

UDK 528.41:528.422:004(497.4)

Pregledni znanstveni članak

Računska obrada nivelmanske mreže Republike Slovenije

Božo KOLER, Aleš BREZNIKAR – Ljubljana*

SAŽETAK. Predstavljena je računaska obrada nivelmanske mreže Slovenije. Iscrpno su prikazani analiza problema i odstupanja koja su se pojavila u nivelmanskoj mreži. Opisani su i postupci sanacije, posljednje izjednačenje i stanje nivelmanske mreže nakon izjednačenja.

Ključne riječi: nivelmanska mreža, analiza, odstupanja, izjednačenje.

1. Uvod

Na području Slovenije izvedena su tri mjerenja nivelmanske mreže visoke točnosti. Prvo je mjerenje provedeno u doba Austro-Ugarske Monarhije (1878-1893). Nivelmanska je mreža bila priključena na normalni reper, koji je stabiliziran na molu Sartorio u Trstu (visinski datum Trst). Sljedeća su dva mjerenja obavljena u bivšoj SFRJ. Tako je I. NVT mjeren nakon II. svjetskog rata i uklopljen u manje točno staro austro-ugarsko mjerenje. Ovako izračunane nadmorske visine repera I. NVT-a upotrebljene su za uklapanje nivelmanskih vlakova nižih redova, i predstavljaju visinski sustav, koji je bio u upotrebi u Sloveniji do 2000. godine. Za nivelmansku je mrežu I. NVT-a karakteristično da nikada nije bila izjednačena kao cjelina. Poslije mjerenja II. NVT-a bio je izjednačen samo dio I. NVT-a na području Hrvatske, Bosne i Hercegovine i Slovenije (Bilajbegović i dr. 1992).

Mjerenje II. NVT-a odvijalo se početkom 1970-ih godina. Nivelmanska je mreža bila priključena na normalni reper, stabiliziran u gradu Maglaju (BiH) – visinski datum Maglaj, i bila je i izjednačena.

Kasnija mjerenja i obrada nivelmanskih vlakova nižih redova, uzrokovali su dvostruke ili čak trostruke visine identičnih repera, koje su se međusobno razlikovale (Sana-

* Doc. dr. sc. Božo Koler, Sveučilište u Ljubljani, Fakultet za građevinarstvo i geodeziju, Jamova 2, SI – 1001 Ljubljana, e-mail: bozo.koler@fgg.uni-lj.si

Doc. dr. sc. Aleš Breznikar, Sveučilište u Ljubljani, Fakultet za građevinarstvo i geodeziju, Jamova 2, SI – 1001 Ljubljana, e-mail: ales.breznikar@fgg.uni-lj.si

cija nivelmanskih ... 1998). Zbog takvoga stanja na području nivelmanskih mreža, 1990. u Geodetskoj upravi Republike Slovenije počela je sanacija, koja se provodila u nekoliko stupnjeva. Već pri računskoj obradi nekih nivelmanskih vlakova 1. reda (preciznog nivelmana – PN), izmjerenih nakon 1980. godine, koji su bili uklopljeni u I. NVT (visinski datum Trst), pokazalo se da vlak nije bilo moguće izjednačiti u cjelini (vidi tablicu 1). Glavni je problem bio u tome što je pri usporedbi mjerenih visinskih razlika s danom razlikom odstupanje prelazilo pravilnikom propisano dopušteno odstupanje. Sanacijom nivelmanskih mreža ti su se problemi rješavali parcijalno, što znači da je cjelokupni nivelmanski vlak bio razdijeljen na više dijelova i potom izjednačen, pri čemu je odstupanje bilo u granicama propisanoga dopuštenog odstupanja. Uzrok je takvoga stanja najvjerojatnije u činjenici, da su bili pojedinačni nivelmanski vlakovi nadovezani na sačuvane austrougarske repere. Razlike koje su se pojavile na određenim područjima također su posljedica vertikalnih pomaka.

U nivelmanskim vlakovima nižih redova i u gradskim nivelmanskim mrežama pojavili su se slični problemi kao u nivelmanskim vlakovima 1. reda (PN).

2. Analiza problema u nivelmanskoj mreži viših redova

U tablici 1 prikazana su odstupanja u nivelmanskim vlakovima 1. reda (PN) koji su bili izmjereni nakon 1980. godine. Odstupanja su određena za uklapanje nivelmanskih vlakova u I. NVT (visinski datum Trst) i za uklapanje u II. NVT, visinski datum Maglaj, u kojem je nivelmanska mreža II. NVT-a bila izjednačena.

Odstupanje u nivelmanskom vlaku izračunano je kao razlika vrijednosti mjerenih visinskih razlika i vrijednosti razlika nadmorskih visina priključnih repere. Dopušteno odstupanje za nivelmanske vlakove I. reda (PN) izračunano je prema jednadžbi:

$$\Delta_{\text{dop}} = \pm 3 \sqrt{s + 0,04 s^2} \quad (1)$$

gdje je

s – duljina nivelanskog vlaka u km.

Tablica 1. Odstupanja u pojedinim nivelmanskim vlakovima 1. reda (PN).

| Od – do | Broj nivelanskog vlaka | Duljina (km) | Odstupanje – visinski datum Maglaj (mm) | Odstupanje – visinski datum Trst (mm) | Dopušteno odstupanje (mm) |
|-------------|------------------------|--------------|---|---------------------------------------|---------------------------|
| FR1014-C152 | 1-22 | 89,58 | - 1,6 | 44,4 | ± 30,4 |
| 31a/6-2870 | 1-24 | 60,63 | - 25,7 | -27,4 | ± 21,6 |
| CP291-3694 | 1-25 | 58,21 | 5,5 | -35,3 | ± 27,8 |
| PN310-MIV | 1-26 | 128,26 | - 1,3 | - 1,4 | ± 42,1 |

Iz tablice 1 se vidi da su odstupanja u visinskom datumu Maglaj manja od dopuštenih, osim u nivelmanskom vlaku 1-24. To vrijedi u visinskome datumu Trst samo

za nivelmanski vlak 1-26. U svim ostalima odstupanja su veća od dopuštenoga. Uzrok tako velikim odstupanjima naravno nisu loše izvedena mjerenja, što potvrđuju i rezultati izjednačenja spomenutih vlakova u visinskom datumu Maglaj, već nadmorske visine danih repera, koje za visinski datum Trst nisu bile određene izjednačenjem cjelokupne mreže.

3. Prijedlog sanacije

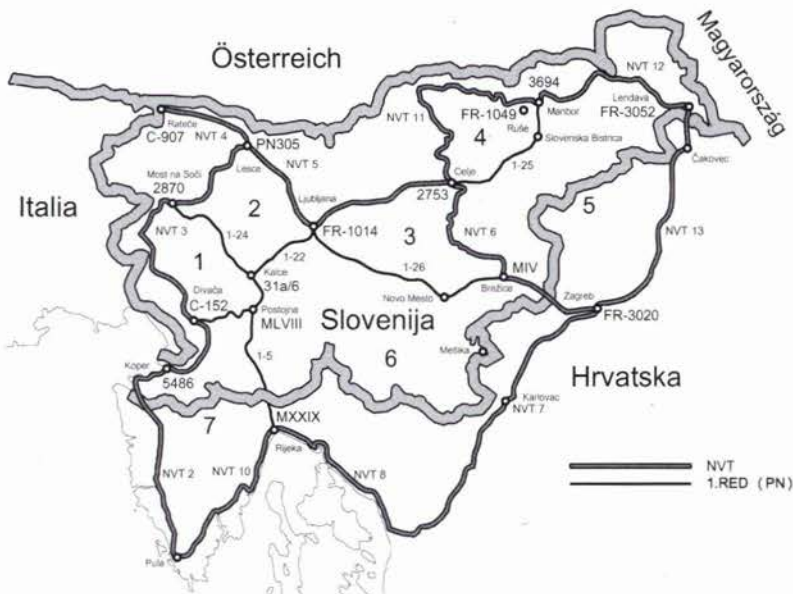
Za rješavanje navedenog problema i za realizaciju visinskog sustava na području Republike Slovenije, postoji više rješenja.

a) Novo mjerenje zaključenih nivelmanskih figura (mreže) NVT-a na području Slovenije

Taj je način rješavanja problema naravno najbolji, ali zahtijeva golema financijska sredstva i mnogo vremena koje bi bilo potrebno za projektiranje, stabilizaciju, mjerenje i obradu izmjerenih podataka. Budući da se s problemom visina susrećemo baš sada i da visine moramo izdavati različitim korisnicima, nemamo vremena, a pogotovu ne novca potrebnog za rješavanje tog problema.

b) Izjednačenje nivelmanske mreže, sastavljene od pojedinih nivelmanskih vlakova viših redova.

Ako želimo zatvoriti pojedine nivelmanske figure na području R Slovenije, u tome slučaju možemo kombinirati visinske razlike izmjerene u II. NVT-u i nakon 1980. godine (vidi sliku 1). U nivelmansku smo mrežu uključili nivelmanski vlak 1-5 iz I. NVT-a, iako je bio izmjeren 1950. godine, jer smo time dobili dvije manje figure umjesto jedne velike.



Slika 1. Nivelmanska mreža Republike Slovenije.

Tu se naravno ne može govoriti o idealnom rješenju, jer su izmjereni podaci dobiveni u različitim epohama (od 1950. – mjerenje 1-5, 1971. – mjerenje II. NVT-a do 1992. – mjerenje 1-26), ali su u izjednačenje uključene jedino izmjerene visinske razlike. Budući da je to rješenje bilo vremenski i financijski najpovoljnije, prihvaćeno je kao prijedlog za sanaciju nivelmanske mreže Republike Slovenije.

Na slici 1, vidi se da nivelmansku mrežu čini 7 zatvorenih nivelmanskih figura i postrani nivelmanski vlak NVT4 od Lesca do Rateča. Zajednička je karakteristika zatvorenih nivelmanskih figura 1, 2, 3 i 4 ta, da su svi reperi uključeni u te figure stabilizirani na području Republike Slovenije. Zatvorene nivelmanske figure 5, 6 i 7 djelomično su stabilizirane i na području Republike Hrvatske.

Figure 5 i 6 vrlo su velike, što naravno nije baš najbolje, no njihov bi se opseg mogao smanjiti umetnutim vlakovima 1-12 (Slovenska Bistrica – Čakovec) i 1-36 (Novo Mesto – Metlika – Karlovac). Problem se javlja kad se detaljnije pogledaju pobrojani vlakovi, jer za vlak 1-36 ne postoje podaci o izmjerenim visinskim razlikama na području Hrvatske, a vlak 1-12, koji je bio izmjeran 1947. godine, prekoračuje granice dopuštenog odstupanja.

U tablici 2 navedeni su podaci za pojedine zatvorene nivelmanske figure. Tako su u tablici 2 prikupljeni podaci o opsegu pojedinih nivelmanskih figura, odstupanje zatvorenih nivelmanskih figura i dopušteno odstupanje za pojedinačnu zatvorenu nivelmansku figuru.

Tablica 2. Podaci za nivelmanske figure.

| Nivelmanska figura | Opseg (km) | Odstupanje zatvorenih nivelmanskih figura (mm) | Dopušteno odstupanje (mm) |
|----------------------------|------------|--|---------------------------|
| 1 | 202,13 | -19,94 | ± 42,85 |
| 2 | 208,78 | 26,74 | ± 44,18 |
| 3 | 275,88 | 7,25 | ± 57,62 |
| 4 | 186,03 | - 5,57 | ± 39,63 |
| 5 | 398,60 | 0,41 | ± 81,99 |
| 6 | 546,18 | - 0,87 | ± 111,71 |
| 7 | 335,72 | 16,82 | ± 69,60 |
| Obodni nivelmanski poligon | 1107,02 | 24,84 | ± 223,89 |

Iz tablice 2 može se vidjeti da su sva odstupanja bitno manja od dopuštenoga odstupanja koje je izračunano za zatvorene nivelmanske figure nivelmana visoke točnosti prema jednadžbi:

$$\Delta_{\text{dop}} = \pm 1 \sqrt{s + 0,04 s^2} \quad (2)$$

gdje je

s – duljina zatvorene nivelmanske figure u km.

4. Visinski datum i visinski sustav

4.1. Visinski datum

Nivelmanska mreža na području Slovenije prije novoga izjednačenja imala je nadmorske visine repera prikazane u dvama visinskim datumima: u visinskom datumu Trst i visinskom datumu Maglaj (Koler 1994).

Prva mjerenja austrougarskog nivelmana priključena su na normalni reper na molu Sartorio u Trstu, dakle na visinski datum Trst. Njegovu je visinu 1875. godine izračunao dr. Farolfi, i to na osnovi jednogodišnjih mjerenja promjene razine Jadranskoga mora. Visina je iznosila $3,352 \pm 0,01$ m (Zeger 1986).

Nivelmanska mreža II. NVT-a bila je u cjelini projektirana i izvedena neovisno o svima prijašnjima mjerenjima na području nekadašnje SFRJ. Prema projektu stabiliziran je novi normalni reper na geološki stabilnom području u središnjem dijelu SFRJ – Maglaju. Visinski je datum bio određen na osnovi mjerenja promjene razine Jadranskoga mora, pa je u tu svrhu na njegovoj istočnoj obali postavljeno sedam mareografa. Normalni je reper zatim preciznim nivelmanom povezan sa šest mareografa (Bilajbegović i dr. 1989).

Cjelokupna nivelmanska mreža Slovenije nadovezuje se na stari austrougarski temeljni reper No 374, odnosno FR-1049, koji je stabiliziran kraj Ruša (vidi sliku 2). Reper je bio uključen u oba mjerenja, austrougarsko i mjerenje II. NVT-a. Zbog toga su dane visine za oba visinska datuma – Trst (295,5957 m) i Maglaj (295,52053 m), ali ipak smo prilikom sanacije mrežu izjednačili u visinskom datumu Trst, jer su i stare visine repera dane u tom visinskom datumu. Osim toga visinski datum Maglaj bio je određen za područje bivše Jugoslavije, za nivelmansku mrežu II. NVT-a, koja se u tadašnjem obliku vjerojatno nikada više neće moći izmjeriti (Vardjan 2001).

4.2. Visinski sustav

Nadmorske su visine točaka u nivelmanskoj mreži izjednačene u sustavu normalnih (sferoidnih) ortometrijskih visina, budući da je nadmorska visina repera FR-1049 u visinskom datumu Trst dana u tom visinskom sustavu. Ako bismo htjeli visine izjednačiti u nekom drugom visinskom sustavu, morali bismo izabrati visinski datum Maglaj, jer su visine II. NVT-a bile izračunane i u sustavu geopotencijalnih kota, ortometrijskih visina i normalnih visina Molodenskoga (Bilajbegović i dr. 1989).



Slika 2. Stari austrougarski temeljni reper No 374, odnosno FR-1049.

5. Izjednačenje i analiza točnosti nivelmanske mreže i nivelmanskih vlakova

Ocjenjena je a priori točnost nivelmanske mreže. Na temelju odstupanja pri zatvaranju nivelmanskih figura prema jednadžbi:

$$\sigma_{\Delta h}^P = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{f^2}{s} \right]} = \pm 0,97 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}} \quad (3)$$

gdje je

f – odstupanja pri zatvaranju pojedinih nivelmanskih figura,

n – broj zatvorenih nivelmanskih figura,

s – duljina pojedine figure u km.

Nakon pripreme podataka i a priori ocjene točnosti, nivelmansku smo mrežu (slika 1) izjednačili metodom posrednih mjerenja pomoću programa za izjednačenje nivelmanskih mreža VIM (Ambrožič i Turk 1999). Nivelmanska mreža ima jedan zadan reper (slika 2), 17 nepoznanica (čvorna repera i reper na kraju vlaka) i 24 nivelmanska vlaka. Rezultati izjednačene mreže definitivne su nadmorske visine 17 čvornih repera koji su osnova za izjednačenje svih drugih nivelmanskih vlakova. Izračunate su i srednje pogreške nepoznanica, a vjerojatna referentna pogreška iznosi

$$\pm 0,88 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$$

6. Analiza odstupanja nivelmanskih vlakova nakon sanacije nivelmanske mreže

Iz tablice 3 može se vidjeti da su nakon izjednačenja nivelmanske mreže (slika 1) sva odstupanja nivelmanskih vlakova 1. reda (PN) manja od propisanoga dopuštenog odstupanja. Tako smo uspjeli otkloniti velika odstupanja između mjerenih i danih visinskih razlika u nivelmanskim vlakovima 1-22, 1-24 i 1-25.

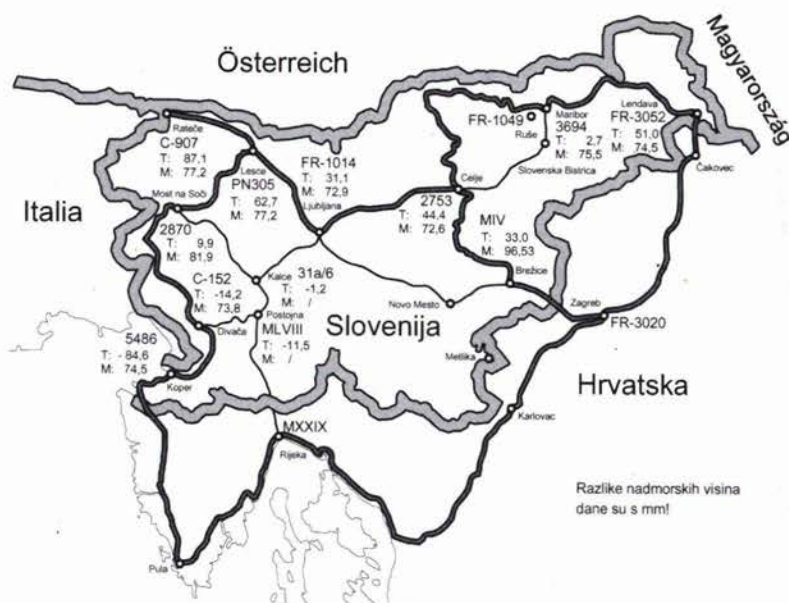
Tablica 3. Odstupanja nivelmanskih vlakova 1. reda (PN) prije i nakon sanacije.

| Od – do | Broj nivel-manskog vlaka | Duljina (km) | Odstupanje nivel-manskog vlaka prije sanacije (mm) | Odstupanje – nivel-manskog vlaka nakon sanacije (mm) | Dopušteno odstupanje (mm) |
|-------------|--------------------------|--------------|--|--|---------------------------|
| FR1014-C152 | 1-22 | 89,58 | 44,4 | 0,51 | ± 30,4 |
| 31a/6-2870 | 1-24 | 60,63 | -27,4 | -10,33 | ± 21,6 |
| CP291-3694 | 1-25 | 58,21 | -35,3 | 1,97 | ± 27,8 |
| PN310-MIV | 1-26 | 128,26 | - 1,4 | 2,32 | ± 42,1 |

6.1. Razlike između starih i novih nadmorskih visina repera

S izjednačenjem cjelokupnog nivelmana Slovenije ostvarila se nova realizacija prethodno definiranog visinskog sustava. Poslije izjednačenja nove su se nadmorske visine repera u usporedbi sa starima različito promijenile (tablica 4 i slika 3).

Na jugozapadu Slovenije (područje: Kalce – Postojna – Divača – Koper i obala, slika 3) nadmorske su se visine repera poslije izjednačenja smanjile, a u ostalom su se dijelu Slovenije nadmorske visine repera povećale. Iz toga se međutim ne može zaključiti da su pozitivne ili negativne razlike u bilo kakvoj vezi s konfiguracijom terena. Različite promjene nadmorskih visina repera posljedica su različitih konfiguracija – oblika nivelmanskih mreža, različitih mjerenja, kojima su mreže realizirane, i različitih metoda računске obrade, tj. izjednačenja nivelmanskih mreža i vertikalnih pomaka.



Slika 3. Razlike nadmorskih visina.

Najveću je pozitivnu razliku između nove i stare nadmorske visine dobio reper na kraju vlaka C-907 (Rateče). Najmanju je negativnu razliku između nove i stare nadmorske visine repera dobio čvorni reper iz 5486 (Koper: vidi tablicu 4 i sliku 3).

Zanimljiva je usporedba između starog i novog izjednačenja za oba visinska datuma Trst i Maglaj. Razlike nadmorskih visina repera između starih i novih računskih obrada u visinskom datumu Trst različitih su veličina i predznaka, što ponovno potvrđuje pravilnost ideje, da se nivelman Slovenije izjednači kao mreža.

Usporedba novoga i staroga izjednačenja II. NVT-a koji je izveden u visinskom datumu Maglaj, pokazuje da su razlike u visinama manje – više ravnomjerno pozitivne (vidi tablicu 4 i sliku 3).

Tablica 4. *Razlike nadmorskih visina nakon izjednačenja čvorišnih repera.*

| Br. čvornog repera | Nadm. visina NOVA ¹ – datum Trst | Nadm. visina STARA ² – datum Trst | Razlike-Trst nova – stara (mm) | Nadm. visina – datum Maglaj ³ | Razlike-Maglaj nova – stara (mm) |
|--------------------|---|--|--------------------------------|--|----------------------------------|
| 5486 | 1,95102 | 2,0356 | -84,6 | 1,8765 | 74,5 |
| C-152 | 440,34840 | 440,3626 | -14,2 | 440,2746 | 73,8 |
| 2870 | 182,45341 | 182,4435 | 9,9 | 182,3715 | 81,9 |
| PN305 | 507,95853 | 507,8958 | 62,7 | 507,8813 | 77,2 |
| C-907 | 851,61173 | 851,5246 | 87,1 | 851,5345 | 77,2 |
| FR-1014 | 296,22738 | 296,1963 | 31,1 | 296,1545 | 72,9 |
| 2753 | 251,72801 | 251,6836 | 44,4 | 251,6555 | 72,5 |
| 3694 | 279,63671 | 279,6340 | 2,7 | 279,5612 | 75,5 |
| FR-3052 | 160,7095 | 160,7605 | -51,0 | 160,6350 | 74,5 |
| id7683913 MIV | 154,09413 | 154,0611 | 33,0 | 154,0215 | 72,6 |
| 31a/6 | 495,12280 | 495,124 | -1,2 | / | / |
| MLVIII | 536,23289 | 536,2444 | -11,5 | / | / |

7. Zaključak

Izvedbom novoga izjednačenja nivelmanske mreže Slovenije postavili smo temelj za sve daljnje radove i sanaciju nivelmanske mreže. Računska obrada bila je izvedena s namjerom, da se stekne jasna i razgovijetna slika o stanju nivelmana kod nas i tako omogućiti odnosno olakša daljnje planiranje sanacije i razvoj nivelmanske mreže na području Slovenije.

Međutim, moramo biti svjesni toga da je trenutačno stanje na tom području loše, prije svega zbog starih mjernih podataka, visinskog sustava (normalne ortometrijske visine) i nadovezivanja na visinski datum Trst. Uбудućе će svakako trebati razmišljati o novome mjerenju nivelmanske mreže, koje bi figure trebale biti stabilizirane na području Slovenije, ili pak možda o rješenju problema s pomoću nadovezivanja na zajedničku europsku razinu, na normalni reper u Amsterdamu.

Na kraju treba dodati da su izjednačene nadmorske visine repera uključene u središnju bazu geodetskih točaka koju je postavila Geodetska uprava Republike Slovenije. Podaci u toj bazi preko interneta su na raspolaganju i drugim korisnicima.

¹ Poslije izjednačenja nivelmanske mreže na slici 1 u visinskom datumu Trst

² Prije izjednačenja nivelmanske mreže (službene nadmorske visine repera do godine 2000. u visinskom datumu Trst)

³ Nadmorske visine repera iz izjednačenja II. NVT-a, normalne ortometrijske visine (Bilajbegović i dr. 1989)

ZAHVALA. Zahvaljujemo se Geodetskoj upravi Republike Slovenije, koja je finansijski poduprla sanaciju nivelmanske mreže Republike Slovenije, i Državnoj geodetskoj upravi Republike Hrvatske, koja je odstupila podatke o mjerenju nivelmanskih vlakova II. NVT-a, stabiliziranih na području Republike Hrvatske.

Literatura

- Ambrožič, T., Turk, G. (1999): VIM ver. 3.2 – Program za izjednačenje nivelmanskih mreža. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodeziju, Ljubljana.
- Bilajbegović, A. i dr. (1989): II. Nivelman visoke točnosti Jugoslavije – svezak 1. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za višu geodeziju, Zagreb, 3 – 4.
- Bilajbegović, A., Bačić, Ž., Stepan, V. (1992): Precizni nivelman Hrvatske, Bosne i Hercegovine i Slovenije. Zbornik Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu povodom 30. obljetnice samostalnog djelovanja 1962. -1992., Geodetski fakultet, Zagreb, 157-164.
- Koler, B. (1994): Višinski datum nivelmanskih mrež v Sloveniji. Geodetski vestnik, 1, Ljubljana, 7-10.
- Sanacija nivelmanskih mrež, Poročilo o preračunu 1990-1998 (1998): Geodetska uprava Republike Slovenije, Ljubljana.
- Vardjan, N. (2001): Preračun in analiza nivelmanske mreže Slovenije. Diplomski naloga, Ljubljana.
- Zeger, J. (1986): Historische Entwicklung des Precisionsnivellements in Oesterreich. Oesterreichische Zeitschrift fuer Vermessungswesen und Photogrammetrie, 4, 250-263.

The improvement of the leveling network Republic of Slovenia

ABSTRACT. In the article, the improvement of the leveling network of Slovenia is introduced. The analysis of the problems and discrepancies that have appeared in the leveling network are shown in details. Described are also the proceedings of the improvement, last adjustment of leveling network and the condition of leveling network after the calculation.

Keywords: leveling network, analysis, adjustment, discrepancy.

Prihvaćeno: 2004-10-12