

# UVAJANJE SODOBNEGA VIŠINSKEGA SISTEMA V SLOVENIJI

TOWARDS A NEW HEIGHT SYSTEM IN SLOVENIA

*Božo Koler, Klemen Medved, Miran Kuhar*

UDK: 528.024/.026+528.236

IZVLEČEK

*V prispevku so predstavljeni sodobni/fizikalni višinski sistemi, ki temeljijo na nivelmanski in gravimetrični izmeri. Nadalje je predstavljena višinska mreža Slovenije (trenuten višinski sistem in vertikalni datum) in možnosti za uvedbo sodobnega višinskega sistema v Sloveniji, ki bi omogočal uporabo višinomerstva GNSS v praksi. Predstavljena je tudi možnost uvedbe nacionalnega vertikalnega datuma oziroma evropskega vertikalnega datuma.*

## KLJUČNE BESEDE

*višinski sistem, vertikalni datum, niveliranje, gravimetrična izmera, GNSS, Slovenija*

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.02

ABSTRACT

*The paper gives the outline of the modern physical height systems which are based on levelling and gravity surveys. Also, the Slovenian vertical networks are presented (vertical datum and height system) with all their drawbacks. The adoption of the new modern height system and determination of the new (quasi)geoid would enable a widespread use of GNSS levelling. The possible use of the new national vertical datum or European vertical datum is discussed.*

## KEY WORDS

*vertical system, vertical datum, levelling, gravimetric measurement, GNSS, Slovenia*

## 1 UVOD

Državni koordinatni sistem je razdeljen na dve komponenti, in sicer na horizontalno in višinsko komponento. To pomeni, da imamo horizontalni koordinatni sistem za določanje lege in višinski (vertikalni) koordinatni sistem za določanje višin. Vsaka od komponent ima zaradi zgodovinskih, tehnoloških in formalno-pravnih okvirov, v katerih je bila vzpostavljena za vodenje evidenc o prostoru ter prikazovanje objektov in pojavov na območju države, določene težave in slabosti. Znanstveni in tehnološki razvoj sta omogočila določitev sodobnih meril, katerim obstoječi državni koordinatni sistem, ki ga v višinskem smislu predstavlja nivelmanska mreža točk visoke natančnosti, ne zadosti več. Za določitev višin s sodobnimi geodetskimi merskimi tehnikami, kot je GNSS (Global Navigation Satellite Systems), je dobro določen sodoben višinski sistem nujen. Dobro določen višinski sistem nam omogoča povezavo med geometričnimi višinami, ki so rezultat izmere GNSS s fizikalnimi višinskimi sistemi, ki povezujejo nivelmansko in gravimetrično izmero.

Za zagotovitev homogenosti podatkov na območju Evrope, za katere je pomembna tudi višinska komponenta (navigacija, GIS), je treba uskladiti tudi nacionalne vertikalne sisteme z evropskim

vertikalnim referenčnim sistemom EVRS (European Vertical Reference System). Kot posledica uspešne izvedbe vseevropskih višinskih projektov UELN (United European Levelling Network) in EUVN (European Vertical GPS Reference Network) je komisija EUREF sprejela EVRS (European Vertical Reference System) kot evropski fizikalni višinski sistem. Definiran je skladno z naslednjimi konvencijami (EVRS, 2007):

- Vertikalni datum je ničelna nivojska ploskev, v kateri je težnostni potencial Zemlje  $W_0$  enak normalnemu potencialu  $U_0$  srednjega elipsoida Zemlje:

$$W_0 = U_0$$

- Višine točk so podane z razlikami težnostnega potenciala  $\Delta W_p$  med točko obravnave  $P$ , in ničelno nivojsko ploskvijo sistema EVRS. Razlika potencialov  $-\Delta W_p$  se imenuje tudi geopotencialna kota  $C_p$ .

$$-\Delta W_p = W_0 - W_p = C_p$$

Normalne višine so ekvivalentne geopotencialnim kotam.

- Glede obravnave plimovanja čvrste zemlje je EVRS t. i. "zero tidal system", kar pomeni, da so pri meritvah težnosti odstranjeni direktni privlačni učinki Sonca in Lune, vendar je ohranjen posredni privlačni učinek, ki je posledica elastičnosti Zemlje.

Zaradi zgoraj navedenih razlogov se v Sloveniji izvajajo potrebni postopki za vzpostavitev novega koordinatnega sistema, ki bo del ESRS (European Spatial Reference System), evropskega prostorskega referenčnega sistema.

## 2 VIŠINSKI SISTEMI

Definicija višinskega sistema je dokaj težavna naloga in je odvisna od načina določitve višine. Tako lahko govorimo o geometričnem višinskem sistemu, ki ni povezan s težnostnim poljem Zemlje. V tem primeru so višine točk določene z izmero GNSS, rezultat višinske izmere pa so t. i. elipsoidne višine. Kadar so višine točk določene v povezavi s težnostnim poljem Zemlje, velja, da so višine določene v enem od fizikalnih višinskih sistemov, ki povezujejo nivelmansko in gravimetrično izmero.

Pri izboru ustreznega sistema višin moramo upoštevati zahteve različnih uporabnikov, zahteve znanosti in posameznih strok. Tako dobimo vrsto pogojev, ki jih mora izpolnjevati teoretično neoporečni višinski sistem. Ti pogoji pa se do določene mere med seboj tudi izključujejo. Najvažnejši pogoji so (Koler, 1998):

1. Višine točk morajo biti nedvoumno definirane in določljive neodvisno od poti niveliranja. Ker nivojske ploskve težnostnega polja niso med seboj vzporedne in ker sta uravnavanje libele in lega kompenzatorja nivelirja tesno povezana s težnostnim poljem, ta pogoj ni izpolnjen za višine točk, ki so določene samo na osnovi rezultatov geometričnega nivelmana.
2. Višine točk naj bi bile določene na osnovi merjenj na površini Zemlje in pri tem naj bi upoštevali čim manj različnih hipotez (na primer o gostoti in porazdelitvi mas v notranjosti Zemlje).
3. Popravki merjenih višinskih razlik, zaradi privzetega višinskega sistema, morajo biti tako majhni,

da jih ne upoštevamo pri nivelmanskimi mrežami nižjih redov, ker so navezane na nivelmanske mreže višjih redov.

4. Vse točke, ki ležijo na isti nivojski ploskvi, naj bi imele isto višino. Osnovo temu pogoju predstavlja spoznanje, da imata dve točki isto višino, kadar voda med njima miruje.
5. Višine točk naj bi izpolnjevale tudi sledeče:
  - a) višine točk naj bi bile podane v metrih,
  - b) obstajala naj bi geometrična razlaga,
  - c) določene naj bi bile glede na referenčno ploskev, ki ima fizikalno razlago.
6. V zadnjem času se pojavlja zahteva, da naj bi višinski sistem omogočal enostavno povezavo z elipsoidnimi višinami, pridobljenimi na osnovi meritev GNSS.

Pogoji, ki jih izpolnjujejo posamezni višinski sistemi, so zbrani v preglednici 1.

Višino neke točke lahko podamo v različnih fizikalnih višinskih sistemih. Osnovo vsem fizikalnim višinskim sistemom predstavljajo **geopotencialne kote**. Te določimo na osnovi merjenih višinskih razlik in podatkov o merjenem težnostnem pospešku. Če določimo, da je višina ničelne nivojske ploskve oziroma geoida enaka 0, potem nam razlika potencialov predstavlja naravno fizikalno mero za višine točk na zemeljski površini. Enoto za geopotencialne kote imenujemo geopotencialno število ali GPU (angl. Geopotential Unit), kjer je

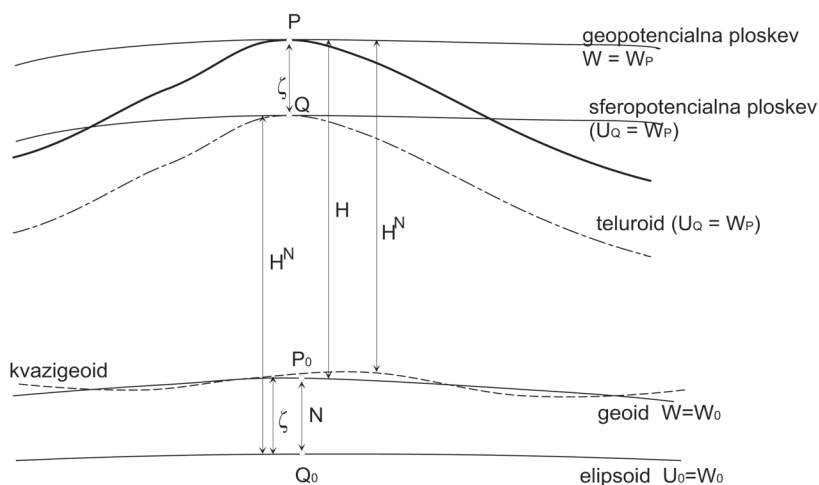
$$1 \text{ GPU} = 1 \text{ kgalm} = 10 \text{ Nm/kg} = 10 \text{ m}^2/\text{s}^2.$$

Da dobimo višine točk podane v metrih, je treba geopotencialno koto deliti s težnostnim pospeškom. Glede na to, s kakšno vrednostjo težnega pospeška delimo geopotencialne kote, poznamo različne vrste višin. Če geopotencialne kote delimo s konstantno vrednostjo težnostnega pospeška, potem dobimo **dinamično višino**. **Normalne višine** so določene na osnovi vrednosti normalne težnosti točke na elipsoidu in težnosti pripadajoče točke na teluroidu, pri tem pa so višine neodvisne od porazdelitve mas pod površjem Zemlje. Na drugi strani je težnostni pospešek **ortometričnih višin** določen vzdolž prostorske krivulje, težiščnice, med točko na površini Zemlje in pripadajočo točko na geoidu. Zaradi nepoznavanja dejanskih vrednosti težnostnega pospeška vzdolž težiščnice je za ortometrične višine značilno, da so definirane na osnovi hipotez o spreminjanju težnostnega pospeška pod površjem Zemlje. Različni avtorji (Helmert, Baranov, Ramsayer, Strang, Chen) prevzamejo različne predpostavke pri definiranju gostote in razporeditve mas v notranjosti Zemlje, zato se lahko ortometrične višine med seboj precej razlikujejo.

V Sloveniji so višine določene v višinskem sistemu **sferoidnih (normalnih) ortometričnih višin**. Normalne ortometrične višine danes sodijo med višine, ki so določene v zastarelem višinskem sistemu, ki so ga uporabljali v preteklosti, ko so bile meritve težnostnega pospeška zapletene in zato dolgotrajne. Za izračun popravkov merjenih višinskih razlik se namesto izmerjenega težnostnega pospeška uporablja izračunane vrednosti oziroma t. i. normalni težnostni pospešek. Sferoidne (normalne) ortometrične se nanašajo na t. i. normalno ničelno nivojsko ploskev (Leismann et al., 1992).

Višine točk, ki so določene v višinskem sistemu, ki ni določen tudi na osnovi gravimetrične izmere, so podane z **elipsoidnimi višinami**. Njihov pomen se je povečal z razvojem GNSS-izmere. Elipsoidna višina predstavlja najkrajšo razdaljo med točko na površju Zemlje in referenčnim elipsoidom. Definirana je popolnoma geometrično. Te so za vsakdanjo uporabo neprimerne, saj pri nas točke istih elipsoidnih višin odstopajo od nivojskih ploskev od 44 m do 49 m (slika 6).

Zaradi vse pogosteje uporabljene satelitske metode (GNSS) določevanja položajev točk v geodeziji in s tem opisovanja točk v kartezičnih koordinatnih sistemih je za državni višinski sistem izrednega pomena možnost prehoda na elipsoidne višine in obratno. Povezavo med elipsoidnimi in ortometričnimi oziroma normalnimi višinami predstavlja geoidna višina (N), ki je oddaljenost elipsoida od geoida oziroma anomalija višine ( $\zeta$ ), ki predstavlja oddaljenost med elipsoidom in kvazigeoidom (slika 1). Danes se vse bolj uveljavlja termin kvazigeoidna višina.



Slika 1: Višine točk v različnih višinskih sistemih.

Geopotencialne kote, dinamične višine in ortometrične višine se nanašajo na fizikalno definirano referenčno ploskev, ki predstavlja ekvipotencialno ploskev. Vendar to velja za ortometrične višine le teoretično, saj se, odvisno od prevzetih hipotez, ortometrične višine nanašajo na svoj tako imenovani kogeoid. Kogeoid sicer poteka blizu geoida, vendar ne predstavlja ekvipotencialne ploskve. Na drugi strani se normalne višine nanašajo na kvazigeoid, ki je geometrijsko mesto točk, ni pa fizikalna ploskev. Vendar kvazigeoid prav tako odstopa od geoida le minimalno. Sferoidne (normalne) ortometrične višine se nanašajo na ničelno nivojsko ploskev (NN-ploskev), ki nima fizikalne osnove. To velja tudi za referenčni elipsoid.

Kljub skupnemu izhodišču fizikalnih višinskih sistemov – geopotencialnim kotam, imajo različni višinski sistemi različne lastnosti in izpolnjujejo različne pogoje. Na kratko so rezultati analize višinskih sistemov zbrani v spodnji preglednici, kjer so zbrani podatki o pogojih, ki jih izpolnjujejo posamezni višinski sistemi (preglednica 1).

Lastnosti	VIŠINSKI SISTEMI					
	Geopotencialne kote	Dinamične višine	Ortometrične višine	Normalne višine	Normalne ortom. viš.	Elipsoidne višine
1	da	da	da	da	ne	da
2	da	da	ne	da	da	da
3	ne	ne	nekateri	da	da	ne
4	da	da	ne	ne	ne	ne
5a	ne	da	da	da	da	da
5b	ne	ne	da	da	ne	da
5c	geoid	geoid	geoid	kvazigeoid	NN ploskev	ref. elipsoid
6	ne	da	da	da	da	/

Preglednica 1: Lastnosti posameznih višinskih sistemov.

1 – enolično določene višine, neodvisne od poti niveliranja

2 – višine neodvisne od raznih predpostavk

3 – popravki merjenih višinskih razlik majhni

4 – točke z isto višino ležijo na isti nivojski ploskvi

5a – višine točk podane v metrih

5b – geometrična razlaga višin

5c – referenčna ploskev

6 – matematična povezava z elipsoidnimi višinami

Iz zgornje preglednice lahko vidimo, da največ pogojev sodobnega višinskega sistema izpolnjujejo normalne višine.

### 3 TEMELJNA GEODETSKA VIŠINSKA MREŽA REPUBLIKE SLOVENIJE

#### 3.1 Obstoječi višinski sistem v Sloveniji

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) (preglednica 1). Glede





### 3.3 Vertikalni datum nivelmanske mreže Slovenije

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 (slika 3). 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).



Slika 3: Normalni reper nivelmanske mreže Republike Slovenije.

## 4. NOVI SODOBNI VIŠINSKI SISTEM SLOVENIJE

Za uvedbo fizikalnega višinskega sistema potrebujemo podatke o nivelmanski in gravimetrični izmeri višinske mreže Slovenije. Za potrebe določitve geoidne višine oziroma kvazigeoidne višine je treba na reperjih izvesti tudi izmero GNSS. Seveda je zaželeno, da so vsi potrebni podatki za posamezen reper določeni v istem času oziroma z majhnim časovnim zamikom.

## Uvedba sodobnega višinskega sistema na osnovi obstoječih podatkov

Pri uvedbi sodobnega višinskega sistema na osnovi obstoječih podatkov predstavlja velik problem raznolikost podatkov, ki so združeni v nivelmanski mreži Slovenije in vertikalni premiki, ki so prisotni na območju Slovenije. Naslednji problem predstavljajo podatki o gravimetričnih in izmerah GNSS na višinskih točkah. Tako za gravimetrično izmero, ki je bila izvedena v okviru izmere II. NVN, ne vemo, kako so bile meritve izvajane, kateri popravki so bili upoštevani in kakšna je kvaliteta izvedenih gravimetričnih meritev. Poleg tega nam manjkajo podatki o gravimetričnih izmerah na nivelmanskih poligonih, ki so bili nivelirani po letu 1980 in so vključeni v današnjo nivelmansko mrežo na območju Slovenije. Torej, če predpostavimo, da bi lahko z gravimetrično izmero pridobili manjkajoče podatke za vzpostavitev sodobnega višinskega sistema, ki bi obstoječe višine točk v Centralni bazi geodetskih točk spremenil v velikostnem redu nekaj desetih milimetra ali milimetra samega, je to glede na velikost vertikalnih premikov povsem brezpredmetno.

Dejstvo je, da na osnovi obstoječih podatkov nima smisla razmišljati o uvedbi drugega višinskega sistema, saj bi to predstavljalo nepotrební strošek, pri uporabnikih pa bi vzbudili lažno prepričanje, da so višinske mreže, ki so stabilizirane na območju Slovenije sodobne, kvalitetne in zanesljive. Kvalitetne in zanesljive nivelmanske mreže, v sodobnem višinskem sistemu, lahko na območju Slovenije vzpostavimo le na osnovi nove nivelmanske in gravimetrične izmere.

### 4.2 Nova nivelmanska mreža Slovenije

Za prehod na nov višinski sistem je bil izdelan predlog nove nivelmanske mreže Republike Slovenije. Pri projektiranju nove nivelmanske mreže Republike Slovenije je bilo upoštevano sledeče:

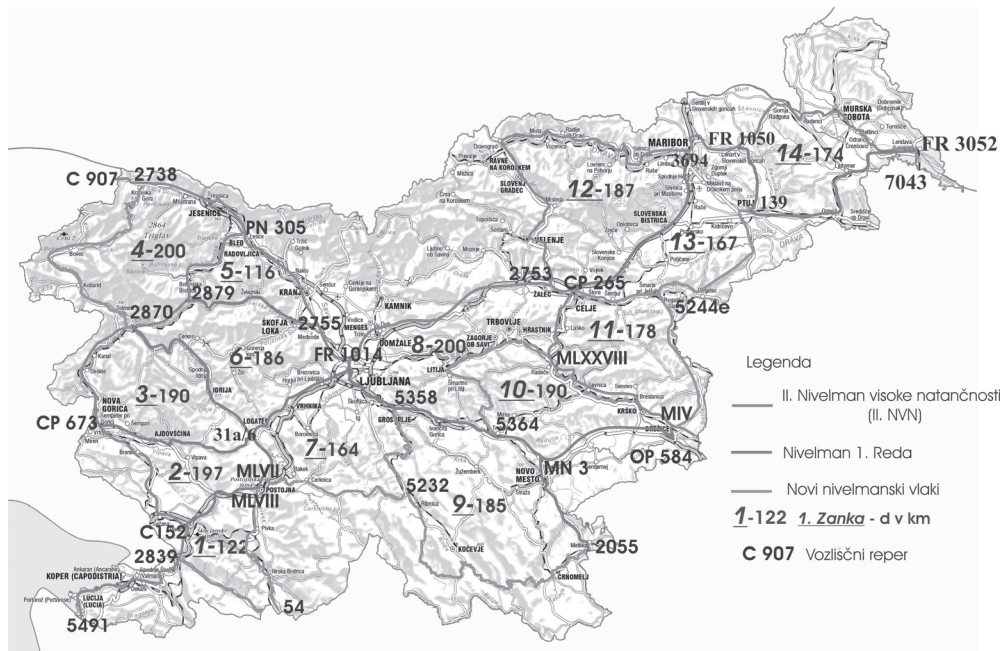
1. V nivelmansko mrežo je treba vključiti nivelmanske poligone II. NVN in 1. reda, ki so bili merjeni po letu 1980.
2. Če je možno, je treba nivelmanske poligone povezati v zaključene nivelmanske zanke.
3. Nove nivelmanske poligone je treba stabilizirati na naseljenih območjih, saj bomo tako zagotovili kvalitetno višinsko osnovo za vse posege v prostor.
4. Slepi nivelmanski poligoni, ki povezujejo absolutne gravimetrične točke z nivelmansko mrežo Republike Slovenije, naj bodo čim krajši.
5. Z nivelmanskimi poligoni višjih redov zajamemo območja, ki so zanimiva za interpretacijo geodinamičnega dogajanja na območju Republike Slovenije.
6. Večja gostota nivelmanske mreže je potrebna zaradi opuščanja nivelmanskih mrež nižjih redov.

Na sliki 4 je predstavljen predlog nove nivelmanske mreže Republike Slovenije. Nivelmanska mreža bo sestavljena iz 14 nivelmanskih zank, ki so vse zaključene na območju Republike Slovenije. Slepé nivelmanske linije Kozina-Sečovlje, Kozina-Starod in Postojna-Jelšane bi bilo smiselno zaključiti v dogovoru s Hrvaško.

V projektirani novi nivelmanski mreži Slovenije znaša skupna dolžina nivelmanskih zank 2456 km in dolžina nivelmanskih poligonov 1931 km. Pri novi izmeri nivelmanske mreže Slovenije je treba poskrbeti za sočasno nivelmansko in gravimetrično izmero. Poleg tega je treba izvesti tudi



gravimetrično izmero na vseh nivelmanskih poligonih 1. reda, ki so bili nivelirani v zadnjem obdobju. Pri tem upoštevamo, da je treba gravimetrično izmero najprej izvesti na »mlajših« in kasneje na »starejših« nivelmanskih poligonih.



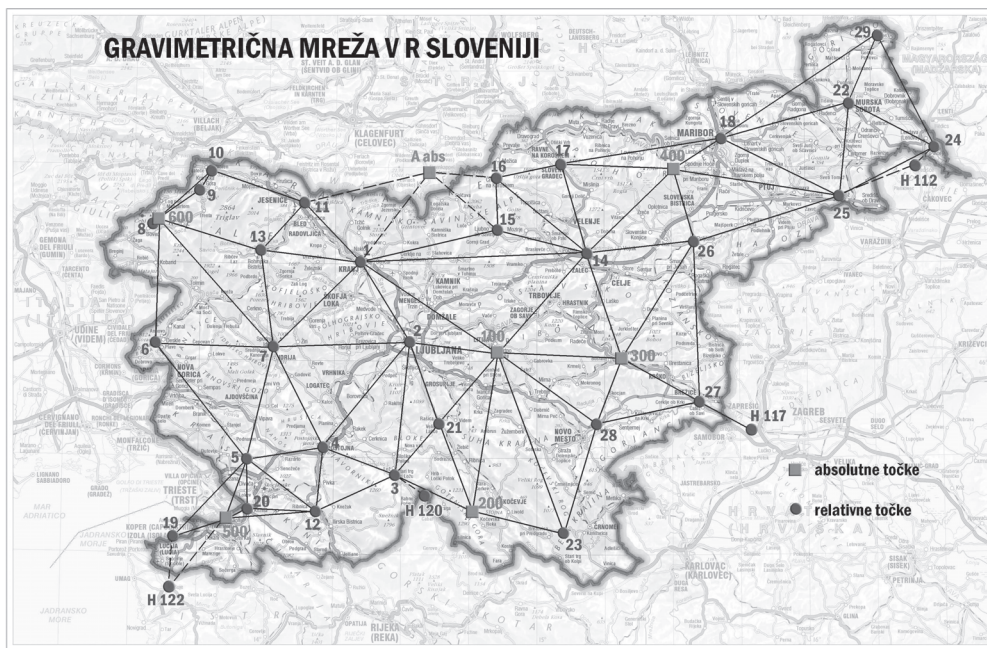
Slika 4: Predlog nove nivelmanske mreže v Sloveniji.

### 4.3 Osnovna gravimetrična mreža v Sloveniji

Nova osnovna gravimetrična mreža je sestavljena iz gravimetrične mreže 0. reda in gravimetrične mreže 1. reda. Med letoma 1995 in 2000 je bilo s sodelovanjem IGC-ja (Mednarodna komisija za gravimetrijo pri IAG - International Association of Geodesy), SZGG-ja (Slovensko združenje za geofiziko in geodezijo) in GURS-a (Geodetska uprava RS) stabiliziranih in izmerjenih šest absolutnih gravimetričnih točk. Vse točke so bile stabilizirane v skladu z zahtevami IGC oziroma smernicami IAG. Absolutne gravimetrične točke so stabilizirane v gradovih Bogenšperk (100), Sevnica (300) in Socerb (500), v garaži na območju Gotenice (200), v cerkvi Sv. Areha na Pohorju (400) in v trdnjavi Kluže (600). Absolutne gravimetrične točke predstavljajo ničelno gravimetrično mrežo Slovenije. V okviru štirih projektov je bilo z različnimi balističnimi instrumenti izvedenih 10 absolutnih meritev na 6 točkah. Tako so bile na točki Bogenšperk izvedene 4 meritve, na točki Gotenica 2 meritvi in na ostalih točkah po ena meritve.

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 treba opraviti v enem dnevu. Mreža je tako sestavljena iz 39 gravimetričnih likov (slika 5) (Koler, Medved in Kuhar, 2006).



Slika 5: Osnovna gravimetrična mreža Slovenije.

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 zvezde 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.

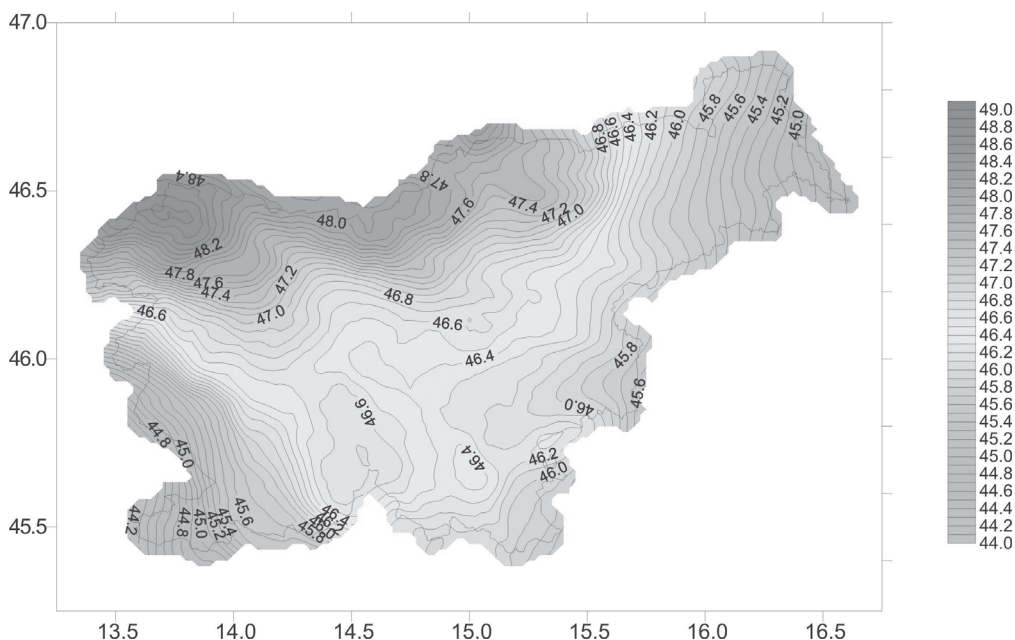
Z novo gravimetrično mrežo Slovenije bomo pridobili osnovo za vse nadaljnje gravimetrične izmere na območju Slovenije. Gravimetrično mrežo bomo navezali tudi na nivelmansko mrežo Slovenije. Tako bomo dobili tudi osnovo za določitev višin točk v sodobnem višinskem sistemu (z geopotencialno koto).

#### 4.4 Novi (kvazi)geoid Slovenije

Z uvedbo novega višinskega sistema se kot nujno izpostavlja tudi določitev novega (kvazi)geoida. Njegova vloga se kaže predvsem v uporabi v višinomerstvu s pomočjo GNSS, saj bi kvalitetna in natančna rešitev omogočala izračun nadmorskih višin na območjih, kjer je niveliranje zamudno oz. kjer ne obstaja zadostno število višinskih točk.

Trenutno je v veljavi geoid, ki ga je leta 2000 v svoji doktorski disertaciji določil B. Pribičević (Pribičević, 2000). Geoid je izračunan s pomočjo kolokacije po metodi najmanjših kvadratov z znano tehniko "remove - restore". V izračun ploskve geoida je bilo vključenih 97 točk z izmerjenimi odkloni navpičnice in tudi skupaj 4605 točkastih anomalij težnosti.

Natančnost izračunanih geoidnih višin je v povprečju  $\pm 3\text{cm}$ , vendar je ta na območjih, kjer je število točk z znanimi geoidnimi višinami (GPS/nivelman) večja. Največji problem sedanje rešitve geoidne ploskve so namreč t. i. GPS/nivelman točke, saj so višine točk, ki so bile uporabljene za višinsko orientacijo ploskve, spremenile svoje vrednosti zaradi preračuna nivelmanske mreže Slovenije (Koler in Vardjan, 2003). Ta je bil izveden po opravljenem računanju obstoječega geoida. Zaradi tega prihaja na določenih območjih tudi do odstopanj več decimetrov.



Slika 6: Geoid na območju Slovenije.

#### 4.5 Vertikalni datum

Za določitev nadmorskih višin točk je zelo pomembno, da je predhodno določena primerjalna ploskev, od katere računamo nadmorske višine točk. Tako je vertikalni datum nivelmanske mreže podan s srednjim nivojem morja v določenem obdobju, ki je definiran kot ničelna nivojska ploskev. Srednji nivo morja je določen na osnovi rezultatov dolgoletnih opazovanj nihanj nivoja morja z mareografi, ki ga predstavlja aritmetična sredina nivoja morja, na eni točki morske obale v daljšem časovnem obdobju. Glede spremembe obstoječega vertikalnega datuma nivelmanske mreže Slovenije (Trst) imamo več možnosti:

### a) Vzpostavitev vertikalnega datuma na osnovi mareografskih opazovanj 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. Namen projekta je vzpostavitev infrastrukture za izvajanje sodobnih standardiziranih mareografskih in drugih opazovanj v okviru Evropske službe za spremljanje višine morja ESEAS.

V Kopru je bila tako konec leta 2005 postavljena nova mareografska postaja (v nadaljnjem besedilu: MP), ki ustreza mednarodnim standardom in zahtevam za registracijo in dolgoročno spremljanje nivoja morja. Objekt nove MP je prikazan na sliki 7.



Slika 7: Objekt nove MP Koper.

Geodetska izmera MP Koper je bila izvedena po priporočilih medvladne oceanografske komisije IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) (Manual on Sea level Measurement and Interpretation, 1985, 1994, 2002). Med drugimi priporočili IOC je posebej pomembna nedvoumna in kakovostna povezava opazovanj nivoja morja s terestričnimi koordinatnimi sistemi. Poleg tega mora biti referenčna točka MP lokalno stabilna oziroma moramo poznati njen premik v času, če želimo obravnavati MP kot geodetsko referenčno točko (točko omrežja SIGNAL ter točko višinskega sistema). Zato moramo spremljati horizontalno in višinsko stabilnost referenčne točke MP, ki jo lahko zagotovimo z izvedbo sledečih del (Stopar et al., 2006):

#### 1) Nivelmanska izmera MP Koper

Za potrebe spremljanja višinske stabilnosti MP Koper in vključevanje v višinsko mrežo Slovenije smo v okolici MP stabiliziranih šest reperjev in reper na MP, ki so povezani v nivelmansko zanko.



## 2) Gravimetrična izmera MP Koper

Za potrebe določitve težnostnega pospeška na reperjih in točkah smo izvedli tudi relativno gravimetrično izmero, ki smo jo izvedli z relativnim gravimetrom Scintrex CG 3M. Relativno gravimetrično izmero smo navezali na absolutno gravimetrično točko Socerb AGT500 oziroma na ekscenter omenjene absolutne gravimetrične točke Socerb AGT501.

## 3) Izmera GPS MP Koper

Po priporočilih IOC je treba, kadar je to mogoče, anteno sprejemnika GPS postaviti neposredno na samo MP, tako da sta kontaktna točka MP in GPS-antena stabilizirani na istem objektu. Permanentna postaja GPS KOPE je opremljena s sprejemnikom GPS Leica GRX1200 in anteno Leica AT504 ter deluje kot permanentna postaja v sklopu slovenskega omrežja permanentnih postaj SIGNAL. Točka je stabilizirana in opremljena po priporočilih za vzpostavitev permanentnih postaj GPS. Na območju Kopra in v bližini MP Koper je vzpostavljena tudi GPS-mreža MP. Mrežo GPS MP sestavlja 6 točk, poleg permanentne postaje GPS KOPE še dve točki Malija (MALJ) in Socerb (SOCE), ki sta od MP oddaljeni nekaj kilometrov, ter tri točke, ki so od permanentne postaje GPS KOPE oddaljene nekaj deset metrov.

## 4) Terestrična izmera mikromreže MP Koper

Z namenom spremljanja lokalne stabilnosti MP je na območju MP vzpostavljena lokalna geodetska mikromreža, ki predstavlja del mreže GPS MP. Za določitev horizontalnega položaja točk v mreži MP smo uporabili metodo triangulacije in trilateracije, za določitev višin točk pa metodo trigonometričnega višinomerstva. Višine referenčnih točk smo določili v državnem višinskem sistemu, zato so te točke vključene v izmero nivelmanske zanke MP.

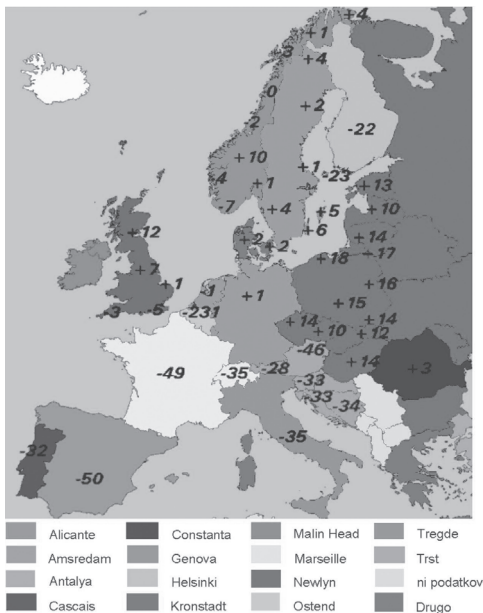
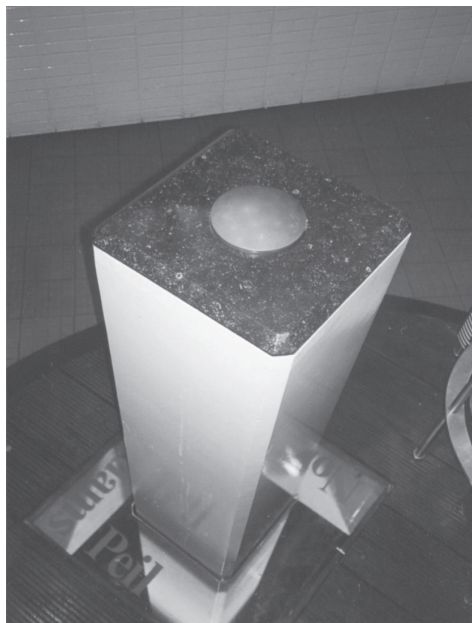
Ocenjene koordinate točk in njihova natančnost so osnova za izračun sprememb koordinat točk v mreži in vektorjev premikov med posameznimi serijami meritev tako v horizontalnem kot višinskem smislu.

### b) Vzpostavitev vertikalnega datuma Evropske nivelmanske mreže

Vertikalni datum Evropske nivelmanske mreže je določen z višino normalnega reperja v Amsterdamu - NAP (Normal Amsterdams Peil - slika 8). Na sliki 8 so prikazane tudi razlike med vertikalnimi datumi, ki jih uporabljajo v posameznih evropskih državah glede na NAP/EUVN. Nadmorske višine točk na območju Slovenije so za pribl. 33 cm previsoke glede na vertikalni datum EUVN.

V zadnjem času je govora o vzpostavitvi vertikalnega datuma svetovnega višinskega sistema - WHS (World Height System), ki je definiran na osnovi potenciala geoida ( $W_0 = 62\,636\,856,0 \pm 0,5 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ ). Primerjava NAP z WHS, ki je bila opravljena na osnovi globalnega geopotencialnega modela EGM96 (Earth Gravity Model 1996), elipsoidnih in normalnih višin na reperjih, je pokazala, da znaša razlika -11,0 cm (Burša et al., 1999).

Pri uvedbi novega vertikalnega datuma bodo spremembe višin točk večje kot v primeru uvedbe



Slika 8: NAP in primerjava EUNV glede na nacionalne višinske datume [EVRS, 2007].

fizikalnega višinskega sistema. Kateri datum bo uveden, je verjetno odvisno tudi od posledic, ki jih lahko pri uporabnikih povzročijo večje spremembe višin. Problem so tudi geodetski načrti večjih meril, kjer lahko večja sprememba vertikalnega datuma presega natančnost določitve višin točk iz načrta.

## 5 ZAKLJUČEK

Uvedba novega višinskega sistema v Sloveniji je šele v začetni fazi, tako da je v tem trenutku težko napovedati, kdaj bodo izpolnjeni vsi tehnični pogoji za njegovo uvedbo.

Obstoječa nivelmanska mreža, ki je bila izmerjena v različnih časovnih obdobjih, že zaradi geodinamičnega vpliva ne zadostuje več zahtevam sodobnega višinskega sistema. Poleg tega je od nivelmanske izmere preteklo preveč časa, da bi bilo na obstoječih višinskih točkah smiselno izvesti manjkajoči gravimetrično in GNSS-izmero. Osnovni cilj uvedbe novega višinskega sistema je določiti geopotencialne kote reperjem, ki predstavljajo osnovo za uvedbo fizikalnega višinskega sistema. Tako lahko novi, sodoben višinski sistem v Sloveniji uvedemo le na osnovi nove izmere nivelmanske mreže višjega reda, katere predlog je izdelan. Osnovo za kvalitetno gravimetrično izmero predstavlja gravimetrična mreža 1. reda, ki je bila izmerjena v lanskem letu. Rezultati izmere gravimetrične mreže 1. reda bodo na voljo spomladi 2008.

Za potrebe vzpostavitve sodobne višinske mreže, ki bo v bodoče omogočala tudi višinsko izmero GNSS, je treba na posameznih točkah, kjer imamo podatke o nivelmanski in gravimetrični izmeri,



izvesti tudi izmero GNSS, na osnovi katere bi določili tudi elipsoidno višino omenjenih točk. Dovolj gosta mreža točk, ki bi jo v prvi fazi lahko predstavljale točke osnovne gravimetrične mreže, točke EUVN ter ostale ustrezne točke in bi jo kasneje zgomostili z izmero GNSS na reperjih, bi nam omogočila določitev in kvaliteten vklop geoida oziroma kvazigeoida v višinsko mrežo Slovenije. Na osnovi omenjenih izmer bi lahko določili geoidno/kvazigeoidno višino, ki bi uporabnikom omogočila enostavno prehajanje med fizikalnim in geometričnim višinskim sistemom (ortometrični/normalni v elipsoidni in obratno) z zadovoljivo natančnostjo.

Uvedba sodobnega višinskega sistema predstavlja tudi možnost, da hkrati uvedemo tudi nov vertikalni datum višinskih mrež na območju Slovenije. Nacionalni vertikalni datum lahko zagotovimo na osnovi opazovanj spremljanja nivoja morja z sodobno mareografsko postajo, ki je postavljena v Kopru. Poznavanje nacionalnega vertikalnega datuma oziroma razlike, glede na nek drugi vertikalni datum, v katerem so določene višine na območju določene države, je pomembno tudi s stališča definiranja poplavnih linij priobalnih območij. Mareografska postaja je nenazadnje pomembna tudi zaradi spremljanja spreminjanja nivoja morja, ki je posledica klimatskih sprememb.

Vse skupaj je nenazadnje povezano tudi z ustreznim prostorskim načrtovanjem na območjih, ki so poplavno ogrožena zaradi visokih vodostajev morja. Uvedba evropskega ali svetovnega vertikalnega datuma pa v končni fazi pomeni zagotavljanje enotnega višinskega datuma na širšem območju oziroma v EVRS, ki je predvsem pomembno za izmenjavo podatkov, kjer je pomembna tudi višinska komponenta (GIS), in navigacijo.

**Zahvala:** Prispevek je nastal kot rezultat znanstvenoraziskovalnega projekta, ki ga je financirala Geodetska uprava Republike Slovenije in v okviru raziskovalnega programa P2-227 »Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije«. Avtorji prispevka se zahvaljujemo za finančno podporo.

## LITERATURA IN VIRI:

- 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.*
- Burša, M., Kouba, J., Kumar, M., Müller, A., Radj, K., True, S. A., Vatrč, V., Vojtišková, M. (1999). Geoidal Geopotential and World Height System. Studia Geophysica et Geodaetica 43(4), 327-337.*
- EVRS. Pridobljeno 26. 10. 2007 s spletne strani: <http://crs.bkg.bund.de/evrs/>*
- Kasumović, M. (1950). Srednja razina Jadranskog mora i geodetska normalna nula. (4), 243-256.*
- Koler, B. (1998). Višine, potencial in geopotencialne kote. Geodetski vestnik, 42 (3), 277-285.*
- Koler, B., Vardjan, N. (2003). Analiza stanja nivelmanskih mrež Republike Slovenije. Geodetski vestnik, 47 (3), 251-262.*
- Koler, B. (2006). Vertical Movements in Slovenia from Leveling Data. V N. Pinter et al. (eds.), The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards: Proceeding (str. 223-236), Veszprem, Madžarska.*
- Leismann, M., Klees, R., Beckers, H. (1992). Untersuchungen verschiedener Höhensysteme, dargestellt an einer Testschleife in Rheinland-Pfalz. Bayerische Akademie der Wissenschaften, München.*
- Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. (2006). Projekt nove gravimetrične mreže 1. reda Republike Slovenije. Geodetski vestnik, 50 (3), 451-460.*
- Pribičević, B. (2000). Uporaba geološko-geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida Republike*

*Slovenije. Doktorska disertacija. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.*

*Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D., Sterle, O., Ambrožič, T., Savšek-Safič, S., Kuhar, M., Radovan, D. (2006). Geodetska dela na novi mareografski postaji Koper. Geodetski vestnik 50 (4), 609–620.*

**Prispelo v objavo: 6. november 2007**

**Sprejeto: 21. november 2007**

**doc. dr. Božo Koler, univ. dipl. inž. geod.**

UL FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: bozo.koler@fgg.uni-lj.si

**Klemen Medved, univ. dipl. inž. geod.**

Geodetska uprava R Slovenije, Zemljemerska 12, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: klemen.medved@gov.si

**doc. dr. Miran Kuhar, univ. dipl. inž. geod.**

UL FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: miran.kuhar@fgg.uni-lj.si