

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



26202699

Kandidat:

Marko Mesarič

**Spremljanje posedkov in potrditev izračuna
konsolidacije za območje nasipa čistilne naprave
Rakova Jelša**

Diplomska naloga št.: 855

Mentor:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Somentor:

dr. Mitja Janža

Ljubljana, 2010

STRAN ZA POPRAVKE ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVA O AVTORSTVU

Skladno s 27. členom Pravilnika o diplomskem delu UL Fakultete za gradbeništvo in geodezijo,

Podpisani Marko Mesarič izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

**Spremljanje posedkov in potrditev izračuna konsolidacije za območje
nasipa čistilne naprave Rakova Jelša**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Noben del tega zaključnega dela ni bil uporabljen za pridobitev strokovnega naziva ali druge strokovne kvalifikacije na tej ali na drugi univerzi ali izobraževalni inštituciji.

Ljubljana,

(podpis kandidata/-ke)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.2/.4:628.32(043,2)
Avtor:	Marko Mesarič
Mentor:	izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič
Somentor:	dr. Mitja Janža
Naslov:	Spremljanje posedkov in potrditev izračuna konsolidacije za območje nasipa čistilne naprave Rakova Jelša
Obseg in oprema:	str. 51, pregl. 14, graf. 15, sl. 13, pril. 6
Ključne besede:	konsolidacija, premiki, deformacije, posedalni reper, trigonometrično višinomerstvo, geometrični nivelman, GNSS

IZVLEČEK

Diplomska naloga obravnava primer spremljanja posedkov nasipa s pomočjo posedalnih reperjev in je nastala kot rezultat eno in pol letnega truda. V začetnih poglavjih so opisane teoretične osnove premikov in deformacij ter osnove teorije konsolidacije. Predstavljena je predhodna študija konsolidacije nasipa na območju izgradnje čistilne naprave Rakova Jelša, v kateri so upoštevani vsi parametri zemljine. Prikazana je razlika med časovnico zaustavitve posedanja zemljine z uporabo vertikalnih drenaž, kakor tudi brez njih. S pomočjo geodetskih metod – trigonometričnega višinomerstva in geometričnega nivelmana, smo potrdili izračun konsolidacije in predvideli zaključek posedanja.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 528.2/4:628.32(043,2)
Author: Marko Mesarič
Supervisor: Assoc. Prof. Tomaž Ambrožič, Ph.D.
Co-supervisor: Mitja Janža, Ph.D.
Title: **Monitoring of displacements and confirmation of calculated consolidation in the area of the wastewater treatment plant Rakova Jelša**
Notes: p. 51, tab. 14, graph. 15, fig. 13, ann. 6
Key words: consolidation, monitoring, displacements, classical terrestrial method, geometric levelling, GNSS

528.2/4:628.32(043,2)

ABSTRACT:

This graduation thesis deals with a classic example of monitoring of displacements and was created as a result of one and a half year of effort. In the first chapter the theoretical basis of the movements and deformation, and the theory of consolidation is described. We presented a preliminary study of consolidation in the area of building wastewater treatment plant Rakova Jelša, taking into account all the parameters of soil. The difference between calculations of time-dependent development of subsidence of ground surface with and without using vertical drains is presented. With geodetic methods - classical terrestrial method and geometric levelling, we confirmed the result of calculations of consolidation and the completion of displacements.

ZAHVALA

Iskrena zahvala mentorju izr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču za neprestano pripravljenost in ves trud pri nastajanju diplomske naloge. Posebna zahvala somentorju dr. Mitji Janžu za številne nasvete, predvsem s področja geomehanike.

Hvala vsem sošolcem za popestritev predavanj v šolskih klopih in skupna srečanja pod vodstvom Tilna. Nac, hvala za pomoč pri številnih ovirah, katere sva skupaj preskočila.

Hvala družini za zaupanje in proste roke tekom celotnega študija.

Ana, brez tebe bi bil svet drugačen. Hvala za podporo v vseh pogledih.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Definicija problema.....	2
1.2	Namen naloge	2
1.3	Metode dela.....	2
1.4	Predvideni rezultati.....	3
2	PREMIKI IN DEFORMACIJE.....	5
2.1	Vrste premikov in deformacij	5
2.2	Vzroki za nastanek premikov in deformacij	5
2.3	Metode merjenja premikov in deformacij	6
2.4	Geodetske ali absolutne metode merjenja premikov in deformacij.....	7
2.5	Fizikalne ali relativne metode merjenja premikov in deformacij	7
2.6	Računske metode za določitev posedkov - konsolidacija.....	7
3	TEORETIČNE OSNOVE	9
3.1	Teorija konsolidacije.....	9
3.2	Napetostno odvisne lastnosti zemljin.....	11
3.3	Račun z nelinearnimi parametri.....	14
3.4	Metoda izmere GNSS.....	17
3.5	Geodetske terestrične meritve za določitev vertikalnih premikov	19
3.6	Trigonometrično višinomerstvo	20
3.7	Geometrični nivelman.....	22
4	POTEK PRIPRAV, IZBIRA INSTRUMENTARIJA, MERITVE	23
4.1	Posvet z investitorji in projektanti.....	23
4.2	Pregled in rekognosciranje terena	23
4.3	Teoretični izračun pričakovanih posedkov s pomočjo teorije konsolidacije	23
4.3.1	Dovoljena višina nasipa predobremenitve h_n	23
4.4	Terenske meritve	26
4.4.1	Meritve GNSS.....	26
4.4.1.1	Uporabljen instrumentarij	26
4.4.1.2	Postopek izmere.....	27
4.4.2	Trigonometrično višinomerstvo	28
4.4.2.1	Uporabljen instrumentarij	28
4.4.2.2	Postopek izmere.....	30
4.4.2.3	Polarna metoda.....	30

4.4.3	Geometrični nivelman	33
4.4.3.1	Izbira instrumentarija.....	33
4.4.3.2	Postopek izmere	35
5	PREDSTAVITEV IN ANALIZA PRIDOBLENIH REZULTATOV.....	36
5.1	Analiza napovedi konsolidacije	36
5.2	Predstavitev izračunanih rezultatov vertikalne in radialne konsolidacije	37
5.2.1	Izbira parametrov zemljin za izračun konsolidacije.....	37
5.3	Rezultati trigonometričnih meritev.....	39
5.4	Skica razporeditve posadalnih reperjev	39
5.5	Predstavitev posameznih posadalnih reperjev	41
5.6	Pregled posedkov posadalnih reperjev (združen).....	44
5.7	Pridobljeni podatki iz vodomernih postaj v bližnji okolici.....	45
5.8	Sklepne ugotovitve pridobljenih rezultatov	48
6	ZAKLJUČEK	49
	VIRI	50

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnični podatki Leica GPS 500	27
Preglednica 2: Tehnični podatki za elektronski tahimeter Leica TCR 803	29
Preglednica 3: Tehnični podatki digitalnega elektronskega nivelirja Leica DNA03.....	34
Preglednica 4: Izračun konsolidacije	37
Preglednica 5: Reper NPP1	41
Preglednica 6: Reper NPP2.....	42
Preglednica 7 : Reper NPP3	42
Preglednica 8: Reper NPP4.....	43
Preglednica 9: Reper NPP5.....	43
Preglednica 10: Reper NPP6.....	44
Preglednica 11: Vodostaj na merilni postaji Črna vas 1270	45
Preglednica 12: Vodostaj na merilni postaji Črna vas G - 12	46
Preglednica 13: Vodostaj na merilni postaji Hajdrihova	46
Preglednica 14: Vodostaj na merilni postaji Kozarje.....	47

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Primerjava časovnih potekov konsolidacije za edometriški vzorec: meritev in Terzaghijeva teorija.....	11
Grafikon 2: Predstavitev konsolidacijske krivulje.....	38
Grafikon 3: Primerjava izračuna konsolidacije z vertikalnimi drenaž in brez njih.....	39
Grafikon 4: Reper NPP1.....	41
Grafikon 5: Reper NPP2.....	42
Grafikon 6: Reper NPP3.....	42
Grafikon 7: Reper NPP4.....	43
Grafikon 8: Reper NPP5.....	43
Grafikon 9: Reper NPP6.....	44
Grafikon 10: Prikaz posedkov v obdobju opazovanja.....	44
Grafikon 11: Vodostaj na merilni postaji Črna vas 1270 v obdobju meritev.....	45
Grafikon 12: Vodostaj na merilni postaji Črna vas G - 12 v obdobju meritev.....	46
Grafikon 13: Vodostaj na merilni postaji Hajdrihova v obdobju meritev.....	46
Grafikon 14: Vodostaj na merilni postaji Kozarje v obdobju meritev.....	47
Grafikon 15: Primerjava konsolidacijske krivulje in izmerjenih posedkov.....	48

KAZALO SLIK

Slika 1: Krivulja količnika por v odvisnosti od logaritma napetosti.....	13
Slika 2: Primerjava potenčnega in logaritmičnega modela stisljivosti z merjenimi vrednostmi	14
Slika 3: Predstavitev trigonometričnega višinomerstva.....	21
Slika 4: Princip geometričnega nivelmana.....	22
Slika 5: Konsolidacijska krivulja	25
Slika 6: Leica GPS 500	27
Slika 7: Elektronski tahimeter Leica TCR 803	29
Slika 8: Polarna izmera	31
Slika 9: Primer posedalnega reperja.....	33
Slika 10: Digitalni elektronski nivelir Leica DNA03	34
Slika 11: Terenska skica nasipa in pomembnih elementov konsolidacije	36
Slika 12: Parametri konsolidacije	37
Slika 13: Skica posedalnih reperjev	40

1 UVOD

Potrebe po novih lokacijah narekujejo gradbeništvu vse višje izzive. Nепrestane novosti v tehnikah gradnje, novi materiali, izkušnje, dovršeno znanje predstavljajo meje nemogočega. Objekte gradimo na območjih, na katerih v preteklosti nismo upali niti pomisliti. Žal nas narava venomer opozarja, da nekaterih stvari ne moremo prezirati in nas kaznuje z naravnimi katastrofami. Spomnimo se samo poplav, ki so se zgodile pred kratkim v samem centru Ljubljane.

V nalogi bomo predstavili metode, tehnike in rezultate spremljanja posedkov ploščadi čistilne naprave na območju Rakove Jelše in na podlagi opazovanj ter teorije konsolidacije skušali napovedati trenutek umiritve posedanja nasipa, kar pomeni zeleno luč za začetek gradnje čistilne naprave. Območje spada v Ljubljansko Barje za katero je značilno, da je izredno nestabilno, močvirnato, tako, da vsak poseg predstavlja izziv za stroko. Zagotoviti je potrebno stabilno okolje, ki bo zagotavljalo nemoteno obratovanje čistilne naprave vrsto let.

V projekt izgradnje je vključena široka paleta strokovnjakov. Naloga geodezije v začetni fazi je pridobitev podatkov o obnašanju ploščadi čistilne naprave. Na podlagi posvetovanja s projektanti in geologi smo namestili sprva 11 reperjev za spremljanje posedkov na ploščadi, nato še dodatnih šest. Gre za posedalne plošče, postavljene na teren, pokritim z geotekstilom, katerega nato zasipamo z predobremenilnim nasipom v debelini enega metra. Na posedalne plošče so privarjene kovinske cevi tako, da vrh cevi predstavlja dobro definirano točko za spremljanje posedkov posedalnih plošč. Tako lahko poleg spremljanja posedkov samega nasipa spremljamo tudi posedanje osnovne materije – terena.

Opazovanja so izvajana enkrat mesečno in so trajala leto in pol. Posamezno izmero v določenem trenutku imenujemo terminska izmera (Mozetič, 2005). Na podlagi zahtevane natančnosti, pogostosti meritev in dostopnosti danih količin je bilo potrebno izbrati metodo za opazovanje spremembe višin posedalnih plošč, ki izpolnjuje vse zahtevane kriterije in je ekonomično sprejemljiva.

Pridobljene podatke bo potrebno obdelati, predstaviti v obliki preglednic in grafikonov za vsak posamezni reper in na podlagi rezultatov predvideti, kdaj se bo ploščad umirila do te mere, da lahko začnemo z izgradnjo treh objektov projekta čistilne naprave.

1.1 Definicija problema

Čistilna naprava je locirana na izredno nestabilnem območju, kjer si ne moremo vzpostaviti lokalne višinske mreže, ki bi nam zagotavljala dovolj dobro osnovo za nadaljnja opazovanja. Za kakovostne meritve je potrebna navezava na stabilne točke zunaj vplivnega območja, na dovolj stabilnih tleh. Gre za realen primer, kjer so finančna sredstva omejena, pogostost meritev je določena, natančnost pa izbrana glede na pričakovane premike posedalnih plošč. Potrebna je preučitev problema, izbira prave metode za spremljanje višin in zagotovitev kvalitetnih podatkov na podlagi katerih bomo lahko podali nadaljnje napovedi.

1.2 Namen naloge

V nalogi bomo predstavili teoretične osnove za opazovanje višinskih razlik (trigonometrično višino merstvo in geometrični nivelman) in izbiro »prave« metode v obravnavanem primeru, ki bo zagotavljala zadostno natančnost pridobljenih rezultatov, omogočala notranjo kontrolo in ne bo presegala finančnih okvirjev. Dobljene rezultate bomo nazorno predstavili v obliki tabel in grafov ter na podlagi matematičnih funkcij poskušali napovedati nadaljnje dogajanje za obravnavano območje. Ugotovitve bomo podkrepili s teorijo in izračuni konsolidacije.

1.3 Metode dela

Geodetske metode omogočajo določanje recentnih tektonskih premikov zemeljske skorje, lokalnih premikov zemeljske površine, kot so plazovi, posedanje, ugrezanje zaradi rudarjenja, izsuševanja, črpanja podtalnice, ter ugotavljanje premikov in deformacij zgrajenih objektov, kot so prometnice, mostovi, vodne pregrade in strojne konstrukcije. Na podlagi premikov točk in izračunanih deformacij zgrajenih objektov dobimo informacijo o lastnostih konstrukcij in materialov in podatek za analizo varnosti delovanja in/ali uporabe objekta. Pri naravnih

objektih pa so izmerjeni premiki informacija o morebitni nevarnosti, ki jo pomenijo za okolico, presojo primernosti njihove ekonomske izrabe ipd. (Savšek-Safić, 2010).

V praksi spremljamo in ugotavljamo velike in tudi komaj zaznavne premike. Glede na velikost pričakovanih premikov uporabimo ustrezno stabilizacijo, signalizacijo, mersko opremo in metodo izmere, ki zagotavlja določitev premikov z ustrezno gotovostjo. Postopke ugotavljanja premikov geotehničnih objektov razdelimo glede velikosti pričakovanih premikov na dve stopnji (Savšek-Safić, 2010):

- I. stopnja natančnosti: premiki velikosti 2 cm – 10 cm,
- II. stopnja natančnosti: premiki velikosti 5 mm – 2 cm.

Za potrebo vzpostavitve mreže bomo uporabili metodo GNSS in sicer metodo RTK – VRS opazovanj GNSS. Meritve detajlnih točk bomo opravljali enkrat mesečno v skupni dolžini enega leta in pol. Za spremljanje posedkov bomo uporabili metodo trigonometričnega višinomerstva, ki zagotavlja zadostno natančnost obravnavanega problema in omogoča enostavno in hitro navezavo na centralno točko, ki predstavlja višinsko izhodišče za nadaljnja opazovanja. S pomočjo ekscentričnega stojišča bomo vzpostavili navezavo na centralno točko.

Vključili bomo tudi metodo geometričnega nivelmana, da zagotovimo zunanjo kontrolo in dejansko preverimo natančnost trigonometričnih meritev. Ker gre za meritve lokalnega značaja, navezava na državni višinski koordinatni sistem ni potrebna. Dobljene meritve bomo obdelali s pomočjo programa GEOS in jih predstavili v obliki preglednic, izrisov in grafikonov.

1.4 Predvideni rezultati

Na podlagi opravljenih predhodnih analiz, posveta z geologi in projektantom ter lokacijskih okoliščin smo pričakovali posedke, večje od 2 cm na mesec. V začetnih mesecih, ko so potekale aktivnosti na ploščadi, smo pričakovali aktivnejša dogajanja, ki pa bi se dokončno umirila v obdobju leta in pol. Ugotovitev je bila ključna za izbiro metode opazovanja višin posedalnih reperjev.

Natančnost trigonometričnega višinomerstva in geometričnega nivelmana je močno odvisna od oblike terena. Geometrični nivelman je primeren samo na lažje dostopnih terenih in ga uporabljamo predvsem tam, kjer se zahteva večja natančnost, medtem, ko na težje dostopnih terenih – v hribih in gorah – uspešno in ekonomično uporabljamo trigonometrično višinomerstvo (Vodopivec, 1997).

Z izbiro metode trigonometričnega višinomerstva zadostimo zahtevi po natančnosti, nalogo rešimo dokaj enostavno in ekonomično.

2 PREMIKI IN DEFORMACIJE

Določitev premikov in deformacij naravnih in umetnih objektov predstavlja eno zahtevnejših nalog geodetske stroke. Problem je povezan z ugotavljanjem stabilnosti in potencialne nevarnosti umetnih objektov v času njihove izgradnje in po njej, ter premikov tal, kot posledica delovanja naravnih sil ali nenadzorovanih posegov v prostor (Savšek-Safič, 2002).

2.1 Vrste premikov in deformacij

Objekti, na katerih ugotavljamo premike in deformacije, so lahko naravni in zgrajeni oziroma umetni. Umetne oziroma zgrajene objekte lahko razdelimo na gradbene objekte (prometnice, mostovi, vodne pregrade, visoke zgradbe, podporni zidovi, podzemni objekti,...) in večje strojne konstrukcije (žerjavi, dvigala, turbine,...). Naravni objekti pa so deli zemeljskega površja. Premiki in deformacije nastajajo na naravnih in zgrajenih objektih, lahko pa tudi v okolici zgrajenih objektov (Mozetič, 2005).

2.2 Vzroki za nastanek premikov in deformacij

Vzroki za premike in deformacije so različni, vendar jih lahko razvrstimo v tri skupine (Švarc, 1987):

delovanje zunanjih vplivov: sprememba temperature, veter, tektonski in seizmični vplivi, spremembe nivoja podtalnice, statična in dinamična obremenitev zgradbe;
mehanične lastnosti gradbenega materiala, konstrukcijskih elementov in celotne konstrukcije, kjer pride posebej do izraza masa betonske ali zemeljske zgradbe;
nezadostno upoštevanje geološke sestave in mehaničnih lastnosti ter hidroloških pogojev ob projektiranju objekta zaradi nezadostnih predhodnih raziskav.

Posledica premikov so deformacije, ki jih glede na vrste premikov po obliki razvrstimo na:

- plastične in
- elastične deformacije.

O plastičnih deformacijah govorimo, ko imajo premiki postopen in trajen značaj. Obravnavani objekt spremeni svojo obliko ali prostornino in je trajno deformiran. Ta oblika deformacij se pojavlja na naravnih objektih kot so nasipi, poti, deponije kot posedanje, nabrekanje tal. O elastičnih deformacijah govorimo, ko imajo premiki ciklično povratni značaj. Obravnavani objekt po prenehanju delovanja zunanjih sil zavzame svojo prvotno obliko in prostornino. Ta oblika deformacij se pojavlja na vseh armiranobetonskih in jeklenih konstrukcijah, kot so mostovi, vodne pregrade, ki so izpostavljene temperaturnim in hidrostatskim vplivom (Mozetič, 2005).

2.3 Metode merjenja premikov in deformacij

Zahtevana natančnost določanja premikov in deformacij objektov je ponavadi določena s tehničnimi (gradbenimi) predpisi ali pa je odvisna od potreb naročnika. Zahtevana natančnost določitve premikov vpliva na metodo izmere, natančnost opazovanj, izbor instrumentarija in dodatnega pribora, način stabilizacije in signalizacije točk in geometrijo geodetske mreže. Da bi premike točk določili z zahtevano natančnostjo, je treba izvesti a priori oceno natančnosti merjenih količin in izvesti celotno analizo natančnosti. V kolikor ne moremo zagotoviti zahtevane natančnosti, je treba poiskati boljšo geometrijo geodetske mreže ali predpostaviti večjo natančnost merjenih količin oziroma spremeniti metodo izmere in vrsto opazovanj, ali izbrati natančnejši instrument in dodatni pribor.

Optimizacija procesa merjenja (optimizacija meritev), ki obsega izbiro metode, instrumentov in pogojev meritve, izvedemo z namenom, da z meritvami zagotovimo natančnost merjenih količin, ki je bila predpostavljena v izračunu. Upoštevati je potrebno tudi pogoj ekonomičnosti, kar pomeni, da z določenimi finančnimi in materialnimi sredstvi določimo premike z zahtevano natančnostjo.

Položaje karakterističnih točk na opazovanem objektu je treba skrbno izbrati, da bodo čimbolj verodostojno opisovali objekt in nudili informacije o pričakovanih premikih ter deformacijah objekta. Izbor karakterističnih točk je odvisen od vrste objekta, pričakovanih premikov in deformacij objekta (Mozetič, 2005).

2.4 Geodetske ali absolutne metode merjenja premikov in deformacij

Geodetske metode temeljijo na ugotavljanju skladnosti značilnih identičnih točk v več terminskih izmerah, s poudarkom na modeliranju, obdelavi in vrednotenju geodetskih opazovanj (Kuang, 1996). Meritve se izvajajo s klasičnimi geodetskimi instrumenti, kot so teodolit, nivelir, elektrooptični razdaljemer, sprejemnik GPS idr. merske metode, ki omogočajo željeno natančnost meritev in se najpogosteje uporabljajo pri določanju premikov so: triangulacija, trilateracija, poligonometrija in GNSS za določanje premikov v horizontalni ravnini ter geometrični nivelman in trigonometrično višinomerstvo za določanje višinskih premikov. Omogočajo ugotavljanje in določanje absolutnih premikov in deformacij v prostoru, neodvisno od sprememb na merjenem objektu. Metode so dolgotrajne in dražje v primerjavi s fizikalnimi, saj se običajno zahteva visoka natančnost določitve velikosti premikov in deformacij obravnavanega območja ali objekta (Savšek-Safič, 2002).

2.5 Fizikalne ali relativne metode merjenja premikov in deformacij

Fizikalne metode temeljijo na merjenju mehanskih in električnih količin. V ta namen se uporabljajo posebni elektronski, optični, mehanski in hidrostatični instrumenti kot so nihala, inklinometri, ekstenziometri, termometri, ki so vgrajeni v objekt ali na objektu. Omogočajo določanje izključno relativnih premikov, ki nastanejo med posameznimi deli opazovanega objekta, saj se instrumenti premikajo skupaj z objektom in navadno vključujejo časovno odvisne sistematične pogreške. Fizikalne metode so hitre in poceni, glavni problem pa predstavlja pogosta kalibracija teh naprav, primerjava odčitkov z absolutnimi opazovanji ter odvisnost spremembe položaja celotnega objekta, glede na izhodiščni položaj (Savšek-Safič, 2002).

2.6 Računske metode za določitev posedkov - konsolidacija

Obtežba nasičene zemljine se najpogosteje v trenutku obremenitve prenese na vodo v porah, saj je voda nestisljiva v primerjavi z zemljino. Pritisk, ki se pojavi v vodi zaradi dodatne obtežbe, se imenuje dodatni porni tlak. Ko voda počasi odteka iz por zemljine, se obtežba postopoma prenaša iz vode na zrnje. Zrna se porazdelijo v bolj stabilno in gosto stanje. To

povzroči zmanjšanje prostornine in posedanje površja zemljine. Sprememba prostornine tal je povezana s spremembo prostornine iztisnjene vode. Zgoraj opisan proces se imenuje konsolidacija (Kogovšek, 2008).

Na podlagi poznanih parametrov zemljine, katero obremenimo in velikosti obtežbe, lahko predvidimo velikost posedkov obremenjenega območja.

3 TEORETIČNE OSNOVE

Tekom celotnega projekta smo uporabili vrsto geodetskih metod za določanje položaja točk. Za določitev koordinat izhodiščnih točk mreže smo uporabili izmero GNSS ter določili izhodišče za položajno izmero v nadaljevanju. Nadaljnje meritve smo opravljali po metodi trigonometričnega višinomerstva, s katero smo določili višine posedalnih reperjev.

Za izvedbo zunanje kontrole smo uporabili natančnejšo metodo za določevanje višinskih razlik – geometrični nivelman in primerjali rezultate, dobljene s terminsko izmero na podlagi trigonometričnega višinomerstva.

Pred samim začetkom geodetskih meritev smo na podlagi poznanih parametrov in karakteristik zemljine določili konsolidacijsko krivuljo, ki je napovedovala datum umiritve posedanja obravnavanega območja. V nadaljevanju bomo na kratko predstavili uporabljene metode.

3.1 Teorija konsolidacije

Konsolidacija je proces iztiskanja vode iz por zasičene zemljine zaradi obremenitve tal. Enodimenzionalno (vertikalno) konsolidacijo je Terzaghi opisal z difuzijsko enačbo, ki se glasi (Kogovšek, Klopčič, Logar, 2009):

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial t}. \quad (1)$$

V enačbi (1) pomeni:

u ... dodatni porni tlak zaradi obremenitve tal (kPa),

c_v ... koeficient konsolidacije (m^2/s),

t ... čas (s),

z ... navpična koordinata (m),

$\frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial t}$... sprememba totalnih tlakov v tleh zaradi spremembe obtežbe (kPa/s).

Enačbo (1) rešujemo ob upoštevanju robnih in začetnih pogojev. Robni pogoji so lahko: rob je prepusten ($u = 0$) ali neprepusten ($du / dz = 0$). Z začetnim pogojem definiramo začetno razporeditev dodatnih pornih tlakov z globino (Kogovšek, Klopčič, Logar, 2009).

V praksi Terzaghijevo enačbo rešujemo v brezdimenzijski obliki $U_v = U_v(T_v)$, kjer je v U_v stopnja konsolidacije in pomeni trenutni delež pričakovanega končnega posedka tal ali skrčka sloja, T_v pa je brezdimenzijski čas, izražen kot (Kogovšek, Klopčič, Logar, 2009):

$$T_v = \frac{c_v \cdot t}{h^2} = \frac{k \cdot E_{oed} \cdot t}{\gamma_w \cdot h^2} . \quad (2)$$

V enačbi (2) posamezne oznake pomenijo:

k ... vodoprepustnost (m/s),

E_{oed} ... edometrski modul ali modul stisljivosti (kPa),

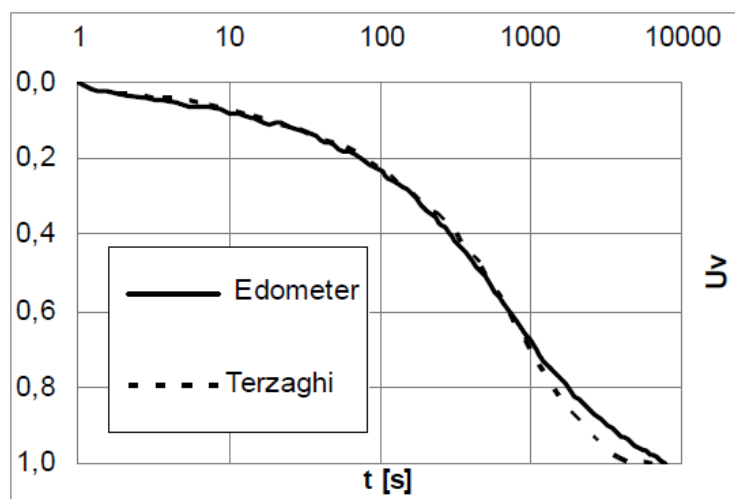
γ_w ... prostorninska teža vode (kN/m³),

h ... drenažna debelina sloja (m).

Po Terzaghijevi teoriji velja, da dodatni porni tlaki upadejo na zanemarljivo vrednost, ko doseže časovni faktor T_v vrednost 2 (Kogovšek, Klopčič, Logar, 2009). Teoretično je tedaj stopnja konsolidacije 99,4%.

Pri praktičnem reševanju problema konsolidacije privzamemo, da sta vodoprepustnost k in edometrski modul E_{oed} po celotni globini sloja konstantna. Izračunani čas konsolidacije, ob upoštevanju teh predpostavk, ponavadi traja dlje kot kažejo meritve. Na to vplivajo mnogi dejavniki, v naravi predvsem prisotnost tankih, bolj prepustnih slojev ali razpok, ki omogočajo znatno hitrejšo konsolidacijo od tiste, ki jo izračunamo na osnovi (previdnega) matematičnega modela, kjer teh drobnih, a pomembnih posebnosti v tleh praviloma ne upoštevamo. Del razloga za hitrejši potek konsolidacije pa tiči tudi v nelinearnosti materialnih lastnosti – stisljivosti ter vodoprepustnosti, kot bomo pokazali v nadaljevanju. Primerjava teoretične in merjene krivulje posedanja s časom za 2 cm debel edometrski vzorec pokaže

pričakovano generalno ujemanje obnašanja. Občutnejša razlika se pojavi le ob koncu, ko je primarna konsolidacija pri koncu in že prevladuje viskozni upor.



Grafikon 1: Primerjava časovnih potekov konsolidacije za edometriški vzorec: meritev in Terzaghijeva teorija (Kogovšek, Klopčič, Logar, 2009).

3.2 Napetostno odvisne lastnosti zemljin

Vodoprepustnost:

Vodoprepustnost določa hitrost pronicanja vode skozi pore zemljine. Vodoprepustnost je odvisna od poroznosti, zato jo najpogosteje izrazimo v odvisnosti od količnika por. Dve najpogostejši aproksimaciji vodoprepustnost sta *potenčna in eksponentna*.

Eksponentna aproksimacija vodoprepustnosti

Tu je $\log k$ premosorazmeren s količnikom por e , oz. $k \propto \exp(e)$. Tako se enačba funkcije $k(e)$ glasi:

$$k = k_0 \exp(k_3 e), \quad (3)$$

kjer sta k_0 in k_3 materialna parametra zemljine in ju določimo na podlagi narejenih preizkusov. To odvisnost je v svojih delih uporabljal Šuklje (Šuklje, 1989).

Potenčna aproksimacija vodoprepustnosti

Leta 1979 je Somogyi predlagal opis prepustnosti v obliki potenčne funkcije $k(e)$:

$$k = Ce^D, \quad (4)$$

kjer sta C in D materialna parametra, e pa količnik por.

Stisljivost zemljine:

Zvezo med spremembo prostornine in efektivnimi napetostmi imenujemo krivulja stisljivosti, ki jo lahko razdelimo v obremenilni (kompresijski) in razbremenilni del (Kogovšek, Klopčič, Logar, 2009). Podobno kot smo vodoprepustnost modelirali na dva načina, navajamo tudi dve iz literature znani možnosti za opis krivulje stisljivosti.

Logaritmični model

Zveza med količnikom por e in logaritmom vertikalnih napetosti σ'_z se v enoosnih deformacijskih pogojih opiše ločeno za obremenitev in ločeno za razbremenitev ali ponovno obremenitev (Kogovšek, Klopčič, Logar, 2009).

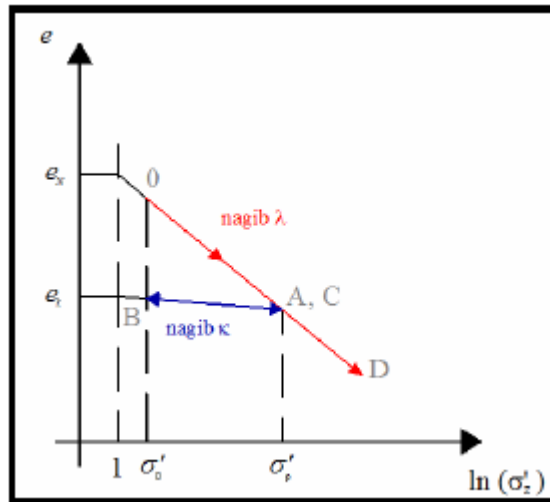
Prvo obremenitev predstavlja obremenilna krivulja - OAD na sliki 2. Matematični zapis obremenilne veje krivulje stisljivosti podaja enačba (5).

$$e = e_N - \lambda \cdot \ln(\sigma'_z) \quad (5)$$

Razbremenjevanje in ponovno obremenjevanje prikazuje razbremenilna krivulja - BC na sliki 2, njen matematični zapis pa enačba (6).

$$e = e_k - \kappa \cdot \ln(\sigma'_z) \quad (6)$$

Kjer so e_N , e_k , λ in κ materialni parametri zemljine.



Slika 1: Krivulja količnika por v odvisnosti od logaritma napetosti

Potenčni model:

Lui in Znidarčič sta leta 1991 predlagala potenčno zvezo med parametri stisljivosti v obliki (Znidarcic, 1997):

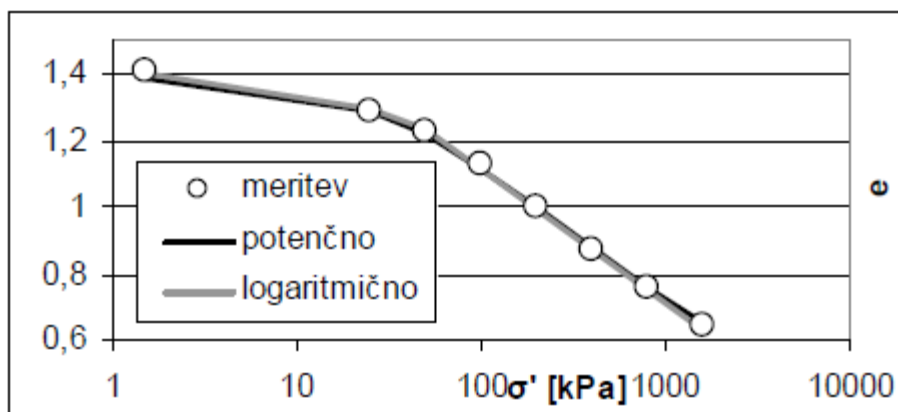
$$e = A(\sigma'_z + Z)^B, \quad (7)$$

kjer so A , B in Z materialni parametri.

Izkazalo se je, da zveza, zapisana z enačbo (7), dobro opiše konsolidacijske karakteristike in dobro modelira obnašanje mehkih zemljin. Poleg tega jo lahko apliciramo tudi na prekonsolidirane materiale.

Primerjava logaritmičnega in potenčnega modela:

Tako logaritmični kot potenčni model stisljivosti dobro opišeta merjeno krivuljo stisljivosti.



Slika 2: Primerjava potenčnega in logaritmičnega modela stisljivosti z merjenimi vrednostmi

3.3 Račun z nelinearnimi parametri

Pri računu z nelinearnimi parametri rešujemo parcialno diferencialno enačbo:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}, \quad (8)$$

ki jo numerično rešimo z diferenčno metodo (Kogovšek, Klopčič, Logar, 2009). Pri numeričnem izračunu najprej diskretiziramo tla na n delov in tako dobimo $n + 1$ točk. Odvode v točki i nadomestimo z diferenčnimi nastavki, da dobimo difuzijsko enačbo v diferenčni obliki:

$$\frac{u_i(t_2) - u_i(t_1)}{\Delta t} = c_v \frac{u_{i+1}(t_2) - 2u_i(t_2) + u_{i-1}(t_2)}{\Delta z^2}. \quad (9)$$

Enačbo (9) zapišemo za točko 2:

$$\frac{u_2 - u_2^0}{\Delta t} = \frac{c_v}{\Delta z^2} (u_3 - 2u_2 + u_1), \quad (10)$$

kjer u_2^0 predstavlja porni tlak pri predhodnem času t_1 in je znan, ter u porni tlak pri naslednjem času t_2 , ki je neznan.

Uvedemo novo spremenljivko $A = \frac{\Delta t * c_v}{\Delta z^2}$ jo vstavimo v enačbo (10) in jo uredimo:

$$A \cdot u_1 + (-1 - 2 \cdot A) \cdot u_2 + A \cdot u_3 = -u_2^0. \quad (11)$$

Enačbo (11) zapišemo še za ostale točke in vse skupaj ob upoštevanju robnih pogojev zapišemo v matrični obliki. Pri tem upoštevamo tudi, da se A z globino spreminja.

Sistem enačb:

- spodaj je neprepusten rob

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ A_1 & -1 - 2 \cdot A_1 & A_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A_2 & -1 - 2 \cdot A_2 & A_2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_0 \\ u_1 \\ \vdots \\ u_{n-2} \\ u_{n-1} \\ u_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -u_1^0 \\ \vdots \\ -u_{n-2}^0 \\ -u_{n-1}^0 \\ -u_n^0 \end{Bmatrix} \quad (12)$$

Če je spodaj prepusten rob, je zadnja enačba v sistemu analogna prvi, saj so možni robni pogoji naslednji:

Zgoraj: $u_0 = 0$... prepusten rob

Spodaj: $u_n = 0$... prepusten rob

$u_n' = 0$... neprepusten rob \rightarrow

$$\frac{u_n - u_{n-2}}{2\Delta z} = 0 \rightarrow u_n - u_{n-2} = 0$$

Z rešitvijo sistema enačb (12) dobimo vektor dodatnih pornih tlakov v trenutnem času. Ker poznamo tudi začetne efektivne napetosti σ'_i , lahko v vsaki točki izračunamo trenutne efektivne napetost $\sigma'_i(t)$. Ko poznamo trenutne efektivne napetosti $\sigma'_i(t)$, lahko v vsaki točki izračunamo količnik por $e = e(\sigma'_i)$, prepustnost $k = k(e)$ in edometriški modul $\sigma'_i \rightarrow$ oed E.

Posedek ρ smo pri razvoju programa za primerjavo in za preverjanje numerične stabilnosti algoritma računali na dva načina (Kogovšek, Klopčič, Logar, 2009):

a) preko količnika por e

$$\varepsilon_i = \frac{e_i(t) - e_i(t + \Delta t)}{1 + e_i(t)}, \quad (13)$$

kjer so:

ε_i ... deformacija i-tega sloja,

$e_i(t)$... količnik por i-tega sloja v predhodnem času,

$e_i(t + \Delta t)$... količnik por i-tega sloja v trenutnem času,

$$\Delta \rho_i = \varepsilon_i \cdot \Delta z, \quad (14)$$

kjer sta:

$\Delta \rho_i$... posedek i-tega sloja,

$\rho = (\Delta \rho_i)$... celoten posedek.

b) preko dodatnih pornih tlakov u_i

Tu smo upoštevali, da je sprememba pornih tlakov Δu enaka spremembi efektivnih napetosti $\Delta \sigma'_{zz}$.

Zato lahko rečemo, da je prirastek posedka enak $\Delta\rho = \frac{\Delta\sigma'_{zz}}{E_{oed}} = \frac{\Delta u}{E_{oed}}$. Tako je:

$$\Delta\Delta\rho_i = \frac{[u_{i+1}(t) - u_{i+1}(t - \Delta t)] + [u_i(t) - u_i(t - \Delta t)]}{2 \cdot E_{oed}(t)}, \quad (15)$$

kjer so:

$\Delta\Delta\rho_i$... prirastek posedka i -tega sloja,

$\Delta\rho = \sum (\Delta\Delta\rho_i)$... prirastek celotnega posedka v času t ,

$\rho(t) = \rho(t - \Delta t) + \Delta\rho$... celoten posedek v času t .

3.4 Metoda izmere GNSS

Satelitska navigacija oz. pozicioniranje je v primerjavi s klasičnimi metodami zelo mlada veja v geodeziji. Ta veja se je začela razvijati pred približno 35. leti, ko je Ministrstvo za obrambo ZDA razvilo sistem NAVSTAR – GPS (angl. Navigation System with Time and Ranging – Global Positioning System) predvsem za potrebe vojske in državne varnosti. Čez čas so tudi druge države začele z razvojem podobnih sistemov: GLONASS (Rusija), GALILEO (Evropa) in BEIDOU (Kitajska). Kmalu po začetku delovanja je sistem GPS postal dostopen tudi za civilne namene. S tem se je začelo novo obdobje v geodeziji, ki je temeljito spremenilo in še spreminja postopek geodetske izmere. Danes govorimo o uporabi Globalnih Navigacijskih Satelitskih Sistemov GNSS (angl. Global Navigation Satellite System), t.j. skupno ime za vse satelitske sisteme v geodetski izmeri (Stopar, 2006).

GNSS sestavljajo vesoljski segment (sateliti in njihove tirnice), kontrolni segment (nadzira satelite), uporabniški segment in civilni kontrolni segment. Za določitev položaja potrebujemo

izmerjene vrednosti razdalj od satelitov do sprejemnika GNSS in podatke o položaju satelitov GNSS v trenutku izmere.

Za dejansko uporabo GNSS je za določitev položaja na Zemlji potrebno zagotoviti kakovosten koordinatni referenčni sistem. Za Slovenijo sta zanimiva predvsem Mednarodni Terestrični Referenčni Sistem ITRS (angl. International Terrestrial Reference System) in Evropski Terestrični Referenčni Sistem ETRS89 (angl. European Terrestrial Reference System). ETRS89 je tudi naš novi državni koordinatni sistem, ki se uporablja v zemljiškem katastru od 1.01.2008.

Temeljne zakonitosti delovanja sistema GNSS (Stopar, 2006):

- potrebno je natančno poznavanje tirnic satelitov v vesolju,
- razdalje do satelitov se določijo z merjenjem potovalnega časa elektromagnetnega valovanja od satelita do sprejemnika,
- za merjenje potovalnega časa potrebujemo sistem natančnih ur (atomske ure v satelitih),
- končni položaj je izračunan z različnimi popravki (zaradi vpliva atmosfere, pogreškov ur).

Vplive na meritve GNSS lahko razdelimo na tri skupine (Stopar, 2006):

- vplivi z izvorom v satelitih (pogreški tirnic, pogreški satelitovih ur),
- vplivi z izvorom v sprejemniku in njegovi okolici (odboj signala – multipath, spreminjanje položaja faznega centra antene, šum sprejemnika, pogrešek sprejemnikove ure),
- vplivi z izvorom v mediju, po katerem potuje signal (ionosferska in troposferska refrakcija).

Prednosti ter pomanjkljivosti metod izmere GNSS pred klasičnimi geodetskimi metodami:

Prednosti:

- medsebojna vidnost točk ni potrebna – točke postavljamo na mesta, kjer jih potrebujemo in mrežo prilagodimo potrebam uporabnika,
- sistem deluje neodvisno od vremena,

- točnost položaja nove točke je odvisna od oddaljenosti med točkami, manj pa od geometrije geodetske mreže,
- planiranje vzpostavitve mreže GNSS s postopki simulacije, optimizacije in predhodne analize skoraj ni več potrebno,
- na osnovi opazovanj GNSS istočasno določamo 3D položaj točk,
- visoko točnost praviloma dosegamo z manj truda.

Pomanjkljivost:

- točke se morajo nahajati na odprtem prostoru, kjer ni ovir za sprejem signala GNSS (prostor ne sme biti gosto pozidan in močno poraščen),
- merska in programska oprema predstavljata visoke stroške,
- potrebna je logistična priprava na izvedbo izmere (število satelitov, ki so na voljo v posameznem časovnem obdobju),
- položaj na osnovi izmere GNSS se nanaša na koordinatni sistem ETRS89/TM, zato potrebujemo za uporabo v starem državnem koordinatnem sistemu D48/GK transformacijo rezultatov,
- izmera GNSS zagotavlja višjo natančnost od klasične geodetske izmere v preteklosti, zato se lahko pojavijo težave pri vključitvi koordinat GNSS v stari državni koordinatni sistem,
- opazovanja z metodami GNSS ne omogočajo določitve ortometričnih višin, marveč elipsoidnih višin, zato moramo za izračun ortometričnih višin upoštevati model geoida,
- opazovanja GNSS zahtevajo posebna znanja (obdelava opazovanj, izravnava, transformacija rezultatov v koordinatni sistem D48/GK),
- GNSS zahteva dostop do globalnih informacij (tirnice satelitov, stanje ionosfere, koordinate referenčnih točk), zato potrebujemo za operativno delo dostop do interneta (za naknadno obdelavo), ali dostop do GSM, GPRS, UMTS (za izmero v realnem času),
- sistemi GNSS imajo lastnike, ki z njimi prosto razpolagajo.

3.5 Geodetske terestrične meritve za določitev vertikalnih premikov

Višine točk določamo v okviru tako imenovanih višinskih geodetskih mrež z dvema osnovnima metodama izmere (Kuang, 1996):

- geometrični nivelman (I. in II. stopnja natančnosti),
- trigonometrično višinomerstvo (izjemoma za I. stopnjo natančnosti).

Z obema metodama izmere izmerimo višinske razlike med točkami, ki jih nato uporabimo za določitev višin točk v mreži. Za II. stopnjo natančnosti uporabimo nivelir, ki zagotavlja natančnost niveliranja vsaj 0,5 mm/km dvojnega nivelmana, za I. stopnjo natančnosti pa nivelir, katerega natančnost niveliranja znaša vsaj 1–2 mm/km dvojnega nivelmana. Pred izmero mora biti nivelir preizkušen skladno s predpisanim postopkom. Uporabljamo le invar nivelmanske late s kodirano razdelbo za visoko natančnost oziroma klasične invarne nivelmanske late z dvojno razdelbo, če uporabimo precizni klasični nivelir. Nivelmanske late morajo biti preizkušene, poročilo o preizkusu nivelmanskih lat mora biti priloženo poročilu o izmeri (Vodopivec in Kogoj, 2001).

3.6 Trigonometrično višinomerstvo

Poleg geometričnega nivelmana je trigonometrično višinomerstvo druga metoda za izračun višinske razlike med dvema točkama. Pri metodi geometričnega nivelmana nivelir zagotavlja horizontalno vizuro s pomočjo libele ali kompenzatorja, pri trigonometričnem višinomerstvu pa zenitne razdalje in dolžine med točkami opazujemo s tahimetrom.

Višinsko razliko med dvema točkama določimo na osnovi merjene zenitne razdalje in znane horizontalne ali merjene poševne dolžine. Metodo uporabljamo pri določanju višin trigonometričnih točk, poligonskih točk, višin točk v lokalnih inženirskih mrežah, višinskih položajev objektov na zahtevnih terenih (plazovi), detajlni polarni topografski ali katastrski izmeri idr. Metoda je nenadomestljiva pri določevanju višin nedostopnih točk (točke na pregradah, 3D industrijski merski sistemi) in v kombinaciji z geometričnim nivelmanom pri prenosu višin na daljše oddaljenosti. Metoda je v kombinaciji z natančnimi meritvami poševnih dolžin in z uporabo elektronskih razdaljemerov pridobila na veljavi, saj v veliko primerih doseženo natančnost lahko primerjamo z natančnostjo geometričnega nivelmana (Kogoj, Stopar, 2002).

Za izračun višinskih razlik smo uporabili enačbo

$$\Delta h_A^B = S_r \cos z + (1-k) \frac{S_r^2}{2R} + i - l \quad (16)$$

kjer je S_r ... merjena dolžina popravljena za meteorološke popravke (m),

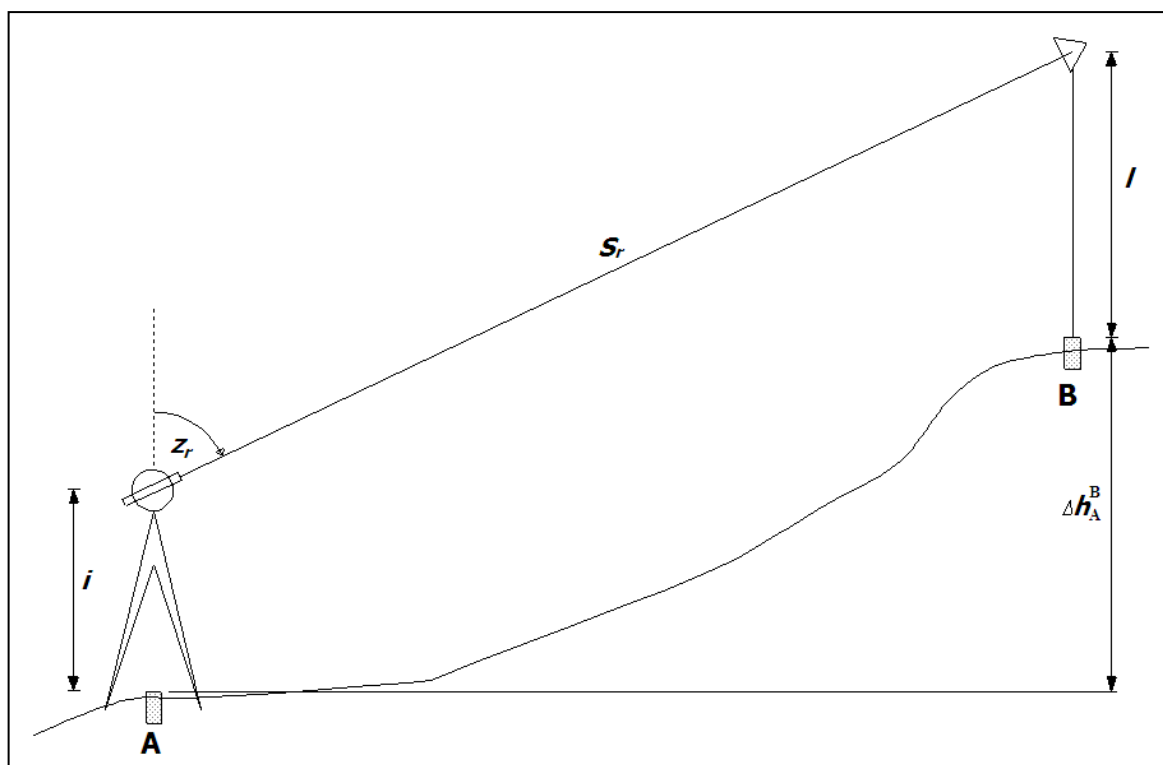
z ... merjena zenitna razdalja (sredine girusov),

k .. koeficient refrakcije (0.13),

R ... polmer Zemlje (m),

i ... višina tahimetra (m) in

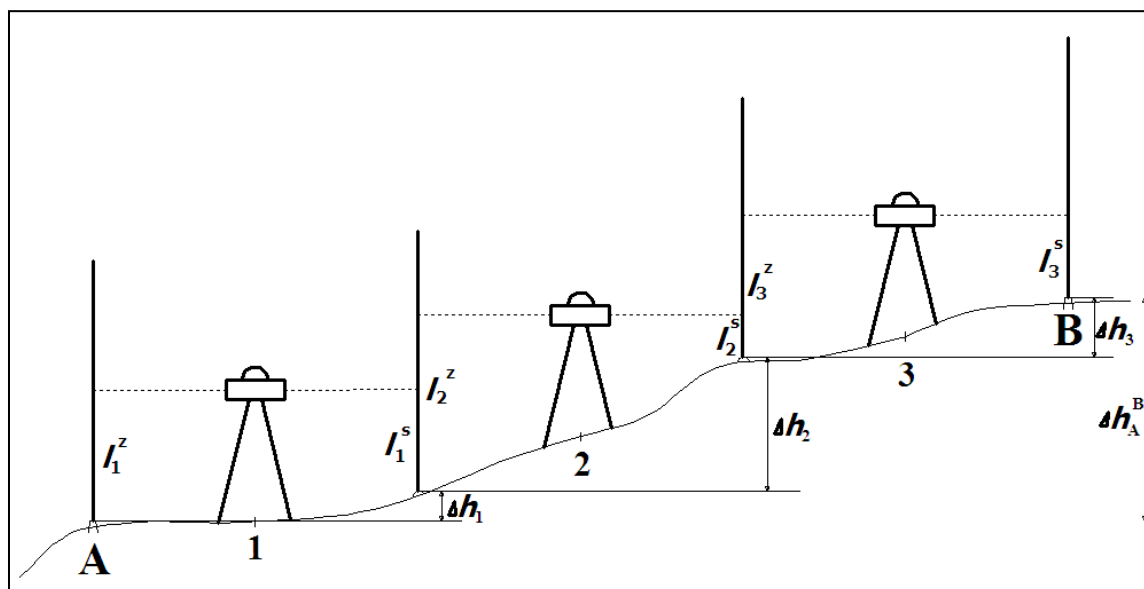
l ... višina reflektorja (m).



Slika 3: Predstavitev trigonometričnega višinomerstva

3.7 Geometrični nivelman

Za najnatančnejšo določitev višinskih razlik v geodeziji uporabljamo metodo geometričnega nivelmana. Pri tej metodi meritve opravljamo z nivelirjem, ki s pomočjo libele ali kompenzatorja zagotavlja horizontalno vizuro. Izhodišče za določanje višinskih razlik točk so višinske geodetske točke – reperji. Višinsko razliko med dvema točkama izračunamo kot seštevek razlik odčitkov na vertikalno postavljeni lati za in pred nivelirjem, gledano v smeri niveliranja. Oceno natančnosti najpogosteje izračunamo iz odstopanj v zaključenih nivelmanskih zankah, s primerjavo višinskih razlik dveh danih reperjev ali iz razlik dvojnih merjenj (Ambrožič, 2003).



Slika 4: Princip geometričnega nivelmana

$$\Delta h_A^B = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 \quad (17)$$

$$\Delta h_A^B = (l_1^z - l_1^s) + (l_2^z - l_2^s) + (l_3^z - l_3^s) = \sum l_i^z - \sum l_i^s \quad (18)$$

4 POTEK PRIPRAV, IZBIRA INSTRUMENTARIJA, MERITVE

4.1 Posvet z investitorji in projektanti

Ključna faza pravilne izbire metode in določitev števila terminskih izmer je posvet z investitorjem in projektantom, kjer se določi želena natančnost spremljanja posedkov, kako pogosto naj bi meritve opravljali in katere faze so kritične v procesu izgradnje. Komunikacija med izvajalci, ki sodelujejo v projektu, je ključnega pomena za uspešnost zastavljene naloge. Nemalokrat prihaja do katastrofalnih dogodkov zaradi pomanjkanja komunikacije.

4.2 Pregled in rekognosciranje terena

Pred prvo terensko izmero in izbiro instrumentarija je potrebno opraviti ogled terena, na katerem se bodo meritve izvajale. Predhodno pridobimo vse možne podatke, kot so topografije reperjev, poligonskih točk, navezovalnih in orientacijskih točk... V našem primeru nismo predvideli navezavo na državno višinsko mrežo, saj bi posedke med posameznimi reperji lahko opazovali povsem lokalno.

4.3 Teoretični izračun pričakovanih posedkov s pomočjo teorije konsolidacije

Na podlagi poznavanja karakteristike nosilnih tal, lahko izračunamo, s kolikšno obremenitvijo lahko obremenimo izbrano območje, da začnemo proces konsolidacije. V nadaljnjem koraku izračunamo, kdaj bo konsolidacija materiala končana.

4.3.1 Dovoljena višina nasipa predobremenitve h_n

Dopustna obtežba tal po Prandtlu:

$$p = (2 + \pi) * c \quad (19)$$

kjer je: $c = c_u = 15 \text{ kN/m}^2$ – nedrenirana strižna trdnost tal pri faktorju varnosti $F_s = 1,3$

$$F_s * p_{dop} \leq p$$

$$p_{dop} = h_n * \gamma_n$$

h_n – dovoljena višina nasipa predobremenitve (m),

γ_n – prostorninska teža nasipa predobremenitve (kN/m³), v našem primeru znaša $\gamma_n = 20$ kN/m³.

$$F_s * h_n * \gamma_n \leq (2 + \pi) * c_u \quad (20)$$

$$h_n \leq \frac{(2 + \pi) \cdot c_u}{F_s \cdot \gamma_n} \leq \frac{(2 + \pi) \cdot 15}{1,3 \cdot 20} \leq 2,96 \text{ m}$$

Izbrano: $h_n = 3,0$ m

Naenkrat je dovoljeno obremeniti tla s 3,0 m nasipa ($p_{dop} = 60$ kN/m²)!

Nasipavanje je dovoljeno izvajati samo v slojih:

1. sloj $h_1 = 3,0$ m,
2. sloj $h_2 = 3,0$ m.

Potrebna trdnost tal za nasip višine 6,0 m

$$c_{u2} \geq \frac{h_n \cdot \gamma_n \cdot F_s}{2 + \pi} \geq \frac{6,0 \cdot 20 \cdot 1,3}{2 + \pi} \geq 30,3 \text{ kN/m}^2 \quad (21)$$

Izbrano: $c_{u2} = 31$ kN/m²

Stopnja konsolidacije, potrebna za doseganje c_{u2}

$$\frac{c_{u2}}{c_u} = \frac{\sigma_1'}{\sigma_0'} \quad (22)$$

σ_0' – efektivna napetost v sredini sloja: $\sigma_0' = \gamma' * z = 7,5 \cdot 6,5 = 48,75$ kN/m²

σ_1' – efektivna napetost v sredini sloja zaradi nasipa predobremenitve pri določeni stopnji konsolidacije U

$$\sigma'_1 = \sigma'_0 + U * \Delta p \quad (23)$$

Δp – dodatna napetost zaradi nasipa predobremenitve: $\Delta p = \gamma_n \cdot h_n = 20 \cdot 3,0 = 60 \text{ kN/m}^2$

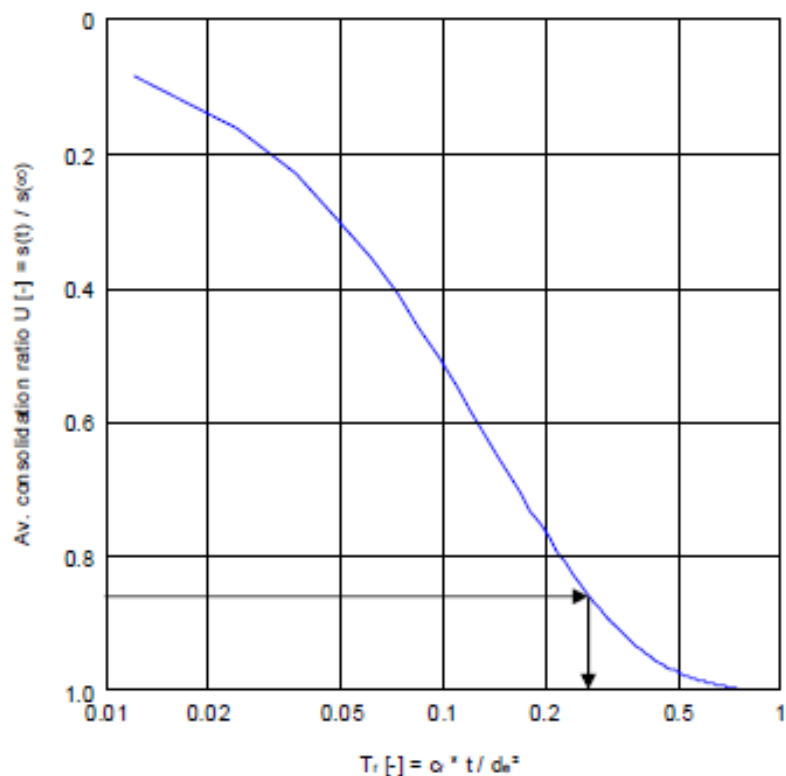
$$\sigma'_1 = \sigma'_0 * \frac{c_{u2}}{c_u} = \sigma'_0 + U * \Delta p \quad (24)$$

$$U = \frac{1}{\Delta p} \cdot \left(\frac{\sigma'_0 \cdot c_{u2}}{c_u} - \sigma'_0 \right) = \frac{\sigma'_0}{\Delta p} \cdot \left(\frac{c_{u2}}{c_u} - 1 \right) = \frac{48,75}{60} \cdot \left(\frac{31}{15} - 1 \right) = 0,866$$

Potrebna stopnja konsolidacije je $U = 86,6 \%$.

Potreben čas za doseganje 86,6 % konsolidacije:

Iz diagrama $T_r = f(U)$ določimo časovni faktor T_r



Slika 5: Konsolidacijska krivulja

Za $U = 86,6\%$ znaša časovni faktor $T_r = 0,30$.

Čas potreben za doseganje 86,6% konsolidacije:

$$t = d_e^2 * \frac{T_r}{c_r} \quad (25)$$

d_e – razmak med drenažami: $d_e = 1,41$ m (raster gruščnatih kolov 2×2 m z vmesnimi drenažami)

c_r – radialni koeficient konsolidacije

$$c_r = \frac{M_v \cdot k_r}{\gamma_w} = \frac{1000 \cdot 10^{-9}}{10} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$
$$t = 1,41^2 \cdot \frac{0,30}{1,0 \cdot 10^{-7}} = 5,96 \cdot 10^6 \quad \text{s} = 69 \text{ dni} \quad (26)$$

Glede na to, da gruščnati koli trenutno povečajo trdnost tal, izberemo $t = 55$ dni.

Predobremenilni nasip višine 3,0 m mora odležati 55 dni preden se prične nasipavati naslednji sloj do višine 6,0 m.


4.4 Terenske meritve

4.4.1 Meritve GNSS

4.4.1.1 Uporabljen instrumentarij

Za določitev koordinat izhodiščnih točk mreže smo uporabili inštrument Leica GPS 500. Instrument se lahko uporablja kot mobilni rover ali pa v načinu prisilnega centriranja nad točko za bolj natančne meritve.

Preglednica 1: Tehnični podatki Leica GPS 500 (Leica Geosystem AG, 2004)

<i>Leica System 500</i>	 <p style="text-align: center;"><i>Slika 6: Leica GPS 500</i></p>
<i>Natančnost</i>	
<i>Položajna natančnost</i>	<i>Horizontalna: 10 mm + 1 ppm Vertikalna: 20 mm + 1 ppm</i>
<i>Inicializacija</i>	
<i>Metoda inicializacije</i>	<i>Real time (RTK)</i>
<i>Zanesljivost inicializacije</i>	<i>boljša od 99,99 %</i>
<i>Čas inicializacije</i>	<i>8 s (najmanj 5 satelitov L1+L2¹)</i>
<i>Doseg</i>	<i>do 50 km (odvisno od zanesljivosti povezave)</i>
<i>Splošni tehnični podatki</i>	
<i>Razpon frekvence delovanja</i>	<i>2402 – 2480 MHz</i>
<i>Število kanalov</i>	<i>12 L1 + 12 L2</i>
<i>Formati za sprejemanje podatkov</i>	<i>Leica (lastni) format CMR, CMR+, RTCM V2.1 / 2.2 / 2.3 / 3.0</i>
<i>Temperaturni obseg delovanja</i>	<i>- 40° C do + 65° C</i>
<i>Zaščita pred vodo</i>	<i>Odporen na vodne curke, vodoodporen do začasne potopitve (1 m), odporen do 100 % vlažnosti</i>

Poleg instrumenta smo pri izmeri potrebovali še stativ za centriranje instrumenta na točkah in žepni merski trak za merjenje višine instrumenta.

4.4.1.2 Postopek izmere

Če želimo doseči centimetrsko natančnost določitve koordinat, moramo na stojišču najprej izvesti inicializacijo. Za inicializacijo potrebujemo opazovanja vsaj petih satelitov, njihova geometrijska razporeditev pa mora biti čim boljša (čim manjši faktor PDOP). V bližini točke

ne sme biti fizičnih ovir (visoki objekti, drevesa, neugoden relief), še posebej južno od točke izmere. Blizu točke se ne smejo nahajati moteče ravne površine (npr. pločevinaste ravne strehe), ki povzročajo odboje signalov (multipath) in moteči viri elektromagnetnega valovanja (npr. oddajniki, radijski pretvorniki, transformatorske postaje), ki lahko interferirajo s signali GNSS. Ker smo uporabljali metodo izmere VRS, ki je storitev omrežja SIGNAL, mora med izmero GNSS nemoteno delovati celoten sistem omrežja, poleg tega pa mora biti območje delovišča pokrito s signalom GSM/GPRS/UMTS zaradi pridobivanja popravkov opazovanj (Mozetič et al., 2006).

Na vsaki od treh izbranih poligonskih točk smo izvedli trikratno neodvisno postavljanje instrumenta s časovnim presledkom več kot eno uro. Instrument smo nastavili na avtomatsko prekinitev merjenja in sicer s kriterijem 165 pozicij RTK s položajno natančnostjo, večjo od 1 cm, in višinsko natančnostjo, večjo od 2 cm. Ko je instrument določil nastavljeno število položajev RTK s predpisano natančnostjo, je prekinil meritev in shranil koordinate točke. Dopustno odstopanje med nizi koordinat, določeno na osnovi dveh neodvisnih meritev, je moralo biti manjše od 5 cm.

Koordinate pridobljene z izmero GNSS predstavljajo položajno izhodišče naših nadaljnjih terestričnih meritev. Ker nadaljnje meritve opravljamo v lokalnem koordinatnem sistemu nas ne zanima natančnost določitve višin določenih z metodo GNSS.

4.4.2 Trigonometrično višinomerstvo


4.4.2.1 Uporabljen instrumentarij

Pri klasični terestrični metodi vzpostavitve geodetske izmeritvene mreže smo uporabljali elektronski tahimeter *Leica TCR 803*, katerega tehnični podatki so zajeti v spodnji preglednici. Instrument je bil rektificiran in preizkušen na pooblaščenem servisu. To je instrument s koaksialno optiko za elektronsko merjenje dolžin z reflektorjem (IR² – doseg do

² IR (angl. Infrared) – instrument deluje v območju infrardeče svetlobe

3000 m) in brez reflektorja (RL³ – doseg do 170 m). Instrument je opremljen z zaslonom, »neskončnimi« vijaki za fino viziranje tarče. Za shranjevanje podatkov uporablja notranji pomnilnik in pomnilniške kartice CompactFlash.

Preglednica 2: Tehnični podatki za elektronski tahimeter Leica TCR 803 (Leica Geosystem AG, 2004)

<i>Leica TCR 803</i>	 Slika 7: Elektronski tahimeter Leica TCR 803
<i>Merjenje horizontalnih smeri in zenitnih razdalj</i>	
<i>Natančnost (ISO 17123-3)</i>	<i>3" (1,5 mgon)</i>
<i>Ločljivost prikaza</i>	<i>0,1" (0,1 mgon)</i>
<i>Območje delovanja kompenzatorja</i>	<i>4' (0,07 gon)</i>
<i>Natančnost kompenzatorja</i>	<i>1,5" (0,5 mgon)</i>
<i>Vrsta kompenzatorja</i>	<i>dvoosni tekočinski kompenzator</i>
<i>Merjenje dolžin (IR)</i>	
<i>Tip razdaljemera</i>	<i>fazni razdaljemer</i>
<i>Doseg v srednjih pogojih</i>	<i>Standardna prizma: 3000 m 360° prizma: 1500 m Mini prizma: 1200 m Odbojna nalepka (60 x 60 mm): 250 m</i>
<i>Najkrajša izmerljiva dolžina</i>	<i>1,5 m</i>
<i>Natančnost / Čas meritve (ISO 17123-4)</i>	<i>Standardni način: 2 mm + 2 ppm / 1,5 s Hitri način: 5 mm + 2 ppm / 0,8 s Način s sledenjem: 5 mm + 2 ppm / <0,15 s</i>
<i>Ločljivost zaslona</i>	<i>0,1 mm</i>
<i>Valovna dolžina nosilnega valovanja</i>	<i>780 nm</i>
<i>Frekvenca preciznega merjenja</i>	<i>100 MHz</i>
<i>Merjenje dolžin brez reflektorja - RL</i>	
<i>Doseg</i>	<i>170 m (90% odbojnost) 100 m (18% odbojnost)</i>
<i>Natančnost / Čas meritve (ISO 17123-4)</i>	<i>< 500 m: 3 mm + 2 ppm / 3-6 s > 500 m: 5 mm + 2 ppm / 3-6 s</i>

³ RL (angl. Reflectorless) – instrument izmeri dolžino s pomočjo vidne laserske svetlobe

<i>Udarna površina laserskega žarka</i>	<i>pri 20 m: cca. 7 mm x 14 mm pri 100 m: 12 mm x 40 mm</i>
<i>Splošni tehnični podatki</i>	
<i>Povečava daljnogleda</i>	<i>30 x</i>
<i>Premer objektiva</i>	<i>40 mm</i>
<i>Vidno polje daljnogleda</i>	<i>1°30' (1,66 gon) / 2,7 m pri 100 m</i>
<i>Razpon izostritve daljnogleda</i>	<i>1,7 m do neskončnosti</i>
<i>Občutljivost alhidadne dozne libele</i>	<i>6' / 2 mm</i>
<i>Občutljivost elektronske libele</i>	<i>2"</i>
<i>Natančnost centriranja (lasersko grezilo)</i>	<i>1,5 mm pri višini instrumenta 1,5 m</i>
<i>Temperaturni obseg delovanja</i>	<i>- 20° C do + 50° C</i>

Pri izmeri smo uporabljali še stativne za prisilno centriranje tahimetra in reflektorjev, podnožja z optičnimi grezili in doznimi libelami za centriranje in horizontiranje reflektorjev na stativih, nosilce za reflektorje s cevni libelami za fino horizontiranje reflektorjev, žepni merski trak za merjenje višine instrumenta in reflektorja ter prenosno meteorološko postajo za merjenje temperature in zračnega tlaka.

4.4.2.2 Postopek izmere

Višino in položaj točk posadalnih reperjev smo določali po postopku detajlne izmere. Meritve smo vedno opravljali z navezavo na točko mreže, vzpostavljeno na stabilnem območju, ki je zagotavljala dobro izhodišče za določanje višin detajlnih točk. To smo zagotovili z ekscentričnim stojiščem z navezavo na centrično točko 5000 in kontrolno točko na 5001 in 1000. Nadaljnje točke smo izmerili po metodi polarne izmere, ki zagotavlja zadostno natančnost določitev višin izbranih točk.

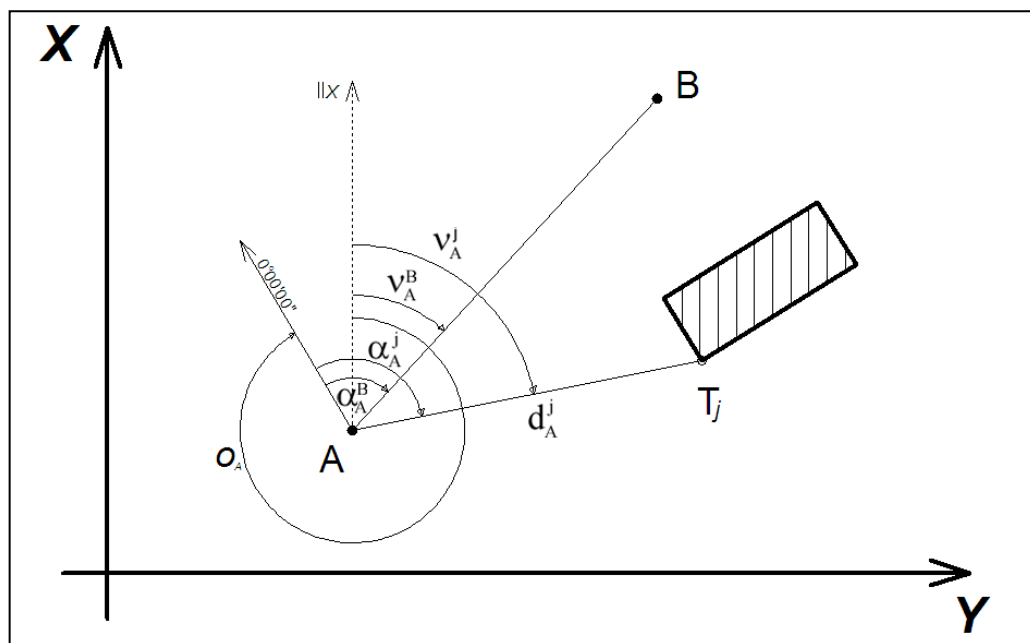
4.4.2.3 Polarna metoda

Polarno metodo (tahimetrijo), ki predstavlja eno od metod klasične terestrične izmere, uporabljamo, kadar opravljamo izmero manjših območij. Uporabljamo jo, kadar je zahtevana natančnost izmere tako velika, da je ne moremo doseči z drugimi metodami (npr. fotogrametrijo), konec koncev pa jo uporabljamo, kadar ostalih metod ni mogoče uporabiti (Ambrožič, 2003).

Polarna metoda temelji na direktni izmeri relativnih prostorskih koordinat detajla. Prednost polarne izmere je predvsem v istočasni določitvi vseh treh koordinat. To dosežemo s kombiniranjem horizontalne izmere in trigonometričnega višinomerstva. V preteklosti so za polarno izmero uporabljali Reichenbachov razdaljemer⁴ ali trinitni tahimeter in nivelmansko lato, nato so uporabljali avtoredukcijski tahimeter⁵ in lato z reperjem, danes pa uporabljamo izključno elektronske tahimetre v kombinaciji z reflektorji.

Polarna metoda je najhitrejši način zajema meritev na terenu in je tudi najnatančnejši način določevanja koordinat detajlnih točk. Z uporabo elektronskih tahimetrov, računalnikov in programske opreme, lahko izdelamo digitalni načrt že na terenu.

Kot izhodišče za detajlno izmero navadno uporabimo kar poligonske točke, saj se trigonometrična mreža večinoma dovolj ne približa detajlu. Tudi točke nižjih redov so uporabne za izhodišča ali orientacije pri detajlni izmeri. Poleg ravninskih koordinat morajo imeti poligonske točke, ki služijo za stojišča, tudi nadmorsko višino.



Slika 8: Polarna izmera

⁴ Prvi razdaljemer je skonstruiral optik in mehanik Georg Reichenbach leta 1810.

⁵ Avtoredukcijski tahimeter je posebna vrsta trinitnega tahimetra, ki ima nitni križ oblikovan tako, da omogoča direktno čitanje horizontalne dolžine in višinske razlike.

Na terenu se izvaja izmera v lokalnem prostorskem koordinatnem sistemu:

- izhodišče (stojišče) je dana točka A,
- horizontalni kot tvori opazovano smer proti detajlni točki ,
- poševna dolžina od dane točke A proti detajlni točki ,
- zenitna razdalja od dane točke A proti detajlni točki ,
- orientacijski kot predstavlja smerni kot ničle instrumenta.

Natančnost polarne metode je odvisna predvsem od natančnosti instrumenta in pribora ter vestnosti opravljanja meritev. Odvisna je še od oddaljenosti detajlnih točk in od natančnosti postavljanja trasirke z reflektorjem. S polarno metodo lahko dosežemo milimetrsko do centimetrsko relativno natančnost.

Z dobro postavitvijo točk mreže in ekscentričnega stojišča se lahko dobro približamo detajlnim točkam in s pomočjo uporabe mini prizme dosežemo visoko natančnost določitve višin detajlni točk. Po končani izmeri detajlnih točk smo ponovno izmerili še kontrolni točki 5001 in 1000 in se prepričali o stabilnosti inštrumenta ter korektnosti opravljanja meritve. Položajna natančnost v našem primeru ne igra pomembne vloge ampak določamo položaj posameznega reperja zgolj informativno. Meritve smo izvajali v terminskih izmerah v obdobju enega meseca.



Slika 9: Primer posedalnega reperja

4.4.3 Geometrični nivelman


Za kontrolo kakovosti meritev se v geodeziji pogosto uporabi druga – natančnejša metoda izmere. Tako dobimo dejanske razlike med »manj« in »bolj« natančnimi meritvami.

V našem primeru smo za kontrolo uporabili metodo geometričnega nivelmana, ki je ena od najnatančnejših geodetskih metod.

4.4.3.1 Izbira instrumentarija

Digitalni elektronski nivelir Leica DNA03 je uporaben za široko paleto geodetskih nalog. Uporabljamo ga za hitre meritve višin, višinskih razlik in višinske zakoličbe. Prav tako pa lahko z njim opravljamo tudi precizne meritve in nivelman I. in II. reda.

Preglednica 3: Tehnični podatki digitalnega elektronskega nivelirja Leica DNA03 (Leica Geosystem AG, 2004)

<i>Leica DNA03</i>	
<i>Slika 10: Digitalni elektronski nivelir Leica DNA03</i>	
<i>Natančnost</i>	
<i>Standardni odklon km dvojnega nivelmana (ISO 17123-2)</i>	<i>z invar lato (0,3 mm) s standardno lato (1,0 mm) optična meritev (2,0 mm)</i>
<i>Meritev dolžine</i>	<i>1 cm / 20 m (500 ppm)</i>
<i>Merilni doseg</i>	<i>elektronska meritev (1,8 m – 110 m) optična meritev (od 0,6 m)</i>
<i>Ločljivost merske višine</i>	<i>0,01 mm</i>
<i>Splošni tehnični podatki</i>	
<i>Čas za enkratno meritev</i>	<i>tipično 3 s</i>
<i>Merilni načini</i>	<i>enkratna meritev, povprečna vrednost, mediana, ponavljajoča vrednost</i>
<i>Pomnilnik</i>	<i>vgrajen (6000 meritev ali 1650 stojišč) PCMCIA (ATA-Flash, SRAM) online upravljanje (GSI preko RS232)</i>
<i>Povečava daljnogleda</i>	<i>24 x</i>
<i>Kompenzator (nihalo z magnetnim dušenjem)</i>	<i>delovno področje ($\pm 10'$) kalibracijski doseg (0,3")</i>
<i>Masa</i>	<i>2,8 kg (z baterijo)</i>
<i>Temperaturno območje</i>	<i>delo (- 20° C do + 50° C)</i>

Meritve po metodi geometričnega nivelmana smo opravljali s kombinacijo zgoraj opisanega nivelirja Leica DNA03 in kodirane invar nivelmanske late. Za vmesna postavljanja late smo uporabljali izmenišča.

4.4.3.2 Postopek izmere

Prvič smo uporabili metodo geometričnega nivelmana za določitev višinskih razlik med točkami mreže in tako dobili natančno določene višinske razlike med točkami za nadaljnja trigonometrična opazovanja.

Višinsko izhodišče nam je predstavljala centrična točka 5000. S pomočjo izmenišč smo določili višinsko razliko do kontrolne točke 5001 in se vrnili nazaj na točko 5000 (niveliranje tja in nazaj po načinu: niveliranje iz sredine). Inštrument nam zagotavlja avtomatsko čitanje vizure na kodni lati in shranjevanje odčitkov v interni pomnilnik inštrumenta. Po končanih meritvah podatke prenesemo na računalnik, jih obdelamo in dobimo vrednosti višin merjenih točk in njim pripadajoče natančnosti.

Drugič smo metodo uporabili kot določitev višin detajlnih točk, torej posedalnih reperjev, z metodo višje natančnosti in tako poizkusili potrditi zadostno natančnost meritev, opravljenih s trigonometričnim višinomerstvom.

5 PREDSTAVITEV IN ANALIZA PRIDOBLENIH REZULTATOV

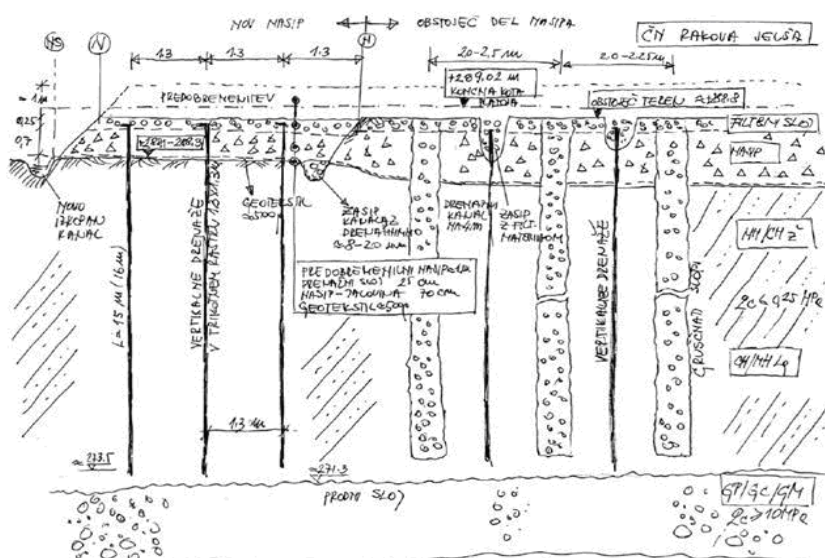
5.1 Analiza napovedi konsolidacije

Objekte čistilne naprave sestavljajo bazen čistilne naprave in poglobljeni jaški tlorskih dimenzij približno 36×25 m, upravno tehnološki objekt tlorskih dimenzij približno $34 \times 13,8$ m ter okolica objektov, približne površine 3.000 m^2 . Objekt je klasična armiranobetonska konstrukcija. Temeljenje se bo izvedlo na temeljni plošči.

Plato čistilne naprave bo približno 2,00 do 2,50 m nadvišan nad sedanjin nivojem površja, kar predstavlja tudi ničelni nivo upravno - tehnološkega objekta.

Kot optimalna rešitev projektne naloge s tehničnega in ekonomskega stališča, je bila sprejeta rešitev izboljšanja temeljnih tal z izvedbo gruščnatih kolov po sistemu npr. Keller Vibro Replacement ter vertikalnih drenaž in predkonsolidacijo s pomočjo predobtežbe.

Gruščnati koli imajo dvojno funkcijo: izboljšanje tal, tj. povečanje nosilnosti in zmanjšanje posedanja ter funkcijo drenaže tj. pospeševanja konsolidacije temeljnih tal, oziroma preprečevanje povečevanja pornih tlakov. Vertikalne drenaže imajo funkcijo pospešitve konsolidacije temeljnih tal.

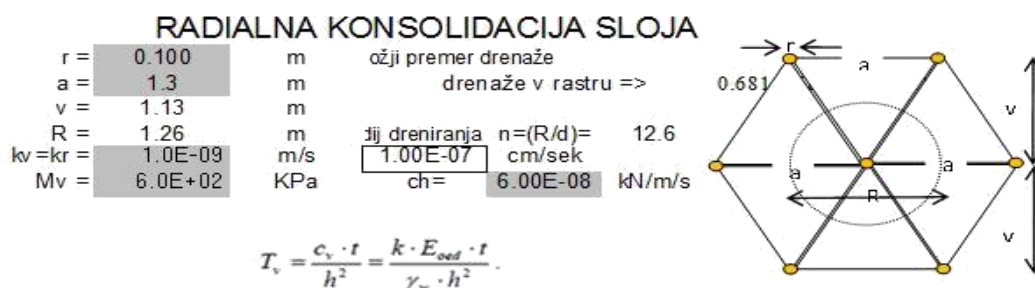


Slika 11: Terenska skica nasipa in pomembnih elementov konsolidacije

5.2 Predstavitev izračunanih rezultatov vertikalne in radialne konsolidacije

5.2.1 Izbira parametrov zemljin za izračun konsolidacije

Izračun konsolidacije smo opravili s pomočjo programa Excel. Upoštevali smo vse ključne lastnosti zemljine (koeficient vodoprepustnosti, modul stisljivosti, koeficient vertikalne konsolidacije) in postavitev vertikalnih drenaž (raster, premer drenaže, oddaljenost med drenažami,...). V preglednici spodaj so predstavljeni elementi konsolidacije.

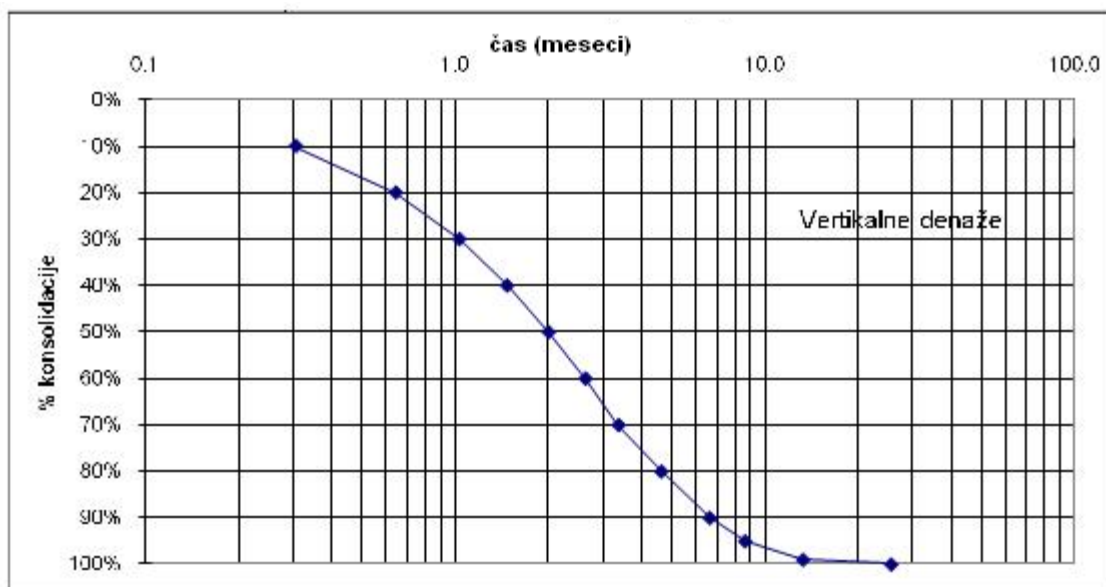


Slika 12: Parametri konsolidacije

Preglednica 4: Izračun konsolidacije

Tr = 3.27E-03 *t(days)

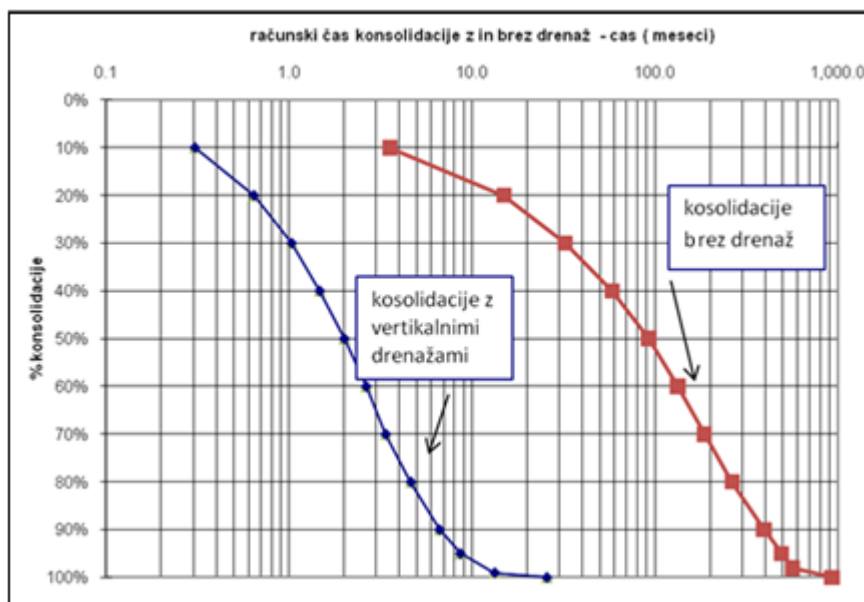
let	meseci	days	Tv	U (%)	Pos(cm)
			Tr(n=20)	(U - 100)	1050
0.0	0.3	9.2	0.03	0.1	105
0.1	0.6	19.3	0.063	0.2	210
0.1	1.0	30.9	0.101	0.3	315
0.1	1.5	44.1	0.144	0.4	420
0.2	2.0	60.0	0.196	0.5	525
0.2	2.6	79.0	0.258	0.6	630
0.3	3.4	101.1	0.33	0.7	735
0.4	4.6	138.7	0.453	0.8	840
0.6	6.6	198.8	0.649	0.9	945
0.7	8.6	258.5	0.844	0.95	998
1.1	13.3	397.5	1.298	0.99	1,040
2.1	25.5	765.6	2.5	1	1,050



Grafikon 2: Predstavitev konsolidacijske krivulje

Na podlagi predhodnih analiz, poznavanja lastnosti ter strukture zemeljskih plasti, smo s pomočjo omenjenih enačb teoretično izračunali, kdaj naj bi se posedanje ustavilo. Iz grafa je jasno razvidno, da se konsolidacija zaključi nekje po desetih mesecih. V izračunu smo upoštevali konsolidacijo z vertikalnimi drenažami, ki znatno pospeši odtekanje vode in izničenje porenih tlakov. Naj omenimo, da je pri izračunu konsolidacijske krivulje bistvena izbira elementov zemljine (k , c_v , M_v), zato je pomembno, da poznamo območje nasipa kar se da podrobno oz. opravimo predhodne laboratorijske študije zemljine.

Spodnji graf jasno prikazuje časovno razliko konsolidacije z vertikalnimi drenažami in brez njih.



Grafikon 3: Primerjava izračuna konsolidacije z vertikalnimi drenažami in brez njih

5.3 Rezultati trigonometričnih meritev

Projekt izgradnje čistilne naprave na območju kot je Ljubljansko Barje predstavlja izziv celotni verigi: od naročnika do projektanta, izvajalca in upravnika. Zanešati se samo na teoretične izračune, bi bilo skrajno neodgovorno, zato smo vzporedno s posameznimi fazami nenehno opravljali meritve posejanja in spremljali dogajanje z geodetskimi metodami.

5.4 Skica razporeditve posedalnih reperjev

Sprva smo opazovali deset posedalnih reperjev (na skici označeni z zelenimi kvadrati). Območje planirane izgradnje se je nahajalo tik ob kanalu Ljubljanice (modra linija predstavlja rob Ljubljanice).

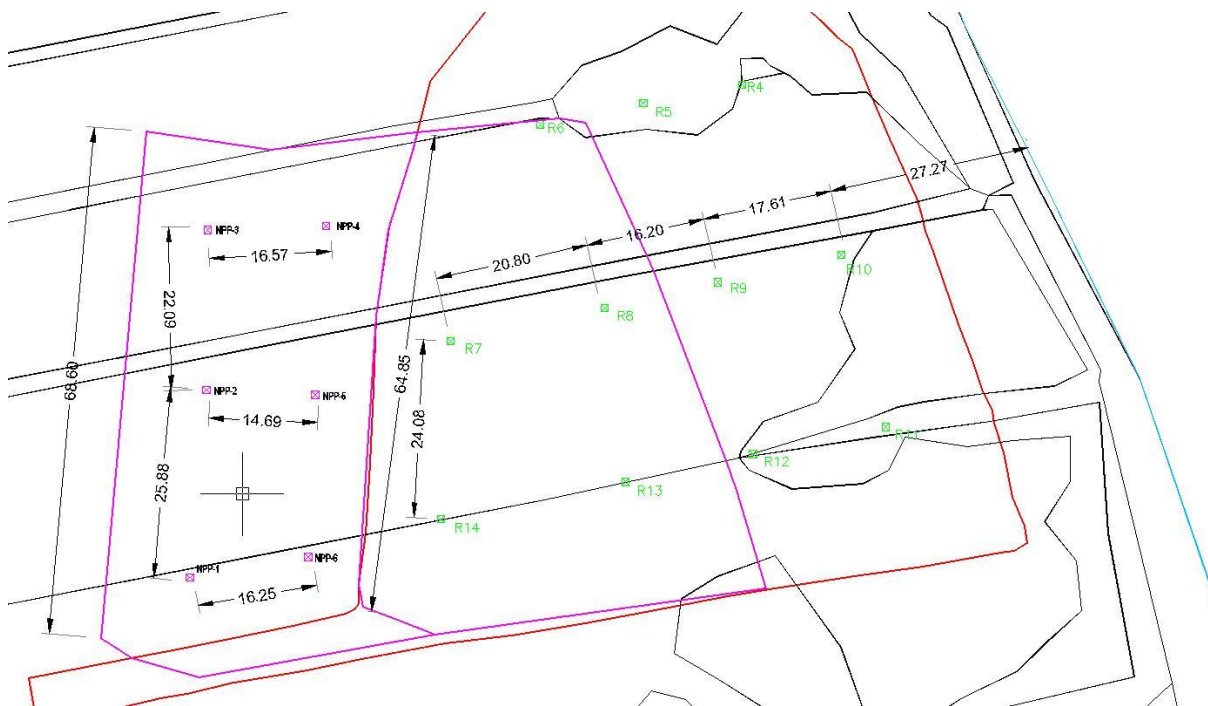
V začetku junija 2009 je na obravnavanem območju prišlo do obsežne porušitve nasipa in temeljnih tal v smeri proti Ljubljani. Pred tem je bila na lokaciji že izvedena izboljšava tal z

gruščnatimi slopi (dolžine 15 m, premera 60 cm in v rastru 2 m pod objekti in 2,25 m pod nasipom zunanje ureditve) in vgradnjo vmesnih vertikalnih drenaž za načrtovane več metrov visoke predobremenilne nasipe.

Po splazitvi roba obstoječega nasipa (platoja) v smeri proti Ljubljani, so se vidne razpoke na platoju pojavile približno do sredine pripravljalnega platoja (približno 35 m od vzhodnega roba izvedenega platoja). Do porušitve je prišlo v trenutku, ko so se v območju porušenega dela nasipa izvajali gruščnati koli in so bile zaradi porasta pornih tlakov slabše trdnostne karakteristike terena.

Analiza FGG Ljubljana, Katedra za mehaniko tal, je pokazala, da je na lokaciji zdrsa že obstajal fosilni zdrs, da je varnost obstoječega stanja na lokaciji od roba zdrsa do Ljubljane minimalna in da sanacija terena na tem delu ni smiselna, saj bi bili stroški zelo visoki. Zato se je celotna čistilna naprava nekoliko odmaknila od prejšnje lege, v stran od Ljubljane (Strniša, 2009).

Lokacije novih reperjev (NPP1 – NPP6) so na skici označene z vijoličnimi kvadrati.



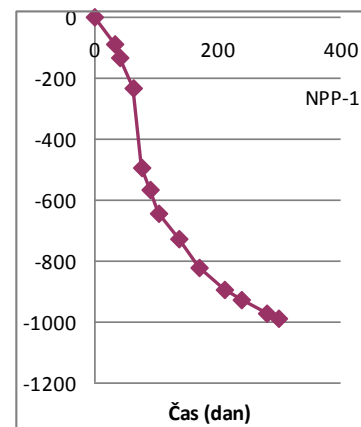
Slika 13: Skica posedalnih reperjev

5.5 Predstavitev posameznih posedalnih reperjev

V nadaljevanju so predstavljeni izračunani posedkov posameznega reperja in grafično predstavljeni v obliki grafikonov. Vrednosti posedkov (v celotnem obdobju opazovanja) znašajo med 80 in 100 cm, kar je za obdobje enega leta veliko. Iz stolpca hitrosti posedkov je razvidno ustavljanje premikov posedalnih reperjev, kar napoveduje umiritev v prihodnosti. Če primerjamo graf posameznega reperja z prej predstavljeno konsolidacijsko krivuljo, vidimo, da pri vseh reperjih sovpadata.

Reper NPP1:

reper/ plošča	meritev	datum meritve	število dni od začetka	kota reperja (m)	posedek (mm)	hitrost posedkov (mm/dan)
NPP-1	0	21.10.2009	0	291,677	0	
	1	23.11.2009	33	291,587	-90	-2,7
	2	1.12.2009	41	291,542	-135	-5,6
	3	23.12.2009	63	291,442	-235	-4,5
	4	7.1.2010	78	291,183	-494	-17,3
	5	20.1.2010	91	291,112	-565	-5,5
	6	3.2.2010	105	291,031	-646	-5,8
	7	8.3.2010	138	290,948	-729	-2,5
	8	9.4.2010	170	290,855	-822	-2,9
	9	20.5.2010	211	290,781	-896	-1,8
	10	17.6.2010	239	290,749	-928	-1,1
	11	27.7.2010	279	290,704	-973	-1,1
12	16.8.2010	299	290,690	-987	-0,7	



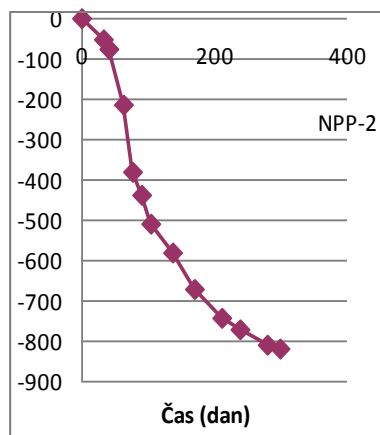
Grafikon 4: Reper NPP1

Preglednica 5: Reper NPP1

Reper NPP2:

reper/ plošča	meritev	datum meritve	število dni od začetka	kota reperja (m)	posedek (mm)	hitrost posedkov (mm/dan)
NPP-2	0	21.10.2009	0	291,670	0	
	1	23.11.2009	33	291,616	-54	-1,6
	2	1.12.2009	41	291,594	-76	-2,8
	3	23.12.2009	63	291,458	-212	-6,2
	4	7.1.2010	78	291,288	-382	-11,3
	5	20.1.2010	91	291,234	-436	-4,2
	6	3.2.2010	105	291,162	-508	-5,1
	7	8.3.2010	138	291,090	-580	-2,2
	8	9.4.2010	170	290,997	-673	-2,9
	9	20.5.2010	211	290,926	-744	-1,7
	10	17.6.2010	239	290,898	-772	-1,0
	11	27.7.2010	279	290,862	-808	-0,9
	12	16.8.2010	299	290,851	-819	-0,6

Preglednica 6: Reper NPP2

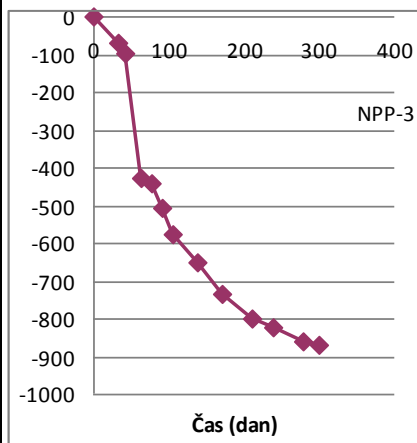


Grafikon 5: Reper NPP2

Reper NPP3:

reper/ plošča	meritev	datum meritve	število dni od začetka	kota reperja (m)	posedek (mm)	hitrost posedkov (mm/dan)
NPP-3	0	21.10.2009	0	291,880	0	
	1	23.11.2009	33	291,810	-70	-2,1
	2	1.12.2009	41	291,782	-98	-3,5
	3	23.12.2009	63	291,451	-429	-15,0
	4	7.1.2010	78	291,440	-440	-0,7
	5	20.1.2010	91	291,375	-505	-5,0
	6	3.2.2010	105	291,302	-578	-5,2
	7	8.3.2010	138	291,230	-650	-2,2
	8	9.4.2010	170	291,145	-735	-2,7
	9	20.5.2010	211	291,080	-800	-1,6
	10	17.6.2010	239	291,057	-823	-0,8
	11	27.7.2010	279	291,018	-862	-1,0
	12	16.8.2010	299	291,011	-869	-0,3

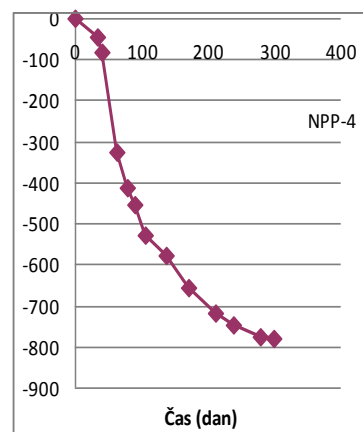
Preglednica 7 : Reper NPP3



Grafikon 6: Reper NPP3

Reper NPP4:

reper/ plošča	meritev	datum meritve	število dni od začetka	kota reperja (m)	posedek (mm)	hitrost posedkov (mm/dan)
NPP-4	0	21.10.2009	0	291,875	0	
	1	23.11.2009	33	291,830	-45	-1,4
	2	1.12.2009	41	291,793	-82	-4,6
	3	23.12.2009	63	291,547	-328	-11,2
	4	7.1.2010	78	291,461	-414	-5,7
	5	20.1.2010	91	291,421	-454	-3,1
	6	3.2.2010	105	291,348	-527	-5,2
	7	8.3.2010	138	291,295	-580	-1,6
	8	9.4.2010	170	291,217	-658	-2,4
	9	20.5.2010	211	291,157	-718	-1,5
	10	17.6.2010	239	291,126	-749	-1,1
	11	27.7.2010	279	291,100	-775	-0,6
	12	16.8.2010	299	291,093	-782	-0,4

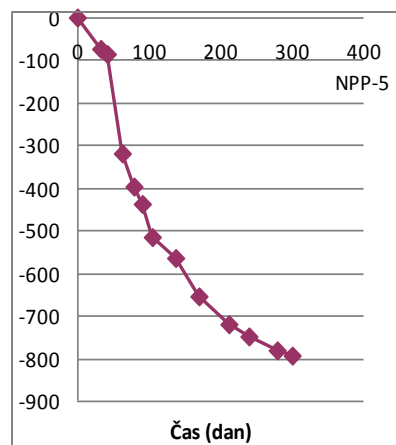


Preglednica 8: Reper NPP4

Grafikon 7: Reper NPP4

Reper NPP5:

reper/ plošča	meritev	datum meritve	število dni od začetka	kota reperja (m)	posedek (mm)	hitrost posedkov (mm/dan)
NPP-5	0	21.10.2009	0	291,638	0	/
	1	23.11.2009	33	291,564	-74	-2,2
	2	1.12.2009	41	291,552	-86	-1,5
	3	23.12.2009	63	291,318	-320	-10,6
	4	7.1.2010	78	291,241	-397	-5,1
	5	20.1.2010	91	291,202	-436	-3,0
	6	3.2.2010	105	291,124	-514	-5,6
	7	8.3.2010	138	291,074	-564	-1,5
	8	9.4.2010	170	290,985	-653	-2,8
	9	20.5.2010	211	290,918	-720	-1,6
	10	17.6.2010	239	290,891	-747	-1,0
	11	27.7.2010	279	290,857	-781	-0,8
	12	16.8.2010	299	290,846	-792	-0,6

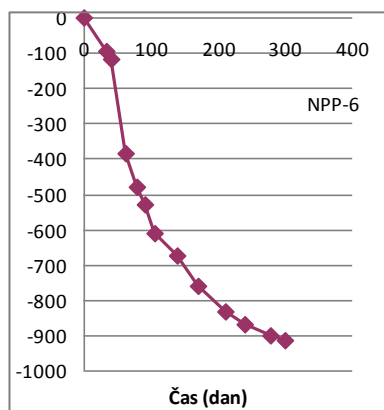


Preglednica 9: Reper NPP5

Grafikon 8: Reper NPP5

Reper NPP6:

reper/ plošča	meritev	datum meritve	število dni od začetka	kota reperja (m)	posedek (mm)	hitrost posedkov (mm/dan)
NPP- 6	0	21.10.2009	0	291,469	0	
	1	23.11.2009	33	291,376	-93	-2,8
	2	1.12.2009	41	291,350	-119	-3,3
	3	23.12.2009	63	291,086	-383	-12,0
	4	7.1.2010	78	290,989	-480	-6,5
	5	20.1.2010	91	290,941	-528	-3,7
	6	3.2.2010	105	290,859	-610	-5,9
	7	8.3.2010	138	290,795	-674	-1,9
	8	9.4.2010	170	290,707	-762	-2,8
	9	20.5.2010	211	290,636	-833	-1,7
	10	17.6.2010	239	290,598	-871	-1,4
	11	27.7.2010	279	290,567	-902	-0,8
12	16.8.2010	299	290,555	-914	-0,6	

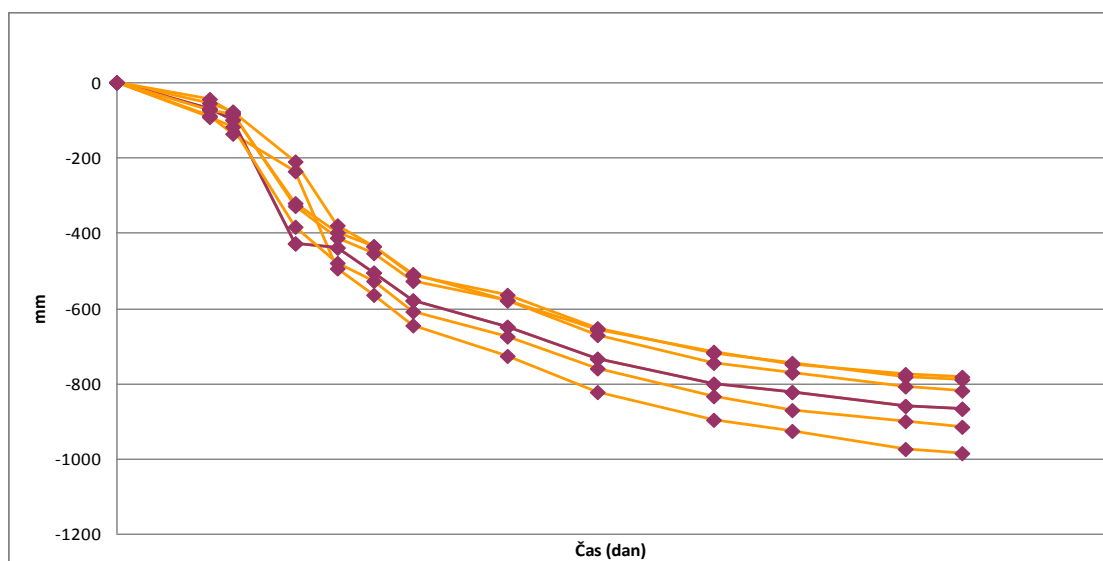


Grafikon 9: Reper NPP6

Preglednica 10: Reper NPP6

5.6 Pregled posedkov posedalnih reperjev (združen)

Za pregled nad celotnim dogajanjem smo združili krivulje posedalnih reperjev v enoten graf, iz katerega je nazorno razvidno homogeno premikanje z manjšimi odstopanji. Trend vertikalne deformacije s stiskanje in zgoščevanjem medprostorov zrn pada, obtežba se postopoma prenaša iz vode na zrnje. Sprememba prostornine tal je povezana s spremembo iztisnjene vode.



Grafikon 10: Prikaz posedkov v obdobju opazovanja

5.7 Pridobljeni podatki iz vodomernih postaj v bližnji okolici

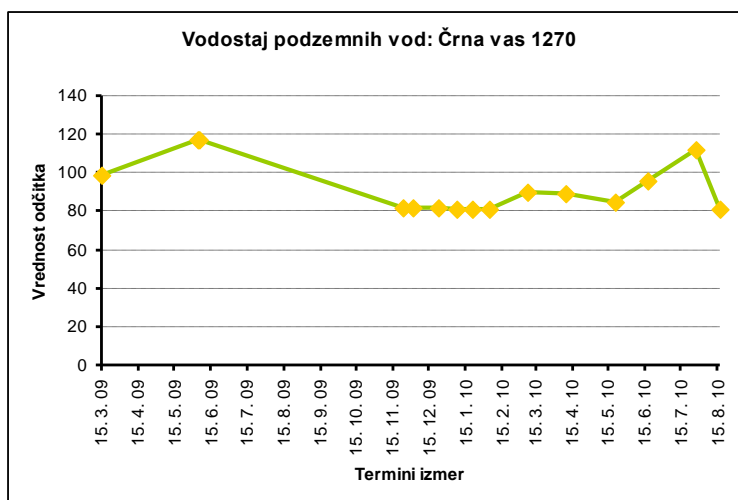
Zaradi aktivnega dogajanja na opazovanem območju, smo pridobili še podatke o podzemnih vodah z bližnjih merilnih postaj. Podatki zajemajo celotno obdobje opazovanj. Za lažjo predstavitev nihanja podzemnih vod, smo izmerjene podatke prikazali v obliki grafov. Nanašajo se na vodomerno postajo Črna vas 1270, Črna vas G – 12, Hajdrihova in vodomerna postaja Kozarje. Stanje plovca pomeni odklon nivoja vode od vrha merilne točke in ne predstavlja absolutno višino vodostaja.

Iz spodnjih tabel in grafikonov je razvidno, da gre za homogeno nihanje podzemnih vod na celotnem območju, ki pa bistveno ne vpliva na velikost posedkov na posameznih reperjih. Razberemo lahko, da se pojavita dva maksimuma v obdobju opazovanja, in sicer prvi nekje v sredini februarja, drugi v začetku avgusta.

Črna vas 1270 (MOP, Agencija RS za okolje, 2010)

Črna vas 1270		
Števec meritev:	Termini izmer (12:00)	Stanje plovca:
0	15.3.2009	99
1	4.6.2009	117
2	5.6.2009	117
3	23.11.2009	82
4	1.12.2009	82
5	23.12.2009	82
6	7.1.2010	81
7	20.1.2010	81
8	3.2.2010	81
9	8.3.2010	90
10	9.4.2010	89
11	20.5.2010	85
12	17.6.2010	96
13	27.7.2010	112
14	16.8.2010	81

Preglednica 11: Vodostaj na merilni postaji Črna vas 1270

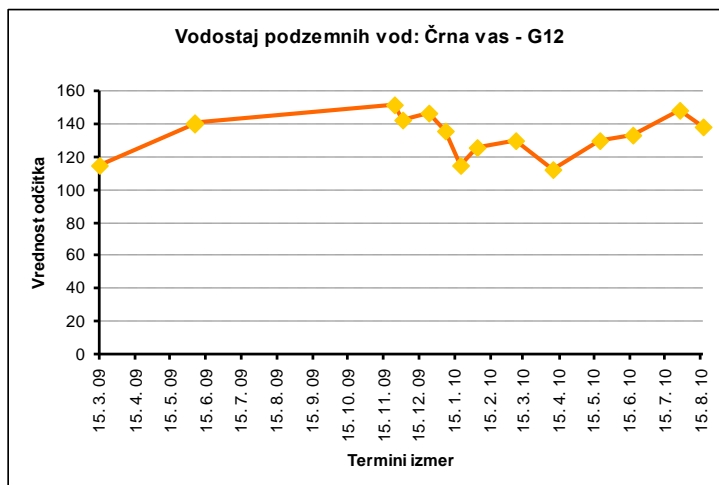


Grafikon 11: Vodostaj na merilni postaji Črna vas 1270 v obdobju meritev

Črna vas G-12 (MOP, Agencija RS za okolje, 2010)

Črna vas G - 12		
Števec meritev:	Termini izmer (12:00)	Stanje plovca:
0	15.3.2009	114,5
1	4.6.2009	140
2	5.6.2009	140,5
3	23.11.2009	152
4	1.12.2009	142
5	23.12.2009	147
6	7.1.2010	136
7	20.1.2010	115
8	3.2.2010	126
9	8.3.2010	130
10	9.4.2010	112,5
11	20.5.2010	130
12	17.6.2010	133
13	27.7.2010	148
14	16.8.2010	138

Preglednica 12: Vodostaj na merilni postaji Črna vas G - 12

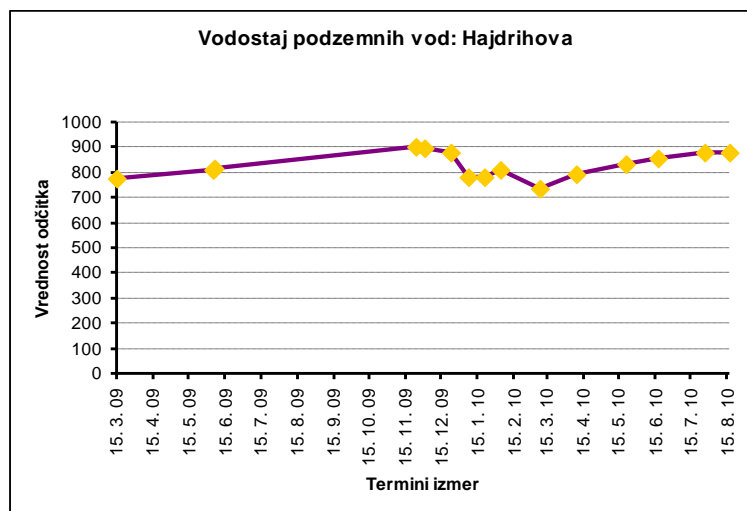


Grafikon 12: Vodostaj na merilni postaji Črna vas G - 12 v obdobju meritev

Hajdrihova (MOP, Agencija RS za okolje, 2010)

Hajdrihova		
Števec meritev:	Termini izmer (12:00)	Stanje plovca:
0	15.3.2009	773
1	4.6.2009	813
2	5.6.2009	815
3	23.11.2009	901
4	1.12.2009	896
5	23.12.2009	878
6	7.1.2010	780
7	20.1.2010	783
8	3.2.2010	809
9	8.3.2010	738
10	9.4.2010	792
11	20.5.2010	832
12	17.6.2010	858
13	27.7.2010	880
14	16.8.2010	880

Preglednica 13: Vodostaj na merilni postaji Hajdrihova

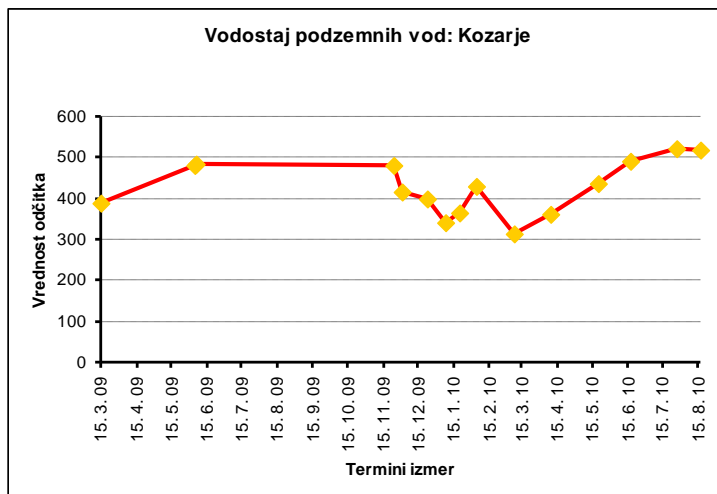


Grafikon 13: Vodostaj na merilni postaji Hajdrihova v obdobju meritev

Kozarje (MOP, Agencija RS za okolje, 2010)

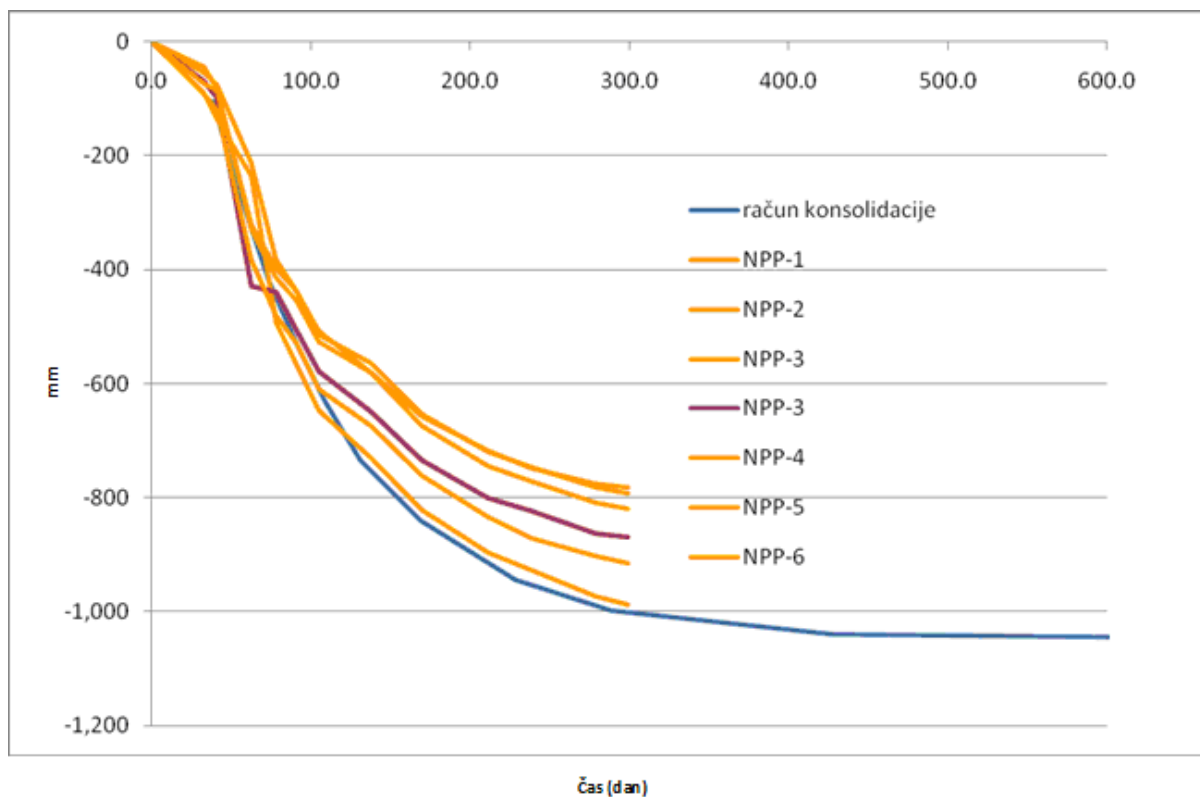
<i>Kozarje</i>		
<i>Števec meritev:</i>	<i>Termini izmer (12:00)</i>	<i>Stanje plovca:</i>
0	15.3.2009	389
1	4.6.2009	481
2	5.6.2009	483
3	23.11.2009	481
4	1.12.2009	416,5
5	23.12.2009	398
6	7.1.2010	340
7	20.1.2010	364
8	3.2.2010	431
9	8.3.2010	314
10	9.4.2010	363
11	20.5.2010	436
12	17.6.2010	490
13	27.7.2010	521
14	16.8.2010	518

Preglednica 14: Vodostaj na merilni postaji Kozarje



Grafikon 14: Vodostaj na merilni postaji Kozarje v obdobju meritev

5.8 Sklepne ugotovitve pridobljenih rezultatov



Grafikon 15: Primerjava konsolidacijske krivulje in izmerjenih posedkov

Na podlagi poznavanja strukture zemljin smo s teorijo konsolidacije napovedali trend vertikalnih deformacij izbranega območja, ki ga predstavlja krivulja modre barve. Sledilo je dvanajst terminskih izmer šestih poseidalnih reperjev, na podlagi katerih smo dobili zanesljive podatke o dogajanju nasipa. Meritve so v grafu predstavljene z rumeno in vijoličasto barvo. Vidimo, da trend umirjanja sovпада tako z posameznimi reperji kot z konsolidacijsko krivuljo. Maksimalna razlika med posedkami reperjev znaša 20 cm (NPP1 in NPP4), vendar narašča postopoma tekom celotnega obdobja.

Z izračunom konsolidacije smo napovedali, da se bo sesedanje nasipa ustavilo po desetih mesecih, kar lahko sedaj mirno potrdimo. Na podlagi opravljenih meritev, lahko sklepamo o nadaljnjih aktivnostih nasipa.

6 ZAKLJUČEK

Tekom celotne naloge smo se srečali z vrsto geodetskih metod, s katerimi določamo položaje karakterističnih točk. S pomočjo metode GNSS smo najprej določili položajno izhodišče za nadaljnje meritve, z metodo geometričnega nivelmana smo izračunali višinske razlike med točkami mreže, z metodo trigonometričnega višinomerstva smo določali vrednosti višin posedalnih reperjev v obdobju leta in pol.

Izmerjeni podatki so potrdili predhodni izračun konsolidacije, ki temelji na poznavanju parametrov zemljin in teoretičnih enačbah, predstavljenih v nalogi. V obeh primerih smo ugotovili, da se posedanje nasipa umiri po desetih mesecih, s tem je območje pripravljeno za prva pripravljalna dela gradbeništva. Naj omenimo, da naloga z diplomskim delom še ni zaključena, spremljanje posedkov se nadaljuje, vendar v daljših časovnih intervalih. Trenutno so prvi objekti čistilne naprave Rakova Jelša že zgrajeni.

Geodezija ostaja pomemben člen v verigi gradbeništva. Geodetske metode izmere so v okviru opazovanj geotehničnih objektov široko uporabne, saj omogočajo ugotavljanje in spremljanje premikov v absolutnem smislu, to je neodvisno od obravnavanega objekta. Spremljanje premikov je nujno za zagotavljanje varnosti delovanja, uporabe objektov in za ocenjevanje potencialne nevarnosti, ki jih predstavljajo za okolico.

Izpostavili bi pomanjkljivo zakonodajo, ki žal ne predpisuje, v katerih primerih bi bilo spremljanje deformacij in premikov nujno potrebno in v kakšnih časovnih obdobjih naj bi se izvajalo.

VIRI

Ambrožič, T. 2003. Zapiski predavanj predmeta Geodezija I. Ljubljana - FGG, Slovenija.

Klopčič, J., Kogovšek, P., Logar, J. Enodimenzionalna konsolidacija tal z napetostno odvisnostjo odvisnimi materialnimi parametri. Marec 2011
URL: <http://www.sloged.si/LinkClick.aspx?fileticket=6ORd9RhS9Aw%3D&tabid=122>.

Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljmeri (prva izdaja, drugi natis izd.). Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 159 str.

Kogoj, D., Ambrožič, T., Savšek, S., Bogatin, S., Marjetič, A., Stopar, B., Radovan, D., Berk, S., Mesner, N. 2006. Navodila za izvajanje klasične geodetske izmere v novem koordinatnem sistemu.

Kogovšek, P. 2008. Enodimenzionalna konsolidacija tal z napetostno odvisnostjo odvisnimi materialnimi parametri. Dipl. Nal. – UNI. Ljubljana. UL. FGG. Oddelek za gradbeništvo. Konstrukcijska smer: 70 str.

Leica Geosystems AG. 2004. TPS1200 User Manual (Version 2.0 izd.). Heerbrugg, Švica.

Majes, B. 1990. Dvodimenzionalna konsolidacija nelinearnih viskoznostnih zasičenih zemljin. Dok.d. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za gradbeništvo. 152 str.

Mihailović, K., Vračarič, K. 1984. Geodezija I. Beograd, Srbija, Naučna knjiga, 837 str.

Mozetič, B., Komadina, Ž., Radovan, D., Berk, S., Mesner, N., Klanjšček, M., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P., Kozmus, K. 2006. Navodilo za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu. Ljubljana.

Mozetič, B. 2005. Uporabnost izbranih metod deformacijske analize na praktičnih primerih geodetske mrež. Mag.d. UL, FGG, Oddelek za Geodezijo, 141 str.

Nonveiller, E. 1979. Mehanika tla i temeljenje građevina (prva izdaja, drugi natis izd.). Zagreb, Str. 218.

Savšek-Safič, S. 2002. Optimalna metoda določanja stabilnih točk v deformacijski analizi. Dok.d. UL, FGG, Oddelek za Geodezijo, V, 211 str.

Savšek, S., Ambrožič, T., Kogoj, D., Koler, B., Strle, O., Stopar, B.. Geodezija v geotehniki, Geodetski vestnik.- Letn. 54, št. 1 2010, str. 31.

Stopar, B. 2006. Zapiski predavanj predmeta Višja geodezija II. Ljubljana - FGG, Slovenija.

Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P. 2007. Višja geodezija II - študijsko gradivo. Ljubljana: UL FGG - Katedra za matematično in fizikalno geodezijo ter navigacijo: 29 str.

Šuklje, L. (1984). Mehanika tal. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za Arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 359 str.

Terzaghi, K. 1970. Teorijska mehanika tla. Beograd, Naučna knjiga, str.: 220 – 245.

Trajkowska, H. 2004. Sistem Trimble VRS. Geodetski vestnik 48 , 3: 385-387.

Zakon o graditvi objektov (ZGO-1). (brez datuma). Uradni list RS, št. 110/02, 97/03 Odl.US: U-I-152/00-23, 41/04-ZVO-1, 45/04, 47/04, 62/04 Odl.US: U-I-1/03-15, 102/04-UPB1 (14/05 popr.), 92/05-ZJC-B, 93/05-ZVMS, 111/05 Odl.US: U-I-150-04-19, 120/06 Odl.US: U-I-286/04-4.

KAZALO PRILOG

Priloga A: Makrolokacija nasipa

Priloga B: Mikrolokacija nasipa

Priloga C: Območje opazovanja

Priloga D: Načrt zakoličbenih točk

Priloga E: Projekt umestitve čistilne naprave

Priloga F: Dinamika premikov posedalnih reperjev

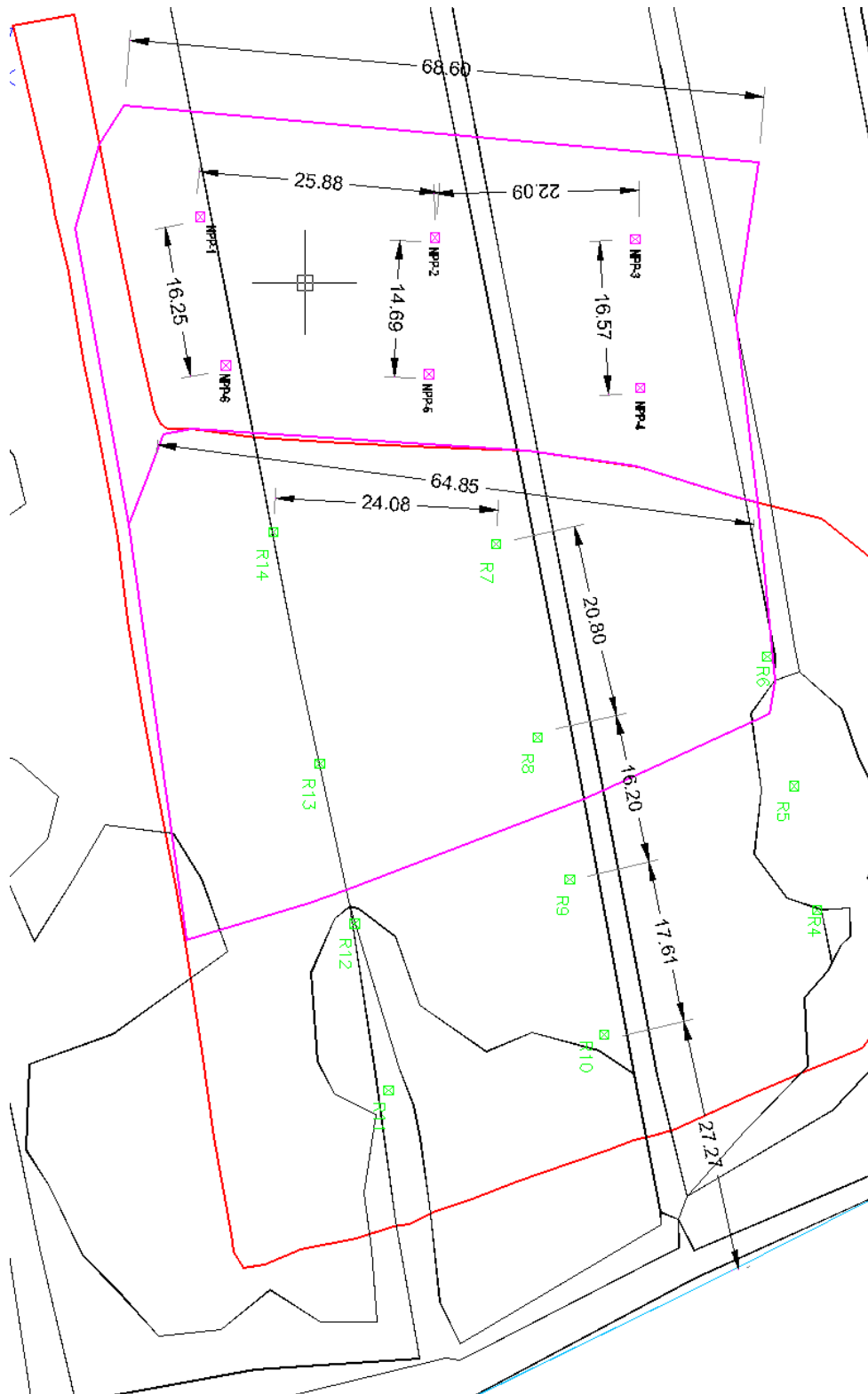
Priloga A: Makrolokacija nasipa



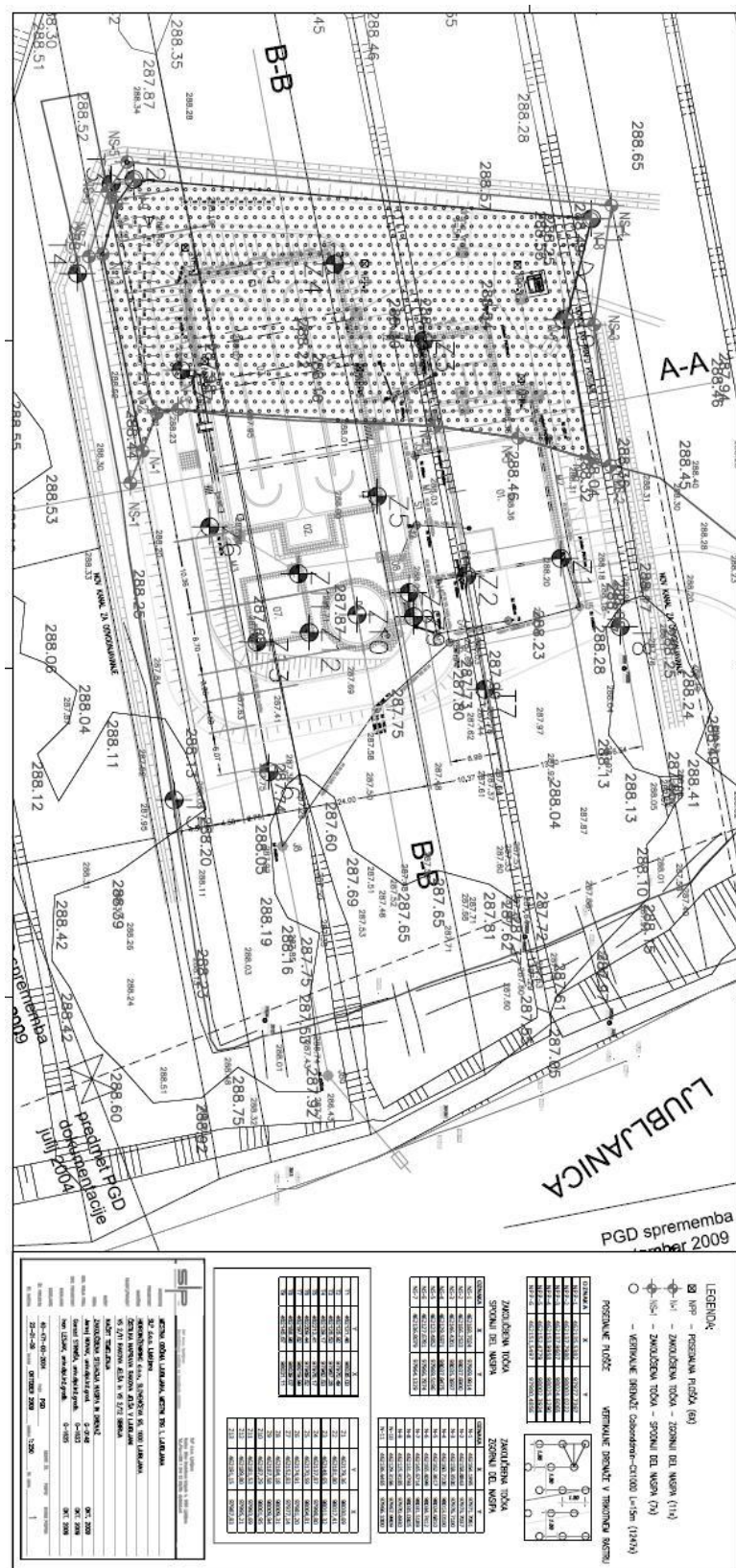
Priloga B: Mikrolokacija nasipa



Priloga C: Območje opazovanja (reperji zelene barve - prvotno območje, reperji vijolične barve - premaknjeno območje zaradi zdrsa zemljine)



Priloga D: Načrt zakoličbenih točk



PGD sprememba
september 2009

LEGENDA:

- ⊗ - presejalna plošča (P)
- ⊕ - zavojska točka - strojni del nosila (11)
- ⊖ - zavojska točka - strojni del nosila (2)
- - vertikalne širine Cadenas-ct1000 1:5m (12)

POSREJNE TOČKE - VERTIKALNE ŠIRINE V TRKONJINI SKUPAJ

ŠIFRA	X	Y	POSREJNA TOČKA
NS1	500.00	500.00	NS1
NS2	500.00	600.00	NS2
NS3	500.00	700.00	NS3
NS4	500.00	800.00	NS4
Z1	500.00	500.00	Z1
Z2	500.00	600.00	Z2
Z3	500.00	700.00	Z3
Z4	500.00	800.00	Z4
Z5	500.00	900.00	Z5
Z6	500.00	1000.00	Z6
Z7	500.00	1100.00	Z7
Z8	500.00	1200.00	Z8
Z9	500.00	1300.00	Z9
Z10	500.00	1400.00	Z10

ZAVOJSKE TOČKE

ŠIFRA	X	Y	ZAVOJSKA TOČKA
1	500.00	500.00	1
2	500.00	600.00	2
3	500.00	700.00	3
4	500.00	800.00	4
5	500.00	900.00	5
6	500.00	1000.00	6
7	500.00	1100.00	7
8	500.00	1200.00	8
9	500.00	1300.00	9
10	500.00	1400.00	10

POSREJNE TOČKE

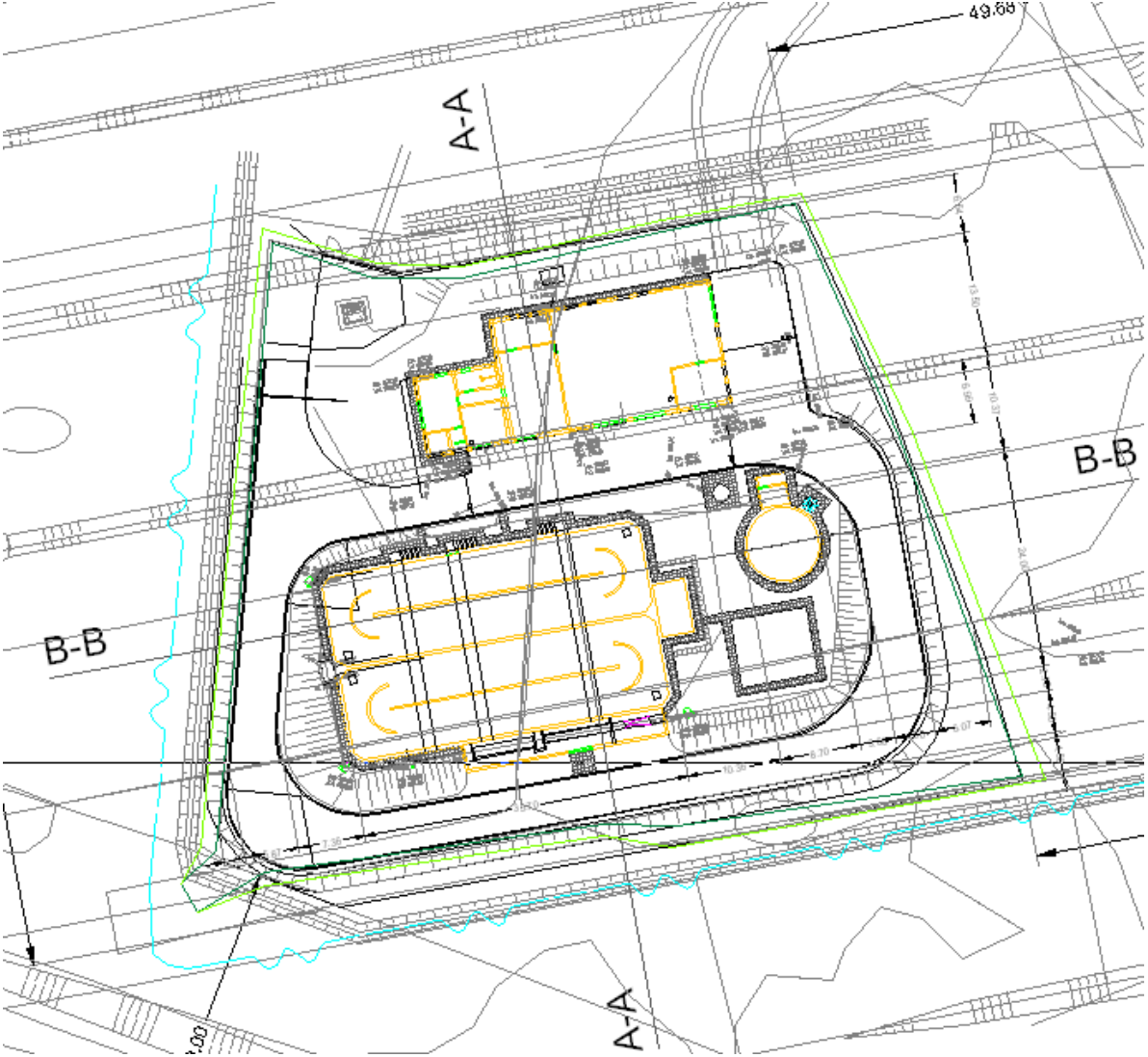
ŠIFRA	X	Y	POSREJNA TOČKA
1	500.00	500.00	1
2	500.00	600.00	2
3	500.00	700.00	3
4	500.00	800.00	4
5	500.00	900.00	5
6	500.00	1000.00	6
7	500.00	1100.00	7
8	500.00	1200.00	8
9	500.00	1300.00	9
10	500.00	1400.00	10

ZAVOJSKE TOČKE

ŠIFRA	X	Y	ZAVOJSKA TOČKA
1	500.00	500.00	1
2	500.00	600.00	2
3	500.00	700.00	3
4	500.00	800.00	4
5	500.00	900.00	5
6	500.00	1000.00	6
7	500.00	1100.00	7
8	500.00	1200.00	8
9	500.00	1300.00	9
10	500.00	1400.00	10

PROJEKTANT: IZOLACIJSKI CENTER IZOLACIJSKI CENTER IZOLACIJSKI CENTER
PROJEKT: PGD sprememba
PROJEKCIJSKI LIST: 1:200
PROJEKCIJSKI LIST: 1:200
PROJEKCIJSKI LIST: 1:200

Priloga E: Projekt umestitve čistilne naprave



Priloga F: Dinamika premikov posedalnih reperjev (17 reperjev merjenih v celotnem obdobju)

