

UDK 528.389:528:481 (497.12-31)
Ljubljansko barje "1983/1993"
Stručni članak

DESET GODINA SUSTAVNOG PRAĆENJA POMICANJA TLA NA LJUBLJANSKOM BARJU

Aleš BREZNIKAR – Ljubljana*

SAŽETAK. Predstavljene su sustavne izmjere nivelmanske mreže na Ljubljanskem barju u posljednjih deset godina. Mreža je bila razvijena radi praćenja vertikalnih pomaka na tom području. Opisane su karakteristike mreže, način izmjere i izjednačenja, analiza točnosti te način interpretacije rezultata.

1. UVOD

Ljubljansko barje leži jugozapadno od Ljubljane i pokriva područje od 280 km² (22,5 × 12 km). Taj specifičan ekološki sustav s nekoliko vrlo rijetkih vrsta flore i faune za Ljubljanu znači mogućnost za njezino širenje, pri čemu je važan ograničavajući faktor loša nosivost tla i seizmički aktivno područje. Interes za zahvatima na tom prostoru je vrlo velik, a ideje o njegovu daljem razvoju vrlo su različite: od ekološkog interesa, koji želi Ljubljansko barje očuvati takvo kakvo jest, preko urbanističkoga, koji u njemu vidi mogućnost za stjecanje građevnih površina, pa sve do različitih turističkih ideja, koje predviđaju njegovo djelomično poplavljanje, odnosno izgradnju sportskog uzletišta.

Da se Ljubljansko barje sliježe, odnosno snižava zbog dosada još nedovoljno istraženih uzroka, već je odavno dokazano. Godine 1983. dogovoreno je da se izradi projekt nivelmanskih mjerenja kako bi se odredili veličina i područje slijeganja tla na Ljubljanskem barju.

2. HISTORIJAT MJERENJA

Godine 1984 (Vodopivec i dr. 1985) provedena je prva sustavna izmjera nivelmanske mreže na Ljubljanskem barju radi određivanja pomaka. U toj izmjeri bili su nivelirani nivelmanski vlakovi, stabilizirani na Ljubljanskem barju u okviru gradske nivelmanske mreže Ljubljana. S uspoređivanjem visina repera iz te izmjere i izmjere 1974. godine, koja je bila izrađena u okviru gradske nivelmanske mreže, dobili smo prve informacije o pomacima. Mreža izmjerena u toj godini pokriva područje istočne polovine Barja. Priključena je bila na četiri temeljna repera, stabilizirana 1974. na rubu barja, na geološko stabilnom terenu.

* Dr. Aleš Breznikar, Fakulteta za gredbeništvo iz geodezijo, Jamova 2, Ljubljana, Slovenija

Nakon te izmjere pojavio se interes za podatke o slijeganjima na Ljubljanskom barju pa je 1987. izrađen projekt (Vodopivec i dr., 1988) nivelmanske mreže za cjelokupno područje Ljubljanskog barja. Na zapadnom dijelu smo razvili sasvim novu mrežu, pri čemu smo u izmjeru uključili i sve repere, koji su na tom području već postojali. Na istočnom smo dijelu mrežu progustili s dodatnim nivelmanskim vlakovima, poglavito na mjestima gdje su se u izmjeri iz 1984. pokazali vidni pomaci. Tu smo izmjeru priključili na postojaća četiri fundamentalna repera, koji leže na istočnoj polovini Barja. Da bi se osigurala ravnomjerna točnost mreže na cjelokupnom području, 1988 su projektirana i zajedno s geolozima izabrana mjesto za još dva dodatna fundamentalna repera. Godine 1989 (Vodopivec i dr., 1990) provedena je druga izmjera nivelmanske mreže na cjelokupnom području Barja. U nju su uključeni i oba nova fundamentalna repera, kojima je na taj način određena visina. Poslije slijede još dvije izmjere: 1991. i 1993 (Vodopivec i dr., 1992, 1994). Te su dvije izmjere provedene u jednakom opsegu kao prethodne dvije, pri čemu je bilo potrebno mrežu prije mjerenja ponovno rekognoscirati i uništene repere zamijeniti novima. Na nekim je mjestima u tom razdoblju došlo i do promjene rasporeda vlakova, naročito na mjestu gdje mrežu presijeca nova ljubljanska zaobilazna cesta.

3. KARAKTERISTIKE I OBLIK MREŽE

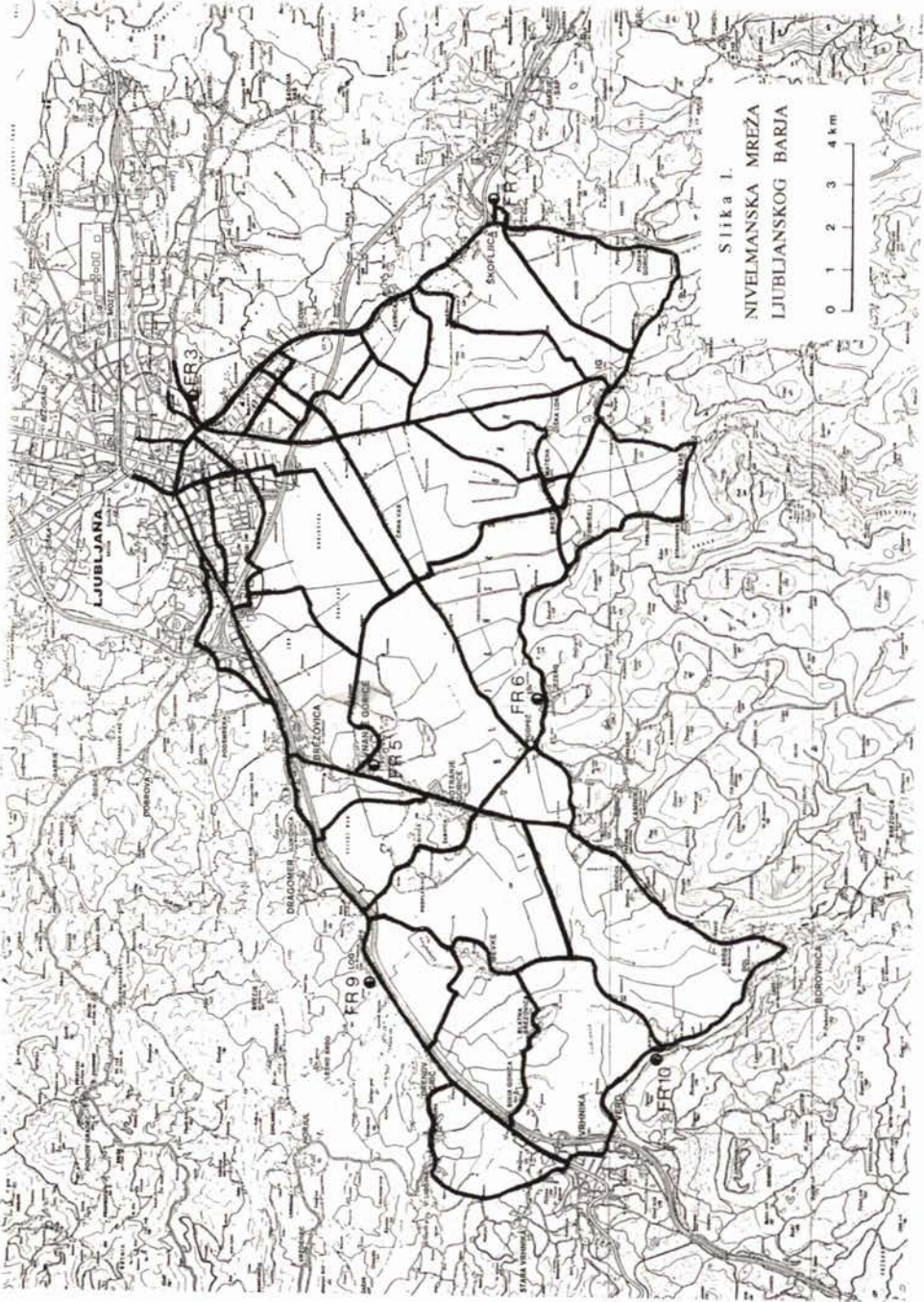
Oblik mreže uglavnom je isti još od 1987. godine (slika 1).

Tablica 1. Glavne karakteristike mreže izmjerene u 1993. godini (Vodopivec i dr., 1994)

	Broj	Duljina			
		Minim.	Maksim.	Prosječno	Ukupno
Reper	431	/	/	/	/
Vizura	/	2 m	40 m	29.9 m	/
Nivelmanska linija	467	0.02 km	2.89 km	0.46 km	212.54 km
Nivelmanski vlak	89	0.14 km	10.97 km	2.19 km	212.54 km
Niv. zatavorena figura	36	2.62 km	19.28 km	9.39 km	338.02 km

Visinske točke u nivelmanskoj mreži Ljubljanskog barja stabilizirane su po kriterijima koji vrijede za gradsku nivelmansku mrežu. S obzirom na način stabilizacije razlikujemo sljedeće tipove repera:

- fundamentalni reperi, stabilizirani na geološki stabilnom tlu, osiguravaju skupa s njihovim rasporedom dobru povezanost mreže. Stabilizirani su po kriterijima koji vrijede za stabilizaciju fundamentalnih repera.
- reperi s rupicom su preuzeti u mrežu iz stare gradske mreže. Usprkos tome što veza na te repere oduzima više vremena od veze na klasične repere s ovalnom glavom, sačuvali smo ih u mreži zato jer je njihova visina poznata već iz izmjere gradske nivelmanske mreže iz 1974, pa su zbog toga vrlo interesantni za stjecanje informacija o slijeganjima. Takvih repera ima u mreži oko 5%.



- reperi s ovalnom glavom čine većinu svih repera. S takvim načinom stabilizacije postavljeni su svi novi reperi na području Ljubljanskog Barja. Pri ugradnji repera težili smo tome da repere ugrađujemo u starije stabilne objekte, kako bismo dobili što točnije informacije o slijeganju cjelokupnog područja, a ne samo pojedinačnih objekata.
- Kontrolni su reperi stabilizirani radi odvajanja slijeganja pojedinih objekata od tektonskih pomaka, odnosno ukupnog slijeganja razine Ljubljanskog barja. Ti su reperi stabilizirani tako, da su na hrastov pilot ugrađeni betonski kvadri veličine 12 cm × 12 cm × 65 cm s usađenim reperom. Na žalost većina ih je uništena, pa su u posljednjoj izmjeri očuvana samo dva repera.

4. TERENSKA MJERENJA

Ukoliko želimo dobiti rezultate na osnovi kojih se može ocijeniti veličina slijeganja na Ljubljanskem barju, moramo izabrati što točniju metodu izmjere. Tako su sve izmjere nivelmanske mreže na barju, osim prve u 1984. godini, izvedene s nivelnirom Zeiss Ni 002 i invar nivelmanskim letvama. Kod prve izmjere bio je upotrijebljen nivelir Zeiss Koni 007. Nivelmanske su letve bile komparirane na komparatoru Fakulteta za građevinarstvo i geodeziju u Ljubljani prije i poslije terenskih mjerenja. Sa srednjim smo vrijednostima komparacije letava poslije završenih mjerenja popravili visinske razlike.

Da bismo udovoljili propisanoj točnosti izjednačenja mreže, koja bi trebala biti ispod 1 mm/km, pri načinu izmjere držali smo se zahtjeva iz pravilnika o tehničkim normativima za mreže temeljnih geodetskih točaka (RGU, 1981) koji za I. red gradske nivelmanske mreže određuje poštovanje sljedećih uvjeta:

- niveliranje iz sredine s najvećom dozvoljenom razlikom između duljine vizure naprijed – nazad od 1 m;
- niveliranje u oba smjera s najvećim dozvoljenim odstupanjem između visinske razlike nivelirane naprijed i nazad:

$$\sigma_{\text{doz}} = 4\sqrt{d + 0.04 d^2} \quad (1)$$

- najveća duljina vizure 40 m;
- niveliranje u obliku zatvorenih nivelmanskih linija s najvećim dozvoljenim odstupanjem zatvorene nivelmanske linije:

$$F_{\text{doz}} = 2\sqrt{d + 0.04 d^2} \quad (2)$$

- najmanja dozvoljena visina vizure 60 cm;
- čitanje po redoslijedu: nazad – sprijeda – sprijeda – nazad.

Osim ovih, putem pravilnika propisanih uvjeta, morali smo udovoljiti još zahtjevima za što brže izvršenje cjelokupne izmjere mreže. To je jedina mogućnost da se slijeganje pojedinih repera, koje negdje iznosi i do 15 mm/godišnje, ne odrazi u točnosti cjelokupne mreže.

5. IZJEDNAČENJE I OCJENA TOČNOSTI

Nivelirane visinske razlike izjednačili smo po metodi posrednog izjednačenja. Program za izjednačenje izrađen je na Fakultetu za građevinarstvo i geodeziju i omogućava zajedničko izjednačenje cjelokupne mreže. Pritom je mreža priključena na šest fundamentalnih repera. Prethodno smo ocijenili i stabilnost fundamen-

talnih repera da bismo s pomočju statističke analize, utvrdili da li je došlo do pomicanja pojedinih fundamentalnih repera.

Poslije završetka mjerenja, na osnovi rezultata, ocijenili smo točnost. Na osnovi odstupanja visinskih razlika nivelmanskih linija, vlakova i zatvorenih figura izračunali smo srednje kilometarske pogreške po sljedećim jednadžbama:

– za odstupanje visinske razlike nivelmanskih linija niveliranih u oba smjera:

$$m_1^2 = \frac{1}{4n_1} \left[\frac{\sigma^2}{d} \right] \quad (3)$$

n_1 – broj nivelmanskih linija

σ – odstupanje visinskih razlika mjerenih u oba smjera

d – duljina pojedinačne nivelmanske linije

– za odstupanje visinske razlike nivelmanskih vlakova niveliranih u oba smjera:

$$m_v^2 = \frac{1}{4n_v} \left[\frac{\lambda^2}{d} \right] \quad (4)$$

n_v – broj nivelmanskih vlakova

λ – odstupanje visinskih razlika mjerenih u oba smjera

d – duljina pojedinačnoga nivelmanskoga vlaka

– za odstupanje nivelmanske zatvorene figure:

$$m_z^2 = \frac{1}{4n_z} \left[\frac{f^2}{d} \right] \quad (5)$$

n_z – broj nivelmanskih zatvorenih figura

f – odstupanje visinskih razlika pri zatvaranju nivelmanskih zatvorenih figura

d – duljina pojedinačne nivelmanske zatvorene figure

Na osnovi izjednačenja izračunali smo standardno odstupanj jedinične težine:

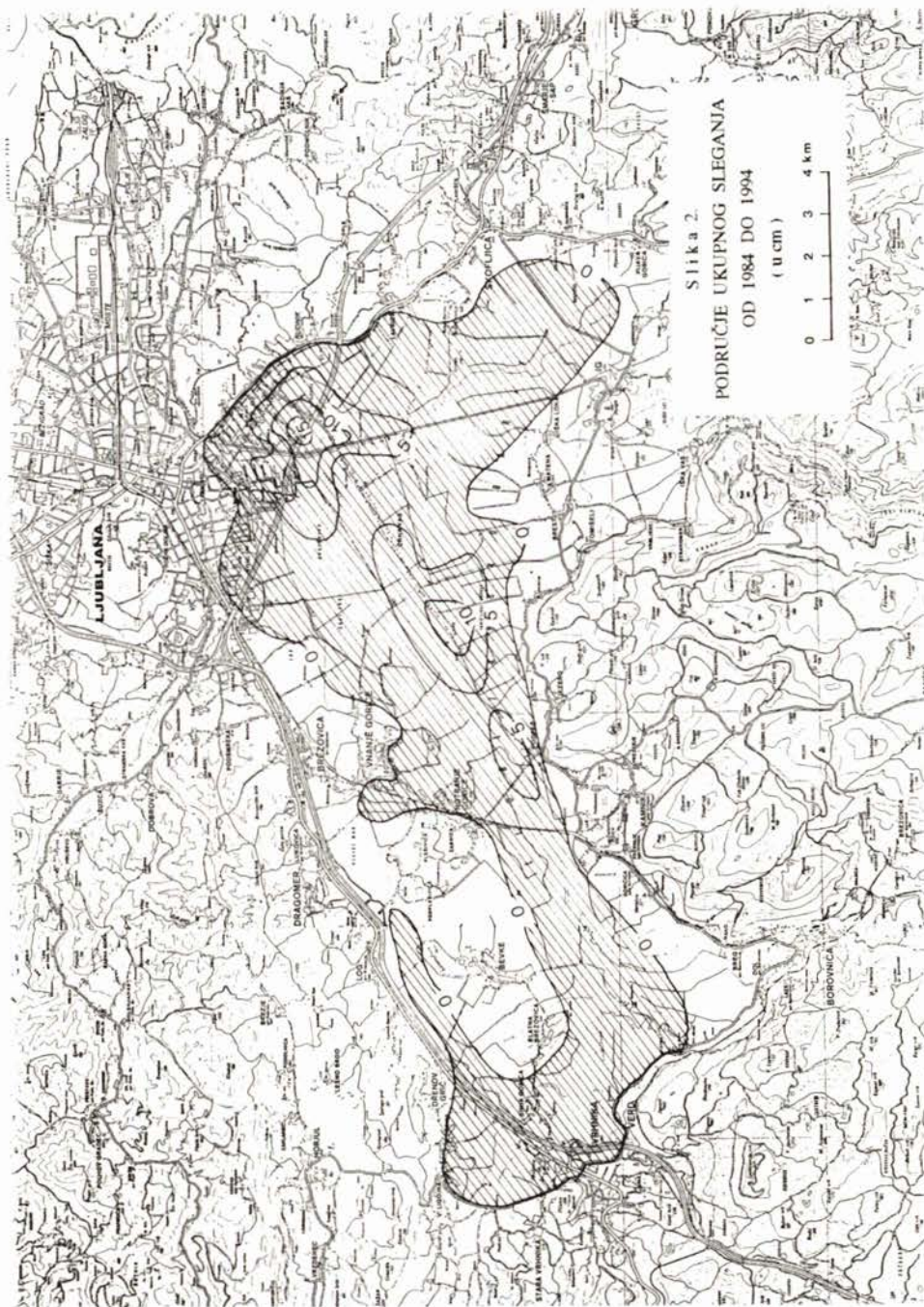
$$s_0 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{p} \mathbf{v}}{r} \quad (6)$$

r ... broj prekobrojnih mjerenja

Tablica 2. Rezultati ocjene točnosti za posljednje tri izmjere

	1989. mm/km	1991. mm/km	1993. mm/km
m_1	0,70	0,63	0,57
m_v	0,72	0,66	0,66
m_z	0,65	0,91	0,44
s_0	1,01	0,97	0,77

Analiza ocjene točnosti potvrđuje početni uvjet da je mreža izmjerena s točnošću ispod 1 mm/km. Relativno velika, suprot pogreškama iz prijašnjih



godina, je srednja kilometarska pogreška zatvaranja nivelmentskih zatvorenih figura iz 1991. godine što je vjerojatno posljedica dulje izmjere mreže u tom razdoblju. Mreža je bila izmjerena u jesen 1991. i proljeće 1992. godine.

6. INTERPRETACIJA REZULTATA

Na osnovi izjednačenja svih mjerenja u nivelmanskoj mreži dobili smo nadmorske visine točaka, koje smo usporedili s visinama iz prošlih godina. Promjene visina unijeli smo na kartu i interpolacijom dobili kartu slijeganja. Za svaku izmjeru izrađuju se dvije karte slijeganja:

- karta godišnjih slijeganja, dobivena na osnovi razlike visina repera posljednjih dviju izmjera, preračunato na jednu godinu. Ta karta, osim što pokazuje slijeganja u razdoblju između posljednje dvije izmjere, u usporedbi s kartama godišnjih slijeganja prijašnjih razdoblja, daje informacije o kretanju centara s najvećim slijeganjima. Najveća slijegana na toj karti dosežu i do 25 mm/ god.
- karta ukupnih slijeganja od 1984. pa do posljednje izmjere (slika 2). Na toj su karti ucrtane izohipse jednakih slijeganja između izmjere u 1984. i posljednje izmjere. Karta je izrađena s namjerom da se projektantima za zahvate u taj prostor plastično predstavi problematika slijeganja na Ljubljanskem barju. Najveća slijeganja na toj karti dosežu i do 20 cm.

Ako pogledamo kartu ukupnih slijeganja (slika 2), možemo uočiti dva veća centra slijeganja, pri čemu je posebno izrazit centar na sjeveroistoku. To je područje veoma problematično za nove zahvate u prostoru. Preko njega ide ljubljanska zaobilazna cesta na kojoj se već pokazuju problemi jer na spojevima između vijadukata cesta puca i tako se stvaraju stepenice. Iz karte možemo uočiti da su veća slijeganja uzduž rijeke Ljubljanice koja teče preko Ljubljanskog barja, pa je zbog toga potrebno izvjesnu pozornost posvetiti i zahvatima na tom području.

7. ZAKLJUČAK

Znanstveni projekt izmjere nivelmanske mreže na Ljubljanskem barju je primjer kako se mogu rezultati određivanja visina pojedinačnih repera korisno upotrijebiti ne samo u geodetske svrhe, nego je njihova informacijska vrijednost mnogo veća. Zbog toga rezultati takvih izmjera imaju širi društveni interes jer su dobra osnova za makroprojektiranje zahvata u prostor na području Ljubljanskog barja. Ako poštujemo rezultate koji proizlaze iz ovdje opisanog istraživanja, možemo spriječiti mnoge probleme, koji bi nastali pri eksploataciji novoizgrađenih objekata.

LITERATURA

- RGU (1981): Pravilnik o tehničkim normativih za mreže temeljnih geodetskih točak, Republiška geodetska uprava, Ljubljana
- Vodopivec F.; Kogoj, D.; Goršič, J. (1985): Izmera barjanskega dela nivelmanske mreže I. reda Ljubljane; znanstveni projekat FAGG; Ljubljana.
- Vodopivec, F.; Breznikar, A.; Kogoj, D.; Koler, B. (1988): Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja; znanstveni projekat FAGG Ljubljana, Ljubljana.
- Vodopivec, F.; Breznikar, A.; Kogoj, D.; Koler, B. (1990): Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja; znanstveni projekat FAGG Ljubljana, Ljubljana.

- Vodopivec, F.; Breznikar, A.; Kogoj, d.; Koler, B. (1992): Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja, znanstveni projekat FAGG Ljubljana, Ljubljana.
- Vodopivec, F.; Breznikar, A.; Koler, B. (1994): Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja, znanstveni projekat FAGG Ljubljana, Ljubljana.

TEN YEARS OF SYSTEMATIC MEASURING THE CRUSTAL MOVEMENTS ON THE MARSHES OF LJUBLJANA

The last ten years of systematic measuring the levelling network on the marshes of Ljubljana are presented. This network has been developed to follow crustal movements in this area. There are the network characteristics, the method of measurement and adjustment, the accuracy analysis and the interpretation of the results described as well.

Priljeno: 1995-02-15