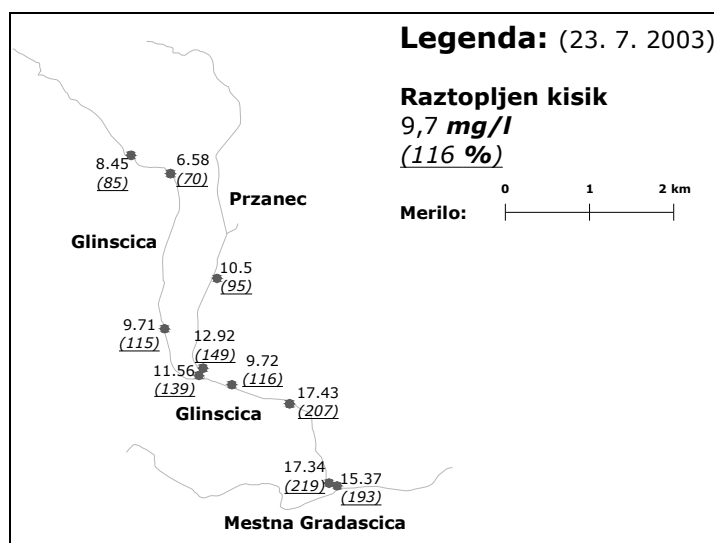
način se je skušalo pridobiti vpogled v sezonsko spremenljivost kvalitete vode, izvajale pa so se tudi kontinuirne 24-urne meritve kvalitete vode s 15-minutnim intervalom zajema podatkov.

Rezultati kažejo izrazito sezonsko spremenljivost kemizma vode v Glinščici, ki je posledica tako vplivov urbanih površin kot tudi hidromorfoloških karakteristik regulirane struge. Za obrazložitev vplivov spremenjenih hidroloških in hidromorfoloških razmer se bomo v nadaljevanju osredotočili na spremenljivost količine raztopljenega kisika v vodotoku ter dinamiko hranil (nitrata in amonija).

Raztopljeni kisik

Količina raztopljenega kisika v vodnem okolju je pomemben kazalec kakovosti vode in njene primernosti za obstoj živih bitij. Vrednost raztopljenega kisika v vodi pomeni razpoložljivost kisika za živa bitja v vodi. Kisik je pomembna komponenta vsakega aerobnega metabolizma v vodi. Je indikator stopnje degradiranosti stanja vodnega okolja ter je ključen pri samočistilni sposobnosti vodotoka. Gledano z vidika sezonske spremenljivosti koncentracije kisika v vodnem okolju je opazna sezonska spremenljivost kisikovih razmer, ki je v veliki meri posledica temperaturnih sprememb vode, od katerih je topnost kisika v vodi močno odvisna. V primeru Glinščice so bili zlasti zanimivi podatki o koncentracijah kisika v poletnem času. Na sliki 5 je prikazana koncentracija kisika julija 2003 v izrazitem sušnem obdobju z visokimi temperaturami. V tem času je bil pretok v Glinščici le 11 l/s (srednji letni pretok je 382 l/s).

Izmerjena je bila hipersaturacija nad 200 % na odseku struge, ki je bil z regulacijskimi deli umeščen v betonsko strugo. Ob tem je potrebno poudariti, da je betonska struga močno preraščena z biološko obrastjo, ki s fotosintetsko aktivnostjo vnaša v vodo dodatne količine kisika. Na obravnavanem odseku je betonska struga večinoma nezasenčena, temperatura vode pa je v času meritev dosegla 27 °C. Na gorvodnih odsekih, kjer struga ni obložena z betonskim tlakovanjem dna in dela brežin, struga pa je delno preraščena s sukcesivno riparijsko vegetacijo, je zasičenost s kisikom nižja. Žal meritve v tem obdobju nismo izvajali v nočnem času, ko zaradi odsotnosti fotosintetske aktivnosti biološke obrasti in njene respiratorne aktivnosti koncentracija raztopljenega kisika verjetno drastično pade.

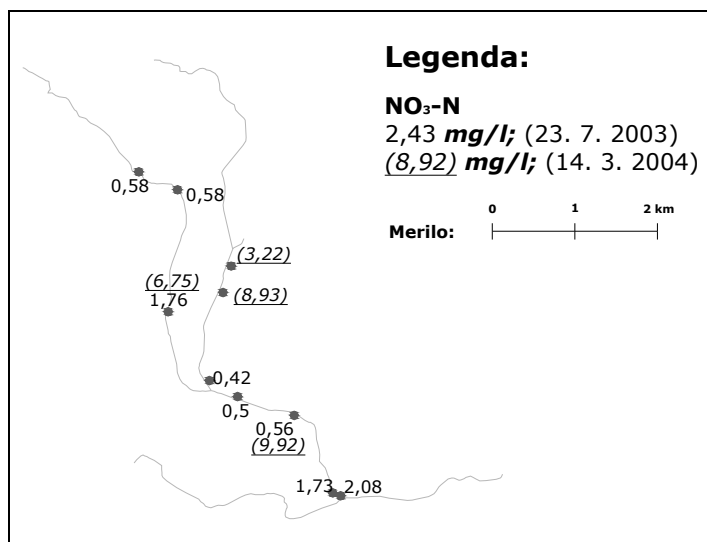


Slika 5 – Koncentracija in zasičenost z raztopljenim kisikom julija 2003

Nitrat in amonij

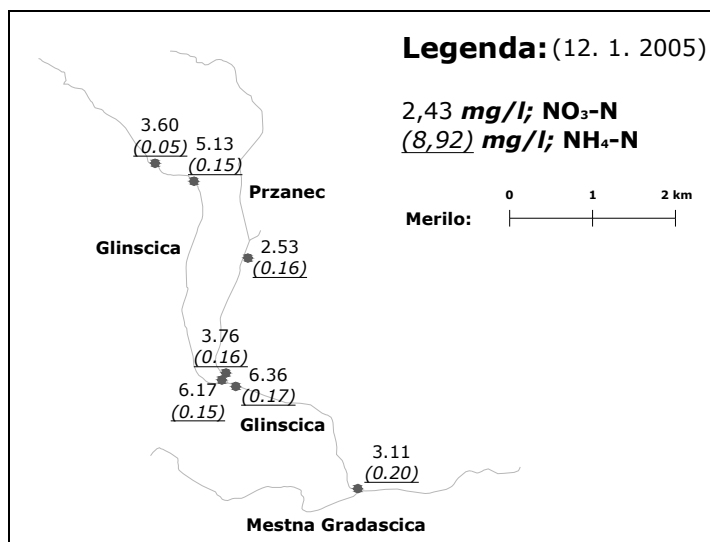
Dušik je bistveno hranivo v vodnih ekosistemih, toda ko se njegova razpoložljivost poveča, lahko pride do pojava eutrofikacije. Amonij je toksičen za vodne organizme, njegova koncentracija pa je odvisna od pH. Kemijskim spremembam v vodi sledijo spremembe v biološki produktivnosti, vrstni sestavi življenjskih združb in nenazadnje v fizičnem stanju vodnega telesa. Dušik je redko limitirajoče hranivo (Liebigov zakon minimuma) v vodnih sistemih. Koncentraciji amonija in nitrata v vodnem telesu sta pomembna indikatorja njegovega ekološkega stanja, ti dve kemijski obliki dušika v vodnem okolju pa obenem predstavljata glavni delež raztopljenega neorganskega dušika v vodnem okolju. Za spremljanje ekoloških kontrol sproščanja amonija in nitrata v vodno okolje je potrebno izvajati meritve, ki omogočajo časovno in prostorsko sledenje vnosa hranil v vodno okolje. V že omenjenem sušnem obdobju julija 2003, ko je bila temperatura vode ekstremno visoka, so bile koncentracije nitratnega dušika v Glinščici na izlivnem odseku zelo nizke (pod 2,08 mg/l) (Slika 6). Na nezasenčenem tlakovanem delu struge v okolici Biološkega središča (merski točki GL3 in GL4) je bila koncentracija nitratnega dušika še nižja, le okoli 0,5 mg/l-N. To lahko pripisujemo majhnemu stekanju vode z okoliških urbanih in kmetijskih površin ter intenzivni fotosintetski aktivnosti biološke obrasti v strugi, ki za svojo aktivnost potrebuje nitratni dušik kot hranilo. Nekatero druge raziskave na manjših urbanih vodotokih so pokazale visoke koncentracije raztopljenega nitratnega dušika kar je posledica omejenega razredčenja ob nizkih pretokih v poletnem času (Worrall and Burt, 1998).

Najvišje koncentracije raztopljenega nitratnega dušika v vodotoku so bile izmerjene marca 2004 (Slika 6). Vrednosti so bile do 18-krat višje kot v juliju 2003. Povišane koncentracije nitratnega dušika so verjetno posledica povečanega dotoka zalednih voda z urbanih in kmetijskih površin ter uporabe gnojil v tem obdobju. Prav tako je vidno povečanje koncentracije nitratnega dušika dolvodno po strugi skozi urbano območje.



Slika 6 – Koncentracije nitratnega dušika v Glinščici julija 2003 in marca 2004

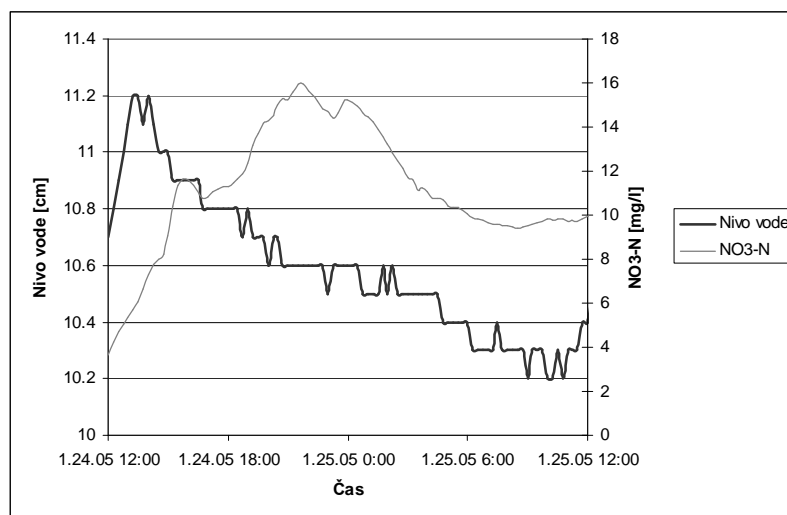
Koncentracije nitratnega in amonijevega dušika v sušnem zimskem obdobju 2005 so prikazane na sliki 7. Koncentracije nitratnega dušika so do 13-krat višje kot poleti 2003, kar lahko delno pripišemo odsotnosti biološke aktivnosti v strugi, ki za svoje delovanje potrebuje hranila.



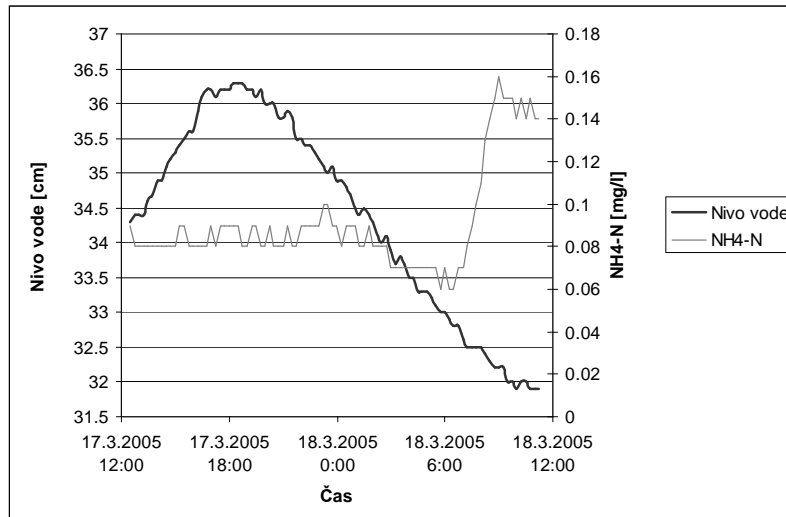
Slika 7 – Koncentracije nitratnega in amonijevega dušika v Glinščici julija 2003 in marca 2004

Dolvodno povišanje koncentracij nitratnega dušika ni bilo opazno, koncentracija amonijevega dušika pa se dolvodno skozi urbano območje poveča.

Povsem nov vpogled v dinamiko časovne variabilnosti koncentracij nitratnega in amonijevega dušika v vodnem okolju nam omogoča kontinuirno merjenje. Izvedeni sta bili dve enodnevnii kontinuirni meritvi z minisondo Hydrolab v merski točki GL 11. Točka leži dolvodno od urbanih površin Podutika ter kamne Gorice. Obravnavani odsek struge je bil predviden kot suhi zadrževalnik za visoke vode. Zaradi neizvajanja vzdrževalnih del se je na tem odseku sukcesijsko razvilo manjše močvirje, v katerega so speljani iztoki meteorne kanalizacije z bližnjih urbanih površin. Meritve s 15-minutnim intervalom zajema podatkov so razkrile veliko spremenljivost v koncentracijah nitratnega in amonijevega dušika v vodotoku, ki pa ni bila posledica spremenljivosti hidroloških razmer v času izvajanja kontinuirnih meritev. V času meritev se je namreč nivo gladine vode spremenil le za nekaj centimetrov. Variranje koncentracij nitratnega in amonijevega dušika je najverjetneje posledica nepredvidenih izlivov nepravilno izvedenega omrežja komunalne odpadne vode v vodotok preko sistema meteorne kanalizacije (Slika 8 in Slika 9).

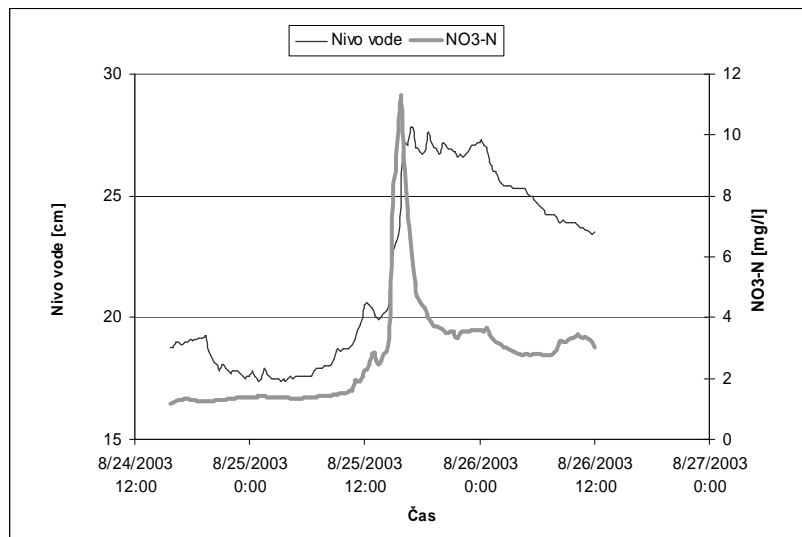


Slika 8 – Kontinuirne meritve koncentracije nitratnega dušika januarja 2005



Slika 9 – Kontinuirne meritve koncentracije amonijevega dušika marca 2005

Hidrološko pogojena dinamika koncentracije nitratnega dušika se vidi iz slike 10. Manjši poplavni val na sliki je bil rezultat 11 mm padavin med nevihto avgusta 2003. Viden je hiter dvig koncentracije nitratnega dušika v času na območju dvigovanja nivoja vode z 2.58 mg/l na 11.32 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ v obdobju dveh ur. Kmalu zatem nastopi razredčenje ter padec koncentracije nitratnega dušika v vodotoku zaradi stekanja padavinskega odtoka, ki je s hranili manj obremenjen.



Slika 10 – Kontinuirne meritve koncentracije nitratnega dušika med nevihto avgusta 2003

Zaključek

Z monitoringom ekohidrološkega stanja na potoku Glinščica smo skušali opredeliti vpliv urbanih prispevnih površin na urbane odseke vodotokov. Ključnega pomena pri tem je spremljanje stanja urbanega vodotoka v različnih letnih časih ter specifičnih hidrološko pogojenih razmerah v strugi vodotoka.

Vpliv urbanega okolja na ekohidrološko stanje majhnega urbanega vodotoka Glinščica na urbanem območju Ljubljane je kompleksen in predvsem v hidrološkem smislu ne izkazuje povsem tipičnega odziva prispevnega območja na širitev urbanih neprepustnih površin, saj le-ta ni bistveno vplivala na hitrost koncentracije padavinskega odtoka. Slabo ekohidrološko stanje vodnega telesa Glinščice lahko le delno pripišemo spremembi rabe obdajajočih površin. Opazovane hidrološke spremembe in sezonsko spremenljivost kemizma vode (vsebnost raztopljenega kisika, variacije v koncentraciji nitrata in amonija) so predvsem posledica hidromorfoloških razmer, ki vladajo v regulirani strugi Glinščice. Kvaliteta vode v Glinščici ni problematična z vidika bodočega načrtovanja rehabilitacijskih ukrepov, je pa Glinščica zaradi večinoma majhnih količin vode v strugi podvržena nevarnosti onesnaženja iz okoliških urbanih površin.

Za izboljšanje ekohidrološkega stanja Glinščice bi bilo potrebno obnoviti določene hidromorfološke elemente v strugi in ob njej, kar bi povzročilo popestritev hidromorfologije trapezne rečne struge ob upoštevanju omejitev glede protipoplavne varnosti okoliških urbanih površin. Za izboljšanje habitatov vodnih organizmov so med hidromorfološkimi parametri najbolj pomembni: pretok vode, nihanje vodne gladine, lokalna hitrost vodnega toka, globina vode, velikost in gibljivost plavin itd. Za ekološko obnovo vodotokov in izboljšanje njihove samočistilne sposobnosti je potrebno ohranjanje vsaj dobrega ekološkega stanja, ki vključuje tudi vrstni sestav in biomaso vodnih organizmov v vseh letnih časih. Vzpostaviti se morajo ustrezne ekološke razmere za ohranjanje diverzitete različnih tipov vodotokov navkljub spremenjenim hidrološkim karakteristikam prispevnih površin, kakršne se pojavijo s širitvijo urbanizacije.

Literatura

- Brilly, M., Rusjan, S., Vidmar, A. 2006. Monitoring the impact of urbanisation on the Glinscica stream, *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, 17: 1089-1096.
- Fogg, J., Wells, G. 1998. *Stream Corridor Restoration, Principles, Processes, and Practices*, U.S. Department of Agriculture, U.S. Environmental Protection Agency, Tennessee Valley Authority, Federal Emergency Management Agency, U.S. Department of Commerce, U.S. Department of Housing and Urban Development, U. S. Department on the Interior: 536 str.
- Rusjan, S., Fazarinc, R., Mikoš, M. 2003. Možnosti za revitalizacijo urbaniziranih vodotokov na primeru Glinščice v Ljubljani – River rehabilitation of Urban Watercourses on the Axample of the Glinščica River in Ljubljana. *Acta hydrotechnica* 21/33: 1–22.
- SEPA, 2000. *Watercourses in the Community, A guide to sustainable watercourses management in the urban environment*, Scottish Environmental Protection Agency, <http://www.sepa.org.uk/publications/leaflets/hei/index.htm>
- VGI, 2002. Kategorizacija pomembnejših slovenskih vodotokov po naravovarstvenem pomenu, Poročilo Vodnogospodarskega inštituta, C-274, Ljubljana.
- VGI, 2001. Urejanje voda na območju Mestne občine Ljubljana, Glinščica dolvodno od Brdnikove ulice (idejna zasnova) Vodnogospodarski inštitut – vodnogospodarski oddelek, C-1099, Ljubljana.
- Wharton, G. 2000. *Managing river environments*, Cambridge, Cambridge University Press: 90 p.
- Worrall, F., Burt, T.P., 1998. Decomposition of river water nitrate time-series – comparing the agricultural and urban signs, *The Science of the Total Environment*, 210/211, 153-162.

Novi koordinatni sistem v Sloveniji

Bojan Stopar, Miran Kuhar, Božo Koler*

Povzetek

V prispevku predstavljamo zasnovo in realizacijo novega državnega koordinatnega sistema Slovenije. Nov državni koordinatni sistem bo realizacija evropskega referenčnega sistema ESRS (European Spatial Reference System) na našem ozemlju. ESRS bosta sestavljala nov horizontalni sistem ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) in nov višinski sistem. Nova bo tudi kartografska projekcija. ESRS naj bi zagotavljal dolgoročno stabilno referenčno osnovo za potrebe strok in aktivnosti, ki proizvajajo ali uporabljajo podatke vezane na prostor.

Uvod

Naloga geodetske znanosti in stroke ter na operativnem nivoju državne geodetske službe je zagotovitev referenčne osnove za enolično in nedvoumno lociranje stanj in pojavov v fizičnem prostoru. Takšna referenčna osnova je koordinatni sistem. V dosedanjem delu na projektu vzpostavitve ESRS smo pripravili teoretične in praktične podlage za uvedbo evropskega koordinatnega sistema v Sloveniji. Nov koordinatni sistem je pomemben z več vidikov - od možnosti uporabe novih tehnologij in metod v praksi številnih strok in resorjev, geodezije in prostorskih informacijskih sistemov, geologije, geofizike in seizmologije, uporabe metod satelitske navigacije v vseh vrstah prometa, razvoja lokacijsko podprtih storitev do potreb policije, vojske, zaščite in reševanja ter splošnega izboljšanja kakovosti geolokacije. Ker se dostopnost satelitskih navigacijskih sistemov povečuje, je naloga vzpostavitve novega državnega koordinatnega sistema velikega pomena za vso na prostor vezano infrastrukturo in celotno družbo.

Obstoječi državni koordinatni sistem Slovenije so zasnovale, vzpostavile in vzdrževale štiri države: Avstro-Ogrska monarhija, Kraljevina Jugoslavija, Socialistična federativna republika Jugoslavija in Republika Slovenija. Pestra zgodovina nastajanja obstoječega državnega koordinatnega sistema je razlog, da je popolna rekonstrukcija njegovega nastajanja praktično nemogoča. Veliko podatkov o obstoječem koordinatnem sistemu je uničenih ali nedostopnih. Zato se v razmišljanjih o zagotovitvi koordinatnega sistema ustrezne kakovosti nismo odločili za sanacije obstoječih geodetskih mrež, ampak smo sprejeli odločitev o uvedbi novega državnega koordinatnega sistema v Republiki Sloveniji. To odločitev je sprejela in potrdila tudi vlada Republike Slovenije, ki je potrdila strategijo osnovnega geodetskega sistema, katere glavni cilj je vzpostavitev novega državnega koordinatnega sistema v Sloveniji.

Nov državni geodetski koordinatni sistem bo v praktično uporabo uveden postopoma: 1. januarja leta 2008 bomo začeli z evidentiranjem nepremičnin v novem sistemu, 1. januarja 2010 bodo vsi koordinatni prostorski podatki vezani na nov koordinatni sistem. V obdobju aktivnosti vzpostavitve novega sistema pa se je izkazalo, da želijo nekatere stroke uporabljati razpoložljivo infrastrukturo bodočega koordinatnega sistema že danes. Temu se deloma prilagajamo že v času trajanja projekta. Cilj vzpostavitve novega državnega

* izr.prof.dr. Bojan Stopar, doc.dr. Miran Kuhar, doc.dr. Božo Koler, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Gradbeništvo in Geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

koordinatnega sistema je namreč izgradnja sistema, ki bo namenjen različim uporabnikom in proizvajalcem podatkov o lokaciji v prostoru.

V dosedanjem izvajanju projekta vzpostavitve novega državnega koordinatnega sistema smo pridobili vpogled v stanje trenutno aktualnega državnega koordinatnega sistema, definirali komponente novega sistema, pripravili predloge za transformacije prostorskih podatkov iz trenutnega v nov koordinatni sistem, izdelali programsko opremo za transformacijo prostorskih podatkov med sistemoma ter pridobili vpogled v geokinematično dogajanje slovenskega ozemlja. V nadaljevanju podajamo pregled opravljenih del po posameznih sklopih.

Obstoječ državni koordinatni sistem Slovenije

Državni koordinatni sistem praktično predstavljajo državne geodetske mreže. Tradicionalno so to tri osnovne geodetske mreže: astrogeodetska in položajna – horizontalna geodetska mreža, nivelmanska – višinska geodetska mreža in gravimetrična mreža. Vse mreže skupaj zagotavljajo referenčno osnovo za določitev položaja v 3–razsežnem prostoru. Metode, ki so bile uporabljane za določitev koordinat točk v teh mrežah, so bila astronomska opazovanja, gravimetrična opazovanja in klasična geodetska izmera (triangulacija, trilateracija, trigonometrično višinomerstvo, nivelman...). Zato imenujemo te geodetske mreže tudi klasične geodetske mreže.

Obstoječa astrogeodetska in položajna – horizontalna geodetska mreža Slovenije

Raziskave stanja obstoječe astrogeodetske mreže so se začele koncem 70–ih let prejšnjega stoletja in so potekale pod vodstvom dipl.inž. Marjana Jenka na Geodetskem zavodu SRS (Jenko, 1986). Raziskave so se nadaljevale tudi v kasnejših obdobjih (Stopar, 1995, Stopar, Kuhar, 1997) in so vključevale tako analize originalnih podatkov terestričnih kotnih in dolžinskih opazovanj, ki smo jih imeli na razpolago, kot tudi analizo koordinat točk od začetkov nastajanja do kasnejšega dopolnjevanja mreže. Te analize so obsegale analize kakovosti astrogeodetske mreže kot take, niso pa v mreži izvedli nobenega posega, s katerim bi spreminjali koordinate točk v astrogeodetski mreži ali v trigonometričnih mrežah višjih redov. S pojavom in široko dostopnostjo tehnologije GPS smo v začetku 90–ih let prejšnjega stoletja pridobili možnost vrednotenja kakovosti geodetskih mrež tudi glede na rezultate GPS-izmer (Stopar, Kuhar, 2001, Stopar, Kuhar, 2003). Obe skupini analiz sta pokazali, da je kakovost obstoječih mrež preslaba za sodobne potrebe. Na osnovi teh analiz in dejstva, da je bila astrogeodetska mreža Slovenije skoraj 50 let nedotaknjena, smo se odločili, da v astrogeodetsko mrežo ter v trig. mreže II., II. dop. in III. gl. reda ne bomo posegali. Geodetske mreže nižjih redov: III. dop. in IV. reda pa so se v okviru GPS-izmer navezovalnih mrež od začetka 90–ih let prejšnjega stoletja skušale optimalno prilagoditi trig. mrežam višjih redov, tako da smo izboljševali homogenost teh mrež v okviru vzpostavitve t. i. navezovalnih mrež. Lahko trdimo, da so geodetske mreže na območjih, kjer so bile na novo vzpostavljene navezovalne mreže, sedaj dokaj solidne kakovosti in bi svoje naloge na lokalnem nivoju, tudi z uporabo GPS-metod izmere, lahko opravljale še kar nakaj časa.

Poligonske, linijske in na novo vzpostavljene navezovalne mreže so bile nato referenca za detajlno izmero. Postavlja se vprašanje, ki pa zaenkrat nima celovitega odgovora, kako so posegi v mreže nižjih redov in vzpostavitev navezovalnih mrež vplivali na kakovost koordinatnih podatkov na nivoju detajla: zemljiškega katastra in topografije. Iz analiz, ki

pa so prostorsko in po obsegu zelo omejene, izhaja, da so razmere na nivoju detajla po Sloveniji zelo različne, tako v smislu njihove absolutne kot tudi relativne koordinatne kakovosti. Praviloma pa je kakovost detajla na območjih navezovalnih mrež, ki so bile vzpostavljene v 90-letih in kasneje, ustrezne koordinatne kakovosti. Vrednotenju skladnosti kakovosti geodetske mreže in detajla v obstoječem koordinatnem sistemu bo pri uporabi podatkov iz obstoječega sistema potrebno posvečati potrebno pozornost tudi v bodoče.

Višinska geodetska mreža Slovenije

Temeljna geodetska višinska mreža Republike Slovenije je podana z višinami reperjev v normalnem ortometričnem sistemu višin, ki je zastarel in se je uveljavil v 19. stoletju, ko so se na območju Evrope izvajale prve obsežne izmere nivelmanskih mrež (npr. avstroogrška izmera). Višine točk niso določene na osnovi nivelmanske in gravimetrične izmere, ki predstavljata osnovo za vzpostavitev sodobnega višinskega sistema.

Poleg tega v sistemu normalnih ortometričnih višin ne obstaja geometrijska izhodiščna ploskev kot v primeru ortometričnih višin (geoid) in normalnih višin (kvazigeoid). Glede na razvoj in prodor metode GNSS-izmere v prakso, tako ni možno določiti geoidne/kvazigeoidne višine, ki nam omogoča preračunavanje elipsoidnih višin v različne višinske sisteme in obratno. Referenčno ploskev predstavlja ničelna nivojska ploskev, ki jo geometrijsko določa položaj vseh točk, ki so določene v normalnih ortometričnih višinah na ozemlju Slovenije. Ploskve se ne da izračunati s pomočjo enačb. Aproximiramo jo lahko samo z neko analitično ploskvijo izračunano na osnovi velikega števila točk z znano elipsoidno višino in normalno ortometrično višino.

Trenutno je nivelmanska mreža Slovenije določena na osnovi zelo raznovrstnih podatkov. Tako so v nivelmansko mrežo vključeni nivelmanski poligon iz izmere I. NVN, ki je potekala po drugi svetovni vojni, iz izmere II. NVN, ki je potekala na območju Slovenije v začetku sedemdesetih, in izmere nivelmanskih poligonov I. reda, ki so potekale po letu 1989. Poleg časovne raznovrstnosti podatkov o nivelmanskih izmerah, ki so vključeni v nivelmansko mrežo Slovenije, se moramo zavedati, da je na območju Slovenije prisotno intenzivno geodinamično dogajanje, ki se kaže tudi v relativno velikih letnih hitrostih vertikalnih premikov (Koler, 2006). Glede na dejstvo, da so zadnje izmere nivelmanskih poligonov, ki so vključeni v nivelmansko mrežo Slovenije potekale pred skoraj 20, 35 oziroma 45 leti, je jasno, da obstajajo razlike med višinami reperjev na terenu in podatki iz Centralne baze geodetskih točk, ki jo vzdržuje Geodetska uprava Republike Slovenije. Glede na hitrosti vertikalnih premikov na območju Slovenije, ki so določene na osnovi izmere I. in II. NVN ter izmer po letu 1989, lahko te razlike znašajo od centimetra pa do več kot decimetra.

Višine vseh reperjev v slovenski nivelmanski mreži so izračunane v vertikalnem datumu Trst. Vertikalni datum predstavlja ničelna nivojska ploskev oziroma srednji nivo morja, ki je bil določen leta 1875 na osnovi enoletnih mareografskih opazovanj na pomolu Sartorio v Trstu. Nivelmanska mreža Republike Slovenije je navezana na avstroogrski fundamentalni reper številka No 394 (FR 1049), ki je stabiliziran pod Pohorjem v bližini Ruš. Višina normalnega reperja je bila določena v času avstroogrške nivelmanske izmere, ki je potekala na območju Slovenije.

S problemom določitve vertikalnega datuma avstroogrške nivelmanske mreže so se ukvarjali različni geodeti in geofiziki. V literaturi lahko zasledimo vrednosti o razliki položaja primerjalne ploskve, ki je bila prevzeta za vertikalni datum avstroogrške

nivelmanske mreže, ki znašajo od 8.93 cm (Kasumović, 1950) do 18.5 cm (Bilajbegović in Marchesini, 1991).

Za povezavo obstoječega in novega državnega višinskega sistema je bilo potrebno izvesti analizo stanja v obstoječem višinskem sistemu. Na osnovi opravljene analize večkratnih preračunavanj nivelmanske mreže v preteklosti smo ugotovili, da nadmorske višine točk niso določene v enotnem višinskem datumu in da imajo nekatere višinske točke tudi več različnih višin. Tako smo imeli na posameznih območjih Slovenije opravka s »stopnicami«, ki smo jih odpravili s hkratno izravnavo celotne nivelmanske mreže Slovenije (Koler, Vardjan, 2003). Slabost te izravnave je dejstvo, da je bila izravnava opravljena v sistemu niveliranih višinskih razlik. Zato bo potreben ponoven preračun celotne nivelmanske mreže v sistemu geopotencialnih kot. Za pridobitev kakovostnih geopotencialnih kot pa potrebujemo izvedbo kakovostnih relativnih gravimetričnih opazovanj vzdolž nivelmana visoke natančnosti.

Gravimetrična mreža Slovenije

V zgodovinskem smislu sta na območju Slovenije obstajali gravimetrični mreži I. in II. reda, ki sta bili vzpostavljeni v okviru bivše Jugoslavije. Gravimetrično mrežo I. reda je tvorilo 15 točk, v Sloveniji je točka v Ljubljani. Konec 60-ih let prejšnjega stoletja sta bili obe mreži združeni v eno t. i. osnovno gravimetrično mrežo. To mrežo je tvorilo približno 350 točk, od tega je bilo v Sloveniji 32 točk. Meritve so se nanašale na stari Potsdamski težnostni sistem (»Potsdam Gravity System«), ki je bil mednarodno uveljavljen gravimetrični sistem od leta 1909 do leta 1971.

V Sloveniji obstajajo tudi podatki obsežne regionalne in lokalne gravimetrične izmere, ki jo je izvajal Geološki zavod Slovenije v obdobju po letu 1951. Regionalna izmera je bila opravljena z namenom izdelave regionalne gravimetrične karte Slovenije. Skupno je izmera na celem ozemlju obsegala približno 2800 gravimetričnih točk. Lokalno oz. detajlno izmero so izvajali strokovnjaki Geološkega zavoda Ljubljana za potrebe raziskav v zvezi z nafto in zemeljskim plinom. Popolnejši podatki izmer obstajajo samo za obdobje 1985–1991 (Koler et al., 2005).

Leta 1995 je Geodetska uprava Republike Slovenije začela z delom na obnovi gravimetričnih mrež na območju Slovenije. Tako je bilo stabiliziranih šest novih absolutnih gravimetričnih točk. Te točke so: grad Bogenšperk, Gotenica, cerkev sv. Areha na Pohorju, Sevniški grad, grad Socerb ter trdnjava Kluže pri Bovcu. Te točke so tudi osnova nove gravimetrične mreže Slovenije (Koler et al., 2006).

Višinska referenčna ploskev Slovenije

V Sloveniji danes kot višinsko referenčno ploskev uporabljamo geoid. V Sloveniji imamo tri modele ploskve geoida, en »relativni geoid« in dva »absolutna geoida«. Relativni geoid je izračunan leta 1992 za območje Slovenije in dela Hrvaške glede na referenčni elipsoid Bessel (Čolić et al., 1992). Določen je na osnovi astronomskih koordinat 42 točk astrogeodetske mreže Slovenije. Oba absolutna modela geoida »Zagrebski model geoida« iz leta 2001 in Evropski gravimetrični kvazigeoid iz leta 1997 sta izračunana glede na referenčni elipsoid GRS-80 (Geodetic Reference System). »Zagrebski model geoida« je izračunan na osnovi odklonov navpičnice in anomalij težnosti. Geoidna ploskev je preračunana v obstoječ uradni višinski sistem Slovenije na osnovi »nadmorskih« višin 163 t. i. GPS/niveliranih točk, ki so zelo neenakomerno

razporejene na območju Slovenije (Pribičević, 2000). Uporabljene »nadmorske« višine pa tudi ne ustrezajo novim uradnim višinam, ker so v izračun privzete vrednosti višin pred novim preračunom višin reprejev v RS leta 2000. Evropski gravimetrični geoid 1997 (EGG97) je v osnovi izračunan kot kvazigeoid in s pomočjo znane zveze geoidnih višin in anomalij višin prek Bouguerovih anomalij težnosti preračunan tudi v geoid. Ker je EGG97 v višinskem smislu podan glede na Amsterdamski mareograf, nastopajo na ozemlju RS razlike v vrednosti do 0,5 m. Zaradi tega je potrebno vse interpolirane vrednosti geoidnih višin iz tega modela geoida preračunati v uradni višinski sistem RS. Za ta preračun pa potrebujemo določeno število t. i. GPS/niveliranih točk, s katerimi izvedemo preračun (Denker, Torge, 1997).

Strogo vzeto pa v višinskem sistemu normalnih ortometričnih višin ne obstaja analitično definirana višinska referenčna ploskev kot v primeru ortometričnih višin (geoid) in normalnih višin (kvazigeoid). Referenčna ploskev je geometrijsko mesto točk vseh normalnih ortometričnih višin na ozemlju Republike Slovenije z vrednostmi višin enakimi 0. Aproximiramo jo lahko samo z analitično referenčno ploskvijo, izračunano na osnovi velikega števila točk z znano elipsoidno (GPS) višino in normalno ortometrično višino. Če želimo torej geoid praktično uporabiti v povezavi z elipsoidnimi (GPS) višinami, ga je potrebno preračunati - transformirati v državni višinski datum. Tako preračunana ploskev pa ni več geoid, temveč »višinska referenčna ploskev«, ki v sebi vsebuje skupne vplive pogreškov vhodnih podatkov, metode izračuna ter geodinamiko v višinskem smislu. Ne glede na to, lahko takšno višinsko referenčno ploskev uspešno uporabimo za izračun višin s pomočjo t. i. GPS-višinomerstva.

Kartografska projekcija

Uradna kartografska projekcija Slovenije je Gauss-Kruegerjeva projekcija meridijanskih con. Referenčni elipsoid projekcije je enak referenčnemu elipsoidu položajne geodetske mreže, ki je elipsoid Bessel 1841. Gauss-Krügerjeva projekcija je prečna Mercatorjeva projekcija, dotikalni meridian je meridian z geografsko dolžino 15°. Projekcija je modulirana z modulom 0,9999 ter pomaknjena proti severu za -5000000 m in proti vzhodu za 500000 m.

Nov državni koordinatni sistem

V realizaciji novega državnega koordinatnega sistema v Sloveniji povzemamo ideje in postopke, s katerimi vzpostavljajo sodobne referenčne sisteme v drugih evropskih državah. Pri vzpostavitvi – praktični realizaciji sistema v Sloveniji pa je nekaj specifičnosti. Največji problem, ki ga v moramo v Sloveniji rešiti, je dejstvo, da obstoječ koordinatni sistem ni bil vzdrževan ter tako sedaj ne opravljamo le še enega »majhnega koraka« v vzdrževanju sistema, ampak opravljamo »velik korak«, vzpostavitev novega sistema.

Realizacija novega horizontalnega koordinatnega sistema je danes naloga, ki je lažje izvedljiva kot podobne naloge v preteklosti. Tehnološki napredek, predvsem pa dostopnost visokokakovostnih opazovanj v okviru GNSS (Global Navigation Satellite System), omogočata kakovostno realizacijo terestričnih koordinatnih sistemov. Nov horizontalni koordinatni sistem je tako realiziran s sodobnimi postopki satelitske geodezije. V realizaciji novega višinskega sistema nismo imeli na razpolago tako zelo revolucionarnih visokotehnoloških orodij, kljub temu pa dostopnost absolutnih in relativnih gravimetričnih opazovanj zagotavljata realizacijo novega višinskega sistema bistveno višje kakovosti od

obstoječega. Nov višinski sistem praktično še ni v celoti realiziran, bo pa realiziran s kakovostnimi nivelmanskimi in gravimetričnimi opazovanji.

Nov državni koordinatni sistem Slovenije bo realizacija evropskega referenčnega sistema ESRS (European Spatial Reference System) na našem ozemlju. Horizontalno komponento predstavlja ETRS89 (European Terrestrial Reference System) in višinsko komponento, ki bo temeljila na EVRS (European Vertical Reference System). ESRS naj bi zagotavljal dolgoročno prostorsko in časovno stabilno referenčno osnovo za vse potrebe.

Nov koordinatni sistem bo v osnovi 4–razsežen, zato smo, v okviru več projektov, skušali ugotoviti oziroma oceniti dejansko recentno geodinamično dogajanje na našem ozemlju. Slovenija leži na stiku Jadranske plošče, Vzhodnih Alp in Panonske nižine, kjer je geodinamično dogajanje slabo raziskano. S ponavljajočimi geodinamičnimi opazovanji pridobivamo prvi vpogled v to dogajanje. Trenutno imamo za približno 50 točk na razpolago vektorje hitrosti sprememb koordinat oziroma recentne geodinamike. Predvidevamo, da bodo ti rezultati prispevali k razumevanju geoloških, tektonskih in seizmičnih procesov, ki se dogajajo na našem ozemlju.

Nov horizontalni koordinatni sistem

Horizontalno komponento novega državnega koordinatnega sistema predstavlja realizacija ETRS89 koordinatnega sistema v Sloveniji. Realizacija tega sistema je bila izvedena v okviru izmer EUREF (EUropean REference Frame), ki so potekale v 90–ih letih prejšnjega stoletja. Rezultati teh izmer so koordinate točk v koordinatnem sistemu ETRS89 in predstavljajo ogrodje novega horizontalnega sistema. Z začetkom operativnega delovanja omrežja GNSS-postaj SIGNAL (SI-Slovenija, G-geodezija, NA-navigacija, L-lokacija) pa smo pridobili sodobno omrežje, uporabno za vse naloge določanja lege v prostoru. Z uvedbo novega horizontalnega koordinatnega sistema se spreminja tudi referenčna ploskev horizontalnega sistema, ki je sedaj rotacijski referenčni elipsoid GRS 80, s parametroma: veliko polosjo $a = 6378137,00$ m in prvo sploščenostjo $f = 1/298,257222101$ (Radovan et al., 2006).

Mreža točk v ETRS89 koordinatnem sistemu

Koordinatni sistem ETRS89 smo na našem ozemlju realizirali v okviru 3 izmer EUREF v letih 1994, 1995 in 1996. GPS-opazovanja, opravljena v okviru teh 3 izmer na območju Slovenije, so bila dokončno obdelana v letih 2002 in 2003. Obdelava je bila že peta po vrsti, bila pa je prva in edina, ki je bila v celoti opravljena v Sloveniji. Obdelava je vključevala GPS-izmere EUREF SLO-CRO '94, EUREF SLOVENIA '95 in CRODYN '96 in CROREF '96. Rezultat izmer in obdelav podatkov so koordinate 5 uradnih EUREF-točk in koordinate dodatnih 41 točk v Sloveniji (Berk et al. 2003). Za ta izračun smo pridobili status uradnosti za uporabo v okviru koordinatnega sistema ETRS89, s potrditvijo rezultatov na letni konferenci EUREF v Toledu v Španiji junija 2003, z resolucijo št. 1 te konference (EUREF, 2003). 46 geodetskih točk s koordinatami določenimi v koordinatnem sistemu ETRS89, veljavnimi za leto 1995,55, določenimi na osnovi GPS-opazovanj v okviru 3 izmer EUREF na območju Slovenije v letih 1994, 1995 in 1996, tako predstavlja realizacijo horizontalne komponente novega državnega koordinatnega sistema.

Za realizacijo koordinatnega sistema, ki bo široko praktično uporaben, je nato Geodetska uprava Republike Slovenije sistematično izvedla zgostitev mreže točk EUREF, do gostote približno 1 točka/100 km², ki so razporejene po celotnem ozemlju države. Ta

naloga je praktično končana, z izjemami, ki jih predstavljajo težko dostopna in neobljudena območja, kjer je gostota točk manjša. Pomen zgostitve točk EUREF s koordinatami v koordinatnem sistemu ETRS89 je tudi v vzpostavitvi povezave med obstoječim in novim državnim koordinatnim sistemom. Na osnovi koordinat točk, danih v obeh sistemih, bo namreč mogoče izvajati transformacije med koordinatnima sistemoma.

Slovensko omrežje GPS-postaj SIGNAL

Mreža točk v koordinatnem sistemu ETRS89, lahko služi kot referenčna osnova v novem koordinatnem sistemu za vse naloge določitve položaja. Ker je bila vzpostavljena z tehnologijo GPS, je tudi namenjena predvsem uporabi tehnologije GPS za izvajanje vseh vrst GPS-izmer. Tehnološki razvoj pa je že med izvajanjem projekta zgostitve mreže točk EUREF omogočil vzpostavitev t. i. aktivnega omrežja GNSS-postaj. V današnjem času, ko imamo na razpolago globalne satelitske navigacijske sisteme GNSS, realizacija koordinatnega sistema ne zahteva več ogromnega števila geodetskih točk v geodetskih mrežah vseh redov, ki pokrivajo celotno državno ozemlje in v katerih so položaji določeni »enkrat za vselej«. Danes je osnova za realizacijo koordinatnega sistema povezana z vzpostavitvijo omrežij stalno delujočih GNSS-postaj oziroma v našem primeru GPS-postaj, ki zagotavljajo praktično realizacijo terestričnih koordinatnih sistemov in omogočajo dostop do le-teh.

Geodetska uprava Republike Slovenije je tako leta 2001 začela izvajati projekt izgradnje slovenskega omrežja GPS-postaj. Projekt je bil zasnovan v letu 1999 (Mišković et al., 2000, Stopar et al., 2002), realiziran je bil konec leta 2006. Omrežje z imenom SIGNAL predstavlja, poleg GNSS-postaj, tudi Služba za GNSS, ki jo sestavljajo operativni, podatkovni in analitični center. Služba za GNSS operativno deluje na Geodetskem inštitutu, organizacijsko pa je del državne geodetske službe. Bila je vzpostavljena hkrati z omrežjem GNSS-postaj, uporabnikom sistema pa zagotavlja potrebne informacije za vsakdanje delo v koordinatnem sistemu. Z uvedbo novega koordinatnega sistema bo omrežje SIGNAL predstavljalo osnovno državno geoinformacijsko infrastrukturo (Stopar et al. 2002).

Podatki GNSS-opazovanj v omrežju so na razpolago v realnem času preko omrežij operaterjev mobilne telefonije in preko mobilnega interneta ter za naknadno obdelavo podatkov opazovanj preko interneta (www.gu-signal.si). Za določitev koordinat točk v realnem času je na razpolago več možnosti: diferencialni GNSS (DGNSS), klasična izmera RTK–GNSS (Real Time Kinematic) z uporabo opazovanj izbrane referenčne postaje ter določitev koordinat v sistemu virtualnih referenčnih postaj VRS (Virtual Reference Station) (Berk et al., 2006).

Omrežje je povezano z evropskim omrežjem permanentnih GNSS postaj EPN (EUREF Permanent Network), omrežjem, ki predstavlja evropski ekvivalent slovenskega omrežja GNSS postaj. EPN je osnova bodočega evropskega geodetskega koordinatnega sistema, ker, v nasprotju z mrežo točk EUREF, zagotavlja 4–razsežno obravnavo koordinatnega sistema, kjer so koordinate točk funkcija časa.

Omrežje stalno delujočih GNSS-postaj lahko obravnavamo kot materializacijo koordinatnega sistema, ki naj bi, v strogo geodetskem smislu, zagotavljalo praktično realizacijo koordinatnega sistema ETRS89 najvišje kakovosti. Omogočalo naj bi obravnavo geodinamičnega dogajanja potrebnega za definiranje sodobnega koordinatnega sistema. Omrežje GNSS-postaj je, skupaj z mrežo geodetskih točk v ETRS89 in novem višinskem sistemu, osnova novega koordinatnega sistema v Sloveniji. Z omrežjem GNSS-postaj je zagotovljen ustrezen tehnološki razvoj stroke, dana je možnost enakomerno

kakovostne realizacije koordinatnega sistema na celotnem državnem ozemlju, izvedena je geodetska povezava Slovenije in Evrope ter sveta, predvsem pa je omogočena realizacija geodetskih in sorodnih nalog na sodoben in racionalen način (Radovan, 2007).

Horizontalni geokinematični model Slovenije

Recentno geodinamiko slovenskega ozemlja smo začeli spoznavati pred približno 20 leti, ko smo sodelovali v različnih mednarodnih geodinamičnih projektih, kot npr: AGREF (Pesec et al., 1997) ali CRODYN (Altiner et al., 2006). Nekaj podatkov o lokalni geokinematiki slovenskega ozemlja smo v preteklosti pridobili tudi v okviru manjših geodinamičnih izmer za potrebe območja Jedrske elektrarne Krško, Premogovnika Velenje (Vrabec et al., 2006) in zgornjega Posočja. Prvo sliko o geodinamiki celotnega slovenskega ozemlja pa smo začeli pridobivati z geodinamičnimi GPS-izmerami od leta 2003 naprej (Weber et al., 2006). Geodinamične raziskave so potekale v okviru več nacionalnih raziskovalnih projektov in raziskovalnih programov, dveh bilateralnih projektov in dveh evropskih raziskovalnih projektov. Geodetska uprava Slovenije pa je organizirala in izvedla GPS-izmeri na 8 točkah EUREF v letu 2005 in na 5 točkah EUREF v letu 2007. Cilj vseh teh projektov je bila ugotovitev geodinamičnega dogajanja na ozemlju Slovenije na osnovi ponavljajočih GNSS-meritev. V vse našete projekte je bilo vključenih več kot 50 točk po celotnem ozemlju Slovenije. Rezultati še niso dokončni, pridobili pa smo vektorje hitrosti sprememb koordinat točk v globalnem terestričnem koordinatnem sistemu, ki so bili nato transformirani v t. i. »stabilno Evrazijo«. Tako pridobljeni vektorji hitrosti so bili nato uporabljeni za izdelavo modela deformacij našega ozemlja. Cilj ponavljajočih geodinamičnih GPS-izmer je pridobitev kakovostnega geokinematičnega modela Slovenije, ki ga v geodetskem smislu potrebujemo za realizacijo 4-koordinatnega sistema. Z vzpostavitvijo omrežja SIGNAL nalogo neprekinjenega spremljanja geodinamičnega dogajanja prevzemajo neprekinjena opazovanja permanentnih GNSS-postaj.

Višinski sistem Slovenije

Nov državni višinski sistem Slovenije je višinski sistem v težnostnem polju Zemlje. Evropski višinski sistem predstavlja EVRS, katerega težnostni potencial na višinski referenčni ploskvi je enak težnostnemu potencialu referenčnega elipsoida GRS 80. Višine v sistemu pa so razlike med dejanskim težnostnim potencialom obravnavane točke in potencialom referenčne ploskve EVRS. Zadnja realizacija sistema EVRS je EVRF2000 (European vertical Reference Frame), ki ima izhodišče v NAP (Normaal Amsterdams Peil). Višine točk v EVRF2000 so geopotencialne kote in normalne višine. Končne odločitve o tipu višin v slovenskem višinskem sistemu še nismo sprejeli. Kot vemo, pa so geopotencialne kote osnova za preračun le-teh v katerikoli tip višin.

Nivelmanska mreža Slovenije

Z analizami obstoječe nivelmanske mreže je bilo ugotovljeno, da iz obstoječih podatkov ni smiselno izvesti realizacije novega višinskega sistema. Takšno razmišljanje je posledica neustrezne oblike nivelmanske mreže Slovenije (zapiranje zank izven območja Slovenije), pomanjkljivih podatkov o obstoječi nivelmanski mreži Slovenije in dokaj velikih

sprememb višin točk na slovenskem ozemlju (Koler, 2006). Sodoben in kakovosten višinski sistem lahko na območju Slovenije vzpostavimo le na osnovi novih izmer v nivelmanski in gravimetrični mreži (Koler et al., 2006).

Nov gravimetrični sistem Slovenije

Nov gravimetrični sistem Slovenije temelji na mednarodnem referenčnem gravimetričnem sistemu IGSN 71 (International Gravity Standardization Network 1971). Realizacijo gravimetričnega sistema - gravimetrični datum Republike Slovenije predstavljajo vrednosti težnosti na 6 absolutnih točkah gravimetrične mreže 0. reda in 29 točkah gravimetrične mreže 1. reda. Absolutne gravimetrične točke so bile stabilizirane leta 1995, izmera težnosti z absolutnimi gravimetričnimi meritvami je bila opravljena leta 1996.

Gravimetrična mreža 1. reda je sestavljena iz 29 relativnih točk. Vključenih je 17 ohranjenih gravimetričnih točk osnovne gravimetrične mreže Jugoslavije, dodatno pa je bilo stabiliziranih 12 novih točk. Pri tem je bilo upoštevano geološko mnenje o primernosti lokacij točk, enakomerna pokritost območja, kot tudi stanje prometnic na ozemlju Slovenije, saj je meritve v posameznem gravimetričnem liku potrebno opraviti v enem dnevu. Mreža je tako sestavljena iz 39. gravimetričnih likov (Koler, Medved in Kuhar, 2006).

Mreža je bila izmerjena konec leta 2006. V izmero so vključene tudi točke onstran meja Slovenije: ekscenter avstrijske absolutne točke in štiri hrvaške relativne gravimetrične točke. Tako je bila dosežena večja homogenost naše gravimetrične mreže, poleg tega pa je mreža navezana na gravimetrične mreže sosednjih držav (Avstrija in Hrvaška).

Meritve so se izvajale z dvema relativnima gravimetričnima instrumentoma SCINTREX CG-3M. Uporabljena je bila metoda izmere zvezda in metoda profilov z vsakodnevnim zapiranjem likov. Vsaka stranica mreže je bila izmerjena vsaj dvakrat. Trenutno obdelujemo merske vrednosti. Rezultati izmere gravimetrične mreže I. reda bodo na voljo spomladi 2008.

Z novo gravimetrično mrežo Slovenije bomo pridobili osnovo za vse nadaljnje gravimetrične izmere na območju Slovenije. Gravimetrično mrežo bomo navezali tudi na nivelmansko mrežo Slovenije. Tako bomo dobili tudi osnovo za določitev višin točk v sodobnem višinskem sistemu (z geopotencialno koto).

Nova višinska referenčna ploskev Slovenije

Pri uvedbi nove višinske referenčne ploskve se kot ustrezna možnost ponuja uporaba Evropskega gravimetričnega kvazigeoida 200x. Poleti 2004 je začel teči vseevropski projekt (EGGP – European Gravity and Geoid Project), ki bi naj zagotovil novo izboljšano inačico Evropskega gravimetričnega geoida 200x. Dela potekajo pod okriljem Mednarodne Zveze za Geodezijo (IAG) v okviru Komisije 2 (Denker, 2006).

Ne glede na to, ali bomo uporabili stari ali novi evropski geoid, bo potrebno interpolirane geoidne višine preračunati - transformirati v nov višinski sistem Republike Slovenije.

Mareografska postaja v Kopru

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 za izvajanje sodobnih standardiziranih mareografskih in drugih opazovanj evropske službe za spremljanje višin morja. Konec leta 2005 je bila tako na Ukmarjevemu trgu v Kopru, kjer je več desetletij stal stari mareograf, postavljena nova mareografska postaja. Postaja ustreza mednarodnim standardom in zahtevam za registracijo in dolgoročno spremljanje nivoja morja in predstavlja osnovo za kakovostno določitev izhodišča slovenskega višinskega sistema. Mareografska postaja Koper je, med drugim, opremljena s permanentno GPS-postajo, ki je vključena v slovensko omrežje GPS-postaj SIGNAL (Stopar et al., 2006). Kakšna bo vloga in pomen nove mareografske postaje v Kopru v novem višinskem sistemu Slovenije, pa še ni odločeno.

Transformacijski modeli med starim in novim državnim koordinatnim sistemom

Nov koordinatni sistem bo v celoti realiziran, ko bodo vsi koordinatni podatki pridobljeni neposredno v novem sistemu. Ker pa imamo v obstoječem sistemu velike količine koordinatno opredeljenih podatkov, ki jih želimo uporabljati tudi v novem sistemu, lahko te podatke transformiramo v nov sistem. Za transformacijo podatkov iz obstoječega v nov koordinatni sistemom je potrebno zagotoviti kakovostno povezavo obeh sistemov. Osnovo za povezavo prostorskih podatkov v obstoječem in novem koordinatnem sistemu predstavljajo koordinate točk, določene z izmero v obeh sistemih. Med postopki za transformacijo geodetskih podatkov iz obstoječega v novi koordinatni sistem imamo na razpolago večje število transformacijskih modelov. Z ustrezno izbranim modelom transformacije želimo namreč zagotoviti »idealno« rezultat: odpravili naj bi slabosti podatkov v obstoječem sistemu in ohranili njihovo kakovost.

Zasnova in vrednotenje transformacijskih modelov med obstoječim in novim sistemom sta tako vključevali podobnostne, affine in polinomske transformacije ter transformacije s kolokacijo. Ti modeli so bili testirani na nivoju astrogeodetske mreže, na geodetskih mrežah višjih redov in na nivoju detajla za podatke zemljiškega katastra, in sicer v 2– in 3–razsežnem prostoru (Radovan et al., 2004, Radovan et al., 2005). Rezultati transformacij na več območjih po Sloveniji so pokazali, da so razmere od območja do območja zelo različne. Razmere na nivoju geodetskih mrež so v okviru pričakovanj. Kažejo pa se določene sistematične nepravilnosti koordinat točk v obstoječih mrežah. Te nepravilnosti so verjetno posledica načina vzpostavitve in razvoja trigonometričnih mrež v preteklosti.

Na nivoju detajla pa so razmere po pravilu zelo različne (Lavbič 2005, Viler 2007, Kocen 2006). Nekoliko sicer sledijo razmeram na nivoju mrež, pojavljajo pa se tudi zelo velike lokalne nepravilnosti koordinat. Za koordinatne podatke o detajlu to pomeni, da kakovostnih transformacij iz obstoječega v nov sistem ne bo mogoče izvajati z uporabo regijskih, mestnih, vaških ali kakršnihkoli transformacijskih parametrov, veljavnih za večja območja. Praviloma bo potrebno izvajati transformacije med detajlom v starem in novem sistemu, in to samo na nivoju detajla. Vedeti pa moramo, da nobena transformacija ne more izboljšati kakovosti obstoječih koordinat. Izboljša jo samo višja kakovost neposredno opravljene detajlne izmere.

Za lokalne transformacije je Geodetska uprava zagotovila izdelavo programske opreme, ki naj bi izvajalcem geodetskih izmer zagotovila nemoteno delo s podatki v starem in novem sistemu. V ta namen smo izdelali programsko opremo, ki omogoča izvajanje večjega števila transformacij geodetskih koordinatnih sistemov z dokaj obširnimi vrednotenjem pridobljenih rezultatov (Kozmus, Stopar, 2007). Dva programska paketa, ki sta namenjena za samostojno rabo SiTra (Si-Slovenija, Tra-Transformacija) (Kozmus, Stopar, 2007a) ter rabo preko interneta SiTraNet (Kozmus, Stopar, 2007b). Programska paketa omogočata transformacije geodetskih podatkov za več običajnih transformacijskih modelov, ki smo jim dodali nekaj postopkov modeliranja »nepravilnosti« obstoječega koordinatnega sistema. Programski paket SiTra bo na voljo v kratkem in sicer za imetnike geodetske izkaznice brezplačno, SiTraNet pa je javno dostopna internetna različica programa na IP-naslovu: 193.2.92.129.

Pri transformaciji obstoječih zbirk podatkov Geodetske uprave v nov koordinatni sistem se je Geodetska uprava odločila za uporabo trikotniške odsekoma afine transformacije na osnovi Delaunyjeve triangulacije (Berk, Duhovnik, 2007).

Nova kartografska projekcija

Za grafično prikazovanje slovenskega ozemlja na načrtih in kartah v obliki kartografskih projekcij je bila opravljena študija kartografskih projekcij: Gauss-Kruegerjeve projekcije, pokončne konformne Lambertove konusne projekcije in Bonnove psevdokonusne ekvivalentne projekcije (Radovan et al., 2006). Opravljena je bila tudi analiza posledic uporabe novega referenčnega elipsoida GRS 80, ki je sestavni del novega horizontalnega koordinatnega sistema.

Gauss-Kruegerjeva projekcija je, glede na svoje matematične lastnosti in razširjenost, še vedno referenčna projekcija v veliko državah. Tudi slovenske državne topografske karte do merila 1 : 250000 bodo tako izdelane v Gauss-Kruegerjevi projekciji. Osnovni parametri te projekcije so: projekcija je modulirana s faktorjem merila 0,9999 na srednjem poldnevniku, srednji poldnevnik je poldnevnik z geografsko dolžino 15°, navidezen pomik proti severu znaša -5000000 m in navidezen pomik proti vzhodu 500000 m.

Karte v merilih 1 : 500000 in 1 : 1000000 bodo izdelane v Lambertovi konformni konusni projekciji. Ta je za navedeni merili preferenčna tudi v večini drugih držav, na področju civilnega letalstva in za izdelavo Mednarodne karte sveta. Mercatorjeva projekcija je po standardih IHO (International Hydrographic Organization) zahtevana za vse pomorske karte in jo bomo ohranili tudi za področje prikazovanja podmorske topografije v priobalnem pasu in na odprtem morju. Pri tem so upoštevane pozitivne lastnosti te projekcije v zvezi z varnostjo plovbe in pomorsko navigacijsko prakso.

Slovenski topografsko - kartografski sistem že sedaj za različne namene (predvsem vojaške) postopoma uvaja pretiskovanje serij topografskih kart v Gauss-Kruegerjevi projekciji na Besselovem elipsoidu s pravokotno ali geografsko mrežo. Ti mreži temeljita na elipsoidu GRS 80 oziroma na kartografsko praktično enakovrednem WGS 84 (World Geodetic System 1984). Če gre za pretis s pravokotno mrežo, se pri tem uporabi sistem UTM namesto Gauss-Kruegerjeve projekcije.

Normativna uvedba novega državnega koordinatnega sistema

Glede na to, da je uvedba novega državnega koordinatnega sistema naloga, ki se bo izvajala postopno in bo imela posledice na celotno družbo oziroma na vse proizvajalce in

uporabnike prostorskih podatkov, se je Sektor za geodezijo in kartografijo na Geodetski upravi Republike Slovenije Ministrstva za okolje, prostor in energijo Republike Slovenije odločil podpreti aktivnosti potrebne za prehod v nov državni koordinatni sistem tudi na deklarativni ravni.

Na osnovi opravljenih del v državnem koordinatnem sistemu kot tudi drugih aktivnosti povezanih z državnim koordinatnim sistemom je na predlog Komisije za Osnovni geodetski sistem Geodetska uprava Republike Slovenije pripravila Strategijo Osnovnega geodetskega sistema, ki med drugim vključuje tudi dokončno odločitev o uvedbi novega geodetskega državnega koordinatnega sistema Slovenije in navaja postopke, ki jih je potrebno opraviti do prehoda v nov državni koordinatni sistem. Strategijo Osnovnega geodetskega sistema je v mesecu marcu leta 2004 potrdila tudi Vlada Republike Slovenije (Režek et al., 2004).

Med poudarki iz Strategije OGS lahko omenimo deklarativno odločitev in zavezo Vlade Republike Slovenije, da bo podpirala vzpostavitev novega državnega koordinatnega sistema Slovenije ter posledično zagotavljala potrebna sredstva, kar bo omogočilo kakovostno koordinatno povezavo našega ozemlja z Evropo.

Zaključek

Obstoječi, uradno veljaven državni koordinatni sistem Slovenije predstavljajo tri skupine temeljnih geodetskih mrež: astrogeodetska oz. trigonometrična mreža, nivelmanska mreža in gravimetrična mreža. Nov koordinatni sistem Slovenije pa bosta sestavljala ETRS89, ki bo zagotavljal horizontalno komponento, ter višinski sistem, ki bo povezan z EVRS in ki bo predstavljal višinsko komponento koordinatnega sistema. Podatke v obstoječem in novem koordinatnem sistemu je, ob prehodu v nov sistem, potrebno povezati med seboj. To povezavo lahko vzpostavimo z uporabo koordinat identičnih točk v obeh sistemih. Ta povezava mora biti čim bolj zvezna na celotnem območju države, zato mora biti število takih točk kar se da veliko. Transformacija podatkov med sistemi pa ni zdravilo za neustrezno kakovost podatkov v obstoječem sistemu. Ustrezno kakovost podatkov v novem koordinatnem sistemu lahko zagotovimo samo z novo geodetsko izmero v novem koordinatnem sistemu. Izvedemo jo lahko s klasično terestrično geodetsko izmero ali z metodami izmere GNSS. S pojavom metod izmere GNSS, ki omogočajo pridobitev podatka o položaju že med samim terenskim delom, predvsem pa z dokončano izgradnjo in operativnim delovanjem omrežja SIGNAL, so vzpostavljeni pogoji za enostavno, kakovostno in hitro izvedbo nove detajlne geodetske izmere. Velik potencial pa je predvsem kombinacija obeh metod izmere

Jasno nam je postalo, da bo naloga vzpostavitve in praktične uvedbe novega državnega koordinatnega sistema zahtevala ogromno dela, ki mora biti opravljeno zelo sistematično. Vse bolj postaja tudi očitno, da državni koordinatni sistem ni sam sebi namenjen, ampak je sestavni del vsakega podatka o položaju v prostoru, predstavljenega v kakršnikoli obliki. Pridobivanje, obdelovanje in analiziranje prostorskih podatkov postaja vse bolj množično. Na razpolago imamo številna orodja za tovrstna opravila, predvsem v obliki geografskih informacijskih sistemov, ki jih uporablja cela vrsta strok, ki se ukvarjajo s prostorom. Postaja pa vse bolj jasno, da sta izredno pomembna kakovost prostorskega podatka ter identičnost osnov, na katere se podatki nanašajo. Prostorski podatek izkaže svojo pravo vrednost šele, ko je enolično vključen v obstoječe prostorske evidence. Glede na to, da je državna geodetska služba zadolžena za vzdrževanje osnovne državne geoinformacijske infrastrukture, je naloga vzpostavitve novega državnega koordinatnega sistema ena od temeljnih nalog državne geodezije v naslednjih nekaj letih

Zahvala: Prispevek je nastal kot rezultat dela na raziskovalnih projektih, ki jih je financirala Geodetska uprava Republike Slovenije, in v okviru raziskovalnega programa P2-227 »Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije« ARRS. Avtorji prispevka se obema zahvaljujejo za finančno podporo.

Literatura

- Altiner Y., Marjanović M., Medved M., Rasić L., V: Pinter N., Grenerczy G., Weber J., Stein S., Medak D. The Adria microplate: GPS geodesy, tectonics and hazards, NATO Science Series, IV, Earth and Environmental Sciences, vol. 61. Dordrecht: Springer, cop., 257-267.
- Berk S., Duhovnik M., (2007), Transformacija podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije v novi državni koordinatni sistem, Geodetski vestnik.
- Berk, ., Kozmus, K., Radovan, D., Stopar, B. (2006). Planning and realization of the Slovenian permanent GPS network. AVN. Allg. Vermess.-Nachr., letn. 113, št. 11-12, 383-387.
- Berk, S., Kumaduna, Ž., Marjanović, M., Radovan, D., Stopar, B. (2003). 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, 132-149.
- Bilajbegović, A., Marchessini, C. (1991). Jugoslavenski vertikalni datum i preliminarno povezivanje nove Jugoslavenske nivelmanske mreže s Austrijskom i Talijanskom. Geodetski list, 45 (7-9), 223-248.
- Čolić K., Bašić T., Petrović S., Pribičević B., Ratkajec M., Sünkel H., Kühtreiber N. (1992). New geoid solution for Slovenia and a part of Croatia, Proceeding IAG First Continental Workshop on the Geoid in Europe, Praga, 158-165.
- Denker H, Torge W, (1997). The european gravimetric quasigeoid EGG97 – an IAG supported continental enterprise. In: IAG Symp. Proceed., IAG Scient. Ass. Rio de Janeiro, Springer, Berlin.
- Denker, H. (2006): Das Europäische Schwere- und Geoidprojekt (EGGP) der Internationalen Assoziation für Geodäsie. Z.f.Vermessungswesen 131 (1), 1-10.
- Kasumović, M. (1950). Srednja razina Jadranskog mora i geodetska normalna nula. (4), 243-256.
- Jenko M. (1986). Dela na astronomsko-geodetski mreži v letih 1975-1982, Institut GZ SRS.Jenko.
- Kocen, J. (2006). Analiza rezultatov transformacij med ETRS89 in državnim koordinatnim sistemom na majhnem območju : diplomska naloga. Ljubljana, 128 str.
- Koler, B. (2006). Vertical Movements in slovenia from Leveling Data. V: Pinter N., Grenerczy G., Weber J., Stein S., Medak D. The Adria microplate: GPS geodesy, tectonics and hazards, NATO Science Series, IV, Earth and Environmental Sciences, vol. 61. Dordrecht: Springer, cop., 223-236.
- Koler, B., Kuhar. M., Medved, K., Mesner, N., Radovan, D. (2005). Študija stanja del na gravimetrični mreži v Republiki Sloveniji in predlog nadaljnjih el. Končno poročilo. Geodetski Inštitut Slovenije.
- Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. (2006). Projekt nove gravimetrične mreže 1.reda Republike Slovenije. Geodetski vestnik, 50 (3), 451-460.
- Koler, B., Vardjan, N. (2003). Analiza stanja nivelmanskih mrež Republike Slovenije. Geodetski vestnik, 47 (3), 251-262.
- Kozmus, K., Stopar, B. (2007a). Navodila za uporabo spletne aplikacije za transformacije koordinatnih sistemov SiTraNet : v1.0. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 19 str., ilustr.
- Kozmus, K., Stopar, B. (2007b). SiTraNet : v 1.0. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,. CD-ROM. Windows. <http://193.2.92.129>.

- Lavbič, D. (2005). Analiza kakovosti metode v omrežju SIGNAL ter kakovosti transformacij med ETRS89 in državnim koordinatnim sistemom na območju Celja : diplomska naloga. Ljubljana, 112 str., graf. Prikazi.
- Miškovič, 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.
- Pesec P., Suenkel H., Erker E., Imrek I., Stangl G. (1997), Das Oesterresichische Geodynamische Bezugssystem AGREF, Realisierung und Ergebnisse, Einmalige Sonderausgabe des Instituts fuer Weltraumforschung der Oesterreichischen Akademie des Wissenschaften; Abteilung Satellitengeodaesie.
- Pribičević B. (1999). Nov preračun geoida Republike Slovenije, magistrska naloga. Ljubljana EUREF, 2003, Pridobljeno s spletne strani 20.10.2007: <http://www.euref-iag.net/html/resolutions.html#Toledo>
- Pribičević, B. (2000). Uporaba geološko – geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida Republike Slovenije. Doktorska disertacija. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Radovan, D. (2007). Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS za natančno določanje položaja. V: Kozmus, K., Kuhar, M. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2006 : zbornik predavanj. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 21-28.
- Radovan, D., Berk, S., Fegic, J., Ipša, A., Klanjšček, M., Mesner, N., Vrenko, D., Ambrožič, T., Bogatin, S., Jaklič, S., Kogoj, D., Koler, B., Kozmus, K., Kuhar, M., Lisec, A., Marjetič, A., Pavlovčič Prešeren, P., Savšek-Safić, S., Sterle, O., Stopar, B. (2006). Razvoj OGS 2006 : prehod na nov koordinatni sistem : končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 222 str., ilustr..
- Radovan, D., Berk, S., Stopar, B. (2004). Razvoj osnovnega geodetskega sistema : končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.
- Radovan, D., Klanjšček, M., Berk, S., Stopar, B., Kozmus, K. (2005). Razvoj osnovnega geodetskega sistema : končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2 zv.
- Režek, J., Radovan, D., Stopar, B. (2004). Strategija osnovnega geodetskega sistema. Geod. vestn., let. 48, št. 3, str. 288.
- Stopar, B., Kuhar, M. (1997). Astrogeodetska mreža Slovenije in geoid. Astrogeodetic network of Slovenia and geoid. Geod. vestn., let. 41, št. 2, 91-100; 101-110
- Stopar, B., Kuhar, M. (2001). Moderni geodetski koordinatni sistemi in astrogeodetska mreža Slovenije. Geod. vestn., let. 45, št. 1-2, 11-26
- Stopar, B. (1995). Sanacija astrogeodetske mreže v Sloveniji z GPS meritvami : doktorska disertacija. Ljubljana, 132 str., 39 str. pril., graf. prikazi, tabele.
- Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D., Sterle, O., Ambrožič, T., Savšek-Safić, S., Kuhar, M., Radovan, D. (2006). Geodetska dela na novi mareografski postaji Koper = Geodetic activities at the new tide gauge station Koper. Geod. vestn., letn. 50, št. 4, 609-619.
- Stopar, B., Kuhar, A. (2003). Study of distortions of the primary triangulation network of Slovenia. Acta geod. geophys. Hung., vol 38, (1), 43-52, ilustr.
- Stopar, B., Radovan, D., Berk, S., Bilc, A. (2002). Projekt izgradnje slovenskega omrežja permanentnih GPS-postaj in vzpostavitve GPS-službe. V: Kuhar, M., Brilly, M. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2002 : zbornik predavanj. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 73-80.
- Viler, B. (2007). Analiza rezultatov transformacij med koordinatnima sistemoma ETRS89 in D48 na območju Slovenske obale: diplomska naloga. Ljubljana, 75 str.
- Vrabec, M., Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B. (2006). GPS study (1996-2002) of active deformation along the Periadriatic fault system in northeastern Slovenia: tectonic model. Geol. Carpath. (Bratisl.), vol. 57, no. 1, 57-65.
- Weber J., Vrabec M., Stopar B., Pavlovčič Prešeren P., Dixon T., (2006) The PIVO-2003 experiment: a GPS study of Istria peninsula and Adria microplate motion, and active tectonics in Slovenia. V: Pinter N., Grenerczy G., Weber J., Stein S., Medak D. The Adria microplate: GPS geodesy, tectonics and hazards, NATO Science Series, IV, Earth and Environmental Sciences, vol. 61. Dordrecht: Springer, cop., 305-320

Kombinacija klasičnih terestričnih opazovanj in opazovanj GNSS v geodinamičnih raziskavah

Oskar Sterle*, Bojan Stopar*

Povzetek

Osnovna količina deformacij geodetske mreže so ocenjeni vektorji hitrosti točk, ki se jih lahko določi le na podlagi ponovljenih izmer. V prispevku je prikazana obravnava geodetskega datuma obdelave ponovljenih izmer, kjer nastopajo različni tipi opazovanj v različnih terminskih izmerah. Obdelava podatkov poteka v enem koraku v 4R prostoru, kjer se poleg koordinat ocenjuje tudi vektorje hitrosti točk. Ocenjene vektorje se analizira z vidika prisotnosti datumskih informacij, z namenom določitve vektorjev, ki kažejo le na relativne premike določene točke glede na ostale točke v geodetski mreži.

Uvod

Osnovna količina, iz katere določimo deformacije geodetske mreže, so ocenjeni vektorji premikov ali hitrosti premikov geodetskih točk. Premike točk lahko dobimo le na podlagi ponovljenih izmer v različnih terminskih izmerah. Ocena vektorjev hitrosti z zadovoljivo natančnostjo je možna le s satelitskimi tehnikami, kot npr. GNSS (angl. Global Navigation Satellite Systems), kjer po uporabi prednjači predvsem GPS (angl. Global Positioning System). Vendar pa je možno ocenjevati vektorje hitrosti točk s satelitskimi tehnikami le kaki dve desetletji, s čimer lahko opišemo le kratkoročno geodinamiko območja. Za oceno dolgoročneje geodinamike moramo uporabiti tudi starejša klasična/terestrična opazovanja. Vendar pa je potrebno biti pri teh opazovanjih previden, saj so ta opazovanja slabše in nehomogene natančnosti (Xu et al., 2000). Uporaba starejših klasičnih opazovanj v kombinaciji z modernimi satelitskimi je možna le ob visoki natančnosti satelitskih opazovanj in velikem časovnem intervalu med opazovanji, ki lahko znaša tudi več kot 100 let (Calais et al., 2000).

Pri združevanju različnih tipov opazovanj v različnih terminskih izmerah pa naletimo na problem geodetskega datuma. V velikih časovnih intervalih med terminskimi izmerami ne moremo nobene točke obravnavati kot dane. Poleg tega različne tehnike in različen inštrumentarij lahko realizirajo različne datumske parametre oz. še več, iste tehnike v različnih terminskih izmerah realizirajo različne datumske parametre. Različni avtorji so se na različne načine lotili problema geodetskega datuma ponovljenih opazovanj.

V prvem primeru deformacije geodetske mreže določimo na podlagi sprememb opazovanj in izravnave opazovanj in ocene koordinat točk ne izvršimo (Frank, 1966). Tako se geodetskega datuma ne obravnava. Obdelava, po drugi strani, lahko poteka na podlagi določenega niza danih točk, ki jih predpostavimo kot dane (Fujii, 2003; Hunstad in England, 1999). Ta dva pristopa sta bila uporabljena predvsem pri kotnih opazovanjih. V primeru uporabe tudi dolžinskih opazovanj so obdelavo izvršili na podlagi ene dane točke in enega danega azimuta (Bourne et al., 1998; Sue et al., 2000). Zadnja možnost je ločena obdelava po terminskih izmerah, kjer se posamezne rezultate s Kalmanovim filtrom

* asist.mag. Oskar Sterle, univ.dipl.inž.geod., izr.prof.dr. Bojan Stopar, univ.dipl.inž.geod., UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

kombinira na nivoju normalnih enačb. Geodetski datum je določen preko psevdopazovanj (Dong et al., 1998).

Prispevek prikazuje geodetski pristop obdelave ponovljenih opazovanj v različnih terminskih izmerah z namenom ocene vektorjev hitrosti geodetskih točk mreže. Geodetska mreža predstavlja poenostavljen model deformabilnega telesa. Ocenjeni vektorji hitrosti pa prikazujejo osnovno količino, iz katere se izpelje deformacije geodetske mreže. Deformacij se v prispevku ne obravnava na primeru geodetske mreže, ampak le s stališča zvezne mehanike. Prikazana je metoda združevanja terestričnih opazovanj in opazovanj GNSS ter lastnosti obdelave. Posebna skrb je posvečena obravnavi geodetskega datuma mreže v posameznih obdelavah in analizi ocenjenih vektorjev hitrosti točk geodetske mreže. Cilj obdelave so vektorji hitrosti, ki so geometrijsko smiselni, saj prikazujejo samo relativne spremembe položajev točk med seboj.

Model obdelave je prikazan na podatkih Astrogeodetske mreže Slovenije, na kateri so bile v zadnjih štirih desetletjih izvedene tri različne izmere, kotna in dolžinska izmera ter izmera GNSS.

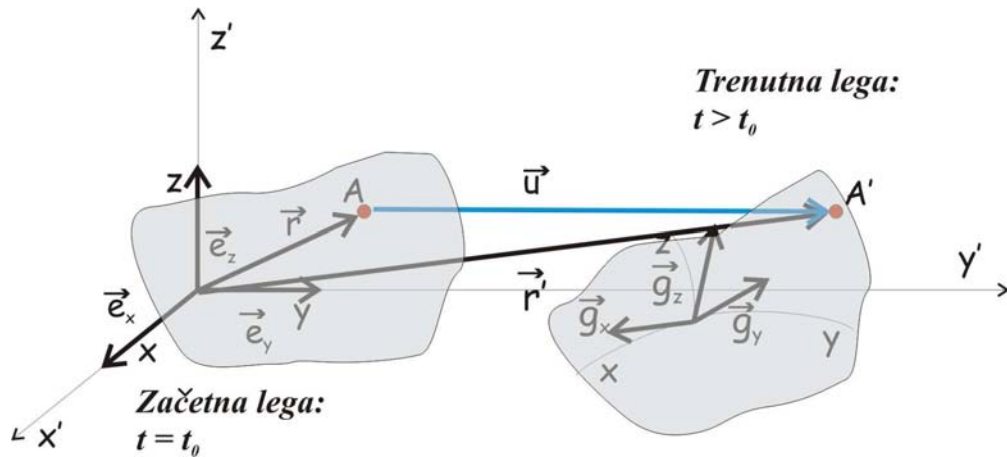
Deformacije telesa

V nekem trenutku poljubno telo v prostoru zavzema neko lego in obliko. Če na telo deluje zunanja sila, se telo lahko premakne in zasuka. V takem primeru imamo drugačno lego telesa ob enaki obliki. Opis nove lege je možen preko kinematičnih enačb gibanja težišča in zasukov okoli težišča telesa. V primeru, da zunanja sila ne vpliva le na lego telesa v prostoru, ampak tudi na obliko, govorimo o deformacijah telesa in telo označimo kot deformabilno telo (Srpčič, 2003; Stanek in Turk, 1998).

Osnova obravnave deformacij telesa sta dva koordinatna sistema, in sicer (Stanek in Turk, 1998):

- **Mirujoči pravokotni kartezični koordinatni sistem** z osmi x' , y' in z' . Ta koordinatni sistem je prostorski koordinatni sistem in koordinate x' , y' in z' so prostorske koordinate.
- **Gibajoči in deformabilni pravokotni kartezični koordinatni sistem** z osmi x , y in z . Ta koordinatni sistem je telesni ali materialni koordinatni sistem in koordinate x , y in z so telesne ali materialne koordinate. Koordinatni sistem je na telo pričvrščen in se s telesom deformira.

Slika 1 predstavlja obravnavano telo v začetni ($t = t_0$) in trenutni legi ($t > t_0$). Prostorski koordinatni sistem je postavljen poljubno, medtem ko materialni koordinatni sistem izberemo tako, da le-ta v začetni legi sovпада s prostorskim koordinatnim sistemom. Tako za začetni trenutek t_0 velja $x = x'$, $y = y'$ in $z = z'$.



Slika 1 - Obravnava deformacije telesa preko začetne in trenutne lege telesa

Prostorski koordinatni sistem je ves čas deformiranja telesa mirujoč, medtem ko se telesni koordinatni sistem s telesom giblje in deformira. Poljubna točka A spremeni svoj položaj v prostorskem koordinatnem sistemu v položaj A' , medtem ko v telesnem koordinatnem sistemu točka ne spremeni svoje lege (svojih telesnih koordinat).

Osnovna enačba, iz katere definiramo deformacije telesa, je povezava poljubne točke A v poljubnem trenutku v prostorskem in telesnem koordinatnem sistemu. Povezava je določena z opisom položaja točke A' v prostorskem koordinatnem sistemu, z opisom položaja točke A v telesnem koordinatnem sistemu in vektorjem premika med obema točkama v prostorskem koordinatnem sistemu, v obliki (Srpčič, 2003; Stanek in Turk, 1998):

$$\bar{r}'(x, y, z) = \bar{r}(x, y, z) + \bar{u}(x, y, z) \quad (1)$$

Enačba (1) prikazuje povezavo med tremi vektorskimi polji. Če za vsa tri vektorska polja predpostavimo zveznost, odvedljivost in regularnost, se ohranja zveznost narave telesa in enačba opisuje deformacije trdnih teles, kjer so vse deformacije plastične in zvezne (Stanek in Turk, 1998).

Osnovna količina opisa deformacij je deformacijski tenzor velikih deformacij 2. reda, ki ga označimo z E in ima obliko:

$$E = \begin{bmatrix} E_{xx} & E_{xy} & E_{xz} \\ E_{xy} & E_{yy} & E_{yz} \\ E_{xz} & E_{yz} & E_{zz} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Deformacijski tenzor je simetričen, tako da ga v $3R$ prostoru določa 6 parametrov. Tri količine na diagonali predstavljajo merila specifičnih sprememb materialnih vlakeh v smeri koordinatnih osi (normalne deformacije) (Stanek in Turk, 1998). Ostale tri izvendiagonalne količine pa predstavljajo merila za spremembe pravih kotov koordinatnih osi (strižne deformacije) (Stanek in Turk, 1998).

Ob predpostavki malih sprememb oblike telesa glede na dimenzijo telesa lahko definiramo deformacijski tenzor malih deformacij ϵ in tenzor malih zasukov ω . Tudi tenzor malih deformacij ϵ je simetričen. Diagonalni členi neposredno prikazujejo specifične spremembe materialnih vlaken telesa v smereh koordinatnih osi in izvendiagonalni členi neposredno prikazujejo spremembe pravih kotov med koordinatnimi osmi. Tenzor malih

zasukov ω je antisimetričen in ga določajo samo trije elementi, ki prikazujejo male zasuke v okolici točke, kjer obravnavamo deformacije.

Tenzorji 2. reda opisujejo matematične ali fizikalne količine, ki se s spremembo koordinatnega sistema ne spreminjajo. Neodvisnost tenzorja od premika koordinatnega sistema se imenuje **translacijska invariantnost**, neodvisnost od zasuka koordinatnega sistema se imenuje **rotacijska invariantnost**, skupaj pa obe definirata **transformacijsko invariantnost**. V primeru spremembe merila koordinatnega sistema pa tenzor ni invarianten. Sprememba merila se neposredno odraža na komponentah tenzorja.

Deformacije se neodvisno od koordinatnega sistema opiše z glavnimi normalnimi in glavnimi strižnimi deformacijami. Glavne normalne deformacije predstavljajo ekstremne vrednosti normalnih deformacij s pripadajočimi smermi. Enako velja za glavne strižne deformacije, ki prikazujejo ekstremne vrednosti strižnih deformacij s pripadajočimi smermi. Glavne normalne in glavne strižne deformacije poiščemo s pomočjo lastnih vrednosti tenzorja deformacij (Srpčič, 2003; Stanek in Turk, 1998).

Deformacije telesa lahko opišemo v različnih koordinatnih sistemih (od pravokotnih do krivočrtnih koordinatnih sistemih) in v poljubnih dimenzijah. V primeru deformacij geodetskih mrež ponavadi obravnavamo ločeno horizontalno in vertikalno deformiranje.

Geodetski datum in geodetska opazovanja

Opis deformacij telesa je s stališča matematike in zvezne mehanike dosleden in enoličen. Osnova obravnave deformacij sta prostorski in telesni koordinatni sistem. V geodetski praksi pa v splošnem ti dve količini nista poznani in ju mora geodet določiti sam.

Osnova geodetske teorije in prakse pa so izvedena opazovanja in pravilna obravnava teh opazovanj. Cilj obdelave geodetskih opazovanj je ocena neznank v modelu, ki so največkrat koordinate novih točk v geodetski mreži. Opazovanja so v splošnem neodvisna od privzetega koordinatnega sistema, zato za oceno koordinat potrebujemo določene parametre, ki jim pravimo datumski parametri in določajo geodetski datum geodetske mreže.

Geodetski datum je strogo definiran kot niz parametrov, ki enolično povezujejo referenčno datumsko ploskev (referenčni elipsoid) s telesom Zemlje (Stopar, 1995). Praktično pa geodetski datum geodetske mreže določijo dane količine in opazovanja. V prostorskih mrežah (3R mreže) potrebujemo 7 datumskih parametrov, in sicer tri parametre premika (t_x, t_y, t_z), tri parametre zasuka ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) in parameter merila (s). V ravninskih (2R) mrežah imamo 4 datumske parametre (t_x, t_y, ω, s) in v višinskih (1R) mrežah dva datumskata parametra (t_H, s).

V primeru terestrično opazovane geodetske mreže je datum določen preko danih točk mreže. V vsaki mreži je možno enostavno določiti defekt datuma geodetske mreže in posledično število in tip količin, ki datum realizirajo. V splošnem geodetski datum določimo enolično. V primeru mreže GNSS pa geodetski datum ni tako enostavno določiti. Geodetski datum je določen na dveh nivojih, in sicer z danimi položaji satelitov in z danimi položaji točk v obdelavi. Vpliv predoločenosti datuma se prepreči z uporabo psevdopazovanj v matematičnem modelu.

Poleg danih točk pa določene datumskate parametre definirajo oz. določijo tudi geodetska opazovanja. V ravninskem primeru (2R) imamo 6 tipov opazovanj, in sicer opazovane azimute α (smerne kote v), smeri β in kote θ , horizontalne dolžine d , vektorje GNSS $\Delta\vec{r}$ in absolutne položaje GNSS \vec{r} . Preglednica 1 prikazuje datumskate parametre, ki jih vsebuje posamezen tip opazovanj.

| | t_x | t_y | ω | S |
|------------------|-------|-------|----------|-----|
| ν | - | - | + | - |
| β, θ | - | - | - | - |
| d | - | - | - | + |
| $\Delta \vec{r}$ | - | - | + | + |
| \vec{r} | + | + | - | - |

Preglednica 1 - Geodetska opazovanja v ravnini in pripadajoče datumske informacije opazovanj

Iz preglednice je razvidno, da terestrična opazovanja lahko določijo le dva parametra (ω, s), medtem ko opazovanja GNSS lahko določijo vse datumske parametre. V odvisnosti od uporabljenega tipa opazovanj moramo tako dodatno zagotoviti različno število datumskih parametrov.

Zagotovitev geodetskega datuma terestrične mreže lahko poteka na 4 načine, in sicer:

- **Določitev geodetskega datuma z zunanjimi opazovanji:**
Zunanja opazovanja so astronomska opazovanja, a jih v sedanjem času ne izvajamo več (predvsem zaradi enostavnejših in natančnejših opazovanj GNSS).
- **Določitev geodetskega datuma z minimalnim številom vezi:**
Med neznanke uvedemo določene vezi, ki jih le-te morajo izpolniti. Premik mreže določimo z dvema vezema tako, da koordinati določene točke po izravnavi nimata popravka. Zasuk mreže določimo z vezjo tako, da se smer med dvema točkama po izravnavi ne sme spremeniti. Merilo mreže določimo z vezjo tako, da se dolžina med dvema točkama po izravnavi ne sme spremeniti.
- **Določitev geodetskega datuma z notranjimi vezmi – prosta mreža:**
Pri prosti mreži nobene izmed točk ne definiramo kot dane, ampak geodetski datum realiziramo tako, da se cela mreža po izravnavi ne premakne, zasuka in ne spremeni merila.
- **Določitev geodetskega datuma s psevdopazovanji:**
Psevdopazovanja predstavljajo privzete vrednosti neznanek, ki jim pripišemo statistične lastnosti oz. standardne odklone. Vsako psevdopazovanje predstavlja dodatno enačbo popravkov, kjer se opazovanje neposredno nanaša na neznanke.

Obrazložitev geodetskih opazovanj v različnih terminskih izmerah

Deformacije telesa prikažemo na podlagi poznanega vektorskega polja premikov, definirane na območju telesa, za katerega predpostavimo zveznost, odvedljivost in regularnost. V geodetski praksi te vektorske količine ne poznamo in jo skušamo oceniti na podlagi ponovljenih geodetskih opazovanj. Poenostavitev vektorskega polja premikov poteka na dveh nivojih. Prvi nivo predstavlja prehod iz zveznega v diskretno, saj imamo opazovanja izvedena le na končnem diskretnem nizu geodetskih točk. Drugi nivo predstavlja predpostavka o linearnih spremembah položajev točk v geodetski mreži. Posledično tako za določena območja, kjer izvajamo geodetska opazovanja v različnih terminskih izmerah, predpostavimo homogene deformacije (deformacije so enake na celem območju).

Skozi čas sta bila tip in predvsem natančnost izvedenih opazovanj pogojena z razvojem tehnologije in informatike. V preteklosti se je največ uporabljala triangulacija, saj je bilo možno kotna opazovanja izvesti z veliko višjo natančnostjo kot dolžinska opazovanja. S pojavom elektrooptičnih razdaljemetrov pa se je med točkami geodetskih mrež začelo

opazovati tudi dolžine. Vendar pa je bila visoka natančnost opazovanj omejena le na lokalni ali regionalni nivo. S pojavom GNSS pa je bilo možno z visoko natančnostjo določiti položaje geodetskih točk tudi na globalnem nivoju. Natančnost določevanja položajev točk je prešla mejo stabilnosti točk in položaji morajo biti obravnavani v 4R prostoru. Ocenjevanje vektorjev premikov ali hitrosti se največkrat izvaja na osnovi ponovljenih opazovanj GNSS, možno pa je tudi združevanje terestričnih opazovanj in opazovanj GNSS.

Pri združevanju terestričnih in satelitskih opazovanj pa naletimo na dva problema. Prvi problem se nanaša na natančnosti opazovanj. Starejša klasična opazovanja so v splošnem slabše natančnosti, kjer je ta natančnost tudi nehomogena. Drugi problem pa se nanaša na geodetski datum. Geodetski datum geodetske mreže določajo dane točke, a pri daljšem časovnem obdobju nimamo nobene dane oz. stabilne točke. Največji problem pri združevanju teh opazovanj je tako zagotovitev geodetskega datuma posamezne izmere geodetske mreže. Posledično moramo tako pri obdelavi predpostaviti, da se lahko vsaka točka premakne. To dejstvo realiziramo tako, da funkcionalni model izravnave razširimo za nov tip neznank, in sicer vektorje hitrosti točk geodetske mreže. Z razširitvijo vektorja neznank pa se nam spremeni tudi geodetski datum. V primeru ocene samo koordinat točk mreže je geodetski datum (horizontalne) mreže določen s štirimi parametri, medtem ko je v primeru ocene tudi vektorjev hitrosti le-ta določen z osmimi parametri. Dodatni štirje parametri predstavljajo spremembe parametrov geodetskega datuma skozi čas.

Funkcionalni model izravnave nastavimo v smislu celovite obravnave geodetskih količin v obliki:

$$\hat{\mathbf{I}}(t) = F(\hat{\mathbf{x}}(t), W(\hat{\mathbf{x}}(t), \mathbf{b}, t)) \quad (3)$$

V enačbi (3) nastopajo:

| | |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\hat{\mathbf{I}}(t)$ | časovno odvisni vektor opazovanj velikosti $n \times 1$, |
| $\hat{\mathbf{x}}(t)$ | časovno odvisni vektor neznank velikosti $u \times 1$, |
| $W(\hat{\mathbf{x}}(t), \mathbf{b}, t)$ | Časovno in prostorsko odvisni težnostni potencial, kjer vektor \mathbf{b} modelira časovne spremembe potenciala, |
| F | nelinearna funkcija, ki matematično povezuje vektorja $\hat{\mathbf{x}}(t)$ in $W(\hat{\mathbf{x}}(t), \mathbf{b}, t)$ z vektorjem opazovanj $\hat{\mathbf{I}}(t)$. |

Enačba (3) opisuje povezavo med opazovanji ($\hat{\mathbf{I}}(t)$) in neznankami ($\hat{\mathbf{x}}(t)$) v zemeljskem težnostnem polju (3R prostor) v odvisnosti od časa. Višinska komponenta položaja je v splošnem določena slabše kot horizontalni komponenti in se ne nanaša na isto referenčno ploskev kot horizontalni komponenti, zato višine določujemo ločeno (geometrični nivelman). Vpliv spremenljivega potenciala težnostnega polja modeliramo z reduciranjem terestričnih opazovanj iz fizikalnega v geometrični/računski prostor. Položaj točk geodetske mreže v poljubnem časovnem trenutku modeliramo z referenčnim položajem v neki epohi (t_0) in s pripadajočim vektorjem hitrosti. Poenostavljen model tako lahko razvijemo v matrično obliko enačb popravkov:

$$\mathbf{r}(t) + \mathbf{B}_x \cdot \delta \mathbf{x} + (t - t_0) \cdot \mathbf{B}_v \cdot \delta \mathbf{v} = \mathbf{f}(t) \quad \Leftrightarrow \quad \mathbf{r}(t) + \mathbf{B} \cdot \Delta = \mathbf{f}(t) \quad (4)$$

Elementi enačbe (4) so:

| | |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\mathbf{r}(t)$ | vektor popravkov opazovanj velikosti $n \times 1$ ($\hat{\mathbf{I}}(t) = \mathbf{I}(t) + \mathbf{r}(t)$), |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- $\mathbf{B}_x, \mathbf{B}_v$ matriki koeficientov enačb popravkov, v odvisnosti od vrednosti približnih koordinat oz. približnih vrednosti komponent vektorja hitrosti (velikosti $n \times u_x$ in $n \times u_v$, kjer je u_x število koordinatnih neznank in u_v število neznank hitrosti), $\mathbf{B} = [\mathbf{B}_x \quad \mathbf{B}_v]^T$,
- $\delta \mathbf{x}_0, \delta \mathbf{v}$ vektorja popravkov približnih vrednosti koordinat in hitrosti ($\Delta = [\delta \mathbf{x} \quad \delta \mathbf{v}]^T$, velikosti $(n_x + n_u) \times 1$),
- $\mathbf{f}(t)$ vektor odstopanj enačb popravkov velikosti $n \times 1$,
 $(\mathbf{f}(t) = F(\mathbf{x} + \mathbf{v} \cdot (t - t_0)) - \mathbf{l}(t))$.

Vektor neznank (Δ) vsebuje popravke koordinat in popravke komponent vektorjev hitrosti. Koordinate se nanašajo na neko referenčno epoho t_0 , medtem ko so vektorji hitrosti neodvisni od časa. V enačbi (4) lahko nastopajo različni tipi opazovanj, od kotov, dolžin, vektorjev GPS do položajev GPS, kjer za posamezen tip opazovanj sestavimo enačbe popravkov.

Metoda najmanjših kvadratov nam poda popravke koordinat točk v referenčni epohi t_0 s pripadajočimi vektorji hitrosti. V obdelavi opazovanj imamo tri različne možnosti obravnave geodetskega datuma. V primeru ocene samo koordinat točk imamo klasično obdelavo geodetske mreže, kjer nam položaji GNSS definirajo datum geodetske mreže. Položaji so podani s standardnimi odkloni, geodetski datum je tako določen s psevdopazovanji. V primeru ocene določenega števila vektorjev hitrosti (vsaj en vektor hitrosti in kvečjemu vsi razen dveh vektorjev) nam geodetski datum definirajo točke, na katerih ne ocenjujemo vektorjev hitrosti (predpostavimo da je hitrost teh točk enaka nič). V primeru ocene vseh točk in vseh vektorjev hitrosti točk mreže pa imamo defekt datuma in moramo oceno neznank določiti z uporabo Moore-Penroseove psevdoinverzije.

Ocenjeni vektorji hitrosti in geodetski datum

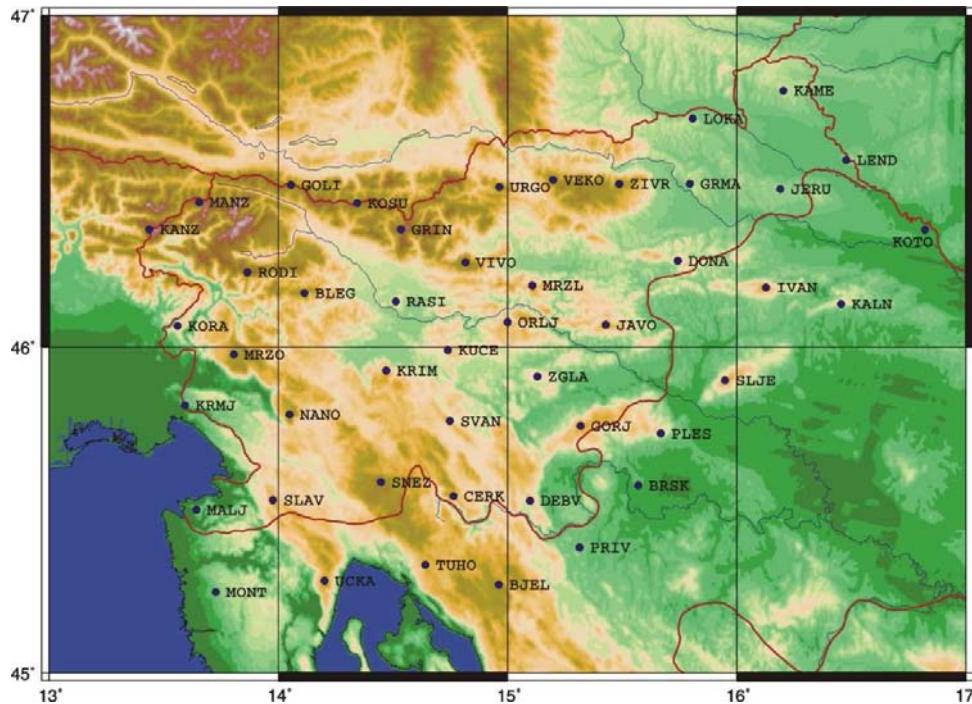
V funkcionalnem modelu geodetski datum določajo poleg danih točk tudi opazovanja (glej Preglednico 1). Različni tipi opazovanj skozi čas realizirajo različne datumske parametre, tako po tipu kot tudi po vrednosti. Merilo določeno iz dolžinskih in satelitskih opazovanj tako po vrednosti lahko ni enako. V ocenjenih vektorjih hitrosti lahko pričakujemo spremembe datumskih parametrov skozi čas. Ocenjeni vektorji hitrosti ($\bar{\mathbf{v}}$) poleg pravih vektorjev hitrosti ($\bar{\mathbf{v}}$) lahko vsebujejo tudi nek skupen premik ($\bar{\mathbf{v}}_0$), spremembo zasuka mreže ($\bar{\mathbf{v}}_r$) in spremembo merila med izmerami ($\bar{\mathbf{v}}_s$).

Z redukcijo ocenjenih vektorjev hitrosti za prisotne datumske informacije ($\bar{\mathbf{v}}_0, \bar{\mathbf{v}}_r$ in $\bar{\mathbf{v}}_s$) pridobimo geometrično prave vektorje hitrosti ($\bar{\mathbf{v}}$), ki kažejo le na relativne spremembe položajev točk glede na ostale točke. Ti vektorji hitrosti prikazujejo premike točk, ki so posledica deformiranja geodetske mreže. Tako ocenjeni vektorji hitrosti predstavljajo vektorje premikov pri izračunu homogenih deformacij.

Astrogeodetska mreža Slovenije

Astrogeodetska mreža Slovenije je dolgo časa predstavljala koordinatno osnovo Republike Slovenije. Mreža izhaja še iz leta 1808, ko jo je v okviru Avstroogrške monarhije začel razvijati Cesarski in kraljevi vojaško-geografski inštitut Dunaja. V

sedanjem času Astrogeodetsko mrežo nadomešča omrežje permanentnih postaj Slovenije imenovano SIGNAL. Astrogeodetska mreža je sestavljena iz 46 točk na območju Slovenije in delu Hrvaške, ki sestavljajo 66 trikotnikov. Obliko Astrogeodetske mreže prikazuje Slika 2.



Slika 2 - Oblika Astrogeodetske mreže Slovenije

Na Astrogeodetski mreži so bile v zadnjih štirih desetletjih izvedene tri izmere. V letih 1963 in 1965 so bila izvedena kotna opazovanja, v letih 1975 in 1982 dolžinska opazovanja in v letih 1994 in 1996 opazovanja GPS. Terestrična opazovanja (kotna in dolžinska) so bila izvedena na istih točkah, medtem ko je bila satelitska izmera (GPS) ponovljena samo na delu točk Astrogeodetske mreže Slovenije.

Terestrična izmera je bila izvedena z namenom izboljšanja natančnosti položajev točk mreže in definiranja merila mreže. Opazovanih je bilo 222 smeri in 49 dolžin, kjer je bilo opazovanih 47 stranic in 2 diagonali. Smeri so bile opazovane z vseh točk, medtem ko 5 točk ni bilo vključenih v izmero dolžin. Teodolit, s katerim se je izvedla kotna izmera, je bil Wild T4, dolžinska izmera pa je potekala z dvema razdaljemeroma, in sicer AGA-Geodimeter M8 in AGA-Geodimeter 710 (Jenko, 1986).

Izmera GNSS se je imenovala izmera EUREF (angl. EUropean REference Frame), s katero se je določeval položaj točk Astrogeodetske mreže v evropskem koordinatnem sestavu ETRF89 (angl. European Terrestrial Reference Frame 1989). V skupaj treh izmerah je bilo vključenih 57 točk, kjer so bile opazovane vse točka Astrogeodetske mreže. Dodatno so bile opazovane še nekatere geodinamične točke in trigonometrične točke drugega reda. Glede na terestrično izmero je bila izmera EUREF ponovljena le na 33 točkah. Vzrok je predvsem v uničenju ali poškodovanju stebrov, zato so na 13-ih točkah izvedli nove stabilizacije točk, ki pa ne ležijo na identičnih položajih kot stare točke.

Obdelava opazovanj Astrogeodetske mreže Slovenije

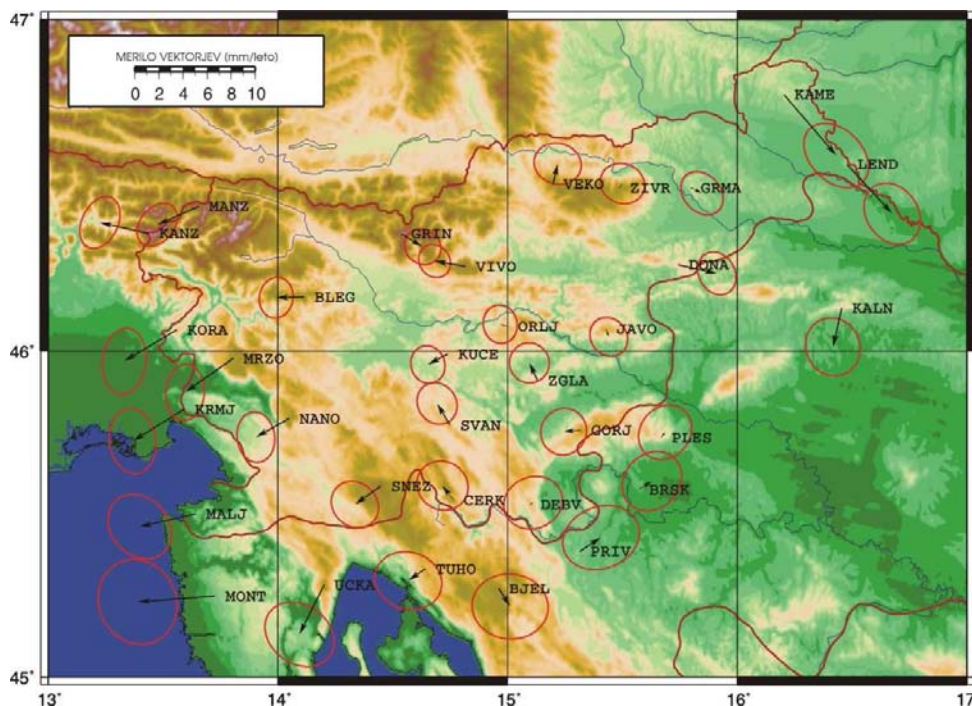
Obdelava podatkov vseh izmer je potekala v dveh korakih. Najprej smo obdelali opazovanja GNSS iz leta 1995. Rezultat obdelave so bile koordinate točk v koordinatnem sestavu ETRF89, ki smo jih pretvorili v Gauss-Kruegerjevo projekcijsko ravnino, s pripadajočimi natančnostmi. Obdelava je potekala s programskim paketom Bernese GPS-Software po korakih in priporočilih (Dach et al., 2007). Skupna obdelava terestričnih in satelitskih opazovanj (fazna opazovanja) se v praksi ne izvaja, saj se opazovanja nanašajo na dva različna prostora. Terestrična opazovanja so izvedena v zemeljskem težnostnem polju in so posledično tudi obremenjena s težnostjo. Opazovanja GPS pa se nanašajo na geometrični prostor in so neodvisna od težnosti. Združevanje terestričnih in satelitskih opazovanj tako v praksi poteka na dva načina, z uvedbo psevdopazovanj v matematični model terestričnih opazovanj ali s primerno (afino, podobnostno) transformacijo rezultatov ločenih obdelav.

Pred samo obdelavo terestričnih opazovanj in satelitskih psevdopazovanj je potrebno reducirati terestrična opazovanja iz zemeljskega težnostnega polja v ravnino projekcije. Redukcija se izvede na podlagi poznanih odklonov navpičnice in geoidne ondulacije na posameznih točkah. Reducirana terestrična opazovanja v ravnini projekcije in pridobljena psevdopazovanja so vhodni podatek za izračun položajev in vektorjev hitrosti točk Astrogeodetske mreže Slovenije.

Ocena koordinat in vektorjev hitrosti

V matematični model vzamemo koordinate točk v Gauss-Kruegerjevi projekciji s pripadajočimi natančnostmi in v projekcijo reducirane kote ter dolžine med točkami. V obdelavi je 46 točk, kjer želimo 33-im točkam oceniti vektor hitrosti sprememb koordinat. Ostalim 13-im točkam želimo določiti položaj samo s terestričnimi opazovanji.

V primeru AGM Slovenije ne ocenjujemo vseh vektorjev hitrosti na točkah, zato nimamo defekta datuma mreže. Geodetski datum koordinatam določijo ocenjene koordinate izmere EUREF (psevdopazovanja), geodetski datum vektorjem hitrosti pa določijo vektorji hitrosti na točkah, kjer le-teh ne ocenjujemo. Referenčna epoha koordinat je določena z izmero EUREF (1995). Opazovanim kotom smo priredili referenčno epoho 1964 (sredina opazovanj), prav tako tudi opazovanim dolžinam (epoha 1978). Referenčna epoha (t_0) ocenjenih koordinat je bila izbrana za leto 1990. Slika 3 prikazuje ocenjene vektorje hitrosti na 33-ih točkah Astrogeodetske mreže Slovenije.



Slika 3 - Ocenjeni vektorji hitrosti na 33-ih točkah Astrogeodetske mreže Slovenije

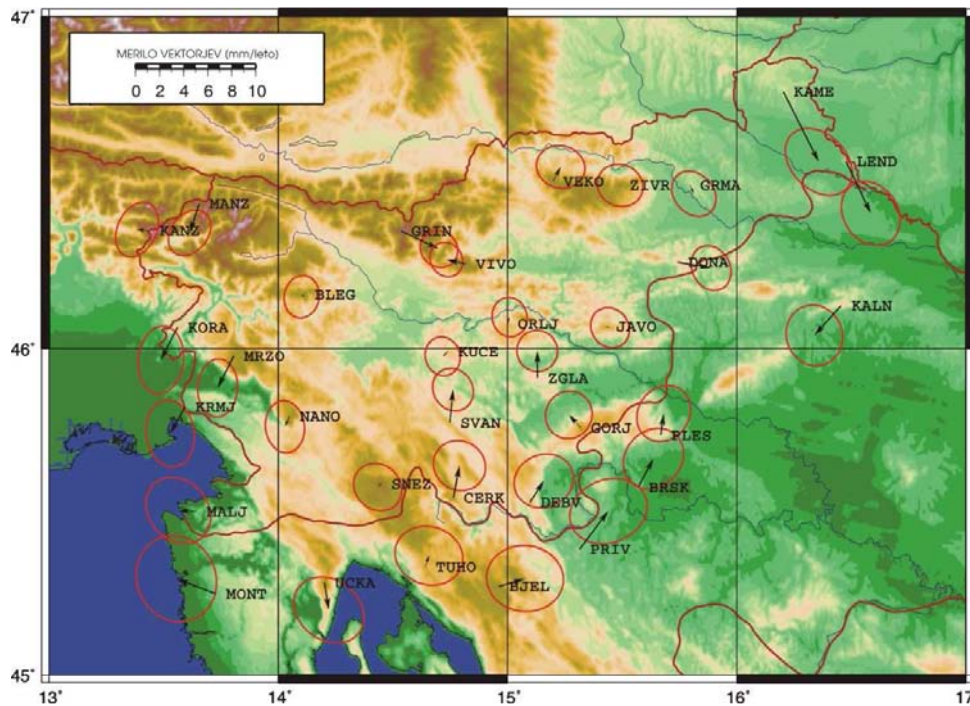
Hitrosti so pridobljene iz premikov točk, določenih preko položajev v treh izmerah. A ker je dolžinskih opazovanj manj kot koordinat točk, gre dejansko samo za dva položaja za vsako točko. Prvi položaj je določen za leto 1964, kjer je merilo določeno iz dolžinskih opazovanj za leto 1978, drugi položaj pa je položaj GNSS iz leta 1995 (2006). Hitrost je torej določena enolično. Natančnost hitrosti sprememb položajev za posamezno točko je določena preko natančnosti položaja točke v letu 1964 in položaja GNSS.

Ocena neznank je temeljila na sistemu nesingularnih normalnih enačb, saj nismo ocenili vseh vektorjev hitrosti. Zaradi tega lahko v ocenjenih komponentah vektorjev hitrosti pričakujemo spremembe datumskih parametrov med posameznimi izmerami. Če ocenimo vrednost datumskih parametrov v ocenjenih vektorjih hitrosti, dobimo parametre, ki so podani v Preglednici 2.

| | |
|--------------------------|----------------------|
| Δt_x [mm/leto] | $-1,1 \pm 0,3$ |
| Δt_y [mm/leto] | $-0,6 \pm 0,3$ |
| $\Delta \omega$ ["/leto] | $-0,0009 \pm 0,0011$ |
| Δs [ppm/leto] | $0,0198 \pm 0,0041$ |

Preglednica 2 - Spremembe datumskih parametrov v ocenjenih vektorjih hitrosti Astrogeodetske mreže Slovenije

Glede na tip in število opazovanj lahko sklepamo, da je v ocenjenih vektorjih hitrosti prisotna vsaj sprememba merila. Glede na vrednosti iz Preglednice 2 to lahko potrdimo, saj je le sprememba merila statistično različna od nič. Reducirani vektorji hitrosti, katerim odstranimo sistematični del, prikazan v Preglednici 2, so prikazani na Sliki 4.



Slika 4 - Reducirani vektorji hitrosti Astrogeodetske mreže Slovenije za prisotne spremembe datumskih informacij

Ocenjeni vektorji hitrosti predstavljajo rezultat matematičnega modela izravnave. Glede na dejstvo, da ne poznamo lokalne geodinamike posamezne točke, so možni tudi premiki stebrov točk, česar pa nismo kontrolirali na terenu. Prikazani vektorji hitrosti tako verjetno ne opisujejo geodinamike Slovenije in je treba biti previden pri geodinamični analizi vektorjev.

Zaključki

Deformacijski tenzor je transformacijsko invarianten, a odvisen od merila geodetske mreže. Osnovna količina, iz katere se določujejo deformacije geodetske mreže, so premiki točk, dobljeni na podlagi ponovljenih terminskih izmer na točkah mreže. Prikazani so princip določevanja deformacij s stališča zvezne mehanike in problemi, ki nastanejo v praksi s stališča geodezije. V splošnem ne poznamo ne prostorskega ne telesnega koordinatnega sistema, zato ju moramo vzpostaviti sami. Nikoli tudi nimamo informacije o zveznem, odvedljivem in regularnem vektorskem polju premikov, ki je definirano za celo deformabilno telo, ampak le-to vektorsko polje predstavimo z diskretnim nizom ocenjenih vektorjev hitrosti na točkah geodetske mreže.

Prikazana je metoda ocenjevanja vektorjev hitrosti točk geodetske mreže, ki predstavlja razširitev klasičnega matematičnega modela izravnave za nov niz neznank (vektorjev hitrosti). Največkrat se vektorje hitrosti oceni na podlagi več terminskih izmer iste metode izmere, kot npr. GNSS. V določenih primerih pa je nujno združevanje različnih tipov opazovanj v različnih terminskih izmerah. V prispevku sta prikazana obravnava geodetskega datuma opazovanj in vpliv geodetskega datuma v obdelavi.

Ocenjeni vektorji hitrosti so obremenjeni z različnimi realizacijami datumskih parametrov v posamezni terminski izmeri. Tako določeni vektorji hitrosti kažejo na premike točk, ki se dejansko niso zgodili. Datumsko obremenjene vektorje hitrosti je

potrebno reducirati za vplive sprememb datumskih parametrov v terminskih izmerah. Tako dobimo prave vektorje hitrosti, ki kažejo le na prave geometrijske premike točk v mreži.

Predstavljena metodologija je bila uporabljena na primeru treh terminskih izmer različnih merskih tehnik na Astrogeodetski mreži Slovenije. Geodetski datum je koordinatam točk Astrogeodetske mreže Slovenije določen s psevdopazovanji oz. ocenjenimi koordinatami točk iz izmere EUREF. Vektorji hitrosti so bili določeni na podlagi koordinat EUREF in dveh terestričnih izmer, kjer pa je bila le kotna izmera izvedena z nadštevilnimi opazovanji. Dolžine same ne morejo določiti koordinat vseh točk v mreži. Vektorji hitrosti so bili tako določeni le na podlagi dveh izmer, kjer je bil geodetski datum teh vektorjev določen s 13-imi točkami, na katerih se vektorji hitrosti niso ocenjevali.

Literatura

- Bourne, S. J., Árnadóttir, T., Beavan, J., Darby, D. J., England, P. C., Parson, B., Walcott, R. I., Wood, P. R., (1998). Crustal deformation of the Marlborough fault zone in the South Island of New Zealand: Geodetic constraints over the interval 1982-1994. *Journal of Geophysical Research*, vol. 103, No. B12, Pages 30, 147-30,165
- Calais, E., Galisson, L. Stéphan, J.-F., Delteil, J., Deverchère, J., Larroque, C., Mercier Lèpinay, B., Popoff, M., Sosson, M., (2000). Crustal strain in the Southern Alps, France, 1948-1998. *Tectonophysics* 318 (2000) 1-17
- Collier, P. A., Eissfeller, B., Hein, G. W., Landau, H., (1988). On a four-dimensional integrated geodesy. *Bull. Gèod.* 62 (1988) pp. 71-91
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., Meindl, M., (2007). Bernese GPS Software, Version 5.0. Bern, Švica, Astronomski Inštitut Univerze v Bernu.
- Dong, D., Herring, T. A., King, R.W., (1998). Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data. *Journal of Geodesy* (1998) 72: 200-214
- Frank, F. C., (1966). Deduction of Earth strains from survey data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 56 No. 1, pp 35-42
- Fujii, Y., (2003). Detailed horizontal crustal movements associated with the 1923 Kanto earthquake as deduced from network adjustment of old data including the third order triangulation stations. *Journal of Geodynamics* 35 (2003) 457-469
- Hunstad, I, England, P., (1999). An upper bound on the rate of strain in the Central Apennines, Italy, from triangulation measurements between 1869 and 1963. *Earth and Planetary Science Letters* 169 (1999) 261-267
- Jenko, M., (1986). Dela na astronomsko - geodetski mreži v letih 1975 - 1982. Raziskovalni projekt: Sistem geodetskih osnov SR Slovenije, Raziskovalna naloga: Temeljne triangulacijske mreže v SR Sloveniji. Ljubljana, Inštitut Geodetskega zavoda SRS.
- Mikhail, E. M., Ackermann, F. E., (1976). *Observation and Least Squares*. Harper & Row, New York
- Srpčič, S., (2003). *Mehanika trdnih teles*. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Stanek, M., Turk, G., (1998). *Osnove mehanike trdnih teles*. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Sterle, O, 2007. Združevanje klasičnih geodetskih in GNSS-opazovanj v geodinamičnih raziskavah. Magistrska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
- Stopar, B.(1995). Sanacija astrogeodetske mreže v Sloveniji z GPS meritvami. Doktorska disertacija, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani.
- Sue, C., Martinod, J., Tricart, P., Thouvenot, F., Gamond, J.-F., Frèchet, J., Marinier, D., Glot, J. - P., Grasso, J. -R., (2000). Active deformation in the inner western Alps inferred from comparison between 1972-classical and 1996-GPS geodetic surveys. *Tectonophysics* 320 (2000) 17-19
- Vaníček, P., Krakiwsky, W., (1986). *Geodesy: the Concepts*, druga izdaja, Elsevier, Amsterdam
- Xu, P., Shimada, S., Fujii, Y, Tanaka, T., (2000). Geodynamical value of historical geodetic measurements: A theoretical analysis. *Earth Planets Space*, 52, 993-997

Pridelki soli v piranski komuni v času Maunderjevega minimuma

Flavio Bonin*, Rudi Čop**

Povzetek

Eno največjih odkritij v novodobni astronomiji je odkritje ciklov sončnih peg. Iz tega odkritja sledijo vsa današnja spoznanja o naravi Sonca, ki ima neposreden vpliv na Zemljo in na življenje na njej. Zato so morale države, ki so obstajale več deset generacij, obvezno vključiti v svoj pravni red ciklične spremembe Sonca. V članku je predstavljeno pridobivanje morske soli v piranski komuni od leta 1637 do leta 1744, v času Beneške republike. Pridobivanje soli je odvisno od vremenskih sprememb v poletnem času. Ker je bila sol državni monopol, je bila njena pridelava urejena s solnimi pogodbami med državo in komuno. Pri tem pa so morale biti v pravne listine vključene tudi ciklične spremembe, ki so povezane s spremembami na Soncu.

Maunderjev minimum od leta 1645 do leta 1715

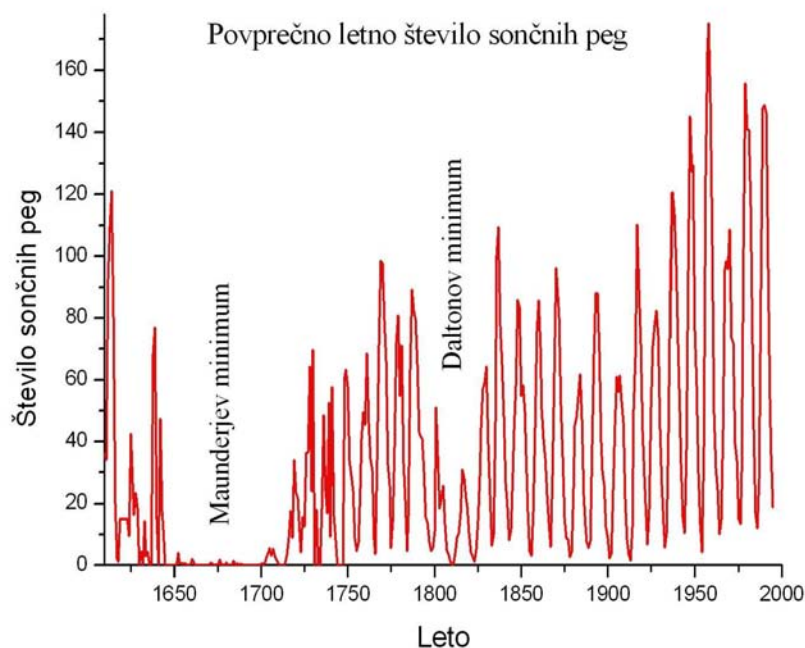
Nemški astronom Heinrich Schwabe (1789-1875) je leta 1843 objavil rezultate svojega večdesetletnega vsakodnevnega spremljanja sončnih peg. Opazil je, da število sončnih peg narašča in upada v neenakomernih ciklih, trajajočih približno po 10 let (Čop & Fefer, 2006). V času prvih astronomskih opazovanj Sonca s pomočjo teleskopa je bilo v obdobju od leta 1645 do leta 1715 zabeleženo izjemno majhno število sončnih peg (Slika 1). Na osnovi astronomskih zapisov iz tistega obdobja je to šele kasneje ugotovil angleški astronom Edward W. Maunder (1851-1928).

V času Maunderjevega minimuma se je pojavilo še zadostno število sončnih peg, da se na osnovi njihove razporeditve po letih da obnoviti sončne cikle, dolge enajst let, ali Carringtonove sončne cikle. V vsem tem času so se sončne pege pojavljale le na južni sončni polobli, razen na koncu Maunderjevega minimuma, ko so se začele pojavljati tudi na severni polobli. Maunderjev minimum sovпада s pojavom male ledene dobe z zelo ostrimi in dolgimi zimami v Evropi in Severni Ameriki. Verjetno so bile v tistem času podobne vremenske razmere tudi v ostalih delih sveta.

Podrobnejše analize različnih astronomskih zapisov iz časa Maunderjevega minimuma so pokazale, da se je v tistem obdobju Sonce vrtelo malo počasneje, kot se vrti danes (Vaquero, et al., 2002; Javaraiah, et al., 2005). Dolžina osnovnega sončnega ciklusa enajstih let je namreč osnovno časovno obdobje daljšim cikličnim dogajanjem na Soncu. Tako subharmonsko dogajanje je bilo ugotovljeno iz sprememb aktivnosti polarnega sija in ima dolžino nekaj čez osemdeset let (Gleissberg, 1958). Ta cikel se razlaga s spremembo rotacije Sonca in njegove oscilacije okoli masne točke celotnega solarnega sistema.

* mag. Flavio Bonin, Pomorski muzej "Sergej Mašera" Piran, Cankarjevo nabrežje 3, 6330 Piran

** doc.ddr. Rudi Čop, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet, Pot pomorščakov 4, 6320 Portorož



Slika 1: Povprečno letno število sončnih peg od leta 1610 do leta 1995

Slovenska Istra kot del Beneške republike v 17. stoletju

Slovenska Istra je bila od konca 13. stoletja pa do njenega propada del Beneške republike. Beneška republika (Republica de Venesia) je obstajala polnih enajst stoletij. Oblikovala se je v 7. stoletju in se ozemeljsko najbolj razširila v času četrte križarske vojne (1202-1204). Njeno ukinitvev je naznanila Napoleonova armada s prihodom na njene meje leta 1797, ki je bila nato tudi formalno potrjena z mirovno pogodbo v Leobenu 17. aprila 1797. Po tej pogodbi so beneške posesti v Istri in Dalmaciji pripadle habsburški monarhiji. V prvih dveh desetletjih 17. stoletja so Uskoki še vedno vpadali v Istro. Senjski Uskoki so to počeli na osnovi dovoljenja habsburškega cesarja (Bonin, 1991; Romanin, 1912-1921). Senat Beneške republike je odločil, naj celotno področje severnega Jadrana in istrske obale ščiti dodatnih 12 ladij z albanskimi posadkami. Benečani so v boju proti Uskokom sodelovali z albanskimi vojaki, ker je takrat med Uskoki in Albanci vladala velika nestrpnost.

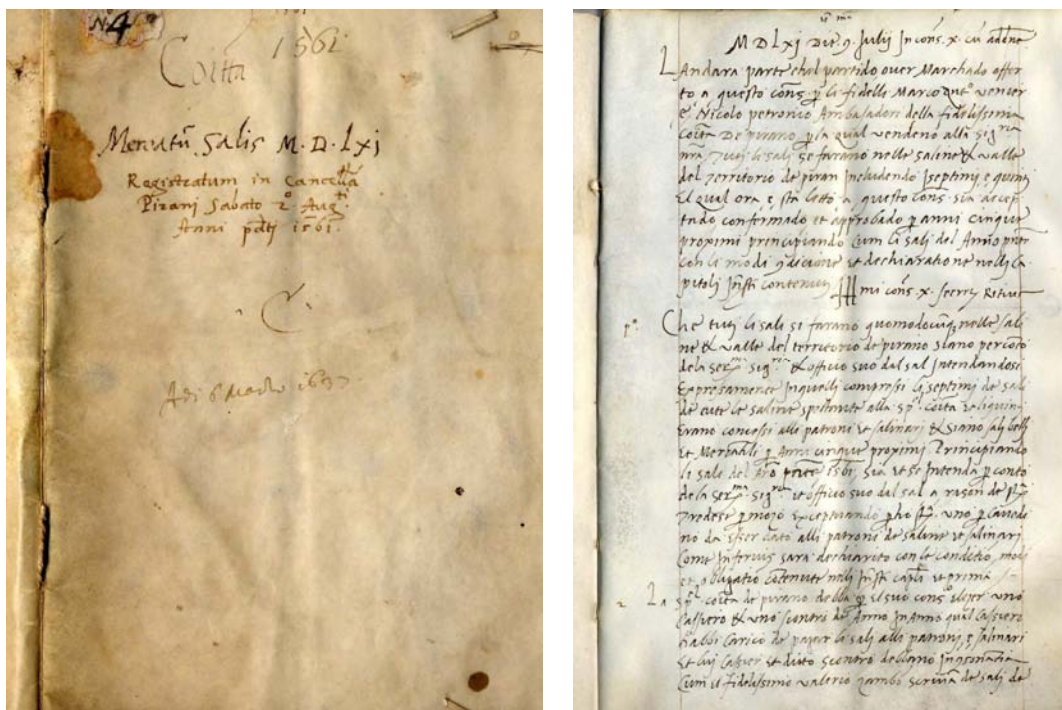
V drugi četrtini 17. stoletja se je stanje na severnem Jadranu umirilo. Ladij, ki so stražile istrsko obalo, je bilo manj. Najpomembnejša naloga oboroženih ladij je bilo preprečevanje tihotapstva soli. Posebno pazljivo so morale nadzorovati ladje, ki so plule v Trst, zato je velikokrat prihajalo do sporov z avstrijskimi vladarji. V tem obdobju so se poslabšali tudi odnosi med Beneško republiko in Turčijo, kar je privedlo do medsebojnih spopadov. Zaradi bojazni pred turškimi napadi so prebivalci Pirana leta 1645 popravili in obnovili mestno obzidje. Obzidja so utrdili tudi v Izoli in ostalih istrskih mestih. Zaradi vojne za Kreto pa so mesta morala svoje vojaške obveznike poslati v Dalmacijo in Levant.

Literatura in drugi viri za drugo polovico 17. stoletja omenjajo le nadomeščanje poškodovanih in potopljenih galej. Ni pa več podatkov o napadih gusarjev, piratov,

Uskokov ali Turkov. Vojaške galeje so posvečale vso pozornost zatiranju tihotapstva v istrski provinci in nadzor pomorske trgovine na severnem delu Jadranskega morja. Beneška republika je imela vse večje probleme s habsburškimi cesarji, ki so že v 16. stoletju skušali preprečiti svojim podanikom trgovanje z Beneško republiko in doseči svobodno plovo po Jadranskem morju. Habsburški cesarji so razvijali svoji obmorski mesti Trst in Reko, sprva brez večjega uspeha (Bonin, 1991).

Pridelovanje soli v piranski komuni

Pridelovanje soli in trgovanje z njo je bilo v preteklosti ena izmed temeljnih gospodarskih dejavnosti piranske komune. Zaradi svoje pomembnosti je našla pomembno mesto že v prvih statutih, še preden je Piran postal del Beneške republike (Bonin, 2001)[3]. Lastniki solnih polj so si s soljo zagotavljali dober in stalen zaslužek, zato so premožnejši meščani in obrtniki le-te kupovali. Solna polja so kupovale tudi cerkvene ustanove, čeprav so jih običajno dobile v zapuščinah.



Slike 2: Prednja (levo) in prva stran (desno) solne pogodbe med Beneško republiko in piransko komuno iz leta 1562

Sol je bila v Beneški republici državni monopol in eden najpomembnejših temeljev državne ekonomije ter vzrok za številne vojne. Poleg tega, da so jo uporabljali kot eden najpomembnejših dodatkov jedem, je služila tudi za konzerviranje hrane. Nadzor nad proizvodnjo in prodajo soli je imel beneški urad 'Magistrat za sol' (Magistrato dei sali). Ta je leta 1636 določil za piransko komuno letno količino pridelane soli na 5200 modijev (1 modij = 801 kg). Ta količina je bila nato v veljavi do leta 1749, ko so limit ukinili. V vsem tem obdobju se velikost solin v piranski komuni ni bistveno spremenila.

Beneška vlada je s komunami sklepala pet-, deset- in na koncu tudi dvajsetletne pogodbe (Mercati di sali), s katerimi je urejala vso dejavnost v zvezi s soljo (Slika 2). Najstarejša ohranjena solna pogodba, sklenjena med piransko komuno in beneškim Magistratom za sol, je iz leta 1375. Solne pogodbe sta sklepala Magistrat za sol, ki je predstavljal beneško vlado, in Kolegij dvajsetih za sol (Consiglio dei XX savi, Colleggio dei XX del sal) s piranske strani. Kolegij so sestavljali lastniki solnih fondov, in sicer 13 patricijev in 7 meščanov. Seje je imel večkrat letno, posebno pogoste pa so bile pred predložitvijo in podpisom nove solne pogodbe z beneškim magistratom. Glavni predmet pogajanja je bila predvsem cena pridelane soli.

Največ solnih pogodb je bilo sklenjenih za obdobje desetih let. Običajno je sedmino soli dobila komuna, petino pa lastniki solin. Sol sedmine in petine so smeli Pirančani prodajati tovarnikom, prepovedano pa jo je bilo prodajati po morju in jo prevažati z ladjo. Po solni pogodbi so morali pobrano sol vsak dan prepeljati v javna skladišča. Če to ni bilo mogoče, so jo morali spraviti v solinarske hiše in jo prepeljati v skladišča, ko so bile vremenske razmere spet ugodne. Prepovedano je bilo sol puščati čez noč v solnih bazenih. Zanimiv je člen solnih pogodb, ki določa, da so morale vse ladje, ki so vplule na področje pred solinami, imeti za to potrebno dovoljenje. To določilo je veljalo tudi za oborožene galeje in vojake na manjših čolnih.

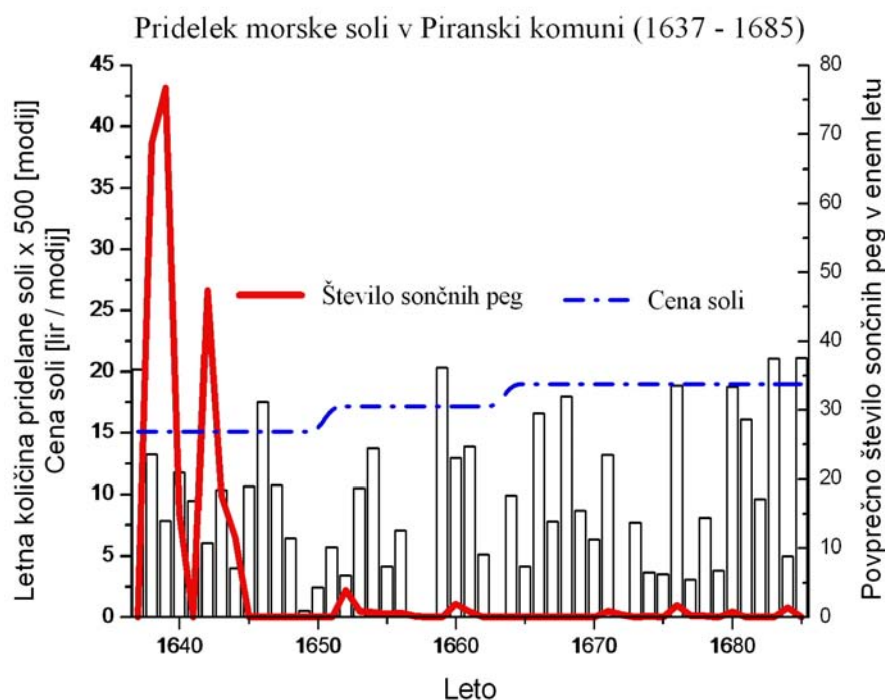
Nadzor nad proizvodnjo soli, predvsem pa njenim skladiščenjem in prodajo na lokalnem nivoju, sta izvajala dva urada. Beneško republiko in njen Magistrat za sol je zastopal solni pisar, ki je hkrati tudi nadzoroval merilce soli. Piransko komuno, lastnike solnih fondov in solinarje so zastopali 'skontri', občinski funkcionarji, ki so bili voljeni vsako leto. Ti so bili obenem tudi člani občinskega urada Resonata. Med obema uradoma so vladale stalne napetosti in nesoglasja. Solni pisar je imel večjo moč in pooblastila, zato je to tudi velikokrat zlorabljal. Solinarji in lastniki solin so se stalno pritoževali nad delom solnega pisarja in njemu podrejenih merilcev. Nemalokrat je solni pisar v nasprotju s solnimi pogodbami in drugimi akti zaprl skladišče in ni sprejemal soli, čeprav so na raztovor čakale polne ladje.

Žetev soli v piranski komuni od leta 1637 do leta 1744

V piranskem arhivu hranijo tudi podatke o količini pridelane soli. Prvi podatek o pridelani soli je iz leta 1637. Podatki se nato nadaljujejo vse do leta 1685. Izjeme so leta 1657, 1658, 1663 in 1672, ko ni vpisanih podatkov. Po odhodu Giorgia Giraldirja leta 1685, ki je bil dolga leta solni pisar, se konča sistematično navajanje teh podatkov. V 18. stoletju pa sta pomembna podatka o pridelani soli za dve petletni obdobji (1730-34, 1735-39). V vsem tem času je bilo v piranskih solinah dovoljeno pridelati letno 5200 modijev ali 26000 modijev v obdobju petih let. Če v enem letu niso pridelali dogovorjene količine, so jo lahko v naslednjih letih pridelali več in s tem dosegli dogovorjeni limit. V obdobju 1637-1646 so piranski solinarji presegli pridelek za 3453 modijev. Po podatkih pa so v naslednjih treh desetletjih pridelali precej manj od dogovorjenega. Tudi v desetletnem obdobju 1730-1739, ko so pridelali 42497 modijev soli, niso dosegli dovoljene količine pridelka.

Na enem solnem polju je bilo dovoljeno pridelati po 2 modija soli. V letih 1637, 1659 in 1685 pa so pridelali po 4 modije. Da bi proizvodnjo omejili, so prepovedali vsakodnevno pobiranje soli in omejili to delo na vsak drugi, tretji ali celo četrti dan. Tako so na primer že pred začetkom solne sezone maja leta 1707 izdali odlok, s katerim so piranskim solinarjem ukazali pobiranje soli vsak tretji dan. S tem ukrepom so hoteli tudi izboljšati kakovost soli. Če so solinarji pridelali že dovolj soli, so pobiranje prepovedali že po 20.

avgustu. Če so bila solna skladišča polna in so solinarji imeli pridelane preveč soli, so odvečno sol zmetali v morje. V primeru, da je soli primanjkovalo, so solno sezono podaljšali še v september.

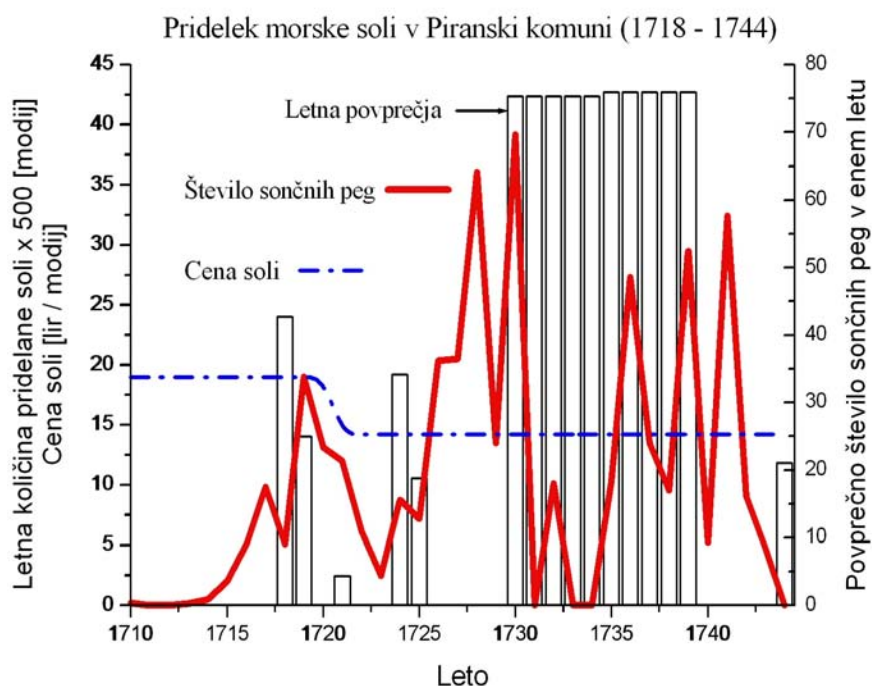


Slika 3: Letni pridelek soli v solinah piranske komune, število sončnih peg in cena soli po solni pogodbi v obdobju od leta 1637 do leta 1685

Najboljše letine so bile v letih 1637 (10078 modijev), 1659 (10155 modijev), 1683 (10522 modijev) in 1685 (10537 modijev). Leta 1718 naj bi celo pridelali okoli 12000 modijev soli. Najslabše letine so bile v letih 1649 (259 modijev), 1650 (1219 modijev), 1652 (1697 modijev), 1675 (1747 modijev) in 1677 (1530 modijev). Glavna vzroka za slabe letine sta bila predvsem dva: slabo vzdrževanje solin, tako solnih polj kot obrambnih nasipov, in neugodne vremenske razmere. Tako sta Domenico in Bernardino Caldana 21. septembra 1675 prosila magistrat za 500 dukatov posojila za ureditev solnih polj. V prošnji sta navedla, da so bile zadnje solne sezone zelo slabe, malo pa sta pridelala tudi olja in vina.

Velikost solnih fondov in kristalizacijskih površin v solinah piranske komune se v 17. in 18. stoletju ni spremenilo. Letne količine pridelane soli za obe obravnavani obdobji, za kateri hrani podatke piranski arhiv, so grafično predstavljene skupaj s povprečnim letnim številom sončnih peg (Sunspot Numbers, 2007) in s ceno soli na modij v italijanskih lirah (Bonin, 2001). Prvo obdobje (Slika 3) od leta 1637 do leta 1685 obsega prvo polovico Maunderjevega minimuma (1645-1715). Za drugo obdobje od leta 1718 do leta 1744 (Slika 4) so na razpolago manj natančni podatki in obsega čas takoj po končanem sedemdesetletnem sončnem ciklu zelo majhnega števila sončnih peg. Glede na predhodno obdobje se je proizvodnja soli v petih pogodbenih letih več kot podvojila. Zelo značilna je sprememba cene soli kot državnega monopola Beneške republike. Na samem začetku Maunderjevega minimuma se je njena cena dvignila dvakrat: leta 1650 za 13,7 % in leta 1664 še za dodatnih 10,6 %. Končna cena 19 lir za modij soli je nato veljala še za ves

preostali čas petdesetih let z zelo majhnim številom sončnih peg. Takoj po začetku pojava večjega števila sončnih peg leta 1721 pa je cena soli padla na 14,2 lire ali za polnih 25,3 %.



Slika 4: Letni pridelek soli v solinah piranske komune, število sončnih peg in cena soli po solni pogodbi v obdobju od leta 1718 do leta 1744

Za matematično določitev korelacije med letno količino pridelane soli v solinah piranske komune in povprečnim številom sončnih peg v enem letu bi morali biti na razpolago podatki o proizvodnji soli v daljšem časovnem razdobju. Predvsem bi bili pomembni podatki iz obdobja po končanem Maunderjevem minimumu, ko je Sonce ogrevalo Zemljo še z dodatnimi izbruhi iz sončnih peg.

Zaključek

Zakonodaja Beneške republike je slonela na rimski zakonodaji in je imela tudi podobno strukturo. Na grško-rimski zakonodaji so temeljile tudi uvedene kazni. Za analitike v takratnem času je bila vzorna tako pravna kot tudi gospodarska ureditev Beneške republike. Dolg obstoj pa ji je zagotovila tudi njena zelo nevtralna zunanja politika (Bonin, 2005).

Za beneško ekonomsko politiko je bilo značilno, da ni dopuščala viška kakršnegakoli trgovskega blaga. Skrbno so pazili na svoje monopole in vzdrževali njihovo stalno ceno. Vse to je zahtevalo dobro organizirano vojsko in državno administracijo, ki je bila uvedena tudi na področje pridobivanja in porabe soli. Letna količina porabljene soli za osebno potrošnjo posameznega državljana Beneške republike je bila natančno določena, prav tako tudi količina potrebne soli za opravljanje posamezne gospodarske dejavnosti. Z državnim odlokom je bila na primer določena količina soli za soljenje posameznih vrst rib.

Pridelovanje morske soli, zelo pomembnega tržnega blaga Beneške republike, je bilo odvisno od vremenskih razmer v poletnem času. Zato je bila pridelava soli regulirana s

solnimi pogodbami med državo in proizvajalci. Da je cena soli ostala v daljšem obdobju nespremenjena in temu primerno urejena tudi proizvodnja soli, so bile prve solne pogodbe sklenjene za obdobje petih let. V naslednjih solnih pogodbah se je obdobje njihove veljave podaljšalo najprej na deset let in na koncu na dvajset let. Glede na takratne gospodarske razmere in zastavljene cilje je morala Beneška republika slediti s svojimi pravnimi akti naravnim ciklom, ki jih narekuje Sonce: letu, ciklu sončnih peg, magnetnemu ciklu in vsem anomalijam v njih.

Literatura

- Bonin, Flavij. Vloga vojaških ladij v primorskih mestih v 16. in 17. stoletju. *Annales (Koper)*, 1991, vol. 1, no. 1, p. 111-120.
- Bonin, Flavij. Proizvodnja soli v piranskih solinah od 16. do druge polovice 18. stoletja. *Annales (Koper)*, Ser. hist. sociol., 2001, vol. 11, no. 1=24, p. 93-104.
- Bonin, Flavij. Vloga beneških funkcionarjev v primorskih mestih v 16. in 17. stoletju. Magistrska naloga. Izola, Ljubljana: Univerza v Ljubljani; Filozofska fakulteta; Oddelek za zgodovino, 2005.
- Čop, Rudi. Fefer, Dušan. Nature of Earth`s magnetic field and its application for commercial flight navigation. Edited by Jean L. Rasson and Todor Delipetrov. *Geomagnetics for Aeronautical Safety: A Case Study in and around the Balkans. NATO Security through Science Series / NATO Security through Science Series C: Environmental Security*. Editors Jean L. Rasson and Todor Delipetrov. 1 edition. Dordrecht (NL): Springer, 2006, str. 115-126. ISBN: 1402050240.
- Gleissberg, W. The 80-year sunspot cycle. *Journal of the British Astronomical Association*, 1958, n.68, p.150.
- Javaraiah, J. Bertello, L. Ulrich, R. K. Long-Term Variations in Solar Differential Rotation and Sunspot Activity. *Solar Physics*, 2005, no.232, p.25–40.
- Romanin, Samuele. *Storia documentata di Venezia*. Reprint of first edition 1858-61. In Italian language. Venezia: G. Fuga, 1912-1921.
- Sunspot Numbers [online]. Boulder (US,CO): National Geophysical Data Center NOAA, updated October 24, 2007 [cited 2.11.2007]. Available from Internet: <<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsunspotnumber.html>>.
- Vaquero, J. M. Sanchez-Bajo F. Gallego M. C. A Measure of the Solar Rotation During the Maunder Minimum. *Solar Physics*, 2002, n. 207, p.219–222.

Magnetne nevihte in njihov vpliv na navigacijo

Rudi Čop^{*}, Andrej Bilc^{**}, Samo Beguš, Dušan Fefer^{***}, Dalibor Radovan^{****}

Povzetek

Predstavljena je narava sončnega in zemeljskega magnetnega polja, njuna medsebojna povezava in njune anomalije. Cikli števila magnetnih neviht so enaki ciklu števila sončnih peg. Izbruhi na Soncu, ki izhajajo iz sončnih peg, povečujejo sončni veter in tako vplivajo na magnetno polje Zemlje in na njeno atmosfero. Kot primer te povezave je opisana največja magnetna nevihta iz zadnjih dveh sončnih ciklov, ki je trajala od 28. oktobra do 2. novembra 2003. Da je navigacija uspešna, je potrebno upoštevati tudi vse spremembe, ki jih na Zemlji povzročajo spremembe na Soncu.

Sončni cikli

Nemški astronom Heinrich Schwabe (1789-1875) je leta 1843 objavil rezultate svojega večdesetletnega vsakodnevnega spremljanja sončnih peg. Opazil je, da število sončnih peg narašča in upada v neenakomernih ciklih, trajajočih približno po 10 let. Tudi širina področja, v katerem se te pege pojavljajo, se širi in krči. V bližini vrha takega sončnega cikla se v okolici sončnih peg sprošča velika količina energije v obliki žarkov X, radijskih valov in zelo hitro potujočih oblakov plazme. Ti oblaki plazme na Zemlji povzročajo magnetne nevihte. Izbruhe plazme na Soncu spremljajo nenadni bleski (solar flares). Prva opazovanja sončnih bleskov je s pomočjo teleskopa opravil angleški astronom Richard C. Carrington (1826-1875). Na osnovi opazovanja gibanja sončnih peg je tudi odkril, da se Sonce vrti različno hitro, odvisno od solarne širine. Sonce opravi popoln obrat okoli svoje osi glede na Zemljo približno v sedemindvajsetih dneh. Pri tem se njegov ekvatorialni predel vrti hitreje kot pa polarni. Ta neenakomernost v vrtenju skupaj z gibanjem plazme iz notranjosti Sonca proti površini je osnova za razlago nastanka njegovega magnetnega polja (Čop & Fefer, 2006). Sonce je po tej razlagi velik magnetni dinamo, ki zaradi nesimetrije širi svoje magnetno polje v interplanetarni prostor.

Področja na površini sonca s povečano gostoto magnetnega polja se v vidni svetlobi zaznajo kot sončne pege. Iz še ne pojasnjene razloga lahko močno magnetno polje v posamezni sončni pegi upočasni prehod toplote, zaradi česar je sončna pega hladnejša od svoje okolice. Močnejše in bolj nehomogeno magnetno polje Sonca nastaja ob večjem številu sončnih peg. Enajstletni cikel sončnih peg, ki pozna le pozitivne amplitude, se približno pokriva s ciklom magnetnega polja Sonca ali Halejevim ciklom. Skupaj s svojimi sodelavci je ta cikel odkril George Ellery Hale (1868-1938), graditelj astronomskega observatorija na gori Palomer v Kaliforniji. Sončev magnetni cikel ima pozitivne in negativne amplitude, kar pomeni zaporedno menjavanje magnetnih polov vsakih enajst let. Magnetni poli Sonca se postavijo ponovno v začetno lego po dveh takih menjavah.

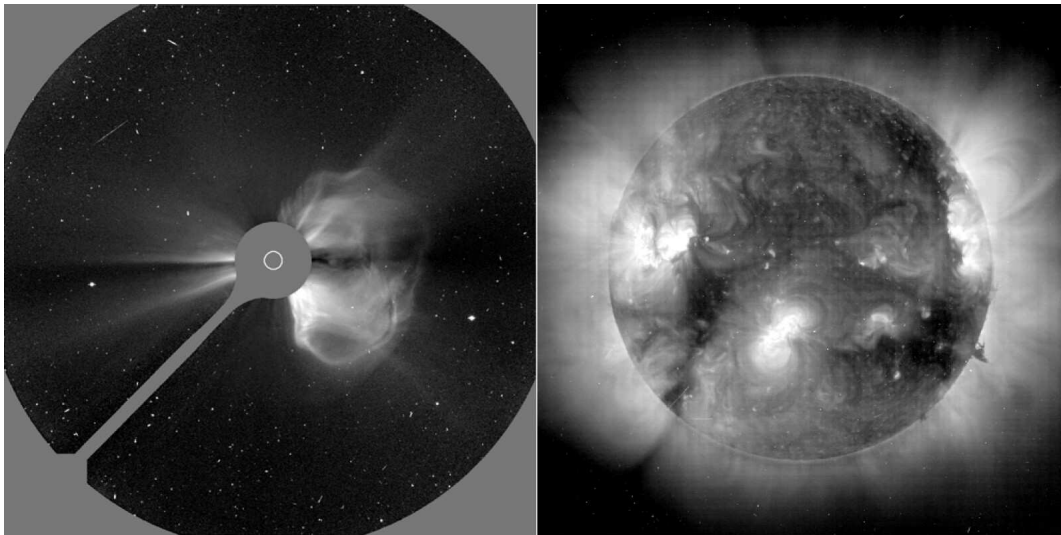
* doc.ddr. Rudi Čop, Fakulteta za pomorstvo in promet Portorož, Pot pomorščakov 4, 6320 Portorož;

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

*** dr. Samo Beguš in prof.dr. Dušan Fefer, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za magnetna merjenja, Tržaška 25, 1000 Ljubljana;

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

V času popolnega sončnega mrka se opazita drugače slabo vidni zunanji plasti Sonca: rdečkasta kromosfera in nad njo v žarke oblikovana korona. Na področjih sončnih peg kot tudi na magnetnih polih so ti žarki vidno pod vplivom močnih magnetnih polj. Fotosfera, vidno področje solarne površine, dosega temperaturo okoli 6000 K. Korona, ki leži nekaj tisoč kilometrov nad fotosfero, pa dosega temperaturo preko $2 \cdot 10^6$ K in gostoto delcev 10^{14} m^{-3} . Za ta pojav še ni zadovoljive razlage. Zgornja plast Sonca se namreč ne obnaša po pravih običajnega prenosa toplote (Stern & Peredo, 2003).



Slika 1: Fotografiji Sonca iz vesoljske sonde SOHO: izbruh materije v koroni 20. 04. 1998 (levo) in sončna korona dne 19. 09. 2000 pri $2 \cdot 10^6$ K (desno) (Berghmans, et al., 2000)

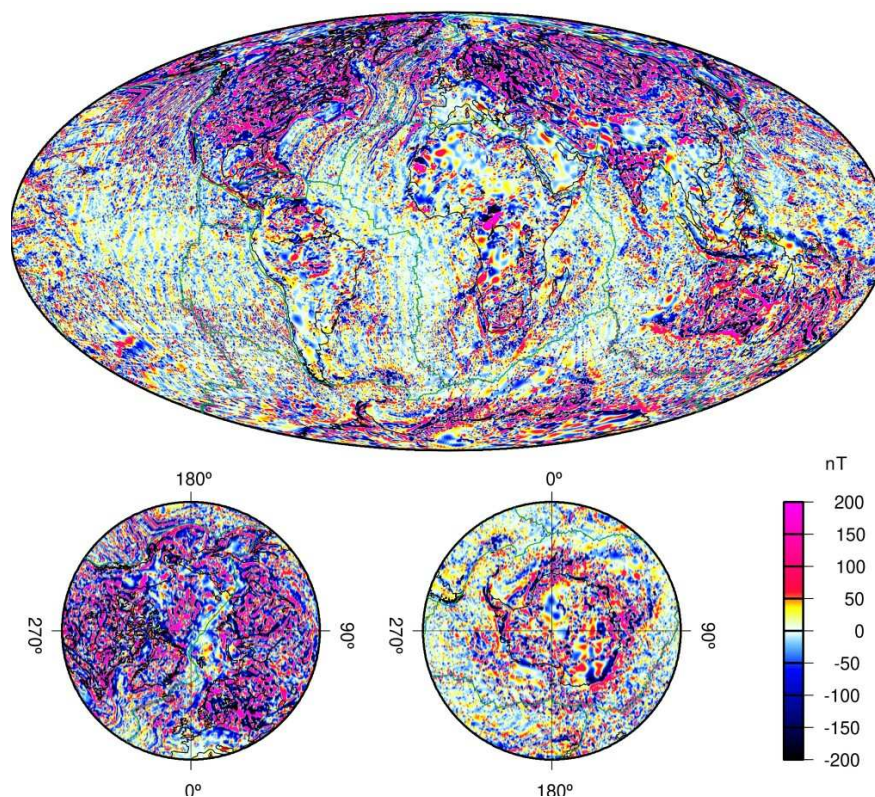
V nekaterih primerih nastanejo na Zemlji magnetne nevihte in močno povečanje sipanja osnovnih delcev iz Sonca tudi brez predhodnega pojava sončnih bleskov. Nad posameznim področjem sončnih peg se v takem primeru ustvari motnja v obliki balona, ki se z oddaljevanjem od svojega izvora vse bolj širi. Taki izbruhi materije v sončni koroni (coronal mass ejection, CME) so bili odkriti s pomočjo kamer na vesoljskih sondah konec sedemdesetih let prejšnjega stoletja (Slika 1).

Zemeljsko magnetno polje

Zemeljsko magnetno polje se načrtno proučuje v geomagnetnih observatorijih več kot stoletje in pol. Zadnja tri desetletja se meri tudi s pomočjo vesoljskih sond. Odkrivajo se lastnosti notranjih in zunanjih izvorov zemeljskega magnetizma. Podatke o njegovih spremembah v preteklih geoloških obdobjih nam posreduje remanentni magnetizem kamenin, lončenine in podobnih predmetov, ki so se namagnetili med njihovim ohlajanjem (Jarrard & Sclater, 1974; Mankinen & Wentworth, 2003).

Zemlja se od vseh notranjih planetov sončnega sistema vrti najhitreje. En obrat napravi v 23 urah in 56 minutah glede na zvezde stalnice oziroma v 24 urah glede na Sonce. Ima povprečni polmer 6371,2 km. Njeno jedro v stanju plazme zavzema ~84 % celotnega volumna, zunanja tekoča lupina pa ostalih ~16 %. Tekoča lupina predstavlja ~36 % celotne mase Zemlje in jo sestavljajo v glavnem kovine. Toplotna energija, ki se sprošča pri njenem ohlajanju, se odvaja v interplanetarni prostor s pomočjo prevajanja in konvekcije.

Do danes se je zaradi ohlajanja strdila zunanja skorja, ki predstavlja vsega ~4 % volumna celotne tekoče zunanje lupine.



Slika 2: Model vertikalne komponente magnetnega polja na površini Zemlje NGDC-720 (Geomagnetism, 2006)

Zunanja tekoča lupina zemlje je toplejša od temperature 1043 K, nad katero železo izgubi svoje feromagnetne lastnosti. Zato nastaja magnetno polje Zemlje samo zaradi električnih tokov, ki tečejo v njeni raztaljeni lupini. Konvekcijski tokovi v zunanji tekoči lupini povzročajo pretakanja ioniziranega materiala in so zato sestavni del magnetnega dinama. Poleg tega pa povzročajo tudi premikanje tektonskih plošč (Kious & Tilling, 1996). Zaradi razlike v gostoti in zaradi nesimetričnih konvekcijskih tokov tekoča lupina še dodatno samostojno niha, zaradi česar se s časom premika tudi zemeljsko magnetno polje (Russell & Luhmann, 1997). Danes je dejanski južni magnetni pol zemlje na severni polobli in se premika proti zahodu. Spremembe magnetne polaritete na severni polobli so se pred 60 milijoni let dogajala na vsakih 500 tisoč let. Pred 10 milijoni let so te spremembe postale trikrat pogostejše in se dogajajo na približno vsakih 150 tisoč let.

Približek dejanskemu magnetnemu polju Zemlje je magnetno polje, ki bi ga ustvarjal magnetni dipol v njenem središču. Kjer magnetna os tega dipola prebada zemeljsko površino, sta njena geomagnetna pola. Danes sta ta dva pola nagnjena za približno $11,3^\circ$ glede na os rotacije Zemlje. Le v primeru, da bi bilo njeno resnično magnetno polje dipolno, bi se njena geomagnetna pola pokrivala z njenima magnetnima poloma, dejansko pa ti dve skupini polov ležita na različnih krajih (Slika 2). Zemeljska magnetna pola sta tam, kjer je inklinacija magnetnega polja 90° na severnem magnetnem polu in -90° na južnem magnetnem polu. Ta dva pola se premikata neodvisno eden od drugega. Trenutno

je južni magnetni pol bolj oddaljen od južnega geografskega pola, kot pa je severni magnetni pol oddaljen od severnega geografskega pola.

Spremembo magnetnega polja Zemlje se lahko opiše s sferično harmonično vrsto, ki je rešitev Laplace-ove enačbe. V tej enačbi so zajeti le notranji izvori magnetnega polja in so predstavljeni s sekularnim magnetnim potencialom $V(r, \varphi, \lambda, t)$, katerega gradient sestavljajo tri osnovne vektorske komponente.

$$V(r, \varphi, \lambda, t) = R \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r} \right)^{n+1} \left[g_n^m(t) \cos m\lambda + h_n^m(t) \sin m\lambda \right] P_n^m(\cos \Theta)$$

- g_n^m, h_n^m ... Gaussovi koeficienti
- $P_n^m(\cos \Theta)$... pridružena Legendrova funkcija z normalizacijo po Schmidt-u
- Geografske komponente Zemlje so: povprečni polmer R , razdalja od njenega središča r , zemljepisna dolžina λ in $\Theta = 90^\circ - \varphi$ (co-latitude), pri čemer je φ zemljepisna širina
- Stopnja in red sferične harmonične vrste določata koeficienta n in m .

Normalizacija pridružene Legendrove funkcije, narejena po Schmidtu, je priporočena normalizacija za standardni matematični opis magnetnega polja Zemlje IGRF (International Geomagnetic Reference Field) (Geomagnetism, 2006). Prevladujoči sferični harmonični koeficient prve stopnje $n = 1$ in nultega reda $m = 0$ predstavlja magnetni moment vzdolž zemeljske rotacijske osi. Procesija tega magnetnega momenta je opisana s kombinacijo še drugih členov te stopnje.

| Observatorij | Koda | Geografska širina |
|------------------|------|-------------------|
| Panagjurishte | PAG | 40,6°N |
| Ebro | EBR | 40,8°N |
| L'Aquila | AQU | 42,4°N |
| Grocka | GCK | 44,6°N |
| Tihany | TIH | 46,3°N |
| Chambon-la-Foret | CLF | 50,1°N |
| Belsk | BEL | 50,2°N |
| Niemegk | NGK | 54,1°N |
| Wingst | WNG | 54,5°N |
| Brorfelde | BFE | 55,6°N |

Tabela 1: Evropski geomagnetni observatoriji na srednjih geografskih širinah

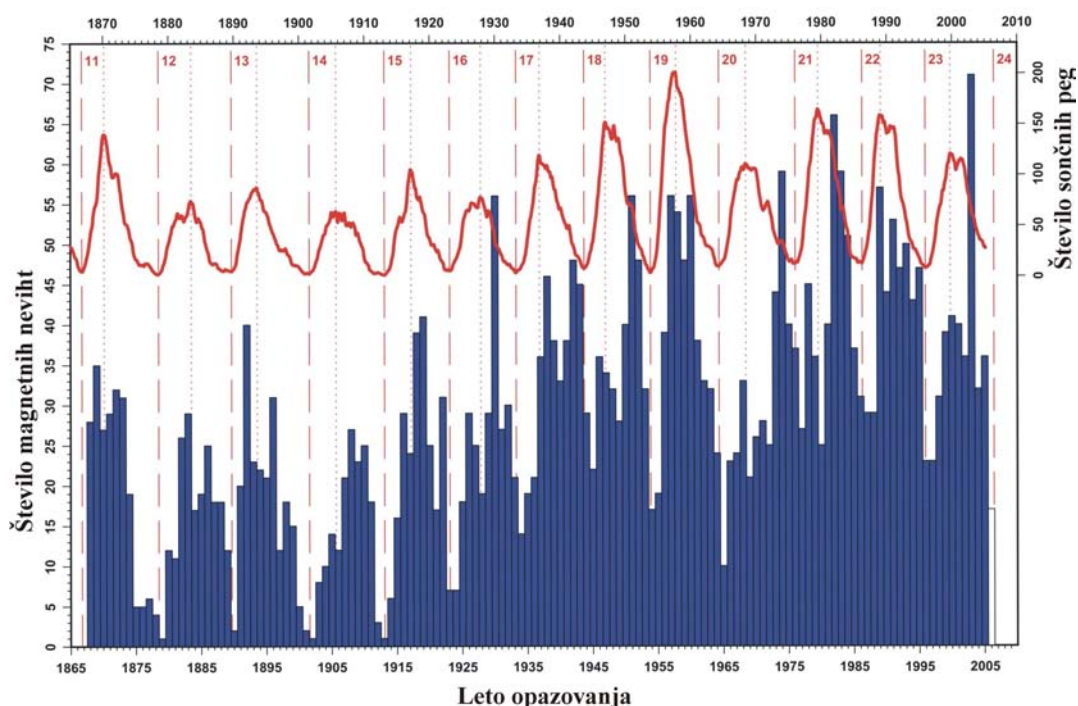
Matematični model zemeljskega glavnega magnetnega polja IGRF je na široko uporabljen pri proučevanju zemeljske notranjosti, njene skorje ter ionosfere in magnetosfere. Podaja letne spremembe geomagnetizma (secular variation) s predpostavko, da so te spremembe v obdobju petih let linearne. Najnovejša oblika tega matematičnega modela IGRF - 10 (revised 2005) je stopnje $n_{\max} = 13$ in podaja izhodiščno statično obliko modela na 0,1 nT natančno. Omogoča napoved letne sekularne spremembe za petletno obdobje s stopnjo $n_{\max} = 8$ z natančnostjo 0,1 nT na leto.

Moč sekularnega magnetnega potenciala je v zadnjih štiristo letih, odkar se meri (Tabela 1), padla za 20 %. Trenutno se zemeljski magnetni pol pomika proti zahodu s hitrostjo $0,1^\circ$ in odmika od severnega geografskega pola proti jugu za $0,02^\circ$ na leto (Wei & Xu, 2003; Rangarajan & Barreto, 2000). Da ostajajo vrednosti Gaussovih koeficientov tudi praktično uporabne za večino namenov, morajo biti ponovno izmerjene najmanj vsakih dvajset let. Merjenje sferičnih harmonskih koeficientov ni pomembno samo za določevanje sekularnih sprememb temveč tudi za določevanje lastnosti zemeljskega magnetnega

dinama. Za celoten vpogled v njegove lastnosti so poleg magnetnih meritev na površini Zemlje v občasnih točkah merjenja (repeat stations) pomembne tudi magnetne meritve s pomočjo vesoljskih sond na nizkih orbitah. Ta skupina magnetnih meritev se dopolnjuje s potresnimi meritvami v mreži seizmoloških opazovalnic. Čeprav sta ti dve skupini meritev iz dveh ločenih področij in različnih fizikalnih osnov, oblikujeta skupni rezultat: spremembe na magnetnem dinamiku Zemlje.

Spremembe zemeljskega magnetnega polja

Vektor zemeljskega magnetnega polja se spreminja s časom in s krajem. Spremembe magnetnega polja Zemlje se v določenih obdobjih odvijajo enakomerno in pravilno, zato se lahko tem spremembam določi zakonitost. Obstajajo pa obdobja, v katerih se amplituda in perioda neprestano spreminjata. Na osnovi observatorijskih meritev so najprej določene normalne vrednosti geomagnetnega polja. To so letne srednje vrednosti, določene za daljše merilno obdobje, kot je na primer en sončni cikel. Normalna gostota magnetnega polja v Sloveniji je nekaj več kot 47000 nT (Weyand, 1984).



Slika 3: Sončni cikli (polna črta) in letno število geomagnetnih neviht (stolpci) (The Earth's Magnetic Field, 2007)

S pomočjo statistične analize so iz merilnih podatkov posameznega geomagnetnega observatorija nato določene spremembe magnetnega polja Zemlje, ki imajo svoj izvor v Zemlji ali na njeni površini. Spremembe zunanega izvora imajo svoje poreklo v spremembi aktivnosti Sonca, spremembi njegovega magnetnega polja in v sončnem vetru. Razdeli se jih lahko v več različnih razredov glede na njihovo obliko in velikost. Spremembe magnetnega polja, izmerjene v magnetno mirnih dneh, določajo stalno dnevno spremembo magnetnega polja Zemlje. Periodične spremembe te vrste z dolžino enega

solarnega dne se imenujejo stalna dnevna sprememba S_R . Ker je to osnovna oblika, ki določa geomagnetno aktivnost, se pri obravnavanju sprememb geomagnetnega polja izloča. Amplituda stalne dnevne spremembe S_R doseže svojo največjo vrednost v času poletnega solsticija, najmanjšo pa v času zimskega solsticija. Na geomagnetnih observatorijih srednje zemljepisne širine (Tabela 1) je stalna dnevna variacija okoli 60 nT v poletnem času, v zimskem času pa okoli 20 nT. S to ugotovitvijo je dokazan neposreden vpliv Sonca na magnetno polje Zemlje (Mihajlović & Lazović, 2006; Čop et al. 2007).

| Magnetna nevihta | Začetek | Konec | Rang [nT] | Indeks g.m.a. K |
|------------------|----------------------|-----------------------|-----------|-----------------|
| 1982, July 11 | 13.07.1982: 16 17 UT | 15.07.1982: 22 00 UT | 420 nT | 9 |
| 1986, February 6 | 06.02.1986: 13 15 UT | 10.02.1986: 23 45 UT | 445 nT | 9 |
| 1989, March 13 | 13.03.1989: 01 28 UT | 15.03.1989: 21 50 UT | 574 nT | 9 |
| 1990, April 9 | 09.04.1990: 08 44 UT | 15.04.1990: 06 00 UT | 584 nT | 9 |
| 1991, October 17 | 17.10.1991: 13 33 UT | 21.10.1991: 19 20 UT | 392 nT | 9 |
| 2000, July 14 | 14.07.2000: 06 46 UT | 17.07.2000: 13 54 UT | 478 nT | 9 |
| 2003, October 29 | 29.10.2003: 06 12 UT | 01.11.2003: 21 00 UT | 700 nT | 9 |
| 2004, November 7 | 07.11.2004: 02 57 UT | 11.11. 2004: 14 00 UT | 500 nT | 9 |

Tabela 2: Seznam največjih magnetnih neviht v 22. in 23. solarnem ciklu

V času enega sončnega ciklusa se na geomagnetnem observatoriju izmeri večje število nenadnih sprememb magnetnega polja Zemlje, ki so del sicer zelo pestro sestavljenega geomagnetnega polja. To so lahko tudi magnetne nevihte razreda z nenadnim začetkom ali magnetne nevihte razreda s postopnim začetkom. Magnetne nevihte so najbolj značilna zunanja motnja magnetnega polja Zemlje. Zanje je značilno, da njihova absolutna in relativna amplituda presega vrednost 100 nT.

Na osnovi analize dolgoletnih neprekinjenih meritev sončeve aktivnosti je bilo ugotovljeno, da se število sončnih peg povečuje in zmanjšuje ciklično v času enajstih let (Slika 3). Ta cikel je določen s časom med dvema zaporednima minimuma števila sončnih peg. Krivulja aktivnosti Sonca je sestavljena iz treh delov: osnovne periodične komponente enajstih let, komponente skoraj periodičnih sprememb približne dolžine enega leta in nenadnih sprememb, ki se odvijajo v času enega meseca. Skupna lastnost vseh solarnih ciklov je zelo hitra rast števila sončnih peg po minimumu in precej počasno upadanje po doseženem maksimumu. Meritve v času nekaj solarnih ciklov so dokazale, da obstaja neposredna povezava med spremembami aktivnosti Sonca in spremembami magnetnega polja Zemlje. Sprememba števila magnetnih neviht v posameznem letu je popolnoma usklajena s spremembami števila sončnih peg (Slika 3). V številu nenadnih sprememb geomagnetnega polja obstajajo prav tako cikli dolžine enajstih let, ki pa za solarnimi cikli zaostajajo za 15 do 18 mesecev.

Geomagnetne nevihte v 22. in 23. sončnem ciklu

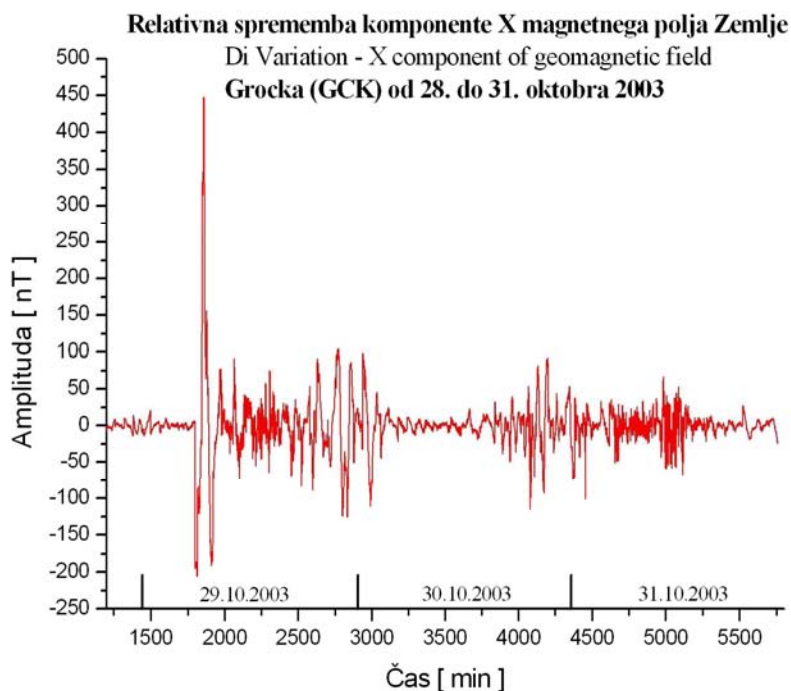
Za 22. in 23. sončni ciklus, ki obsegata časovno obdobje od leta 1986 do leta 2005, so bile na osnovi meritev evropskih geomagnetnih observatorijev srednje geografske širine (Tabela 1) narejene analize dnevne variacije geomagnetne aktivnosti, analiza geomagnetnih motenj in analiza razredov zelo močnih magnetnih neviht. Skupno je bilo analiziranih 37 magnetnih neviht z nenadnim začetkom SSC (Sudden Storm Commencement). Upoštevana sta bila njihova največja amplituda in čas trajanja. V času 22. in 23. sončnega cikla je posamezna magnetna nevihta povprečno trajala 72 ur. Med vsemi magnetnimi nevihtami iz opazovanega obdobje je bilo izbranih 8 (Tabela 2) z največjim rangom (Big Magnetic Storms). Te so bile nato primerjane z magnetnimi nevihtami registriranimi v japonskem observatoriju Kakioka (KAK), Memambetsu (MEM) in Kanoya (KNY) (Tsunomura et al, 1999). Primerjava je bila narejena tudi z mesečnim poročilom o registraciji naglih geomagnetnih sprememb, ki jih objavlja organizacija ISGI (International Service of Geomagnetic Indices) (Monthly Bulletin, 2003).

Nenadne sončne in geomagnetne spremembe v oktobru 2003

V mesecu oktobru 2003 se je aktivnost Sonca spreminjala od nizkega nivoja v prvi polovici meseca do izjemno visokega v zadnjih desetih dneh meseca. Na površini Sonca je bilo zaznati nekaj večjih skupin sončnih peg, označenih kot katanjske grupe (Catania sunspots groups). Velika skupina sončnih peg Catania 70 se je pojavila na vzhodnem robu sončne površine 23. oktobra 2003. Zavzela je 0,23 % površine sončnega diska, kar je bilo največ med vsemi skupinami sončnih peg v 23. sončnem ciklu. V skupini sončnih peg Catania 70 je nastalo večje število izjemno močnih sončnih bleskov. Tisti, ki so nastali v okolici osrednjega sončnega meridiana, so povzročili izbruhe materije v sončni koroni CME (coronal mass ejection) v smeri Zemlje (Solar Influences Data Analysis, 2003). Sončni veter je 28. oktobra dosegel izjemno hitrost 2125 km s^{-1} , naslednja dva dni pa 1950 km s^{-1} . Interplanetarno magnetno polje je doseglo vrednost -50 nT .

Vsi ti izjemno močni izbruhi CME so vplivali na magnetno polje Zemlje. 29. oktobra 2003 ob 06 12 UT je bil registriran začetni impulz, ki je napovedal eno od najmočnejših magnetnih neviht SSC (Sudden Storm Commencement) v zadnjih desetih sončnih ciklih (Slika 4). V času trajanja te magnetne nevihte je planetarni indeks geomagnetne aktivnosti dosegel ekstremne vrednosti. 29. oktobra je znašal $\Sigma Kp = 58$ in 30. oktobra $\Sigma Kp = 56$. V nekaj triurnih intervalih so bili doseženi izjemni indeksi geomagnetne aktivnosti $Kp = 7$, $Kp = 8$ in $Kp = 9$. Magnetna nevihta je trajala do 01. novembra 2003. Njen rang je bil 700 nT, kar predstavlja največje odstopanje od srednje vrednosti geomagnetnega polja na srednjih geografskih širinah (Tabela 2).

Podrobnejša analiza urnih vrednosti indeksa D_{ST} za mesec oktober 2003 kaže, da je bil ta mesec glede geoaktivnosti razdeljen na tri dele. Z indeksom D_{ST} se opisuje urne vrednosti horizontalne komponente zemeljskega magnetnega polja H [nT]. Po tem indeksu je bil čas od 1. do 13. oktobra zelo miren, obdobje od 14. do 27. oktobra pa le zmerno moteno z doseženim indeksom $D_{ST} < -100 \text{ nT}$. V času od 28. oktobra do 2. novembra 2003 pa je bila geomagnetna aktivnost izjemno velika. Registrirane so bile tri zaporedne magnetne nevihte. Največji indeks $D_{ST} = -401 \text{ nT}$ je bil registriran 30. oktobra ob 23,00 UT (Hourly Equatorial D_{ST} Values, 2003).



Slika 4: Relativna sprememba magnetnega polja Zemlje $D_i(x)$ izmerjena na geomagnetnem observatoriju Grocka v času od 28. do 31. oktobra 2003

Navigacija in navigacijski instrumenti

Navigacija je proces, pri katerem se potovanje organizira varno in prilagojeno danim razmeram. V osnovnem pomenu je to znanost načrtovanja, nadzorovanja in vodenja ladij od izhodiščnega do namembnega pristanišča. Danes pomeni navigacija znanost vodenja ladij, cestnih in tirnih vozil, letal in vesoljskih plovil v določenem času po najkrajši in najprimernejši poti. Teorija navigacije se danes naslanja na znanja iz več naravoslovnih in družbenih ved, matematike, teorije optimalnega vodenja in iz več področij tehnike (Bowditch, 2002; Benković et al, 1986). Navigator mora pri svojem vsakdanjem delu nujno upoštevati tudi vremenske in klimatske pogoje. Nanje pa imajo magnetne nevihte neposreden vpliv.

V času trajanja geomagnetne nevihte 30. in 31. oktobra 2003 so bile registrirane velike spremembe zemeljskega magnetnega polja (Largest Geomagnetic Storm, 2003). Zato je bil povzročen dodatni naključni pogrešek pri navigacijskih instrumentih za merjenje smeri. Ti instrumenti so danes v navigaciji sekundarnega pomena, vendar se obvezno uporabljajo v navigacijskih napravah s povečano točnostjo, zanesljivostjo in robustnostjo delovanja: integralni navigacijski sistemi, avto-piloti, radarji ARPA, sistemi za uravnavanje vrtnih platform. Prehod posamezne magnetne nevihte se danes že točno napove. To pomeni, da pogreški, ki jih taka nevihta povzroči na navigacijskih instrumentih, postanejo sistemski in zato obvladljivi.

Magnetna nevihta spremeni razmere v atmosferi in s tem način širjenja radijskih valov. Zato se spremenijo pogoji uporabe radionavigacijskih sistemov: satelitskih in hiperboličnih navigacijskih sistemov ter radijskih svetilnikov. Zato je poznavanje izjemnih sprememb v

magnetnem polju Zemlje pomembno tudi pri uporabi primarnih navigacijskih sistemov pasivne in aktivne vrste.

Zaključek

V Evropi delujeta dva od šestih svetovnih centrov GIN (Geomagnetic Information Node) za zbiranje rezultatov geomagnetnih meritev v skoraj realnem času. Preko teh centrov je več kot osemdeset geomagnetnih observatorijev po vsem svetu povezanih v projekt Intermagnet (International Real-time Magnetic Observatory Network) (Kerridge; Intermagnet, 2004). Ta mednarodni projekt, ki deluje od leta 1991, omogoča zbiranje in shranjevanje rezultatov meritev sprememb magnetnega polja Zemlje na njeni površini. Zbrane podatke nato posreduje vsem observatorijem za geomagnetne meritve IMO (Intermagnet Magnetic Observatory) in drugim uporabnikom.

Postavitev geomagnetnega observatorija v Republiki Sloveniji bi pomenila ponovno vzpostavitev geomagnetnih meritev na njenem ozemlju, ki so že potekale od leta 1958 do leta 1991. Njegova vključitev v mednarodno mrežo Intermagnet pa bi mu omogočila sodelovanje v domačih in mednarodnih programih in projektih is področja geomagnetizma, astronomije, seizmologije, vremenslovja, navigacije in varstva okolja.

Osnova članka

V članku je predstavljeno eno od izhodišč raziskovalnega projekta 'Določitev magnetne deklinacije za območje Slovenije in primerjava z globalnimi modeli zemeljskega magnetnega polja', ki se od 01. 08. 2007 izvaja v okviru Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Finančna sredstva za ta projekt je zagotovilo ministrstvo Republike Slovenije pristojno za obrambo.

Literatura

- Benković, F. et al. Terestrička i elektronska navigacija. Split: Hidrografski institut ratne mornarice, 1986. ISBN: 8670330016.
- Berghmans, David. et al. A new start for the SIDC. Brussel: Royal Observatory of Belgium; Department of Solar Physics; Solar Influences Data Centre (SIDC), [cited 28.08.2007]. Available from Internet in DOC format: <http://www.sidc.be/publications/docs/Berghmans_2000_OSTC_SIDC.doc>.
- Bowditch, Nathaniel. National Imagery and Mapping Agency. American practical navigator: "Bowditch". An epitome of navigation. Originally by Nathaniel Bowditch (1773-1838). Arcata (CA, US): Paradise Cay Publications, 2002. ISBN: 0939837544.
- Čop, Rudi. et al. The distribution of the K indices geomagnetic activity in 23 rd Sun`s cycles. Geophys. res. abstr., 2007, vol. 9, no. 1, 2 str.
- Čop, Rudi. Fefer, Dušan. Nature of Earth`s magnetic field and its application for commercial flight navigation. Edited by Jean L. Rasson and Todor Delipetrov. Geomagnetism for Aeronautical Safety: A Case Study in and around the Balkans. NATO Security through Science Series C: Environmental Security. Editors Jean L. Rasson and Todor Delipetrov. Dordrecht (NL): Springer, 2006, p. 115-126. ISBN: 1402050240.
- Geomagnetism: Geomagnetic Field Models [online]. National Geophysical Data Center: Main, crustal and magnetospheric field, Degree 720, Ver. 1.0 (Sep 2006). Available from Internet: <<http://geomag.org/models/index.html>>.

- Hourly Equatorial D_{ST} Values (Provisional). WDC-C2 Geomagnetism, Kyoto University. Bulletin Mensuel, October 2003, no. 03, vol.10.
- Intermagnet Technical Reference Manual. Version 4.2. Edited by: Benoît St-Louis. Denver (CO, US): U.S. Geological Survey; Denver Federal Center, 2004.
- Jarrard, D. Richard. Sclater, G. John. Preliminary paleomagnetic results, leg 22. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project covering Leg 22 of the cruises of the Drilling Vessel Glomar Challenger Darwin, Australia to Colombo, Ceylon January - March 1972. Science Editor Anthony C. Pimm. University of California; Scripps Institution of Oceanography, February 1974, vol. 22, p.369-375.
- Kerridge, David. Intermagnet: Worldwide near-real-time geomagnetic observatory data. Edinburgh (UK): British Geological Survey.
- Kious, W. Jacquelyne. Tilling, I. Robert. This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics. Washington (DC, US): United States Government Printing, 1996. ISBN: 0160482208.
- Largest Geomagnetic Storm in 20 Years [online]. Edimburg (UK): Seismology and Geomagnetism Programme; BGS British Geological Survey; Natural Environment Research Council [cited 13.08.2007]. Available from Internet: <<http://www.geomag.bgs.ac.uk/storm29oct2003.html>>.
- Mankinen, A. Edward. Wentworth, M. Carl. Preliminary Paleomagnetic Results from the Coyote Creek Outdoor Classroom Drill Hole, Santa Clara Valley, California. Open-File Report 03-187. Menlo Park (CA, US): U.S. Department of the Interior; U.S. Geological Survey, 2003.
- Mihajlović, Spomenko. Lazović, Časlav. The Disturbances of the Solar-Geomagnetic Activity [CD-ROM]. MIHALIČ, Franc (urednik). EPE-PEMC 2006 : conference proceedings. [Piscataway]: IEEE, cop. 2006, 2006, p. 2045-2050. System requirements: Adobe Acrobat Reader; CD-ROM drive. IEEE Catalog Number: 06EX1282C. ISBN: 1424401216.
- Monthly Bulletin 2003 [online]. International Service of Geomagnetic Indices – ISGI; Publications Office, 2007 [cited 14.11.2007]. Available from Internet: <<http://isgi.cetp.ipsl.fr/bull03.html>>.
- Rangarajan, G. K. Barreto, L.M. Secular change in the location of the magnetic dip equator in the twentieth century. Geofisica Internacional, 2000, vol. 39, no. 4, p. 323-336.
- Russell, C. T. Luhmann, J. G. Earth: Magnetic Field And Magnetosphere Encyclopedia of Planetary Sciences. Edited by J. H. Shirley and R. W. Fainbridge, New York: Chapman and Hall, 1997. p.208-211.
- Solar Influences Data Analysis; Monthly Summary of Solar and Geomagnetic Activity. Sunspot Bulletin, 2003, no.10. Available also from Internet in PDF format: <<http://sidc.oma.be/html/SWAPP/monthlybulletin/monthlybulletin.html>>.
- Stern, P. David. Peredo, Mauricio. The Exploration of the Earth's Magnetosphere [online]. From the Sun to the Earth: Polar, Wind and Geotail; An educational web site. Greenbelt (MD, US): NASA Goddard Space Flight Center, Last updated 10 November 2003 [cited 28.08.2007]. Available from Internet: <<http://www-spof.gsfc.nasa.gov/Education/index.html>>.
- The Earth's Magnetic Field - An Overview [online]. Edimburg (UK): Seismology and Geomagnetism Programme; BGS British Geological Survey; Natural Environment Research Council [cited 13.08.2007]. Available from Internet: <<http://www.geomag.bgs.ac.uk/earthmag.html>>.
- Tsunomura, S. et al. A study of geomagnetic storm on the basis of magnetic observations in the Japanese chain observatories. Kakioka (J): Memories of the Kakioka magnetic observatory, 1999, vol. 27, p. 1- 105.
- Wei, Zi-Gang. Xu, Wen-Yao. Westward drift in secular variation of the main geomagnetic field inferred from IGRF. Earth Planets Space, 2003, no. 55, p. 131–137.
- Weyand, Kurt. Eine neues Verfahren zur Bestimmung des gyromagnetischen Koeffizienten des Protons, Braunschweig: PTB, 1984.

Evropska seizmološka komisija - preteklost, sedanjost in prihodnost

Mariano Garcia-Fernandez^{*}, Ina Cecić^{**}, Alice B. Walker^{***}

Povzetek

Evropska seizmološka komisija (ESC) je regionalna komisija IASPEI, ki je prav tako povezana tudi z IUGG. IASPEI je ustanovil ESC kot znanstveno organizacijo leta 1951. Naloga ESC je promoviranje seizmologije kot vede v znanstveni skupnosti evropskih in sredozemskih držav (v regiji od Severnoatlantskega hrbta do Uralskega gorovja in od Arktičnega oceana do severne Afrike), izboljševanje znanstvenega sodelovanja, izobraževanje in popularizacija znanosti. Prva Generalna skupščina ESC je bila leta 1952 v Stuttgartu, Nemčija. Od takrat se je zvrstilo 30 Generalnih skupščin, ki so bile vedno žariščna točka evropskega znanja o potresih, o nevarnosti, ki jo le-ti predstavljajo in o načinih, kako se zaščititi pred njimi. Znanstvene dejavnosti znotraj ESC so bile v preteklosti organizirane v obliki podkomisij, ki so skrbele za različna področja seizmologije. Vsaka podkomisija je imela več delovnih skupin. Na XXX. Generalni skupščini v Ženevi leta 2006 je prišlo do pomembne spremembe v organizaciji ESC, predvsem zaradi bolj prilagodljivega administrativnega delovanja kot tudi zaradi učinkovitejšega znanstvenega sodelovanja. Novo strukturo ESC sestavljajo Izvršni komite, ki je glavno usklajevalno telo, potem predstavniki držav članic (t.i. Titular Members) in delovne skupine, ki so ustanovljene po novih pravilih. ESC je vedno podpirala številne pomembne pobude in doprinese na področju seizmologije v evropsko-sredozemskem območju. Med te lahko štejemo prvo evropsko karto največjih opaženih intenzitet potresa, prvi evropski katalog potresov, projekt ohranjanja in arhiviranja seizmogramov pomembnih potresov, Evropsko-sredozemski seizmološki center (EMSC-CSEM), ORFEUS (Observatoriji in raziskovalne institucije evropske seizmologije), evropsko potresno lestvico (EMS-98), evropsko bazo akcelerogramov (ESD), novi IASPEI priročnik observatorijskega dela in tudi prvo poenoteno karto potresne nevarnosti za evropsko-sredozemsko področje. Pričakovati je, da bo z novo strukturo, ESC še bolj uspešno nadaljevala svoje delo v seizmološki skupnosti in pomagala k večjemu razumevanju seizmologije in posredno boljši zaščiti prebivalstva.

ESC: Kaj in zakaj

Evropska seizmološka komisija (ESC) je regionalna komisija IASPEI, ki je prav tako povezana tudi z IUGG. IASPEI je ustanovil ESC kot znanstveno organizacijo leta 1951. Prva Generalna skupščina ESC je bila leta 1952 v Stuttgartu (Nemčija).

Naloga ESC je promoviranje seizmologije kot vede v znanstveni skupnosti evropskih in sredozemskih držav (v regiji od Severnoatlantskega hrbta do Uralskega gorovja in od Arktičnega oceana do severne Afrike), izboljševanje znanstvenega sodelovanja, izobraževanje in popularizacija znanosti. ESC želi delovati kot združevalna sila, ki na širšem evropskem ozemlju postopno odstranjuje ovire in usklajuje tako vsakdanjo seizmološko prakso kot tudi raziskovalne dejavnosti; želja ESC je da bodo v seizmologiji

^{*} dr. Mariano Garcia-Fernandez, Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, Museo Nacional de Ciencias Naturales, Dept. de Volcanologia, Madrid, Španija

^{**} mag. Ina Cecić, MOP, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, Slovenija

^{***} dr. Alice B. Walker, British Geological Survey, Edinburgh, ZK

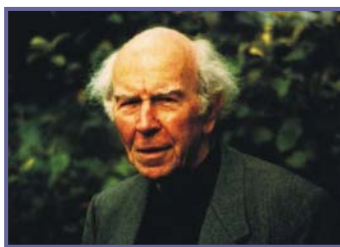
tektonske meje bolj pomembne kot državne ali administrativne, kar bo še dodatno prispevalo in že prispeva k vzpostavljanju združene znanstvene skupnosti.

Glavne naloge ESC so naslednje:

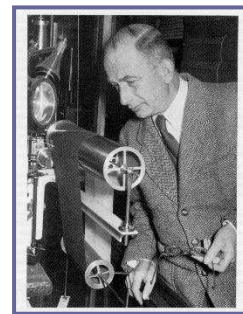
1. z organizacijo Generalnih skupščin, delavnic, seminarjev o posebnih temah, kot tudi forumov za razpravo o novih idejah ESC omogoča lažjo izmenjavo idej in osebna srečanja znanstvenikov.
2. ESC podpira sodelovanje posameznikov in organizacij v delovnih skupinah (Working Groups, WGs), ki preučujejo probleme od mednarodnega pomena in interesa, s poudarkom na novih področjih raziskovanj.
3. ESC promovira interdisciplinarne raziskave, ki vključujejo seizmologijo.
4. ESC podpira sodelovanje z drugimi evropskimi in zunajevropskimi znanstvenimi in strokovnimi združenji.
5. ESC organizira in pomaga pri organizaciji izobraževalnih tečajev iz potresne in inženirske seizmologije, še posebej za mlade raziskovalce.
6. ESC deluje na podlagi predpisov, odredb in priporočil, ki ih izda Mednarodno združenje za seizmologijo in fiziko Zemlje (IASPEI).

Zgodovina ESC

Poglavje o zgodovini ESC začnimo z anekdoto iz časov Druge svetovne vojne: dva znana seizmologa, Elie Peterschmitt z Inštituta za fiziko Zemlje iz Strassbourga v Franciji in Wilhelm Hiller z Geofizikalnega inštituta v Stuttgartu, Nemčija sta kot vojna ujetnika službovala pod poveljstvom en drugega in tako vzajemno rešila življenje. Dr. Peterschmitt je bil oficir francoske Meteorološke službe in je bil kot vojni ujetnik tri leta in pol uslužbenec dr. Hillerja. Aprila leta 1945 je dr. Hiller postal vojni ujetnik in sedem mesecev služboval kot geofizik na observatoriju Parc Sant-Maur. Oba sta bila veliko pozneje pomembna člana ESC.



Elie Peterschmitt (1916 – 2003)



Wilhelm Hiller (1899-1980)

Kratek pregled nastajanja ESC:

- **1947** Inge Lehmann (Danska), I. Bobr (Poljska) in Charles Charlier (Belgija) razpravljajo o prvi ideji bodoče evropske organizacije na sestanku Mednarodnega združenja za seizmologijo (IAS) v Strassbourgu.
- **1948** (IUGG Oslo): Organizacija dobi začasno neuradno ime: "Organisation Séismologique Européenne".

- **1949** Lehmann, Charlier, Rothe (Francija) in Visser (Nizozemska) objavijo t.im. »Manifesto« v katerem opišejo potrebo po ustanavljanju evropske seizmološke organizacije, in njen namen. Pod naslovom »ORGANISATION SEISMOLOGIQUE EUROPEENNE (OSE) PROJECT« so zapisali nujno potrebo po boljšem sodelovanju v seizmologiji v Evropi, saj so stiki prek državnih meja postali veliko bolj težavni kot v časih pred vojno. Primerjali so položaj seizmologije v Evropi z položajem v Združenih državah, kjer so imeli seizmologi na razpolago bistveno več denarja in možnosti za raziskave in sodelovanje. Pred Drugo svetovno vojno je bila Evropa daleč pred ZDA, potem se položaj obrnil. Obstoječa organizacija, IAS, je bila odprta le za velike države, sestanke je imela šele enkrat na tri leta in še takrat je zmanjkovalo časa za razpravo o problemih, ki so bili specifični za ozemlje Evrope; v ZDA so se seizmologi srečevali enkrat letno. Novo evropsko združenje naj bi bilo, po mnenju podpisnikov, odprto vsem, predvsem raziskovalcem iz manjših držav, ki nimajo svojih nacionalnih seizmoloških združenj. V novem združenju naj bi se srečevalo bolj pogosto kot IUGG / IAS.
- **1950** Pietro Caloi organizira konstitutivno srečanje v Veroni. Ponujata se dve možnosti: ali organizirati ESC kot privatno združenje, ali pod pokroviteljstvom IUGG / IAS (pozneje IASPEI).
- **1951** na sestanku IUGG / IAS v Bruslju: sklepi o ustanavljanju ESC, izbiranju predstavnikov (Titular Members) in prvega Sveta, ki bo pripravil predpise organizacije. Za predsednico je bila izbrana Inge Lehmann, člani prvega Sveta ESC so bili E. Peterschmitt (Francija), P. Caloi (Italija), W. Hiller (Nemčija) in J. Bonelli (Španija).

Prva Generalna skupščina ESC je bila septembra **1952** v Stuttgartu, v takratni Zahodni Nemčiji. Udeležilo se je 47 strokovnjakov, predvsem iz Zahodne in Vzhodne Nemčije, Turčije, Francije, Združenega Kraljestva, Španije in Švice (skupaj iz 13 držav). Program Skupščine je bil razdeljen v štiri sekcije: Določanje parametrov potresa, Potresi in tektonika, Zgradba skorje v Evropi, ter Značilnosti potresnega valovanja. Sponzorja konference sta bila IUGG in UNESCO.



Udeleženci prve Generalne skupščine ESC, Stuttgart 1952.

Na skupščini so bili sprejeti prvi sklepi:

- Postavljanje novih seizmoloških postaj z sodobnimi instrumenti.
- Izdelava nacionalnih katalogov potresov.
- Uporaba razstreljevanj za raziskave zemeljske skorje.

- Ustanovitev službe za hitro določanje epicentrov potresov na območju Evrope in okoliških območij.
- Ohranjanje starih seizmogramov za bodoče delo.

Od takrat do danes smo imeli 30 Generalnih skupščin. Zadnja je bila septembra 2006 v Ženevi, Švica. Bila je organizirana kot združeno srečanje evropskih seizmologov in gradbenikov, ki se ukvarjajo s potresnim inženirstvom. Udeležilo se je 1371 strokovnjakov iz celega sveta.

Do leta 2006 so bili organi ESC:

- ESC Biro: predsednik, dva podpredsednika, glavni tajnik in pomožni tajnik,
- Izvršni komite ESC, sestavljen iz petih členov Biroja, sedem vodij Podkomisij in predstavnikov mednarodnih organizacij (IASPEI, EMSC, ORFEUS, EAEE)
- Svet ESC, ki je sestavljen iz predstavnikov držav in Izvršnega komiteja.

Nazivi Podkomisij so se spreminjali skozi čas; ene so delovale dlje časa, nekatere so se ukinjale in odpirale so se nove, z novimi temami in izzivi. Vsaka Podkomisija je bila razdeljena na več delovnih skupin, ki so se ukvarjale z natančneje določenimi temami raziskav. V letu 2006 so v ESC delovale naslednje Podkomisije:

1. SC-A Seizmičnost področja Evrope in Sredozemlja
2. SC-B Pridobivanje, teorija in interpretacija podatkov
3. SC-C Fizika potresnih žarišč
4. SC-D Struktura skorje in zgornjega plašča
5. SC-E Raziskovanje napovedovanja potresov
6. SC-F Inženirska seizmologija
7. SC-G Skupina za hitro posredovanje po močnem potresu

ESC je vedno zelo uspešno delovala kot most, ki je povezoval in zbliževal raziskovalce iz zahodnih in vzhodnih evropskih držav, predvsem v obdobju pred 1990. V zadnjem času je veliko naporov usmerjenih k vključevanju držav z južnega roba Sredozemskega morja v sodelovanje in izmenjavo podatkov in znanj.

Slovenija je članica ESC od leta 1994.

Nova struktura (Ženeva, 2006)

Od septembra 2006 ESC deluje po spremenjenih pravilih. Podkomisije so ukinjene, namesto njih večje odgovornosti dobijo delovne skupine. Imeti morajo določen cilj, izdelke in čas, v katerem naj bi opravile delo.

Organe ESC zdaj predstavljajo Izvršni komite ESC, predstavniki držav, Svet ESC in delovne skupine.

Člani Izvršnega komiteja ESC v obdobju 2006-2008 so: predsednik Domenico Giardini (Švica), podpredsednik Gerassimos Papadopoulos (Grčija), generalni tajnik Mariano Garcia-Fernandez (Španija), pomožna tajnica Ina Cecić (Slovenija), člani Steinunn Jakobsdottir (Islandija), Rami Hofstetter (Izrael) in Dario Slejko (Italija), potem še prejšnji predsednik Claudio Eva (Italija), prejšnji podpredsednik Jochen Zschau (Nemčija), in predstavniki mednarodnih združenj in organizacij: za IASPEI Peter Suhadolc (Italija), za EAEE Atilla Ansal (Turčija), za EMSC Chris Browitt (ZK), za ORFEUS Bernard Dost (Nizozemska) in predstavnik Azijske seizmološke komisije, ASC.

V prehodnem obdobju 2006-2007 je v ESC delovalo 23 delovnih skupin. Po izteku tega roka je vsaka posamezna delovna skupina morala izdelati načrt dela in se ponovno prijaviti za odobritev.

Generalna skupščina 2008

Naslednja Generalna skupščina ESC bo od 7. do 12. septembra 2008 v Grčiji, v kraju Hersonissos na Kreti. Lokalni organizator je Inštitut za geodinamiko Nacionalnega observatorija v Atenah. Trenutno poteka živahen proces organizacije posameznih sekcij. Več informacij o konferenci lahko dobite na spletni strani ESC

www.esc-web.org

Nekaj dosedanjih aktivnosti in dosežkov ESC

ESC je bila v več kot petdesetih letih svojega delovanja organizator in pokrovitelj številnih pomembnih raziskav, srečanj in dogodkov. Naštejemo le nekaj najbolj pomembnih v evropskih in svetovnih merilih:

- leta 1964 je Vit Karnik objavil prvo evropsko karto največjih opaženih intenzitet.
- v letih 1969 in 1971 je Karnik objavil tudi prvi evropski katalog potresov (Karnik, V. Seismicity of the European Area, Part 1 & 2, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 1969, 1971)
- od leta 1952 do danes je mnogo storjenega na področju arhiviranja in ohranjanja zgodovinskih seizmogramov; danes se s tem ukvarja projekt EUROSISMOS
- leta 1976 je ustanovljen EMSC – Evropsko sredozemski seizmološki center, kot raziskovalna organizacija ki se ukvarja z hitrim določanjem epicentrov potencialno rušilnih potresov v področju Evrope in Sredozemlja. Danes center deluje v Bruyeres-le-Chatel, v bližini Pariza. (več na www.emsc-csem.org)
- veliko članic ESC sodeluje v ORFEUS (Observatoriji in raziskovalne ustanove za evropsko seizmologijo), ki deluje kot središče in stičišče tistih, ki širokopasovne seizmološke podatke zajemajo, obdelujejo in interpretirajo. ORFEUS vzdržuje Podatkovni center (ODC) in omogoča dostop do podatkov iz celega evropsko-sredozemskega območja. Podatkovni center je v Utrechtu na Nizozemskem. (več na www.orfeus-eu.org)
- v letih 1992 in 1998 je objavljen zelo pomemben prispevek neinstrumentalne seizmologije: Evropska potresna lestvica, ki je trenutno najbolj popolno in sodobno orodje za določanje intenzitet potresa. (več na <http://www.gfz-potsdam.de/pb5/pb53/projekt/ems>)
- zelo pomemben projekt je Evropska baza akcelerogramov, kjer so na enem mestu zbrani instrumentalni zapisi in drugi podatki o pospeških močnih potresov v Evropi in Sredozemlju (več na <http://www.isesd.cv.ic.ac.uk>)
- v letu 2002 je objavljena nova izdaja najbolj pomembnega učbenika observatorijske seizmologije: New Manual of Observatory Practice (več na www.gfz-potsdam.de/bib/nmsop_formular.html)
- po več letih združenih naporov, v letu 2003 je prvič v zgodovini izdelana karta potresne nevarnosti za Evropo in Sredozemlje po enotni metodologiji (več na <http://wija.ija.csic.es/gt/earthquakes>)

Načrti za prihodnost

V časih, ki so pred nami, ima ESC namen delovati predvsem na naslednjih področjih:

- še naprej podpirati razvoj seizmologije v Evropi in Sredozemlju,
- trajno sodelovati s drugimi seizmološkimi in gradbeniškimi organizacijami,
- skrbeti za izdajanje standardov in priporočil,
- sodelovati pri izobraževanju in prizadevati si za večje razumevanje seizmologije,
- sodelovati pri zmanjševanju potresne ogroženosti, predvsem v državah v razvoju,
- ukvarjati se z novimi idejami v seizmologiji in sorodnih vedah.

Literatura:

Arhiv ESC.

Garcia-Fernandez, M., I. Cecić and A.B. Walker, 2007. European Seismological Commission: Past, Present and Future. Oral presentation at IUGG Conference, Perugia, Italy.

Mayer-Rosa, D. History of the ESC. A keynote at the 28th General Assembly of the European Seismological Commission in Genova, 1.-7. September 2002.