

# RAZISKAVA POSEDANJ LJUBLJANSKEGA BARJA ZARADI ČRPANJA VODE V VODARNI BREST

ANALYSIS OF THE LJUBLJANA MARSHLAND SUBSIDENCE DUE TO WATER  
PUMPING IN THE BREST WATERWORKS

*Vesna Ježovnik*

UDK: 528.38:624.131.54:628.12

## POVZETEK

*Vodarna Brest, ki leži na Ljubljanskem barju, je pomemben objekt za mesto Ljubljana, saj za njegove potrebe načrpa 10 % pitne vode. Po podatkih geodetskih opazovanj se Ljubljansko barje poseda. Med vzroke za posedanje površine Ljubljanskega barja lahko štejemo tonjenje kameninske podlage kvartarnih sedimentov, naravno posedanje glinasto-meljastih kvartarnih sedimentov, predvsem polžarice, in ne nazadnje obremenitev površine Ljubljanskega barja z dodatno obtežbo zaradi gradenj. Da bi ugotovili intenzivnost posedanja, ki nastaja zaradi črpanja vode, potekajo na Ljubljanskem barju sistematična opazovanja nivelmanske mreže I. reda ter opazovanja globinskih in plavajočih reperjev, ki so stabilizirani neposredno ob trasi vodarne Brest. V članku analiziramo rezultate geodetskih opazovanj za ugotavljanje stabilnosti Ljubljanskega barja.*

## KLJUČNE BESEDE

*posedanje Ljubljanskega barja, nivelmanska mreža, reper, analiza nivelmanske mreže*

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.02

## ABSTRACT

*The waterworks Brest, situated on the Ljubljana Marshland, is an important element of the Ljubljana city, providing 10 % of its water supply. Water pumping is the main reason for the subsidence on the Ljubljana Marshland. Other reasons for the subsidence of the Ljubljana Marshland area include sinking of the crockery bedrock of Quaternary sediments, natural sinking of clay - grist Quaternary sediments, particularly the lacustrine clay called "polžarica", as well as loading of the Ljubljana Marshland surface with additional weight due to building constructions. Systematic observations by first order levelling network as well as the observations of the depth and floating benchmarks, set up directly at the pumping line, are indispensable for the assessment of subsidence due to water pumping. The article discusses the results of the geodetic observation for the ascertainment of the Ljubljana Marshland stability.*

## KEY WORDS

*the Ljubljana Marshland subsidence, levelling grid, benchmark, analysis of levelling network, levelling*

## 1 UVOD

Kratek pogled v zgodovino Ljubljanskega barja nam pove, da so na tem območju bivali že Rimljani, ki so se že takrat verjetno ukvarjali z mislijo, kako bi barje izsušili oziroma čim boljje izkoristili njegove vodne vire. Problem osuševanja Ljubljanskega barja je bil prisoten tudi v poznejših obdobjih. Podlaga za številne projekte osuševanja, ki so jih želeli izvesti v preteklosti, so bile najrazličnejše izmere, ki so jih izvajali na območju Ljubljanskega barja (Koler, 2002).

Ljubljansko barje je pomembno območje, tako za mesto Ljubljana kakor za vodarno Brest in ne nazadnje za ljudi, ki ga želijo ohraniti takšno, kot je. Mesto Ljubljana ga potrebuje za širitev, vodarna Brest za črpanje pitne vode za mesto, ljudje kot košček neokrnjene narave. Vsi pa se moramo zavedati, da je Ljubljansko barje območje, ki se stalno spreminja – poseda. To je narekovalo potrebo po sistematičnih izmerah območja, ki bi dale čim boljše rezultate. S sistematičnimi izmerami nivelmanskimi mrež, ki jih opravimo v določenih časovnih presledkih, dobimo podatke o vertikalnem gibanju tal nekega območja. Vertikalne premike določimo tako, da v ustrezne objekte stabiliziramo reperje, ki nam omogočajo nedvoumno določitev nadmorske višine. Tako so bile po letu 1962/1963 na Ljubljanskem barju izvedene številne sistematične izmere, ki so zajele njegova različna območja. Vertikalne premike tal na območju vodarne Brest smo pričeli s sistematičnimi izmerami spremljati leta 1999, ko so bili stabilizirani plavajoči in globinski reperji.

## 2 VODARNA BREST

Leta 1981 je na Ljubljanskem barju pričela obratovati vodarna Brest. Vodarna leži na vršaju reke Iške v občini Ig, v bližini naselja Brest na južnem obrobju Ljubljanskega barja. Prvotno je izkoriščala vodonosne sloje v zgornjih plasteh, danes pa tudi podzemno vodo spodnjih vodonosnih plasti.



**Slika 1:** Vodarna Brest (foto: Aleš Smrekar)

Vodno telo Ljubljanskega barja je kompleksen vodonosni sistem. Več kot 150 m globoka udorina, presekana s številnimi prelomi, je zapolnjena z rečnimi in jezerskimi sedimenti. Podlaga tem sedimentom na južnem, zahodnem in osrednjem delu sta zgornjetriasni dolomit in jurski apnenec, na severnem in vzhodnem pa permokarbonski glinasti skrilavec in peščenjak. Skozi prodne plasti se pretaka podzemna voda, ki je v večjem delu Barja pod arteškim oziroma subarteškim pritiskom (Bračič-Železnik et al., 2005).

Na Ljubljanskem barju na podlagi meritev in analiz ločimo štiri med seboj bolj ali manj ločene vodonosnike:

- holocenski prodni vodonosnik s prosto gladino podzemne vode,
- zgornji pleistocenski vodonosnik z arteškim nivojem podzemne vode,
- spodnji pleistocenski vodonosnik s subarteškim nivojem podzemne vode,
- kraško-razpoklinski karbonatni vodonosnik.

Holocenski prodni vodonosnik Iške zapolnjuje ravnico med vzhodnimi pobočji Krima in zahodnimi zakraselimi pobočji mokrškega pogorja, ki se končujejo nad Igom. Debelina holocenskih nanosov je med 25 in 30 m. Proti severu holocenski nanosi tonejo pod jezerskimi sedimenti in se izklinjajo (Bračič-Železnik et al., 2002).

Iz holocenskega vodonosnika je vodarna Brest prvotno načrtovala zajem podzemne vode s prosto gladino. Raziskave, ki so bile opravljene v vodarni, so dale desetino pričakovane količine vode. Vzrok je manjša izdatnost holocenskega prodnega vodonosnika, ki je posledica regulacije dela struge Iške.

Zgornji pleistocenski vodonosnik se na območju vodarne Brest začinja na globini med 25 in 30 m. Njegova povprečna globina je okoli 30 m. Za Ljubljano in njeno širšo okolico je vodonosni sistem Ljubljanskega barja perspektiven vir pitne vode, saj iz vodonosnika Iškega vršaja vodarna Brest načrpa 10 % pitne vode za oskrbo Ljubljane in je edina, ki črpa vodne vire podtalja na Ljubljanskem barju. Pojavljajo pa se vprašanja v zvezi s posedanji, ki bi lahko nastala zaradi črpanja pitne vode.

Vpliv črpanja vode na posedanja na Barju so ugotavljali s teoretičnimi izračuni, ki so upoštevali predvidene količine črpanja, in geomehanskimi raziskavami sedimentov v zgornjih šestnajstih metrih, poleg tega so vzpostavili mrežo plavajočih in globinskih reperjev, ki omogoča meritve premikov v polzarici.

## 2.1 Hidrogeološke in tektonske značilnosti Ljubljanskega barja

Vrtine in geofizikalne raziskave kažejo, da je območje Barja kotlina s skalno podlago, ki ima številne kotanje in globeli. Na južnem delu sestavljajo skalno podlago triasni dolomiti in apnenci in ta del kotline z obrobjem pripada dinarskemu območju. Skladi in prelomi, ob katerih so se posamezne grude pogreznile ali dvignile, potekajo v smeri sever-jug. Tako so se na južnem obrobju Barja izoblikovale tri antiklinale, ki so pretrgane po enem ali več podolžnih prelomih. Dinarski prelomi so starejši od mediteranskih, zato je verjetno, da je vzhodni del Barja najstarejši, najgloblji in naplavine dosežejo v njem največjo globino.

Severno območje sestavljajo permokarbonski skrilaenci. Kotlina je zapolnjena z jezerskimi, močvirskimi in rečnimi naplavinami. Vrhnja plast te naplavine je sestavljena iz šote, šotnega blata in jezerskega melja (polzarice), delno pa iz rjave peščene gline in peščenega melja. Na severni in južni strani Barja nimajo pritoki Ljubljanice skoraj nikakršnega padca. Zato je Barje zamočvirjeno, kajti reka Ljubljanica ima od Vrhniko do Ljubljane na dolžini okrog 20 km le 4 m

padca. Podzemna voda se nahaja pod debelo plastjo proda, ki je pod barjanskimi glinasto-meljastimi usedlinami. Voda je pod pritiskom. Ti prodni vodonosniki so nadaljevanje prodnih vršajev rečic, ki tečejo z obrobja na Barje (Bračič-Železnik et al., 2002).

## 2.2 Vzroki za posedanje površine Ljubljanskega barja

Znano je, da se določeni predeli Ljubljanskega barja posedajo, oziroma se Barje glede na okolico znižuje.

Med vzroke, ki povzročajo posedanje Ljubljanskega barja, je treba vključiti (Bračič-Železnik et al., 2003):

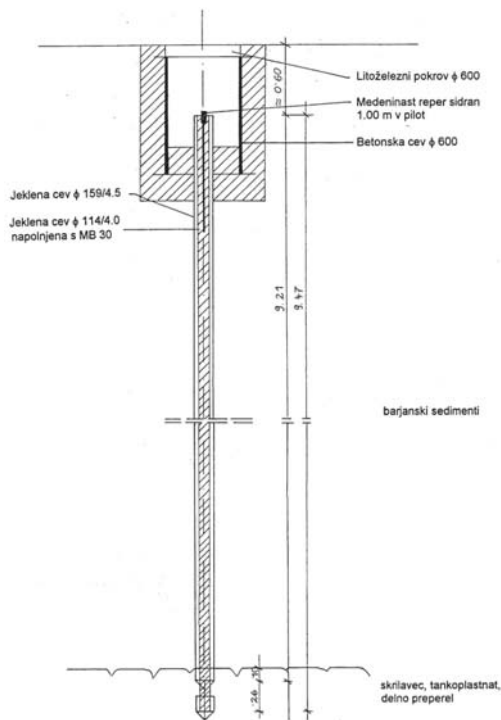
- Tonjenje kamninske podlage kvartarnih sedimentov Ljubljanskega barja. Ocena pogrezkov je 1–2 mm/leto. Pogrezki so največji na območjih Ljubljanskega barja, kjer je najdebelejša plast kvartarnih sedimentov, ki so tudi najbolj aktivni del neo-tektonske udorine.
- Naravna konsolidacija skladovnice kvartarnih sedimentov Ljubljanskega barja. Ocena posedka je do 1,3 mm/leto. Pogrezki so največji na predelih Ljubljanskega barja z največjo debelino glinasto-meljastih kvartarnih sedimentov, predvsem polžarice.
- Obremenitev površine Ljubljanskega barja z dodatno obtežbo zaradi gradenj. Ocene posedkov ni, oziroma so ti vezani na posamičen objekt.
- Dreniranje vodonosnikov pod Ljubljanskim barjem z vertikalnimi drenažami ob gradnjah objektov (peščeni koli).
- Posedanje zaradi hidrotehničnih posegov in črpanja podzemne vode na Ljubljanskem barju.

Zaradi črpanja talne vode se spreminjajo vrhnje plasti, zato se na lokalnem območju vodarne Brest izvaja periodično spremljanje posedanja vrhnjih plasti tal.

## 3 ZGODOVINA GEODETSKIH MERITEV NA OBMOČJU VODARNE BREST

Na podlagi rezultatov sistematičnih izmer mestne nivelmanske mreže I. reda na Ljubljanskem barju so pričakovana posedanja tal na tem območju do 5 mm letno (Koler et al., 1996). Da bi dobili kakovostnejšo sliko posedanj vrhnjih plasti in posedanja povezali s črpanjem podzemne vode, je bilo neposredno ob trasi vodarne Brest decembra leta 1999 stabiliziranih šest globinskih reperjev (**1T–6T**) (slika 2) in šest plavajočih reperjev (**1P–6P**). Globinski reperji so stabilizirani na globini do 9 m, plavajoči reperji so vgrajeni neposredno v zgornjo plast. Takšen način stabilizacije omogoča, da na podlagi sprememb višin plavajočih reperjev glede na globinske reperje sklepamo na morebiten vpliv črpanja podzemne vode v vodarni Brest na zgornje plasti tal. Na drugi strani pa lahko z morebitnimi premiki globinskih reperjev ugotavljamo vpliv črpanja podzemne vode iz spodnjih vodonosnih plasti na spodnje plasti Ljubljanskega barja.

Na območju vodarne Brest je bilo od leta 2000 do 2008 opravljenih 39 meritev. Ugotavljali so se vertikalni premiki globinskih in plavajočih reperjev, ki so stabilizirani vzdolž ceste med reperjema 42/50 in 42/55 nivelmanske mreže I. reda na Ljubljanskem barju (slika 3).



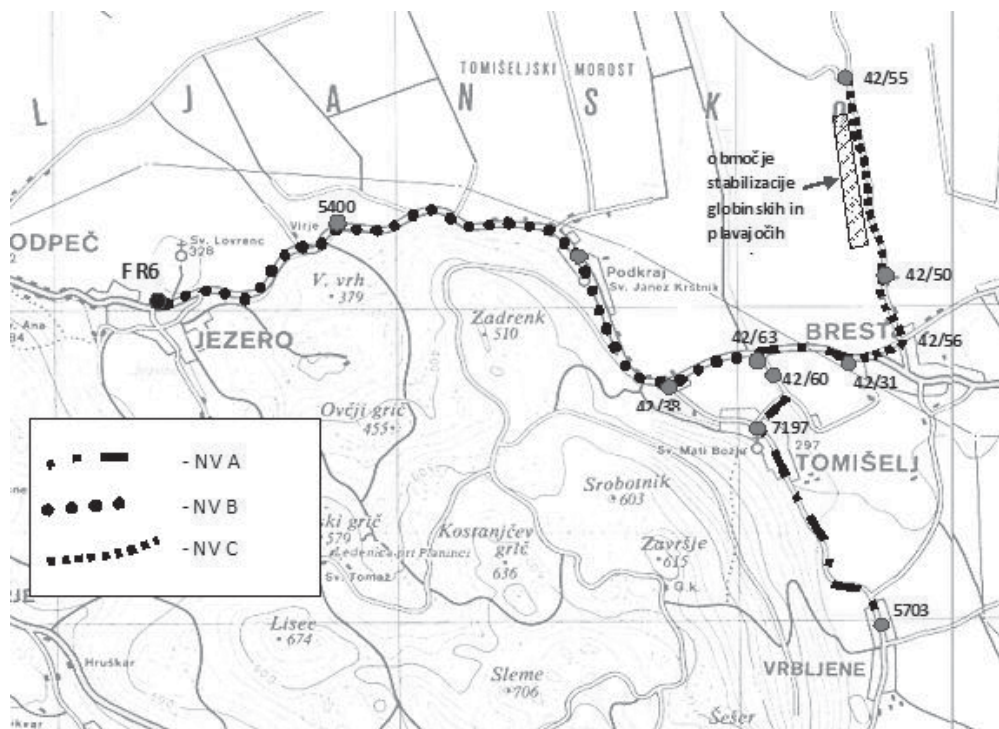
**Slika 2:** Prikaz globinskega repera

Da bi pridobili kakovostnejšo sliko posedanj na širšem območju vodarne Brest, smo leta 2007 v izmero vključili obstoječe reperje mestne nivelmanske mreže I. reda (slika 3). Izmerjeni so bili vsi nivelmanski poligoni NV A, NV B in NV C (slika 3). Poleg višin globinskih in plavajočih reperjev sta bili določeni višini repera 5703 (Vrbljene), ki se nahaja na območju, kjer ni bilo ugotovljenih posedanj, in repera 7197 (Tomišelj), ki se nahaja na meji območja, kjer so pričakovana posedanja do 5 mm/leto. Višine vseh reperjev so določene v višinskem datumu, ki je bil spet določen za izmere na navedenem območju.

#### 4 VIŠINSKI DATUM NIVELMANSE MREŽE BREST

Višinski datum nivelmanske mreže je opredeljen kot najmanjše število parametrov, potrebnih za določitev višin novih reperjev (to je danih količin oziroma reperjev). Datum v višinski geodetski mreži je enak ena. Sistematične izmere nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja so bile navezane na različne fundamentalne reperje, ki so stabilizirani na tem območju. Spremembe višin reperjev med posameznimi izmerami lahko določimo, če so bile vse višine določene v identičnem višinskem datumu.

Leta 2000 je bil opravljen preračun nivelmanskih mrež na območju Slovenije na enoten višinski datum Trst (Koler in Vardjan, 2003). Zaradi graditve gospodarskega poslopja je bil leta 2002 prestavljen fundamentalni reper FR 6 v kraju Jezero (slika 3). Pred uničenjem repera FR 6 je bil



Slika 3: Skica nivelmanske mreže

v bližini stabiliziran novi fundamentalni reper in izveden je bil prenos višine na novi fundamentalni reper FR 6<sub>novi</sub> (Marjetič et al., 2007).

Leta 2007 je bila izvedena ničelna izmera razširjene nivelmanske mreže Brest, z navezavo na fundamentalni reper FR6<sub>novi</sub>, katerega višina je novi višinski datum nivelmanske mreže Brest. Da bi lahko primerjali višine reperjev iz predhodnih izmer, so bile vse višine preračunane na novi višinski datum.

## 5 UPORABLJEN INSTRUMENTARIJ, OBDELAVA, IZRAVNAVA IN OCENA NATANČNOSTI IZMER

Za izmere predstavljene nivelmanske mreže je bil uporabljen digitalni nivelir *Leica DNA03*, ki omogoča avtomatsko registracijo odčitka na invar kodni nivelmanski lati ter zagotavlja ustrezno natančnost merjenja višinskih razlik. Naprava sodi med najpreciznejše nivelirje za niveliranje nivelmanskih mrež višjih redov in določanje vertikalnih premikov. Pri izmerah sta bili uporabljeni tudi trimetrski precizni invar kodni nivelmanski lati *Leica GPCL3*, ki sta redno komparirani.

V izmeri leta 2007 je bila ločeno izvedena izmera nivelmanske mreže in izmera globinskih (T) in plavajočih (P) reperjev. Določeni sta bili višini reperjev 5703 in 7197, ki sta izhodišče za določanje višin globinskih in plavajočih reperjev. V letu 2008 so bili v izmero vključeni vsi reperji nivelmanske mreže in vsi globinski in plavajoči reperji.

Med samo izmero je bilo po končanem niveliranju nivelmanske linije kontrolirano odstopanje merjene višinske razlike med niveliranjem naprej in nazaj. Odstopanja so bila manjša od dovoljenega, ki je bilo izračunano po enačbi za niveliranje nivelmanskih linij visoke natančnosti (NVN, RGU, 1981):

$$\Delta_{dop} [mm] = \pm 2\sqrt{d [km] + 0.04d^2 [km]}, \quad d - \text{dolžina nivelmanske linije} \quad (1)$$

Dovoljeno odstopanje pri zapiranju nivelmanske zanke pa je bilo izračunano po enačbi:

$$\Delta_{dop} [mm] = \pm 1\sqrt{d [km] + 0.04d^2 [km]}, \quad d - \text{dolžina nivelmanske zanke} \quad (2)$$

Pred izravnavo opazovanj je bil upoštevan popravek metra para nivelmanskih lat in popravek prve črtice razdelbe para nivelmanskih lat po enačbi:

$$\Delta h_l = \Delta h'_l (1 + m_o) + a \quad (3)$$

kjer je:

$a$  ... popravek prve črtice razdelbe para nivelmanskih lat,

$m_o$  ... popravek merila,

$\Delta h'_l$  ... izmerjena višinska razlika,

$\Delta h_l$  ... popravljena višinska razlika.

Popravljenе višinske razlike smo izravnali z računalniškim programom VimWin v. 4.1, ki smo ga izdelali na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (Ambrožič in Turk, 2002). V preciznem nivelmanu lahko ocenimo natančnost merjenja višinskih razlik na podlagi različnih meril. Standardni odklon utežne enote, ki predstavlja oceno natančnosti na podlagi popravkov merjenih višinskih razlik po izravnavi, znaša 0,42 mm (2007) in 0,64 mm (2008) na kilometer dvojnega nivelmana. Na podlagi opravljene analize natančnosti lahko ugotovimo, da je natančnost opravljenih izmer v pričakovanih mejah glede na uporabljen instrumentarij in natančnost nivelirja, ki jo navaja proizvajalec.

## 6 DOLOČITEV VERTIKALNIH PREMİKOV REPERJEV

Za izračun premika reperja je treba slednjega opazovati najmanj v dveh terminskih izmerah. Z izravnavo opazovanj v nivelmanski mreži dobimo višine reperjev in oceno natančnosti določite višine reperjev. Na podlagi vrednosti spremembe višine posameznega reperja ( $\Delta H$ ) seveda še ni mogoče govoriti o stabilnosti oziroma nestabilnosti reperja. O premikih reperjev med dvema terminskima izmerama lahko govorimo, ko gre za statistično značilen premik. Za ugotavljanje statistične značilnosti premika se v praksi pogosto uporablja test kot razmerje med premikom in pripadajočo natančnostjo premika reperja. Testno statistiko zapišemo:

$$T = \frac{\Delta H}{\sigma_{\Delta H}} \quad (4)$$



Vertikalni premik reperja izračunamo po enačbi:

$$\Delta H = H_i - H_{i-1} \quad (5)$$

kjer je:

$H_{i-1}$ ... izravnana višina reperja v predhodni izmeri,

$H_i$ ... izravnana višina reperja v tekoči izmeri.

Natančnosti premika reperja, kar imenujemo varianca vertikalnega premika, si izračunamo po enačbi:

$$\sigma_{\Delta H}^2 = \sigma_{H_{i-1}}^2 + \sigma_{H_i}^2 \quad (6)$$

Testno statistiko (4) testiramo glede na postavljeno ničelno in alternativno hipotezo:

$H_0$  :  $\Delta H = 0$  : reper se v obdobju dveh terminskih izmer ni premaknil in

$H_a$  :  $\Delta H \neq 0$  : reper se je v obdobju dveh terminskih izmer premaknil.

Testno statistiko (4) primerjamo glede na kritično vrednost, ki jo izračunamo na podlagi porazdelitvene funkcije (preglednica 1). Izračunamo jo za premik vsakega reperja med posameznimi serijami meritev, pri tem pa domnevamo, da je testna statistika normalno porazdeljena.

| $1 - \alpha / 2$ [%] | $T_{krit.}$ |
|----------------------|-------------|
| 99,73                | 3,0000      |
| 99,00                | 2,5758      |
| 95,45                | 2,0000      |
| 95,00                | 1,9600      |
| 68,27                | 1,0000      |

**Preglednica 1:** Stopnja značilnosti testa in pripadajoče kritične vrednosti

Če je testna statistika  $T$  manjša od kritične vrednosti  $T_{krit.}$  ob izbrani stopnji značilnosti testa  $\alpha$ , je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze preveliko. Takrat ugotovimo, da premik ni statistično značilen. Če je vrednost testne statistike večja od kritične vrednosti porazdelitve funkcije, pa ugotovimo, da je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze manjše od izbrane stopnje značilnosti testa  $\alpha$ . Zato upravičeno zavrnemo ničelno hipotezo in tako potrdimo, da je obravnavani premik statistično značilen (Savšek-Safič et al., 2003).

## 6.1 Vertikalni premiki reperjev nivelmanske mreže I. reda na območju vodarne Brest

Ker smo želeli ugotoviti, kakšna je stabilnost reperjev nivelmanske mreže I. reda na območju vodarne Brest v daljšem obdobju, smo določili vertikalne premike reperjev za izmeri leta 1996 in 2007. Podatki o višini reperjev in natančnosti določitve višine reperjev v posamezni izmeri so zbrani v preglednici 2. Tam so zbrani tudi podatki o vertikalnih premikih in hitrosti vertikalnega premika, s pripadajočo natančnostjo določitve vertikalnega premika, testno statistiko  $T$  in



podatkom, ali je premik statistično značilen ali ne, ob izbrani stopnji značilnosti testa  $\alpha = 1\%$ . Reper se je statistično značilno premaknil, če je  $T > 2,5758$ .

| Reper | $H_{1996}$<br>[m] | $\sigma_{1996}$<br>[mm] | $H_{2007}$<br>[m] | $\sigma_{2007}$<br>[mm] | $\Delta H_{1996-2007}$<br>[mm] | $\sigma_{\Delta H}$<br>[mm] | T    | Premik | v<br>[mm/leto] |
|-------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------|--------|----------------|
| 42/56 | 294,7237          | 1,4                     | 294,7171          | 0,7                     | -6,6                           | 1,6                         | 4,1  | da     | -0,6           |
| 42/50 | 292,5764          | 1,3                     | 292,5580          | 0,7                     | -18,4                          | 1,5                         | 12,3 | da     | -1,7           |
| 42/38 | 295,2455          | 1,2                     | 295,2403          | 0,6                     | -5,2                           | 1,3                         | 4,0  | da     | -0,5           |
| 7197  | /                 | /                       | 299,8692          | 0,6                     | /                              | /                           | /    | /      | /              |
| 5703  | /                 | /                       | 305,3078          | 0,7                     | /                              | /                           | /    | /      | /              |
| 42/54 | 291,8989          | 1,4                     | 291,8933          | 0,5                     | -5,6                           | 1,5                         | 3,7  | da     | -0,5           |
| 42/31 | 295,6175          | 1,2                     | 295,6112          | 0,7                     | -6,3                           | 1,4                         | 4,5  | da     | -0,6           |
| 42/63 | 296,8219          | 1,5                     | 296,8168          | 0,6                     | -5,1                           | 1,6                         | 3,2  | da     | -0,5           |
| 5400  | 291,7304          | 1,0                     | 291,7322          | 0,4                     | 1,8                            | 1,1                         | 1,6  | ne     | 0,2            |

**Preglednica 2:** Vertikalni premiki reperjev nivelmanske mreže I. reda na območju vodarne Brest (1996–2007)

Iz rezultatov, ki so zbrani v preglednici 2, lahko ugotovimo, da je posedanje na tem območju v enajstih letih doseglo velikostni red 5 do 6 mm. Izjemi sta le reperja 42/50 (-18,4 mm) in 5400, ki je stabilen, saj je verjetno stabiliziran v stabilni podlagi (najbližje je fundamentalnemu reperju FR6<sub>novi</sub>). Posedanje reperja 42/50 bistveno odstopa od posedanja drugih reperjev. Po našem mnenju je razlog za to razliko precej dotrajan oporni zid ob cesti, v katerega je reper vgrajen.

| Reper | $H_{2007}$<br>[m] | $\sigma_{2007}$<br>[mm] | $H_{2008}$<br>[m] | $\sigma_{2008}$<br>[mm] | $\Delta H$<br>[mm] | $\sigma_{\Delta H}$<br>[mm] | T     | Premik |
|-------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|
| 42/56 | 294,71714         | 0,7                     | 294,71624         | 0,58                    | -0,91              | 0,91                        | 1     | ne     |
| 42/50 | 292,55804         | 0,7                     | 292,55788         | 0,65                    | -0,16              | 0,96                        | 0,17  | ne     |
| 42/38 | 295,24029         | 0,6                     | /                 | /                       | /                  | /                           |       | /      |
| 7197  | 299,86922         | 0,6                     | /                 | /                       | /                  | /                           |       | /      |
| 5703  | 305,30775         | 0,7                     | 305,30677         | 0,55                    | -0,98              | 0,89                        | -1,10 | ne     |
| 42/54 | 291,89326         | 0,5                     | /                 | /                       | /                  | /                           |       | /      |
| 42/31 | 295,61125         | 0,7                     | 295,61058         | 0,53                    | -0,67              | 0,77                        | -0,87 | ne     |
| 42/63 | 296,81685         | 0,6                     | 296,81757         | 0,38                    | -0,72              | 0,71                        | -1,01 | ne     |
| 5400  | 291,73218         | 0,4                     | /                 | /                       | /                  | /                           |       | /      |
| 42/55 | /                 | /                       | 288,23230         | 0,85                    | /                  | /                           |       | /      |

**Preglednica 3:** Vertikalni premiki reperjev nivelmanske mreže I. reda na območju vodarne Brest (2007–2008)

V preglednici 3 so zbrani rezultati izmer, ki sta bili izvedeni novembra 2007 in septembra 2008. Na podlagi opravljene analize vertikalnih premikov lahko ugotovimo, da ni bilo statistično značilnih vertikalnih premikov reperjev, saj so premiki manjši od 1 mm. Obdobje desetih mesecev, ki je minilo med meritvama, je prekratko, da bi lahko z gotovostjo trdili, da so reperji stabilni tudi v daljšem obdobju (Marjetič et al., 2007, 2008).

## 6.2 Vertikalni premiki globinskih in plavajočih reperjev od leta 2000 do 2008

V preglednici 4 so zbrani rezultati izmer za plavajoče in globinske reperje, ki sta bili izvedeni leta 2007 in 2008. Iz preglednice 4 lahko vidimo, da se v tem obdobju noben globinski oziroma plavajoči reper ob izbrani stopnji značilnosti testa 1 % ni statistično značilno premaknil. Na podlagi rezultatov izmer iz leta 2007 in 2008 lahko ugotovimo, da je obdobje desetih mesecev, ki je minilo med izmerama, prekratko, da bi lahko z gotovostjo trdili, da so reperji (nivelmanske mreže I. reda, plavajoči in globinski) stabilni tudi v daljšem obdobju (Marjetič et al., 2007, 2008).

| Reper | $H_{2007}$<br>[m] | $\sigma_{2007}$<br>[mm] | $H_{2008}$<br>[m] | $\sigma_{2008}$<br>[mm] | $\Delta H$<br>[mm] | $\sigma_{\Delta H}$<br>[mm] | T     | Premik |
|-------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|
| 1T    | 288,79912         | 0,61                    | 288,80007         | 0,79                    | 0,95               | 1,00                        | 0,95  | ne     |
| 1P    | 288,96427         | 0,66                    | 288,96259         | 0,80                    | -1,68              | 1,04                        | -1,62 | ne     |
| 2T    | 288,91165         | 0,73                    | 288,91205         | 0,83                    | 0,40               | 1,11                        | 0,36  | ne     |
| 2P    | 288,58529         | 0,75                    | 288,58688         | 0,83                    | 1,59               | 1,26                        | 1,26  | ne     |
| 3T    | 289,00323         | 0,78                    | ni viden          | /                       | /                  | /                           | /     | /      |
| 3P    | 288,84170         | 0,80                    | ni viden          | /                       | /                  | /                           | /     | /      |
| 4T    | 288,64117         | 0,83                    | ni viden          | /                       | /                  | /                           | /     | /      |
| 4P    | 288,61586         | 0,84                    | ni viden          | /                       | /                  | /                           | /     | /      |
| 5T    | 288,42554         | 0,84                    | 288,42592         | 0,85                    | 0,38               | 1,20                        | 0,32  | ne     |
| 5P    | 288,32830         | 0,84                    | 288,33133         | 0,85                    | 3,03               | 1,20                        | 2,52  | ne     |
| 6T    | 288,11411         | 0,83                    | 288,11473         | 0,85                    | 0,62               | 1,19                        | 0,52  | ne     |
| 6P    | 287,99867         | 0,82                    | /                 | /                       | /                  | /                           | /     | /      |
| 6PN   | /                 | /                       | 288,00092         | 0,85                    | /                  | /                           | /     | /      |

**Preglednica 4:** Vertikalni premiki globinskih in plavajočih reperjev (2007–2008)

Vertikalni premiki globinskih in plavajočih reperjev od prve izmere, ki je bila izvedena leta 2000, do zadnje, ki je bila izvedena septembra 2008, so predstavljeni na diagramih (diagrami 1 do 3). Predstavljeni so vertikalni premiki za posamezne pare globinskih in plavajočih reperjev. Vertikalni premik je prikazan s prekinjeno linijo, ki se konča z izmero iz leta 2006. Po preračunu na nov višinski datum (glej poglavje 4) pa so vertikalni premiki globinskih (T) in plavajočih (P) reperjev prikazani od začetka leta 2000 do zadnje meritve 2008. Vertikalni premik je na diagramih označen s polno linijo in znakom.

Iz diagramov lahko vidimo, da so vertikalni premiki globinskih reperjev med posameznimi izmerami in glede na prvo izmero (2000) majhni. Za vertikalne premike plavajočih reperjev velja, da so njihove vrednosti glede na ničelno izmero različne, vendar zelo velike. Iz diagrama 1 lahko vidimo, da se je plavajoči reper 1 P od leta 2000 posedel za približno -13 cm oziroma -16 mm/leto.

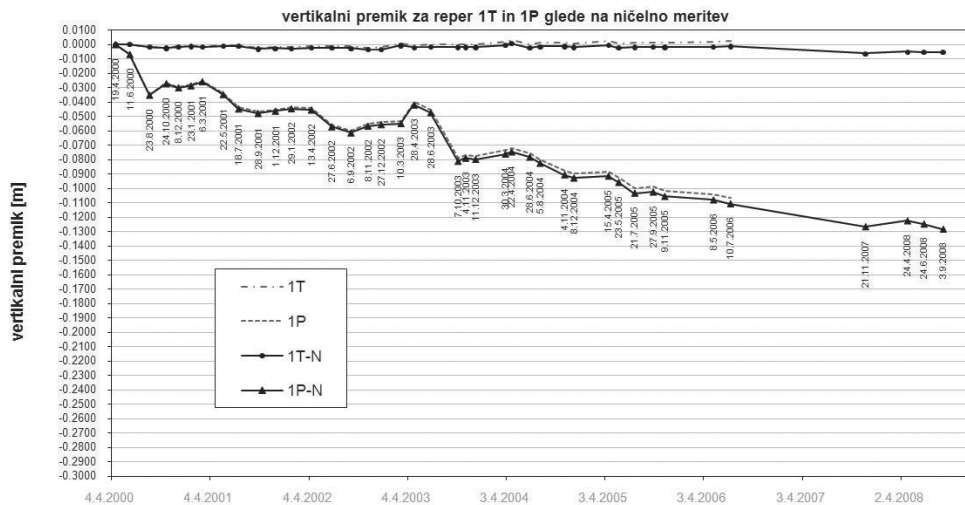


Diagram 1: Vertikalna premika globinskega in plavajočega repera glede na ničelno izmero (1T in 1P)

Plavajoči reper 2 P se je posedel za -28 cm (-35 mm/leto), kar je največja sprememba višine plavajočega repera, ki je bila določena na območju vodarne Brest.

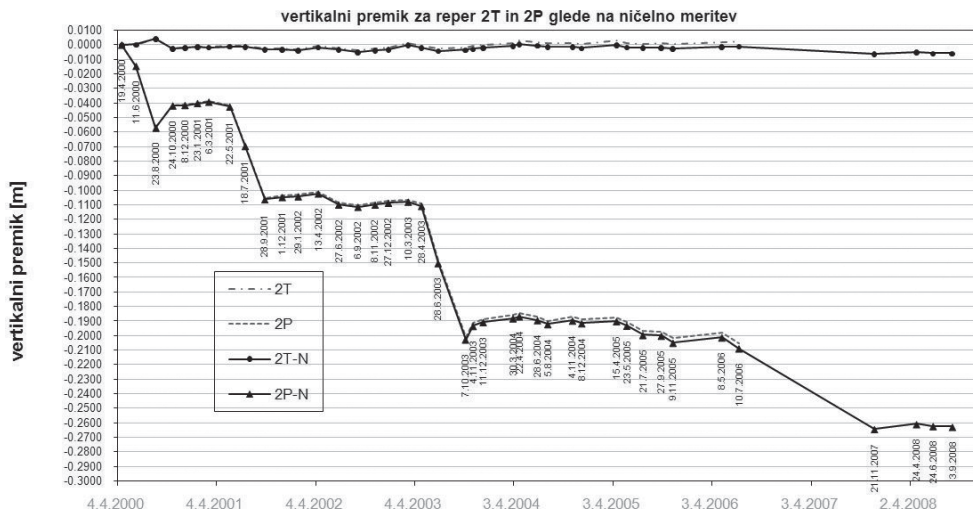
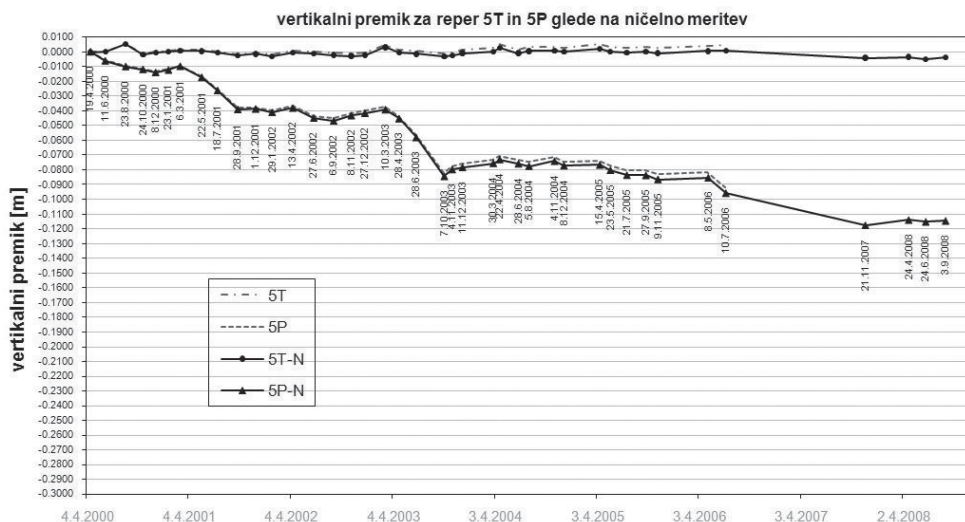


Diagram 2: Vertikalna premika globinskega in plavajočega repera glede na ničelno izmero (2T in 2P)

Iz diagrama 3 lahko vidimo, da se je plavajoči reper 5 P posedel za -10 cm (-12 mm/leto).



**Diagram 3:** Vertikalna premika globinskega in plavajočega repera glede na ničelno izmero (5T in 5P)

## 7 SKLEP

Ničelna izmera nivelmanske mreže Brest, ki je stabilizirana na širšem območju vodarne Brest, je bila izvedena v letu 2007. Vanjo je tako vključeno več reperjev, vključno s fundamentalnim reperjem FR6<sub>novi</sub> in reperjem 7197, ki predstavljata nov višinski datum nivelmanske mreže Brest in sta podlaga za preračun vseh meritev na nov višinski datum. Razširjena nivelmanska mreža je dober temelj za vsa nadaljnja spremljanja vertikalnih premikov reperjev na širšem območju vodarne Brest ter globinskih in plavajočih reperjev, ki so stabilizirani na območju črpanja podzemne vode ob vodarni Brest.

Na podlagi opravljene analize vertikalnih premikov globinskih reperjev za obdobje od prve do zadnje izmere (2000–2008) smo ugotovili, da so vertikalni premiki oziroma spremembe višin reperjev majhne. Ta ugotovitev pa ne velja za plavajoče reperje, saj so se njihove višine v istem obdobju precej spremenile (od -12 do -35 mm/leto). V podobnem obdobju (1996–2007) so se reperji nivelmanske mreže I. reda posedli za -0,5 do -1,7 mm/leto. Če primerjamo posedanja plavajočih reperjev s posedanji reperjev nivelmanske mreže I. reda, lahko ugotovimo, da imamo opravka s precejšnjimi razlikami. Trenutni rezultati kažejo, da so posedanja reperjev nivelmanske mreže I. reda verjetno posledica posedanja objekta, na katerem so stabilizirani reperji, in jih ne moremo povezati s posedanji vrhnjih plasti barjanskih tal. Ta posedanja so verjetno povezana s posedanji plavajočih reperjev, ki so bistveno večja od posedanj objektov.

Čeprav rezultati izmer v desetmesečnem obdobju (november 2007 – september 2008) ne kažejo, da bi se katerikoli reper statistično značilno premaknil, menimo, da je smiselno nadaljevati periodične izmere nivelmanske mreže Brest. Zanesljiv odgovor na vprašanje, ali so se reperji statistično značilno premaknili ali ne, lahko dobimo le na podlagi večletnih opazovanj, kar potrjujejo tudi rezultati za obdobje med letoma 1996 in 2007 za reperje nivelmanske mreže I. reda ter med letoma 2000 in 2008 za globinske in plavajoče reperje.

## 8 Literatura in viri

- Ambrožič, T., Turk, G. (2002). Navodila za uporabo programa VimWin.exe (Ver. 4.1).
- Koler, B., Breznikar, A., Vodopivec, F. (1996). Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega barja, elaborat, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Koler, B. (2002). Določevanje vertikalnih premikov na območju Ljubljanskega barja, V: Brilly, M. (ur.), Jamnik, B. (ur.), Bračič-Železnik, B. (ur.). Zaščita vodnih virov in vizija oskrbe s pitno vodo v Ljubljani : zbornik. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: Javno podjetje Vodovod-kanalizacija, str. 111–117.
- Marjetič, A., Stegenšek, B., Jaklič, S., Mencin, A. (2007). Tehnično poročilo o opazovanju morebitnih posedanj zaradi črpanja podzemne vode v vodarni Brest (I. izmera – ničelna izmera, november in december 2007).
- Marjetič, A., Goršič, J., Ambrožič, T., Mencin, A. (2008). Tehnično poročilo o opazovanju morebitnih posedanj zaradi črpanja podzemne vode v vodarni Brest (izmera september 2008).
- Savšek-Safić, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Turk, G. (2003). Ugotavljanje premikov točk v geodetski mreži, Geodetski vestnik, 47/1&2, str. 7–17.
- Bračič-Železnik, B., Veselič, M., Vodopivec, F. (sept. 2003) Subsidence measurements – marshland subsiding owing to pumping the groundwater. RMZ-mater. geoenviro., letn. 50, št. 1, str. 57–60.
- Bračič-Železnik, B. (2002). Kje so meje rabe prostora in izkoriščanje podtalnice vodonosnika Ljubljanskega polja in barja. V: Brilly, M. (ur.), Jamnik, B. (ur.), Bračič-Železnik, B. (ur.). Zaščita vodnih virov in vizija oskrbe s pitno vodo v Ljubljani: zbornik. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: Javno podjetje Vodovod-kanalizacija, str. 117–137, graf. prikazi.
- Pravilnik o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk, Republiška geodetska uprava, 1981.

**Prispelo v objavo: 8. januar 2009**

**Sprejeto: 25. februar 2009**

**Viš. pred. mag. Vesna Ježovnik, univ. dipl. geod. kom. inž.**

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

E-pošta: vesna.jezovnik@fgg.uni-lj.si