

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Turk, B. 2012. Projekt temeljenja dveh stolpov v sklopu Nordijskega centra Planica 1a. faza. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J.): 34 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Turk, B. 2012. Projekt temeljenja dveh stolpov v sklopu Nordijskega centra Planica 1a. faza. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J.): 34 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVA

Kandidatka:

**BARBARA TURK**

**PROJEKT TEMELJENJA DVEH STOLPOV V SKLOPU  
NORDIJSKEGA CENTRA PLANICA 1A. FAZA**

Diplomska naloga št.: 1/B-GR

**FOUNDATION DESIGN OF TWO TOWERS WITHIN  
PLANICA NORDIC CENTRE PHASE 1 A.**

Graduation thesis No.: 1/B-GR

**Mentor:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Član komisije:**

prof. dr. Darko Beg

Ljubljana, 18. 09. 2012

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana Barbara Turk izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom:

»PROJEKT TEMELJENJA DVEH STOLPOV V SKLOPU NORDIJSKEGA CENTRA  
PLANICA -1a. FAZA«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Barbara Turk

---

(podpis)

Ljubljana, 3.9.2012

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>624.131:685.65(043.2)</b>
<b>Avtorica:</b>	<b>Barbara Turk</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Janko Logar</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Projekt temeljenja dveh stolpov v sklopu Nordijskega centra Planica 1a. faza</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>34 str., 5 sl., 54 pregl., 25 en.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>Nordijski center Planica, plitvo temeljenje, skakalnica, geotehnična sidra, presiometriške preiskave.</b>

### **Izveček:**

V diplomski nalogi Projekt temeljenja objektov v sklopu Nordijskega centra Planica 1a. faza je prikazan postopek izračuna temeljev sodniškega in RTV stolpa, ki sta bila načrtovana v sklopu projekta Nordijskega centra Planica.

Račun temeljev je najprej predstavljen teoretično. V tem delu so prikazane enačbe na katere se nanašajo vsi izračuni. Ti se večkrat ponovijo, saj so obravnavana različna projektna stanja (RTV stolp) oziroma različni oblike temeljenja (sodniški stolp).

Preverjena je nosilnost temeljev in nato sledi še račun posedkov, ki se pojavijo pri dejanskih obremenitvah. Slednji so izračunani na podlagi presiometriških preiskav.

Prikazani so končni rezultati in ocenjena je njihova ustreznost.

## **BIBLIOGRAPGIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 624.131:685.65(043.2)

**Author:** Barbara Turk

**Supervisor:** Assoc. prof. Janko Logar, Ph.D.

**Title:** Foundation design for two towers within Planica Nordic Centre phase 1a.

**Notes:** 34 p., 5 fig., 54 tab., 25 eq.

**Key words:** Nordic Centre Planica, shallow foundation, ski jump hill, geotechnical anchors, pressuremeter tests.

### **Abstract:**

This diploma thesis titled Foundation design for two towers within Planica Nordic Centre-phase 1a presents the process of foundation design for radio-television and referee towers, which were planned within the project Planica Nordic Centre.

At first, the calculation of foundations is presented theoretically. This part also contains formulas related to the calculation. They repeat several times, because different project stages (of the radio-television tower) and different shapes of foundations (of the referee tower) are being considered.

Later the bearing capacity of foundations is verified, followed by the calculation of settlements that occur due to different loads. The calculation is based on pressuremeter test results.

In the end, final results are presented and critically evaluated.

## **ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju izr. prof. dr. Janku Logarju za strokovno in prijazno pomoč pri nastajanju diplomskega dela. Hvala tudi vsem prijateljem, študijskim kolegom in seveda družini, ki so mi pomagali tekom študija.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	1
1.1	Razvoj .....	1
1.2	Projekt Nordijskega centra Planica .....	1
<b>2</b>	<b>PREDSTAVITEV OBJEKTOV IN PODATKI</b> .....	3
2.1	RTV stolp [8] .....	3
2.1.1	Splošni opis .....	3
2.1.2	Obremenitve .....	4
2.2	Sodniški stolp [9] .....	5
2.2.1	Splošni opis .....	5
2.2.2	Obremenitve .....	5
2.3	Podatki .....	6
2.3.1	Geološke razmere .....	6
2.3.2	Parametri tal .....	6
<b>3</b>	<b>POSTOPEK RAČUNA NOSILNOSTI IN POSEDKOV</b> .....	7
3.1	Račun nosilnosti temeljnih tal .....	7
3.2	Račun posedkov .....	8
<b>4</b>	<b>RTV STOLP</b> .....	11
4.1	Stalno in začasno projektno stanje .....	11
4.1.1	Nosilnost temeljnih tal .....	11
4.1.2	Posedki .....	12
4.2	Potresno projektno stanje .....	14
4.2.1	Nosilnost temeljnih tal .....	15
4.2.2	Posedki .....	16
<b>5</b>	<b>SODNIŠKI STOLP</b> .....	18
5.1	Račun temeljev brez sider .....	18
5.1.1	Nosilnost temeljnih tal .....	18
5.2	Račun temeljev s sidri .....	21
5.2.1	Nosilnost temeljnih tal .....	21
5.2.2	Posedki .....	23
5.3	Račun temelja s povečnimi dimenzijami .....	26
5.3.1	Nosilnost temeljnih tal .....	26
5.3.2	Posedki .....	29
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	32
	<b>VIRI</b> .....	33



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Rezultati presiometerskih preiskav. ....	8
Preglednica 2: Učinkoviti mejni tlaki . ....	8
Preglednica 3: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah za stalno in začasno projektno stanje. ....	11
Preglednica 4: Karakteristike sodelujočega dela temelja.....	12
Preglednica 5: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji.....	12
Preglednica 6: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal. ....	12
Preglednica 7: Vplivno območje in povprečni presiometerski moduli za račun posedka temelja.....	12
Preglednica 8: Izračunane količine, potrebne za nadaljni izračun posedkov.....	13
Preglednica 9: Posedek in modul reakcije tal. ....	13
Preglednica 10: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja. ....	13
Preglednica 11: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah za potresno projektno stanje.....	15
Preglednica 12: Karakteristike sodelujočega dela temelja. ....	15
Preglednica 13: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji. ....	16
Preglednica 14: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal.....	16
Preglednica 15: Vplivno območje in povprečni presiometerski moduli za račun posedka temelja.....	16
Preglednica 16: Izračunane količine, potrebne za nadaljni izračun posedkov. ....	17
Preglednica 17: Posedek in modul reakcije tal.....	17
Preglednica 18: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja. ....	17
Preglednica 19: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah, temelj pod vzhodno steno sodniškega stolpa brez sider. ....	18
Preglednica 20: Karakteristike sodelujočega dela temelja vzhodne stene sodniškega stolpa brez sider. ....	19
Preglednica 21: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, temelj vzhodne stene sodniškega stolpa brez sider. ....	19
Preglednica 22: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod vzhodno steno sodniškega stolpa, brez sider. ....	19
Preglednica 23: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah, temelj pod zahodno steno sodniškega stolpa brez sider. ....	20
Preglednica 24: Karakteristike sodelujočega dela temelja zahodne stene sodniškega stolpa brez sider. ....	20
Preglednica 25: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, temelj zahodne stene sodniškega stolpa brez sider. ....	20
Preglednica 26: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod zahodno steno sodniškega stolpa, brez sider. ....	21
Preglednica 27: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah, temelj pod vzhodno steno sodniškega stolpa, s sidri. ....	21
Preglednica 28: Geometrijske karakteristike sodelujočega dela temelja vzhodne stene sodniškega stolpa, s sidri. ....	22
Preglednica 29: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, temelj vzhodne stene sodniškega stolpa, s sidri. ....	22

Preglednica 30: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod vzhodno steno sodniškega stolpa, s sidri. ....	22
Preglednica 31: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah, temelj pod zahodno steno sodniškega stolpa, s sidri. ....	22
Preglednica 32: Geometrijske karakteristike sodelujočega dela temelja zahodne stene sodniškega stolpa, s sidri. ....	23
Preglednica 33: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, temelj zahodne stene sodniškega stolpa, s sidri. ....	23
Preglednica 34: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod zahodno steno sodniškega stolpa, s sidri. ....	23
Preglednica 35: Vplivno območje in povprečni presiometerski moduli za račun posedka temelja s sidri. ....	23
Preglednica 36: Izračunane količine, potrebne za nadaljni izračun posedkov, sodniški stolp s sidri. ....	24
Preglednica 37: Posedek in modul reakcije tal, vzhodna stena sodniškega stolpa s sidri. ....	25
Preglednica 38: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja vzhodne stene sodniškega stolpa s sidri. ....	25
Preglednica 39: Posedek in modul reakcije tal, zahodna stena sodniškega stolpa. ....	25
Preglednica 40: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja vzhodne stene sodniškega stolpa s sidri. ....	25
Preglednica 41: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah, povečan temelj pod vzhodno steno sodniškega stolpa. ....	26
Preglednica 42: Geometrijske karakteristike sodelujočega dela večjega temelja vzhodne stene sodniškega stolpa. ....	27
Preglednica 43: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, povečan temelj vzhodne stene sodniškega stolpa. ....	27
Preglednica 44: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod vzhodno steno sodniškega stolpa s povečanimi dimenzijami temelja. ....	27
Preglednica 45: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah za povečan temelj pod zahodno steno sodniškega stolpa. ....	27
Preglednica 46: Geometrijske karakteristike sodelujočega dela večjega temelja zahodne stene sodniškega stolpa. ....	28
Preglednica 47: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, povečan temelj zahodne stene sodniškega stolpa. ....	28
Preglednica 48: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod zahodno steno sodniškega stolpa s povečanimi dimenzijami temelja. ....	28
Preglednica 49: Vplivno območje in povprečni presiometerski moduli za račun posedka povečanega temelja sodniškega stolpa. ....	29
Preglednica 50: Izračunane količine, potrebne za nadaljni izračun posedkov, sodniški stolp s sidri. ....	29
Preglednica 51: Posedek in modul reakcije tal, povečan temelj vzhodne stene sodniškega stolpa. ....	30
Preglednica 52: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja vzhodne stene sodniškega stolpa s sidri. ....	30
Preglednica 53: Posedek in modul reakcije tal, povečan temelj vzhodne stene sodniškega stolpa. ....	30

Preglednica 54: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja vzhodne stene sodniškega stolpa s sidri. ....	31
--	----

## KAZALO SLIK

<i>Slika 1: Situacija načrtovanih novih in obnovljenih skakalnic in stolpov v Planici 2011-2013 (Vir: Bebar, Logar; 2012).....</i>	<i>2</i>
<i>Slika 2: Končni izgled načrtovanih RTV in sodniškega stolpa (Vir: Nordijski center planica,2012; [7]) .....</i>	<i>2</i>
<i>Slika 3: Model RTV stolpa v programu SAP2000 (Kilar, Logar, Blenkuš, 2010. Načrt gradbenih konstrukcij-RTV stolp; str. 16 ) .....</i>	<i>3</i>
<i>Slika 4: Model sodniškega stolpa v programu SAP200 (Kilar, Logar, Blenkuš,2010,Načrt gradbenih konstrukcij-sodniški stolp).....</i>	<i>5</i>
<i>Slika 5: Skica temelja RTV stolpa z označenimi izračunanimi kontaktnimi tlaki .....</i>	<i>14</i>

## 1 UVOD

### 1.1 Zgodovina in razvoj Planice

Gradnja prve skakalnice v Planici se je začela leta 1932 pod vodstvom Ivana Rožmana in Stanka Bloudka. Prva skakalnica v Sloveniji je sicer stala v Bohinju, vendar se je pojavila želja po skakalnici, ki bi ustrezala določilom mednarodne zveze FIS (International Skiing Federation) za večja, mednarodna tekmovanja [1]. Za to je bil potreben ustrezen teren, geografska lega ipd. V Planici oziroma dolini pod Poncami so zaradi najugodnejših pogojev zgradili 70-metrsko skakalnico in že leta 1934 se je tam zgodilo prvo državno prvenstvo, ki je prineslo prvi rekordni skok okoli 60 m. Skrb za skakalnico je prevzel Stanko Bloudek in tako je skakalnica dobila znano ime Bloudkova velikanka. Še naprej so se vrstili rekordni skoki, vse do 120 m leta 1947. Za tem je Bloudkova velikanka začela zaostajati za ostalimi skakalnicami (Obersdorf, Kulm) saj kljub trudu teren ni dopuščal večjih posegov prav tako pa ni bilo dovolj sredstev za ustrezno vzdrževanje. Kljub temu so skakalnico povečali do končne velikosti 130 m, na kateri je bil postavljen novi, zadnji rekord stare Bloudkove velikanke 147,5 m<sup>1</sup> [3]. Pojavila se je ideja o novi, večji skakalnici, da bi lahko Slovenija zopet konkurirala ostalim državam in si povrnila sloves. To idejo sta kasneje uresničila brata Gorišek, ki sta sprojektirala (do leta 2011) največjo skakalnico na svetu. Bloudkova velikanka je tako ostala zapuščena in je propadala vse do leta 2001, ko se je zaradi teže snega dokončno porušila [1].

Zaradi nacionalne tehniške in športne dediščine so se investitorji odločili, da se v sklopu gradnje novega Nordijskega centra v Planici na isti lokaciji zgradi povsem nova skakalnica in se jo poimenuje po Stanku Bloudku [3].

### 1.2 Projekt Nordijskega centra Planica

Julija leta 2009 sta Ministrstvo za šolstvo in šport in Zbornica za arhitekturo in prostor Slovenije razpisala javni, projektni, odprti, anonimni, enostopenjski arhitekturni in krajinsko arhitekturni natečaj za izbiro strokovno najprimernejše rešitve celovite zasnove ureditve za Nordijski center Planica. Izmed 10 natečajnih predlogov je bil v skladu z razpisanimi pogoji izbran projekt podjetja A.BIRO-AKKA, avtorji arhitekture: Blaž Babnik, Matej Blenkuš, Miloš Florjančič in Klemen Kobal [4]. Projekt je bil razdeljen na dve neodvisni fazi. Prva faza zajema obnovo in opremo skakalnic in spremljevalnih objektov, druga faza pa izgradnjo tekaškega stadiona in spremljevalnega objekta za tekaške proge [5]. Situacija novih in obnovljenih skakalnic in stolpov je prikazana na Sliki 1. V projekt Nordijskega centra Planica spada tudi izgradnja sistema za umetno zasneževanje, žičnice, atletsko – nogometnega stadiona, kolesarske in sprehajalne poti in park kulturne dediščine ter informacijski prostor z gostinskim lokalom. Situacija Nordijskega centra je prikazana v Prilogi 1. Predmet mojega diplomskega dela je 1a faza, kamor sodita dve skakalnici HS139, ki bo stala na mestu stare Bloudkove velikanke in HS104, manjša skakalnica za trening s spremljevalnimi objekti. Manjša skakalnica bo ležala južno od velike skakalnice HS139 imeli pa bosta skupen iztek. Poleg tega pa bosta ustrezno opremljeni tudi za izvajanje skokov v poletnem času. V 1a fazo spadajo še gradnja RTV stolpa in sodniškega stolpa, obnova nemškega stolpa ter gradnja ogrevalnega objekta, ki je delo druge projektantske skupine STVAR d.o.o., avtorji arhitekture: Marko Smrekar, Marta Vahtar, Aleš Vodopivec, Marko Smrekar, Jan Trošt in Nejc Trošt [4].

Predmet moje diplomske naloge je projekt temeljenja omenjenih objektov. V svojem delu sem se osredotočila na račun temeljev in posedkov RTV stolpa ter sodniškega stolpa, ki je podrobneje opisan v poglavjih 4 in 5.

---

<sup>1</sup> Na portalu Wikipedija [2] je omenjen najdaljši skok 147 m.



Slika 1: Situacija načrtovanih novih in obnovljenih skakalnic in stolpov v Planici 2011-2013 (Vir: Bebar, Logar; 2012)



Slika 2: Končni izgled načrtovanih RTV in sodniškega stolpa (Vir: Nordijski center Planica, 2012; [7])

## 2 PREDSTAVITEV OBJEKTOV IN PODATKI

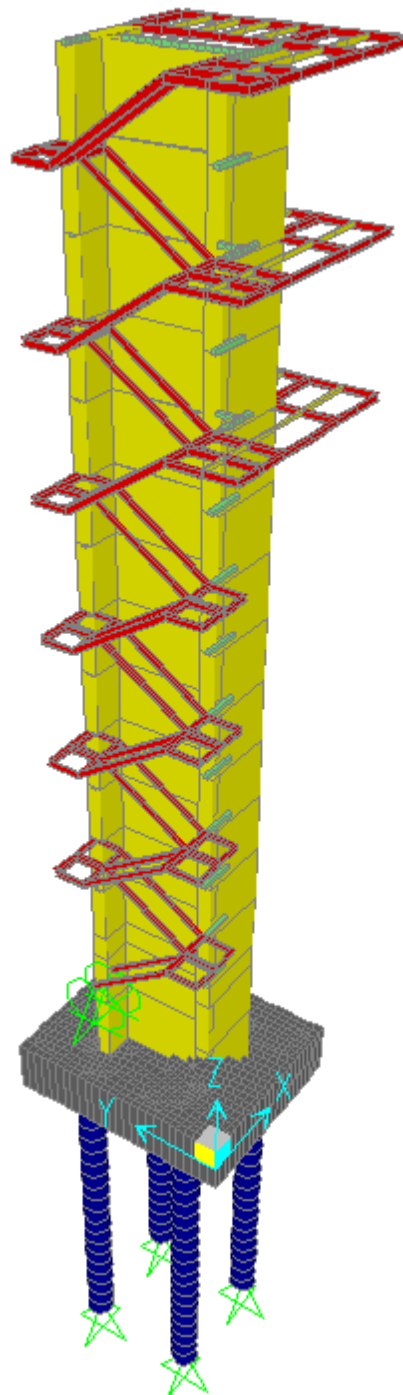
### 2.1 RTV stolp [8]

#### 2.1.1 Splošni opis

Vsi podatki opisani v tem sklopu so povzeti iz [8]. RTV stolp je spremljevalni objekt za skakalnici HS 139 in HS 104. Stolp je statično določena armiranobetonska konstrukcija višine približno 24,5 m od kote vpetja v temeljno blazino. Glavno nosilno konstrukcijo predstavlja armiranobetonska stena H prereza dimenzij  $h/b/t_w/t_f = 362/200/30/40$  cm, ki je vpeta v temeljno blazino. Nanjo je obešena jeklena konstrukcija stopnišča in konstrukcija zgornjih treh ploščadi. Tlorisne dimenzije temeljne blazine so  $5,15 * 6,40$  m. Njena debelina znaša  $D = 150$  cm. Za blazino je bilo predvideno podprtje s 4 AB uvrtnimi piloti premera 80 cm do skalnate podlage.

Glavno vertikalno nosilnost zagotavlja AB stena H prereza preko katere se prenaša obtežba iz stopnišča in zgornjih treh ploščadi na temeljno blazino in nato na 4 pilote, ki segajo do skalnate podlage. Močna temeljna blazina, kljub nekoliko ekscentrični vertikalni obtežbi, enakomerno prenese obtežbo na vse 4 pilote in nato v temeljna tla. Račun skupnega mejnega odpora pilota je pokazal, da znaša projektna nosilnost pilota (skladno z Eurokodom 7-1) cca. 6,0 MN, projektna obremenitev pilota pa nikjer ne presega 3,0 MN.

Računalniški model celotne konstrukcije je bil pripravljen v programu SAP2000 . Na desni sliki je prikazan model konstrukcije RTV stolpa (Slika 3).



Slika 3: Model RTV stolpa v programu SAP2000  
(Kilar, Logar, Blenkuš, 2010. Načrt gradbenih konstrukcij-RTV stolp; str. 16 )

### 2.1.2 Obremenitve

Spodnji podatki so pridobljeni iz projektne dokumentacije [8]. Pri računu AB stene so bile upoštevane ovojnice obtežnih kombinacij za stalno in začasno projektno stanje in za potresno projektno stanje. V svoji nalogi sem najprej računala temelje le za stalno in začasno projektno stanje s spodnjimi maksimalnimi projektnimi obremenitvami:

- $M_{xd} = 3439$  kNm; projektni moment okoli osi x
- $M_{yd} = 3817$  kNm; projektni moment okoli osi y
- $V_{xd} = 329$  kN; horizontalna sila v smeri x
- $V_{yd} = 191$  kN; horizontalna sila v smeri y
- $N_d = 3601$  kN; vertikalna projektna obremenitev

V primeru upoštevanje potresnega projektnega stanja pa so vrednosti maksimalnih obremenitev precej višje:

- $M_{xd} = 11963$  kNm; projektni moment okoli osi x
- $M_{yd} = 5050$  kNm; projektni moment okoli osi y
- $V_{xd} = 578$  kN; horizontalna sila v smeri x
- $V_{yd} = 1045$  kN; horizontalna sila v smeri y
- $N_d = 3143$  kN; vertikalna projektna obremenitev



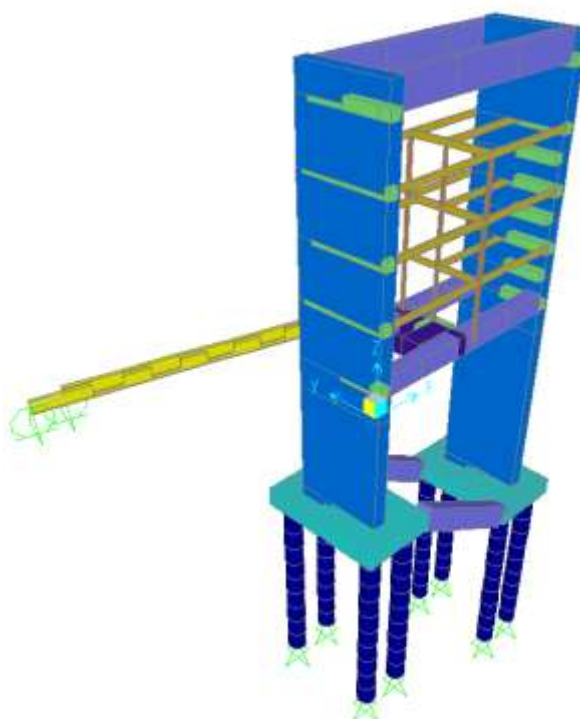
## 2.2 Sodniški stolp [9]

### 2.2.1 Splošni opis

Sodniški stolp je spremljevalni objekt za skakalnici HS 139 in HS 104. Stolp je armiranobetonska konstrukcija višine 24,50 m. Nosilno AB konstrukcijo sestavljata dve steni debeline 70 cm, ki sta na nivoju prve plošče in na vrhu povezani s po dvema AB gredama. Na nivoju pritličja se na objekt naslanja jekleni mostovž, ki je členkasto vpet in pomično podprt na tla. Steni sta togo vpeti v dve temeljni blazini (ena pod vsako steno) in tako preko togega odseka prenaša obremenitve v temeljno ploščo. Temeljni plošči sta enakih dimenzij in sicer 4,00 \* 6,75 m debeline 1 m. Za obe temeljni plošči je bilo, prav tako kot pri RTV stolpu, predvideno globoko temeljenje s po 4 uvrtnimi piloti premera  $\Phi = 100$  cm do skalnate podlage. Tekom izvajanja del so se projektanti, zaradi lažjega izvajanja, odločili da nadomestijo pilote z vrvnimi geotehničnimi sidri. Nosilnost sider je 600 kN, njihova dolžina je 14 m in zagotavljajo stabilnost stolpa.

Račun konstrukcije je bil narejen s pomočjo programa SAP2000. Temeljna plošča je bila modelirana kot kontinuirna plošča, podprta s 4 piloti, okroglimi stebri premera  $\Phi = 100$  cm in dolžine 10m. Peta vsakega pilota je podprta z nepomično vrtljivo podporo (na globini 10m se pojavi že skala). Piloti so bočno podprti po vsej svoji dolžini z linijskimi vzmetmi s togostjo izračunano iz modula reakcije tal za pilote  $k = 275000 \text{ kN/m}^3$  in  $E_m = 75000 \text{ kPa}$ . Na vrhu je glava pilota togo vpeti v temeljno blazino.<sup>2</sup>

Na Sliki 3 je prikazan model konstrukcije [9] na osnovi katere sem dobila merodajne obremenitve za nadaljnji izračun temeljev.



Slika 4: Model sodniškega stolpa v programu SAP2000 (Kilar, Logar, Blenkuš, 2010, Načrt gradbenih konstrukcij-sodniški stolp)

### 2.2.2 Obremenitve

V poročilu Projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja [9] so podane samo ovojnice stalnega in začasnega projektne stanja ter potresnega stanja skupaj. Vrednosti maksimalnih obremenitev sten ob vpetju so:

- $N_{Ed} = 5749 \text{ kN}$ , maksimalna vertikalna projektna obremenitev
- $M_{Ed} = 11994 \text{ kNm}$ ; maksimalna momentna obremenitev
- $V_{Ed} = 1143 \text{ kN}$ ; maksimalna horizontalna projektna obremenitev

<sup>2</sup> Drugi elementi konstrukcije zaradi (ne)relevantnosti v tem delu niso navedeni.

## 2.3 Podatki

### 2.3.1 Geološke razmere

Podjetje Geologija d.o.o. Idrija je izdelalo geološko geomehansko poročilo za projekt Nordijski center Planica 1a faza št. 2266-153/2010 [10] in zajema območje stare Bloudkove skakalnice in sicer skakalnice HS 139, skakalnice HS 104, sodniškega stolpa in ostalih spremljajočih objektov, to so stopnišče, ogrevalni prostor ipd. Dokumentacija vsebuje podatke, ki so predstavljeni spodaj.

Izvedene so bile 4 geomehanske vrtine, ki jih je izvedlo podjetje Corus inženirji d.o.o. Njihova lokacija je bila določena na podlagi predhodnega plitvega sondiranja in zasnove objektov in sicer:

- vrtina Vp-1, nad zaletiščem, globine 7,5 m
- vrtina Vp-2, pod odskočno mizo, globine 12 m
- vrtina Vp-3, na hrbtnišču, globine 15 m
- vrtina Vp-4, na lokaciji predvidenega novega sodniškega stolpa, globine 12,5 m

V vseh vrtinah je bil najden morenski material - zbit, gost, nesortiran, pretežno dolomitni grušč in pesek, ki je lokalno sprijet v dolomitno brečo. Le v vrtini Vp-4 je bila dosežena dolomitna skalna podlaga na globini 10 m. V Prilogi A (pridobljeno iz [10]) so poleg situacije NCP vidne tudi lokacije vrtin.

Kamninsko podlago terena gradi dolomit zgornjetriasne starosti, ki je prekrit z morenskim materialom. Ta je sestavljen iz apnenčevih in dolomitnih gruščev s peskom. Ta sloj je ocenjen kot srednje do dobro vodoprepusten. Možni so tudi lokalni vložki melja, kjer se pojavlja zastajanje podtalnice. Sicer na obravnavanem območju ni bilo najdenih podzemnih voda. V vrtini VP-4 na stiku med moreno in dolomitno skalo (to je cca 10 m pod koto terena) so naleteli na podtalnico, zato je ob velikem deževju možen dvig gladine podtalnice.

Teren na območju stare Bloudkove skakalnice ima profil stabilne zemljine.

### 2.3.2 Parametri tal

Za določitev strižnega kota  $\varphi$  in modula stisljivosti  $Mv$  so bili v vrtinah izvedeni SPT testi (12) [10]. Najnižje izvedene vrednosti so znašale  $\varphi = 41,5^\circ$  in  $Mv = 50$  MPa. V vrtinah VP-3 in VP-4 so bile izvedene presiometerske raziskave. Vrednosti presiometerskega modula so se gibale med 75 MPa in 900MPa, mejni tlak  $p_L$  pa med 5 MPa in 7MPa.

Vrhnji del morenskega materiala v debelini 1 do 2 m je rahlejši in prežet z infiltriranim humusom oziroma meljem. Skalna podlaga je bila najdena samo v vrtini VP-4, na lokaciji sodniškega stolpa, na globini 10 m. Glede na te podatke, se pri računanju temeljenja objektov sodniškega in RTV stolpa upoštevajo naslednje geomehanske karakteristike morenskega materiala:

- spec. teža  $\gamma = 20$  kN/m<sup>3</sup>
- kohezija  $c = 4$  kN/m<sup>2</sup>
- strižni kot  $\varphi = 36^\circ$

»Za temeljenje stolpov je bilo na osnovi podatkov iz vrtine predlagano globoko temeljenje na pilotih vpetih 2,5\*D v dolomitno hribino.« (Bebar, M., Logar, J. 2012, str. 291, [3])

### 3 POSTOPEK RAČUNA NOSILNOSTI IN POSEDKOV

#### 3.1 Račun nosilnosti temeljnih tal

Račun je narejen s pomočjo programa Excel. Oblikovala sem vzorec, ki sem ga uporabljala vseskozi za izračun obeh stolpov. Tabela s podatki vsebuje vse podatke o zemljini, temelju in obremenitvah, ki jih pri računu potrebujem. To so specifične teže  $\gamma$ , kohezija  $c$ , strižni kot  $\varphi$ , dimenzije temeljev  $B$  in  $L$  in velikost vertikalnih, horizontalnih ter momentnih obremenitev. Po metodi iz Evrokoda 7; Pristop 2 (upoštevanje varnostni faktorjev na koncu računa) [11], sem izračunala nosilnost temeljnih tal.

Pred računom nosilnosti sem si pripravila naslednje količine izračunane po enačbah:

- Ekscentričnost :
  - (1)  $e = M / V$  (moment in osna sila izbrana ustrezno glede na obravnavano ravnino)
  - (2)  $B' = B - 2 \cdot e_x$
  - (3)  $L' = L - 2 \cdot e_y$

Pri tem sem potrebovala enačbe za:

- faktorje nosilnosti :
  - (4)  $N_q = e^{\pi \cdot \tan \varphi} \cdot \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$
  - (5)  $N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi$
  - (6)  $N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi$

- korekcijske faktorje zaradi oblike:

- (7)  $s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'}\right) \cdot \sin \varphi$
- (8)  $s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$
- (9)  $s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'}$

- korekcijske faktorje zaradi naklona sile

- (10)  $i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A' \cdot c \cdot \cot \varphi}\right)^m$
- (11)  $i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \varphi}$
- (12)  $i_\gamma = \sqrt[m]{i_q^{m+1}}$

Temelj ni v naklonu, zato korekcijskih faktorjev zaradi naklona temeljev nisem računala.

Po enačbi sem izračunala nosilnost temeljev:

$$(13) \quad \frac{R}{A'} = c \cdot N_c \cdot i_c \cdot s_c + q \cdot N_q \cdot i_q \cdot s_q + \gamma \cdot \frac{B'}{2} \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot s_\gamma$$

Končni rezultat  $R$  sem reducirala z varnostnim faktorjem  $\gamma_{R,V} = 1,4$  [11].

### 3.2 Račun posedkov

Posedke sem računala iz karakteristik zemljin dobljenih s presiometerskimi preiskavami. Kot že omenjeno so bile raziskave narejene z Menardovim presiometrom (PMT) v dveh vrtinah. S preiskavami so bili dobljeni naslednji rezultati:

Preglednica 1: Rezultati presiometerskih preiskav.

z(m)	$p_L$ (kPa)	$E_m$ (kPa)	$E_r$ (kPa)
5,5	5000	80000	320000
7,8	7000	900000	
10,9	7000	700000	
5,4	5000	75000	300000
7,2	6000	140000	500000

Zaradi težkih razmer na terenu, nekoliko slabše opreme izvajalca [12] in napak, ki nastanejo pri odvzemu vzorcev, rezultati niso zanesljivi. Pri računu sem upoštevala rezultate (mejni tlak  $p_L$  in elastični ali strižni modul; obremenilni in razbremenilni), ki so v tabeli obarvani.

Po enačbi

$$(14) \quad p_{Le}^* = \sqrt[n]{p_{L1}^* \cdot p_{L2}^* \cdot \dots \cdot p_{Ln}^*}$$

sem izračunala ekvivalenten učinkovit mejni tlak.

Preglednica 2: Učinkoviti mejni tlaki .

z(m)	$p_{oh}$ (kPa)	$p_{l}^*$ (kPa)
5,5	45,3	4950
7,8	64,3	6940
10,9	95,2	6910
5,4	44,5	4960
7,2	59,3	5940

Nosilnost plitvih temeljev sem dobila s pomočjo polempirične metode in rezultatov PMT preizkusa po enačbi:

$$(15) \quad q_L [\text{kN/m}^2] = k \cdot p_{Le}^* + q_0 [\text{kN/m}^2]; \text{ kjer je}$$

$q_0$  totalna začetna vertikalna napetost na koti temeljenja  $D_e$ ;

$$(16) \quad q_0 = \gamma z \cdot D_e$$

$k$  je koeficient nosilnosti, odvisen od kategorije zemljine in mejnega tlaka. Ker gre v tem primeru za gramoz in je mejni tlak  $p_L > 2,5$  Mpa, velja naslednja formula:

$$(17) \quad k = 1 + 0,8 \cdot \left(0,6 + \frac{0,4B}{L}\right) \cdot D_e/B ; \text{ kjer je}$$

$B$ ...širina temelja

$L$ ...dolžina temelja

$D_e$ ...globina temeljenja

Vendar ta enačba zadostuje samo, kadar imamo kvadratne ali okrogle temelje. Pri pravokotnih se upošteva še redukcijski faktor:

$$(18) \quad k_{\text{pravokotnik}} = k/1,2 + B/L \cdot (k-k/1,2)$$

Za izračun posedkov potrebujemo še presiometriške module po slojih zemljine. Zemljino pod nivojem temeljev sem razdelila na 16 plasti z debelino  $B/2$  (vplivno območje za račun posedka temelja). Za vsako plast sem izračunala povprečni presiometerski modul  $E_i$  (povprečje vseh meritev v določeni plasti zemlje).

$E_d$  je presiometerski modul distorzijskega tenzorja na območju globine  $\pm 1,5 B$  in je količina, ki jo potrebujemo za izračun posedkov temelja, pri obtežbi, ki je enaka nosilnosti. Izračuna se po enačbi:

$$(19) \quad \frac{1}{E_d} = \frac{1}{4} \left( \frac{1}{E_1} + \frac{1}{0,85 \cdot E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}} + \frac{1}{2,5 \cdot E_{6/7/8}} + \frac{1}{2,5 \cdot E_{9/16}} \right)$$

Enačba za posedek temelja:

$$(20) \quad s = \frac{2}{9 \cdot E_d} \cdot q_{\text{neto}} \cdot B_0 \cdot \left( \lambda_d \cdot \frac{B}{B_0} \right)^\alpha \frac{\alpha}{9 \cdot E_c} \cdot q_{\text{neto}} \cdot \lambda_c \cdot B; \text{ kjer je}$$

$q_{\text{neto}}$  je dejanska obtežba temelja, ki mora ustrezati pogoju nosilnosti tal.

Posedke korigiramo, če je globina temeljev manjša kot širina. Izračunala sem jih po formuli, ki sledi iz grafa faktorja povečanja posedkov iz literature [12].

Nas zanimajo pomiki pri dejanski obtežbi temeljev. To je podana obremenitev porazdeljena na površino temelja. Po enaki formuli kot prej, sem izračunala posedek. S pomočjo dobljenih posedkov izračunamo modul reakcije tal  $k_r$  pri podani obtežbi.

$$(21) \quad k_r = q_{\text{neto}}(\text{podana obt.})/s^*$$

Ker obtežba ponavadi deluje ekscentrično, se po temelju pojavijo različne napetosti, odvisno od tega kje in kako deluje obtežba. Posledično so tudi pomiki po temelju neenakomerni. Zato izračunamo kontaktne tlake. To je »odziv« temeljnih tal na delujoče obremenitve. Glede na ekscentričnost (velika in mala) kontaktne tlake izračunamo na dva načina.

Mala ekscentričnost pomeni, da rezultanta vertikalnih sil  $R$  pade v jedro prereza temelja. Jedro prereza temelja je osrednji del temelja širine  $B/6$ . V rezultanti vseh sil  $R$  upoštevamo še faktorirano težo zemljine in betona, saj v tem primeru ta obtežba deluje neugodno na razvoj pomikov, jih povečuje [13].

Pri mali ekscentričnosti imamo celotno površino temelja v tlaku, zato se pomiki pojavijo na levem in desnem robu temelja. Kontaktne tlake izračunamo po enačbi:

$$(22) \quad p(x, y) = \frac{M_y}{I_y} \cdot x \pm \frac{M_x}{I_x} \cdot y \pm \frac{V}{A} \geq 0$$

$M$  ... upogibni moment, ki deluje v obravnavani ravnini

$I$  ... vztrajnostni moment

$$I = (B^3 \cdot L) / 12$$

$V$  ... vertikalna obremenitev (v računu označena z rezultanto vseh sil  $R$ ).

A ... površina temelja

Dobimo potek kontaktnih tlakov po širini temelja. Pomiki so linearno odvisni od kontaktnih tlakov, zato potek pomikov sledi obliki diagrama kontaktnih tlakov.

Pri veliki ekscentričnosti pa je tlačeni samo del temelja širine  $B'$ , ki jo izračunamo po formuli:

$$(23) \quad B' = 3 \cdot \left( \frac{B}{2} - e' \right)$$

B...širina temelja

$e'$ ...ekscentričnost

Ker zemljina ne prenaša nategov, predpostavimo, da tam ni pomikov. Pomik temelja nastane samo na tistem robu, ki je tlačeni.

Kontaktne tlake na robu izračunam po enačbi:

$$(24) \quad p_r = 2 \cdot (R / B')$$

Diagram kontaktnih tlakov je trikotne oblike. Pomiki sledijo obliki kontaktnih tlakov.

Pomik sem izračunala po enačbi:

$$(25) \quad u_i = p_i / k_r$$

S tem sem dobila rezultat, ki sem ga potrebovala, za oceno ustreznosti temeljenja objektov, to je nosilnost temeljnih tal in posedke, ki nastanejo pri obremenjevanju tal.

## 4 RTV STOLP

Kot obtežni primeri so bili upoštevani stalna obtežba, koristna obtežba, sneg, veter in potres. Pri dimenzioniranju so bile upoštevane ovojnice kombinacij za mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti.

### 4.1 Stalno in začasno projektno stanje

Spodaj so prikazani podatki pridobljeni iz [8] in nato rezultati, ki sem jih dobila za RTV stolp, pri upoštevanju manjših obremenitev (stalno in začasno projektno stanje). Zanimalo me je kakšni bi bili nosilnost in posedki, če se pri temeljenju ne uporabimo pilotov, kot je predvideno v projektni dokumentaciji [8]. Postopek računa je enak, kot je opisan v poglavju 3.

#### 4.1.1 Nosilnost temeljnih tal

- Podatki:

Preglednica 3: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah za stalno in začasno projektno stanje.

$q$ betona	25	kN/m <sup>3</sup>
strižni kot $\phi$	0,628	
kohezija	4	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
$B$	5,15	m
$L$	6,4	m
debelina temelja	1,5	m
globina temelja $z$	2,3	m
teža temelja in zasipa	53,5	kN/m <sup>2</sup>
faktor za težo	1	
navpična projektna obremenitev	3601	kN
proj. mom $M_{yd}$	3817	kNm
proj. mom $M_{xd}$	3439	kNm
horizontalna obr. $H_x$	329	kN
horizontalna obr. $H_y$	191	kN
površina $h$ stene	2,446	m <sup>2</sup>
površina temelja brez $h$ stene	30,514	m <sup>2</sup>
$qd$	46	kN
skupna projektna obtežba <sup>3</sup>	5325	kN

<sup>3</sup> Pri »skupni projektni obtežbi« je upoštevana še teža temelja in zemljine v debelini 0,8 m, računana s faktorjem 1 (ugoden vpliv na ekscentričnost).

- Sodelujoči (tlačeni) del temelja:

Po enačbah (1) – (3) dobimo naslednje količine:

Preglednica 4: Karakteristike sodelujočega dela temelja.

$e_x$	0,717	$B'$	3,72	$B'/L'$	0,828	$m_b$	1,55
$e_y$	0,955	$L'$	4,49	$A'$	16,7		

- Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, ki jih dobimo z uporabo enačb (4) – (12):

Preglednica 5: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji.

$N_q$	37,8	$s_q$	1,487	$i_q$	0,908
$N_c$	50,6	$s_c$	1,500	$i_c$	0,905
$N_\gamma$	53,4	$s_\gamma$	0,752	$i_\gamma$	0,852

- Nosilnost temeljnih tal dobimo, če v enačbo (13) vstavimo gornje količine:

Preglednica 6: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal.

$R/A'$	3890	kN/m <sup>2</sup>
$R_d$	46400	kN
$V_d$	5330	kN

Izkaže se, da je nosilnost stolpa pri stalni in začasni projektni obremenitvi dovolj velika, da ne potrebujemo dodatnih ojačitev v obliki pilotov.

Če preverimo varnost:  $F=R_d/V_d$ , dobimo varnost približno 8. Smo na varni strani oziroma lahko rečemo, da je temelj predimenzioniran.

#### 4.1.2 Posedki

Vplivno območje pod temeljem, razdeljeno na plasti in izračunani povprečni presiometerski moduli:

Preglednica 7: Vplivno območje in povprečni presiometerski moduli za račun posedka temelja.

od z	do z	$E_i$ (kPa)
2,3	4,875	80000
4,875	7,45	102000
7,45	10,025	140000
10,025	12,6	700000
12,6	15,175	700000
15,175	17,75	700000
17,75	20,325	700000
20,325	22,9	700000
22,9	25,475	700000

se nadaljuje...



Nadaljevanje Preglednice 7

25,475	28,05	700000
28,05	30,625	700000
30,625	33,2	700000
33,2	35,775	700000
35,775	38,35	700000
38,35	40,925	700000
40,925	43,5	700000

Naslednje količine so izračunane po enačbah (15) – (19):

Preglednica 8: Izračunane količine, potrebne za nadaljnji izračun posedkov.

$1/E_d$	7,13E-06
$E_d$	140000
$E_{3/4/5}$	300000
$E_{6/7/8}$	700000
$E_{9/16}$	700000
$E_m/\rho_l^*$	16,0
$\alpha$	0,333
$\lambda_d$	1,22
$\lambda_c$	1,12
$q_L$	7860
$k$	1,33
$k_{prav}$	1,29
$k_0$	0,412

- Modul reakcije tal  $k_r$  izračunan po enačbi (21):

Preglednica 9: Posedek in modul reakcije tal.

$q_{neto}$ (podane obt)	162	kN/m <sup>2</sup>
posedek $s$	0,000769	m
korigirani posedki $s^*$	0,000853	m
<b>modul reakcije tal</b>		
$k_r$	189000	kN/m <sup>3</sup>

Stolp je obremenjen ekscentrično, nanj delujeta momenta  $M_x$  in  $M_y$ . Uporabimo enačbo (22), kjer upoštevamo delovanje momentov v obeh smereh. Vplivi obeh momentov se torej seštevajo. Na Sliki 5 je prikazana skica temelja na katerem so označene izračunane količine.

Preglednica 10: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja.

$R$	5930	kN
$e_x$	0,644	m
$e_y$	0,580	m

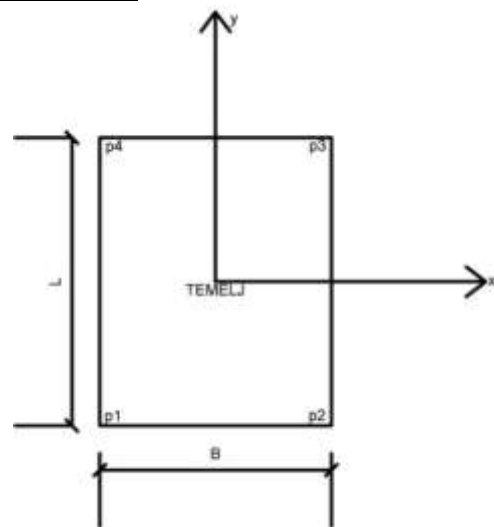
se nadaljuje...

nadaljevanje Preglednice 10

$j$	0,858	$e \leftarrow j \rightarrow$ mala ekscentričnost
$I_y$	72,8	$m^4$
$A$	33,0	$m^2$
$p_1 (-B/2, -L/2)$	-52,9	$kN/m^2$
$p_2 (B/2, -L/2)$	217	$kN/m^2$
$p_3 (B/2, L/2)$	413	$kN/m^2$
$p_4 (-B/2, L/2)$	143	$kN/m^2$
$u_1$	0	m
$u_2$	0,00115	m
$u_3$	0,00218	m
$u_4$	0,000754	m

Kontaktne tlake so izračunane za vse štiri kote temelja. Razporejeni so, kot je prikazano na Sliki 5. Vsakemu pripada še izračunan pomik po enačbi (25).

V kotu 1 se pojavijo negativne napetosti torej nategi. Predpostavimo, da na tem delu pomikov ni.



Slika 5: Skica temelja RTV stolpa z označenimi izračunanimi kontaktnimi tlaki

Pomiki, prikazani v Preglednici 10, imajo minimalne vrednosti. Na podlagi tega in ugodne nosilnosti lahko sklepam, da so pri obremenitvah, predvidenih pri stalnem in začasnem projektnem stanju, temelji ustrezni.

## 4.2 Potresno projektno stanje

V projektu za pridobitev gradbenega dovoljenja je bilo za stolp predvideno globoko temeljenje s 4 uvrtni piloti premera 0,8 m (glej splošni opis objekta). Vendar se zaradi težkih pogojev na terenu niso odločili za pilotiranje. Projektanti so se nato odločili, da bo temeljenje objekta plitvo, z nekoliko povečanimi dimenzijami temelja. Zaradi stabilnosti stolpa pri predvidenih maksimalnih obremenitvah pa so bili temelji sidrani s po 4 vravnimi geotehničnimi sidri dolžine 14 m in nosilnosti 600 kN [3].

Pri računanju posredkov za potresno projektno stanje sem kljub temu, da so pri izvedbi temelja njegove dimenzije nekoliko povečali, zaradi pomanjkanja točnih informacij, upoštevala dimenzije podane v Projektu za pridobitev gradbenega dovoljenja [6]. Ne glede

na to se izkaže, da je nosilnost dovolj velika. Sidra imajo torej velik vpliv na povečanje nosilnosti.

Postopek računa je bil enak opisanemu v Poglavju 3. Spodaj so prikazani rezultati.

#### 4.2.1 Nosilnost temeljnih tal

- Podatki:

Preglednica 11: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah za potresno projektno stanje.

$q$ betona	25	$\text{kN/m}^3$
stižni kot $\phi$	0,628	rad
kohezija	4	$\text{kN/m}^2$
$\gamma$	20	$\text{kN/m}^3$
$B$	5,15	m
$L$	6,4	m
debelina temelja	1,5	m
globina temelja $z$	2,3	m
teža temelja in zasipa	53,5	$\text{kN/m}^2$
faktor za težo	1	
navpična projektna obremenitev $N_{Ed}$	5540	kN
proj. Mom $M_{yd}$	5050	kNm
proj. Mom $M_{xd}$	11960	kNm
horizontalna obr. $H_x$	578	kN
horizontalna obr. $H_y$	1050	kN
površina $h$ stene	2,45	$\text{m}^2$
površina temelja brez $h$ stene	30,5	$\text{m}^2$
$q_d$	46	kN
skupna projektna <sup>4</sup>	7270	kN

- Sodelujoči (tlačeni) del temelja

Po enačbah (1) – (3) dobimo naslednje količine:

Preglednica 12: Karakteristike sodelujočega dela temelja.

$e_x$	0,695	$B'$	3,76	$B'/L'$	1,80	$m_b$	1,36
$e_y$	2,19	$L'$	2,08	$A'$	7,83		

<sup>4</sup> Pri »skupni projektni« obtežbi je upoštevana še teža temelja in zemljine v debelini 0,8 m, računana s faktorjem 1 (ugoden vpliv na ekscentričnost). Vpliv sider 4\*600 kN je prištet v navpični projektni obremenitvi.

- Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, ki jih dobimo z uporabo enačb (4) – (12):

Preglednica 13: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji.

$N_q$	37,8	$s_q$	2,06	$i_q$	0,811
$N_c$	50,6	$s_c$	2,09	$i_c$	0,806
$N_\gamma$	53,4	$s_\gamma$	0,459	$i_\gamma$	0,695

Korekcijski faktorji zaradi oblike so relativno veliki. Na podlagi tega lahko sklepamo, da je oblika temelja ugodna, glede na delovanje obtežbe in povečuje nosilnost temeljnih tal.

- Nosilnost temeljnih tal dobimo, če v enačbo (13) vstavimo gornje količine:

Preglednica 14: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal.

$R/A'$	3880	kN/m <sup>2</sup>
$R_d$	21700	kN
$V_d$	7270	kN

Če preverimo varnost:  $F=R_d/V_d$ , dobimo ugodno vrednost približno 3.

#### 4.2.2 Posedki

- Podatki

Preglednica 15: Vplivno območje in povprečni presiometerski moduli za račun posedka temelja.

od z (m)	do z(m)	$E_i$ (kPa)
2,3	4,875	80000
4,875	7,45	102000
7,45	10,025	140000
10,025	12,6	700000
12,6	15,175	700000
15,175	17,75	700000
17,75	20,325	700000
20,325	22,9	700000
22,9	25,475	700000
25,475	28,05	700000
28,05	30,625	700000
30,625	33,2	700000
33,2	35,775	700000
35,775	38,35	700000
38,35	40,925	700000
40,925	43,5	700000

- Račun posedkov

Naslednje količine so izračunane po enačbah (15) – (19):

Preglednica 16: Izračunane količine, potrebne za nadaljnji izračun posedkov.

$1/E_d$	7,13E-06
$E_d$	140200
$E_{3/4/5}$	300000
$E_{6/7/8}$	700000
$E_{9/16}$	700000
$E_m/\rho_L^*$	16,0
$\alpha$	0,333
$\lambda_d$	1,22
$\lambda_c$	1,12
$q_L$	7860
$k$	1,33
$k_{prav}$	1,29
$k_o$	0,412

- Modul reakcije tal  $k_r$

Preglednica 17: Posedek in modul reakcije tal.

$q_{neto}$ (podane obt)	221	kN/m <sup>2</sup>
posedek $s$	0,00105	m
korigirani posedki $s^*$	0,00117	m
<b>modul reakcije tal</b>		
$k_r$	189200	kN/m <sup>3</sup>

- Kontaktni tlaki in pomiki temelja

Prav tako kot pri stalni in začasni projektni obremenitvi sem izračunala kontaktne tlake po enačbi (22).

Preglednica 18: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja.

$R$	7870	kN
$e_x$	0,642	m
$e_y$	1,52	m
$I_x$	113	m <sup>4</sup>
$I_y$	72,8	m <sup>4</sup>
$A$	33,0	m <sup>2</sup>
$p_1 (-B/2, -L/2)$	-280	kPa
$p_2 (B/2, -L/2)$	77,0	kPa
$p_3 (B/2, L/2)$	758	kPa
$p_4 (-B/2, L/2)$	401	kPa
$u_1$	0	m

se nadaljuje...

nadaljevanje Preglednice 18

$u_2$	0,000407	m
$u_3$	0,00400	m
$u_4$	0,00212	m

Vplivi obeh momentov se seštevajo, kar se kaže v nekoliko večjih pomikih. Tudi v tem primeru gre za malo ekscentričnost, saj se v kotu 1 zopet pojavijo negativne napetosti. Predpostavimo, da na tem mestu pomikov ni, zato je  $u_1$  enak 0. Oznake kontaktnih tlakov in pripadajočih pomikov sovpadajo s tistimi prikazanimi na *Sliki 5*.

Pomiki so minimalni, zato lahko temelje ocenim kot ustrezno dimenzionirane.

## 5 SODNIŠKI STOLP

Kot obtežni primeri so bili upoštevani stalna obtežba, koristna obtežba, sneg, veter in potres. Pri dimenzioniranju so bile upoštevane ovojnice kombinacij za mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti. V projektni dokumentaciji sodniškega stolpa [9] projektne obremenitve niso bile ločene na stalno in začasno ter potresno projektno stanje zato sem se odločila, da namesto primerjave med obema projektnima stanjema, izračun izvedem za plitve temelje brez dodatnega sidranja, za temelje s sidri, kot je bilo dejansko izvedeno in temelje s povečanimi dimenzijami.

### 5.1 Račun temeljev brez sider

Postopek računa je enak opisanemu v Poglavju 3. Vsak račun je ponovljen za temeljno blazino za daljšo (vzhodno) in krajšo (zahodno) steno posebej.

#### 5.1.1 Nosilnost temeljnih tal

- Podatki za **vzhodno** steno

Preglednica 19: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah, temelj pod vzhodno steno sodniškega stolpa brez sider.

$q$ betona	25	kN/m <sup>3</sup>
$qd$ zemljine	20	kN/m <sup>2</sup>
strižni kot $\phi$	0,628	rad
kohezija	4	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
nivo podtalnice		m
$B$	4	m
$L$	6,75	m
debelina temelja	1	m
globina temelja $z$	1	m

se nadaljuje...

nadaljevanje Preglednice 19

teža temelja	25	kN/m <sup>2</sup>
faktor za težo	1	
navpična projektna obremenitev $N_{ed}$	5749	kN
projektni moment $M_{yd}$	11990	kNm
horizontalna obremenitev	1143	kN
površina stene	3,33	m <sup>2</sup>
površina temelja	27	m <sup>2</sup>
navpična skupna projektna obremenitev <sup>5</sup>	6420	kN

- Sodelujoč (tlačen) del temelja:

Po enačbah (1) – (3) dobimo naslednje količine:

Preglednica 20: Karakteristike sodelujočega dela temelja vzhodne stene sodniškega stolpa brez sider.

$e_x$	1,87	$B'$	0,266	$B'/L'$	0,039	$m_b$	1,96
		$L=L'$	6,75	$A'$	1,79		

Problematičen je samo upogibni moment  $M_{yd}$  zato ekscentričnosti v ravnini yz ni.

- Faktorje nosilnosti in korekcijske faktorji:

Za izračun uporabimo enačbe (4) – (12)

Preglednica 21: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, temelj vzhodne stene sodniškega stolpa brez sider.

$N_q$	37,8	$s_q$	1,02	$i_q$	0,681
$N_c$	50,6	$s_c$	1,02	$i_c$	0,673
$N_\gamma$	53,4	$s_\gamma$	0,988	$i_\gamma$	0,560

- Nosilnost temeljnih tal dobimo, če v enačbo (13) vstavimo gornje količine:

Preglednica 22: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod vzhodno steno sodniškega stolpa, brez sider.

$R/A'$	744	kN/m <sup>2</sup>
$R_d$	954	kN
$V_d$	6420	kN

Takoj opazimo, da je nosilnost precej manjša od projektne obremenitve. Če izračunamo varnost  $F = R_d / V_d$  dobimo  $F = 0,15 < 1$ , kar seveda ne ustreza. Glede na to, da je že nosilnost premajhna, nadaljnji izračun posedkov temeljev ni smiseln.

<sup>5</sup> Pri »navpični skupni projektni obremenitvi« je upoštevana še teža temelja, računana s faktorjem 1 (ugoden vpliv na ekscentričnost).

- Podatki za **zahodno** steno

Preglednica 23: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah, temelj pod zahodno steno sodniškega stolpa brez sider.

$q$ betona	25	$\text{kN/m}^3$
$q$ zemljine	20	$\text{kN/m}^2$
strižni kot $\phi$	0,628	rad
kohezija	4	$\text{kN/m}^2$
$\gamma$	20	$\text{kN/m}^3$
nivo podtalnice		m
$B$	4	m
$L$	6,75	m
debelina temelja	1	m
globina temelja $z$	1	m
teža temelja	25	$\text{kN/m}^2$
faktor za težo	1	
navpična projektna obremenitev $N_{Ed}$	5187	kN
projektni moment $M_{y,d}$	7338	kNm
horizontalna obremenitev $H_x$	843	kN
površina stene	3,33	$\text{m}^2$
površina temelja	23,7	$\text{m}^2$
navpična skupna projektna obremenitev <sup>6</sup>	5779	kN

- Sodelujoč (tlačen) del temelja

Po enačbah (1) – (3) dobimo naslednje količine:

Preglednica 24: Karakteristike sodelujočega dela temelja zahodne stene sodniškega stolpa brez sider.

$e_x$	1,270	$B'$	1,460	$B'/L'$	0,216	$m_b$	1,82
		$L=L'$	6,75	$A'$	9,86		

- Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji

Za izračun uporabimo enačbe (4) – (12):

Preglednica 25: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, temelj zahodne stene sodniškega stolpa brez sider.

$N_q$	37,8	$s_q$	1,13	$i_q$	0,752
$N_c$	50,6	$s_c$	1,13	$i_c$	0,746
$N_\gamma$	53,4	$s_\gamma$	0,935	$i_\gamma$	0,644

<sup>6</sup> Pri »navpični skupni projektni obremenitvi« je upoštevana še teža temelja, računana s faktorjem 1 (ugoden vpliv na ekscentričnost).



- Nosilnost temeljnih tal dobimo, če v enačbo (13) vstavimo gornje količine:

Preglednica 26: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod zahodno steno sodniškega stolpa, brez sider.

$R_d$	1280	kN/m <sup>2</sup>
$R_d$	9016	kN
$V_d$	5780	kN

Pri tej steni je nosilnost sicer ustrezna ( $F = R_d / V_d = 1,56$ ) vendar zaradi neustreznega temeljenja pri drugi steni, ni smiselni nadaljnji izračun posedkov temeljev.

## 5.2 Račun temeljev s sidri

Postopek računa je enak opisanemu v Poglavlju 3. Vsak račun je ponovljen za temeljno blazino za daljšo (vzhodno) in krajšo (zahodno) steno posebej.

### 5.2.1 Nosilnost temeljnih tal

- Podatki za temelj pod **vzhodno** steno

Preglednica 27: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah, temelj pod vzhodno steno sodniškega stolpa, s sidri.

$q$ betona	25	kN/m <sup>3</sup>
$q$ zemljine	46	kN/m <sup>2</sup>
strižni kot $\phi$	0,628	
kohezija	4	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
$B$	4	m
$L$	6,75	m
debelina temelja	1	m
globina temelja $z$	1	m
teža temelja	25	kN/m <sup>2</sup>
faktor za težo	1	
navpična projektna obremenitev $N_{ed}$	5749	kN
Projektni moment $M_{yd}$	11994	kNm
horizontalna obremenitev $H_x$	1143,3	kN
površina stene	3,325	m <sup>2</sup>
površina temelja	27	m <sup>2</sup>
navpična skupna obremenitev <sup>7</sup>	8824	kN

<sup>7</sup> Pri »navpični skupni projektni obremenitvi« je upoštevana teža temelja, računana s faktorjem 1 (ugoden vpliv na ekscentričnost) in sidra z nosilnostjo 4\*600 kN.

- Sodelujoč (tlačen) del temelja

Po enačbah (1) – (3) dobimo naslednje količine:

Preglednica 28: Geometrijske karakteristike sodelujočega dela temelja vzhodne stene sodniškega stolpa, s sidri.

$e_x$	1,47	$B'$	1,06	$B'/L'$	0,157	$m_b$	1,87
		$L=L'$	6,75	$A'$	7,13		

- Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji

Za izračun le teh uporabimo enačbe (4) – (12).

Preglednica 29: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, temelj vzhodne stene sodniškega stolpa, s sidri.

$N_q$	37,8	$s_q$	1,09	$i_q$	0,755
$N_c$	50,6	$s_c$	1,09	$i_c$	0,747
$N_\gamma$	53,4	$s_\gamma$	0,953	$i_\gamma$	0,650

- Nosilnost temeljnih tal dobimo, če v enačbo (13) vstavimo gornje količine:

Preglednica 30: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod vzhodno steno sodniškega stolpa, s sidri.

$R/A'$	1950	kN/m <sup>2</sup>
$R_d$	9920	kN
$V_d$	8820	kN

Nosilnost je dovolj velika, temeljenje vzhodne stene je ustrezno.

- Podatki za temelj pod **zahodno** steno

Preglednica 31: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah, temelj pod zahodno steno sodniškega stolpa, s sidri.

$q$ betona	25	kN/m <sup>3</sup>
$q$ zemljine	46	kN/m <sup>2</sup>
strižni kot $\phi$	0,628	rad
kohezija	4	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
$B$	4	m
$L$	6,75	m
debelina temelja	1	m
globina temelja $z$	1	m
teža temelja	25	kN/m <sup>2</sup>
faktor za težo	1	
navpična projektna obremenitev $N_{Ed}$	7587	kN
Projektni moment $M_{y,d}$	7338	kNm
horizontalna obremenitev $H_x$	843	kN
površina stene	3,33	m <sup>2</sup>

se nadaljuje...

nadaljevanje Preglednice 31

površina temelja	23,7	m <sup>2</sup>
navpična skupna obremenitev <sup>8</sup>	10580	kN

- Sodelujoč (tlačen) del temelja

Po enačbah (1) – (3) dobimo naslednje količine:

Preglednica 32: Geometrijske karakteristike sodelujočega dela temelja zahodne stene sodniškega stolpa, s sidri.

<b>e<sub>x</sub></b>	0,967	<b>B'</b>	2,07	<b>B'/L'</b>	0,306	<b>m<sub>b</sub></b>	1,77
		<b>L=L'</b>	6,75	<b>A'</b>	13,9		

- Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji

Za izračun le teh uporabimo enačbe (4) – (12).

Preglednica 33: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, temelj zahodne stene sodniškega stolpa, s sidri.

<b>N<sub>q</sub></b>	37,8	<b>s<sub>q</sub></b>	1,18	<b>i<sub>q</sub></b>	0,814
<b>N<sub>c</sub></b>	50,6	<b>s<sub>c</sub></b>	1,19	<b>i<sub>c</sub></b>	0,809
<b>N<sub>γ</sub></b>	53,4	<b>s<sub>γ</sub></b>	0,908	<b>i<sub>γ</sub></b>	0,724

- Nosilnost temeljnih tal dobimo, če v enačbo (13) vstavimo gornje količine:

Preglednica 34: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod zahodno steno sodniškega stolpa, s sidri.

<b>R/A'</b>	2590	kN/m <sup>2</sup>
<b>R<sub>d</sub></b>	25800	kN
<b>V<sub>d</sub></b>	10600	kN

Nosilnost je dovolj velika, temeljenje zahodne stene je ustrezno.

## 5.2.2 Posedki

- Podatki

Ti podatki so enaki za obe steni, saj se nanašajo le na karakteristike temeljnih tal.

Preglednica 35: Vplivno območje in povprečni presiometerski moduli za račun posedka temelja s sidri.

<b>i</b>	od z [m]	do z [m]	<b>E<sub>i</sub> [kPa]</b>
1	1	3	80000
2	3	5	80000

se nadaljuje...

<sup>8</sup> Pri »navpični skupni projektni obremenitvi« je upoštevana teža temelja, računana s faktorjem 1 (ugoden vpliv na ekscentričnost) in sidra z nosilnostjo 4\*600 kN

nadaljevanje Preglednice 35

3	5	7	80000
4	7	9	140000
5	9	11	700000
6	11	13	700000
7	13	15	700000
8	15	17	700000
9	17	19	700000
10	19	21	700000
11	21	23	700000
12	23	25	700000
13	25	27	700000
14	27	29	700000
15	29	31	700000
16	31	33	700000

- Račun posedkov

Tudi račun posedkov za obtežbo, ki je enaka nosilnosti je za obe steni enak. Naslednje količine so izračunane po enačbah (15) – (19):

Preglednica 36: Izračunane količine, potrebne za nadaljni izračun posedkov, sodniški stolp s sidri.

$1/E_d$	8,84E-06
$E_d$	113100
$E_{3/4/5}$	142400
$E_{6/7/8}$	700000
$E_{9/16}$	700000
$E_m/\rho_{L^*}$	16
$\alpha$	0,333
$\lambda_d$	1,40
$\lambda_c$	1,16
$q_L$	6880
$k$	1,17
$k_{prav}$	1,09
$k_o$	0,412

Zanima me pomik pri dejanski obtežbi. Za to potrebujem modul reakcije tal  $k_r$ , ki sem ga izračunala za vsako temeljno blazino posebej, saj je odvisen od obremenitve, ki nanjo deluje.

### Vzhodna stena

- Modul reakcije tal  $k_r$ :

Najprej potrebujem vrednost posedka temelja pod dejansko obtežbo, ki ga izračunam po enačbi (20). Modul reakcije tal nato izračunam po enačbi (21).

Preglednica 37: Posedek in modul reakcije tal, vzhodna stena sodniškega stolpa s sidri.

$q_{neto}$ (podane obt)	327	kN/m <sup>2</sup>
posedek $s$	0,00151	m
korigirani posedki $s^*$	0,00176	m
<b>modul reakcije tal</b>		
$k_r$	185400	kN/m <sup>3</sup>

- Kontaktni tlaki in pomik

Uporabim enačbe (23) – (25).

Preglednica 38: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja vzhodne stene sodniškega stolpa s sidri.

$R$	9060	kN
$e$	1,32	m
$j$	0,667	$e > j$ -> velika ekscentričnost
$B'$	2,03	m
$p$	1320	kPa
$u_1$	0,00714	m

Pri vzhodni steni imamo veliko ekscentričnost. Pomik na tlačno obremenjenem robu temelja je enak  $u_1 = 0,71$  cm.

### Zahodna stena

- Modul reakcije tal  $k_r$

Preglednica 39: Posedek in modul reakcije tal, zahodna stena sodniškega stolpa.

$q_{neto}$ (podane obt)	301	kN/m <sup>2</sup>
posedek $s$	0,00140	m
korigirani posedki $s^*$	0,00164	m
<b>modul reakcije tal</b>		
$k_r$	194400	kN/m <sup>3</sup>

- Kontaktni tlaki in pomik

Preglednica 40: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja vzhodne stene sodniškega stolpa s sidri.

$R$	8500	kN
$e$	0,864	m
$j$	0,667	$e > j$ -> velika ekscentričnost

se nadaljuje...

nadaljevanje Preglednice 40

$B'$	3,41	m
$p$	630	kPa
$u_1$	0,00324	m

Pomik je pri tej temeljni blazini še nekoliko manjši, kot pri vzhodni temeljni blazini  $u_1 = 0,31$  cm kar je pričakovano, saj nanjo deluje manjša obtežba.

Pri temeljih pod obema stenama so pomiki majhni. Temelj je ustrezno dimenzioniran.

### 5.3 Račun temelja s povečanimi dimenzijami

Stabilnost stolpa lahko povečamo tudi s povečanjem dimenzij temelja in brez dodatnega globokega temeljenja ali sidranja. Tako sem, glede na velikost tlačene širine temelja in seveda zadostno nosilnost, povečala širino temeljnih blazin. Že pri povečanju  $B = 4$  m na  $B = 4,5$  m, je nosilnost enaka obremenitvi. Ker se pri temeljih izogibamo prevelike ekscentričnosti obtežbe (tudi če je nosilnost ustrezna), sem se odločila temeljno blazino še nekoliko povečati in račun narediti za širino temelja  $B = 5$  m. Vse ostale karakteristike so ostale enake.

Postopek računa je enak opisanemu v Poglavju 3. Vsak račun je ponovljen za temeljno blazino za daljšo (vzhodno) in krajšo (zahodno) steno posebej.

#### 5.3.1 Nosilnost temeljnih tal

- Podatki za temelj pod **vzhodno** steno

Preglednica 41: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah, povečan temelj pod vzhodno steno sodniškega stolpa.

$q$ betona	25	kN/m <sup>3</sup>
$q$ zemljine	46	kN/m <sup>2</sup>
stižni kot $\phi$	0,628	rad
kohezija	4	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
nivo podtalnice		m
$B$	5	m
$L$	6,75	m
debelina temelja	1	m
globina temelja $z$	1	m
teža temelja	25	kN/m <sup>2</sup>
faktor za težo	1	
navpična projektna obremenitev $N_{Ed}$	5749	kN
Projektni moment $M_{yd}$	11990	kNm
horizontalna obremenitev	1143	kN
površina stene	3,33	m <sup>2</sup>

se nadaljuje...

nadaljevanje Preglednice 41

površina temelja	33,8	m <sup>2</sup>
navpična skupna projektna obremenitev <sup>9</sup>	6593	kN

- Sodelujoč (tlačen) del temelja

Po enačbah (1) – (3) dobimo naslednje količine:

Preglednica 42: Geometrijske karakteristike sodelujočega dela večjega temelja vzhodne stene sodniškega stolpa.

$e_x$	1,82	$B'$	1,36	$B'/L'$	0,202	$m_b$	1,83
		$L=L'$	6,75	$A'$	9,19		

- Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji

Za izračun uporabimo enačbe (4) – (12):

Preglednica 43: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, povečan temelj vzhodne stene sodniškega stolpa.

$N_q$	37,8	$s_q$	1,12	$i_q$	0,708
$N_c$	50,6	$s_c$	1,12	$i_c$	0,700
$N_\gamma$	53,4	$s_\gamma$	0,939	$i_\gamma$	0,585

- Nosilnost temeljnih tal dobimo, če v enačbo (13) vstavimo gornje količine:

Preglednica 44: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod vzhodno steno sodniškega stolpa s povečanimi dimenzijami temelja.

$R/A'$	1930	kN/m <sup>2</sup>
$R_d$	12700	kN
$V_d$	6590	kN

Nosilnost je dovolj velika, da je zagotovljena stabilnost temeljne blazine, ki podpira vzhodno steno.

- Podatki za temelj pod **zahodno** steno

Preglednica 45: Podatki o temelju, temeljnih tleh in obremenitvah za povečan temelj pod zahodno steno sodniškega stolpa.

$q$ betona	25	kN/m <sup>3</sup>
$q$ zemljine	46	kN/m <sup>2</sup>
stižni kot $\phi$	0,628	rad
kohezija	4	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
$B$	5	m

se nadaljuje...

<sup>9</sup> Pri »navpični skupni projektni obremenitvi« je upoštevana še teža temelja, računana s faktorjem 1 (ugoden vpliv na ekscentričnost).

nadaljevanje Preglednice 45

$L$	6,75	m
debelina temelja	1	m
globina temelja $z$	1	m
teža temelja	25	kN/m <sup>2</sup>
faktor za težo	1	
navpična projektna obremenitev $N_{Ed}$	5190	kN
Projektni moment $M_{yd}$	7340	kNm
horizontalna obremenitev $H_x$	843	kN
površina stene	3,33	m <sup>2</sup>
površina temelja	30,4	m <sup>2</sup>
navpična skupna projektna obremenitev <sup>10</sup>	5950	kN

- Sodelujoč (tlačen) del temelja

Po enačbah (1) – (3) dobimo naslednje količine:

Preglednica 46: Geometrijske karakteristike sodelujočega dela večjega temelja zahodne stene sodniškega stolpa.

$e_x$	1,23	$B'$	2,53	$B'/L'$	0,375	$m_b$	1,73
		$L=L'$	6,75	$A'$	17,1		

- Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji

Za izračun uporabimo enačbe (4) – (12):

Preglednica 47: Faktorji nosilnosti in korekcijski faktorji, povečan temelj zahodne stene sodniškega stolpa.

$N_q$	37,8	$s_q$	1,22	$i_q$	0,771
$N_c$	50,6	$s_c$	1,23	$i_c$	0,765
$N_\gamma$	53,4	$s_\gamma$	0,887	$i_\gamma$	0,664

- Nosilnost temeljnih tal dobimo, če v enačbo (13) vstavimo gornje količine:

Preglednica 48: Nosilnost in obremenitev temeljnih tal pod zahodno steno sodniškega stolpa s povečanimi dimenzijami temelja.

$R/A'$	2620	kN/m <sup>2</sup>
$R_d$	32000	kN
$V_d$	5950	kN

Tudi tu je nosilnost več kot dovolj velika. Nove dimenzije temeljev torej izpolnjujejo pogoje nosilnosti.

<sup>10</sup> Pri »navpični skupni projektni obremenitvi« je upoštevana še teža temelja, računana s faktorjem 1 (ugoden vpliv na ekscentričnost).



### 5.3.2 Posedki

Spodnji računi so enaki za obe steni, saj se nanašajo le na karakteristike temeljnih tal.

- Podatki

Ti podatki so enaki za obe steni, saj se nanašajo le na karakteristike temeljnih tal.

Preglednica 49: Vplivno območje in povprečni presiometerski moduli za račun posedka povečanega temelja sodniškega stolpa.

$i$	od $z$ [m]	do $z$ [m]	$E_i$ [kPa]
1	1	3,5	80000
2	3,5	6	80000
3	6	8,5	140000
4	8,5	11	700000
5	11	13,5	700000
6	13,5	16	700000
7	16	18,5	700000
8	18,5	21	700000
9	21	23,5	700000
10	23,5	26	700000
11	26	28,5	700000
12	28,5	31	700000
13	31	33,5	700000
14	33,5	36	700000
15	36	38,5	700000
16	38,5	41	700000

- Posedki

Tudi račun posedkov za obtežbo, ki je enaka nosilnosti je za obe steni enak. Naslednje količine so izračunane po enačbah (15) – (19):

Preglednica 50: Izračunane količine, potrebne za nadaljni izračun posedkov, sodniški stolp s sidri.

$1/E_d$	7,92E-06
$E_d$	126000
$E_{3/4/5}$	300000
$E_{6/7/8}$	700000
$E_{9/16}$	700000
$E_m/p_{L^*}$	16
$A$	0,333
$\lambda_d$	1,26
$\lambda_c$	1,14
$q_L$	6740
$K$	1,143
$k_{prav}$	1,094
$k_o$	0,412

Zanima me pomik pri dejanski obtežbi. Za to potrebujem modul reakcije tal  $k_r$ , ki sem ga izračunala za vsako temeljno blazino posebej, saj je odvisen od obremenitve, ki nanjo deluje.

### Vzhodna stena

- Modul reakcije tal  $k_r$ :

Uporabila sem enačbe (20) za posedek in (21) za modul reakcije tal.

Preglednica 51: Posedek in modul reakcije tal, povečan temelj vzhodne stene sodniškega stolpa.

$q_{neto}$ (podane obt)	195	kN/m <sup>2</sup>
posedek $s$	0,000965	m
korigirani posedki $s^*$	0,00112	m
<b>modul reakcije tal</b>		
$k_r$	291900	kN/m <sup>3</sup>

- Kontaktni tlaki in pomik

Uporabila sem enačbe (23) – (25).

Preglednica 52: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja vzhodne stene sodniškega stolpa s sidri.

$R$	6890	kN
$e'$	1,74	m
$j$	0,833	$e > j \rightarrow$ velika ekscentričnost
$B'$	2,28	m
$P$	897	kPa
$u_1$	0,00307	m

Pomik, ki znaša nekaj več kot 3 mm je sprejemljiv, zato ocenim temelje kot ustrezne.

### Zahodna stena

- Modul reakcije tal  $k_r$

Preglednica 53: Posedek in modul reakcije tal, povečan temelj vzhodne stene sodniškega stolpa.

$q_{neto}$ (podane obt)	176	kN/m <sup>2</sup>
posedek $s$	0,000871	m
korigirani posedki $s^*$	0,00101	m
<b>modul reakcije tal</b>		
$k_r$	174400	kN/m <sup>3</sup>

- Kontaktni tlaki in pomik

Preglednica 54: Postopek računa kontaktnih tlakov in pomikov temelja vzhodne stene sodniškega stolpa s sidri.

$R$	6326	kN
$e'$	1,16	m
$J$	0,833	$e > j \rightarrow$ velika ekscentričnost
$B'$	4,02	m
$P$	466	kPa
$u_1$	0,00267	m

Pomik na zahodni steni je manjši zaradi manjše obremenitve in znaša  $u_1 = 0,27$  cm. Pomiki temeljev sodniškega stolpa so majhne količine, kar je za konstrukcijo zelo ugodno. Izkaže se tudi, da pri temelju z večjo površino nastanejo celo manjši posedki, kot pri temeljih s sidri.

## 6 ZAKLJUČEK

V svojem diplomskem delu sem predstavila račun nosilnosti in posedkov temeljev dveh stolpov v sklopu Nordijskega centra Planica, to sta RTV in sodniški stolp. Temeljenje pri obeh stolpih je bilo izvedeno s plitvimi temelji, saj tla sestavljajo zelo gosti morenski grušč. Vendar pri tako vitkih in visokih objektih zaradi vodoravnih vplivov vetra in potresa pogosto pride do znatnih ekscentričnosti rezultante sil v temeljni ploskvi, ta pa lahko predstavlja velik problem pri zagotavljanju stabilnosti stolpa. Nagnjenost in ekscentričnost rezultante sil v temeljni ploskvi nimata le neugodnega vpliva na varnost proti prevrnitvi in zdrs temelja, pač pa zmanjšata tudi nosilnost tal. Zato so se projektanti odločili, da temelj dodatno sidrajo z vrvnimi geotehničnimi sidri in s tem povečajo obremenitve v navpični smeri ter s tem zmanjšajo ekscentričnost in nagnjenost rezultante.

Pri RTV stolpu se je izkazalo, da pri upoštevanju obtežb stalnega in začasnega stanja, sidranje ni potrebno niti z vidika nosilnosti, niti z vidika končnih posedkov temelja. Tudi če pri računu ne upoštevamo geotehničnih sider, je varnost (razmerje med nosilnostjo in obremenitvami) dovolj velika, pomiki temelja pa imajo majhne vrednosti.

Pri obravnavanju potresne obremenitve se pojavijo večje obremenitve, ki pa jih pri projektiranju seveda ne smemo zanemariti kljub temu, da je možnost pojava relativno majhna. Potresna obremenitev je upoštevana v potresnem projektnem stanju, ki sem ga v delu obravnavala ločeno. Momentna obremenitev je v tem primeru tudi do štirikrat večja kot pri stalnem in začasnem stanju. Ekscentričnost se poveča in zato so za zagotavljanje ustrezne nosilnosti in stabilnosti objekta potrebna tudi geotehnična sidra. Račun pokaže, da so v takšni situaciji pomiki sicer nekoliko večji od projektnega stanja z manjšimi obremenitvami, vendar še vedno dovolj majhnih vrednosti.

Pri sodniškem stolpu je projektna dokumentacija, ki smo jo imeli na voljo, podala le ovojnice obremenitev, torej maksimalne obremenitve, ki jih za ta stolp lahko računsko predvidimo vključno s potresnim projektnim stanjem. Zato sem ta stolp obravnavala nekoliko drugače. Najprej sem obravnavala temeljenje brez sider. Po pričakovanjih (obremenitve so bile relativno velike) se je izkazalo, da nosilnost temelja pod vzhodno steno ni zadostna. Temelj pod zahodno steno je bil sicer dovolj nosilen, toda če je nosilen le del konstrukcije še ni zagotovljena nosilnost celotne konstrukcije. Nadaljnji račun bi bil nesmiseln. Zato sem nadaljevala z izračunom sidranega temelja, kot je bil dejansko izveden. Rezultati so bili ustrezni. Pojavilo pa se je še eno vprašanje: Kakšne dimenzije temelja bi bile potrebne, da zagotovimo varno in uporabno konstrukcijo brez uporabe sider? Izkazalo se je, da temelj le malo povečamo in že dobimo dovolj majhno ekscentričnost in posledično zanesljivo temeljno konstrukcijo. Na ta način bi se izognili potrebi po dodatnem sidranju in s tem mogoče tudi nekoliko zmanjšali stroške projekta. Ekonomičnost pa je vedno pomemben dejavnik pri snovanju konstrukcijskih rešitev.

## VIRI


- [1] Planica skozi čas. 2011.  
<http://mojashangrila.wordpress.com/2011/03/25/planica-skozi-cas/> (Pridobljeno 29.7.2012.)
- [2] Bloudkova velikanka. 2011.  
[http://sl.wikipedia.org/wiki/Bloudkova\\_velikanka](http://sl.wikipedia.org/wiki/Bloudkova_velikanka) (Pridobljeno 29.7.2012.)
- [3] Bebar, M., Logar, J. 2012. Gradnja nove Bloudkove velikanke v Planici. V: Razprave 6. posvetovanja slovenskih geoteknikov, Lipica, 14. – 15. junij 2012, SloGeD: str. 289-299.
- [4] Ministrstvo za šolstvo in šport in Zbornica za arhitekturo in prostor Slovenije, »Zaključno poročilo za javni, projektni, odprti, anonimni, enostopenjski arhitekturni in krajinsko arhitekturni natečaj za Nordijski center Planica«, Ljubljana, 2009.  
[http://www.zaps.si/index.php?m\\_id=natecaji\\_izvedeni&year=2009](http://www.zaps.si/index.php?m_id=natecaji_izvedeni&year=2009)  
(Pridobljeno 21.8.2012.)
- [5] Dejavnost NC Planica. 2012.  
<http://www.nc-planica.si/dejavnost-zavoda/> (Pridobljeno 21.8.2012.)
- [7] Nordic Centre Planica. 2012.  
<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1427888> (Pridobljeno 29.6.2012.)
- [8] Kilar, V., Logar, J., Blenkuš, M. 2010. Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja, št. 109.1/2010, Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti – RTV stolp. Ljubljana, Ministrstvo za šolstvo in šport, Zavod za šport Republike Slovenije Planica: str. 1-24.
- [9] Kilar, V., Logar, J., Blenkuš, M. 2010. Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja, št. G 104 – 1a, Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti – Lok HS139 in Sodniški stolp HS139/HS104, Ljubljana, Ministrstvo za šolstvo in šport, Zavod za šport Republike Slovenije Planica: str. 81-133.
- [10] Arčon, T., Ceket, A., Janež, J. 2010. Ministrstvo za šolstvo in šport, Geološko geomehansko poročilo, št. 2266-153/2010-01, Idrija, Ministrstvo za šolstvo in šport: 10 str.
- [11] Beg, D. (ur.), Pogačnik, A. (ur.). 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih, Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: p. 7: 44-51
- [12] Robas, A. 2012. Težave pri izvajanju geotehničnih vrtin. Osebni vir. (april 2012.)
- [13] Robas, A. 2012. Presiometer; račun posedka temelja s pomočjo presiometerskih preiskav, učno gradivo za študente FGG. Osebna komunikacija. (april 2012)
- [14] Kuder, S. 2010. Dimenzioniranje pasovnega temelja (vaje pri predmetu Geotehnika, 10.vaja, 3.letnik GR-UNI-B). Osebna komunikacija. Ljubljana, UL FGG.

**Ostali viri:**

Ulaga, D., Urek, S., Rožman, M. 1979. Planica. Ljubljana, Mladinska knjiga: 86 str.

PRILOGA A: SITUACIJA NORDIJSKEGA CENTRA PLANICA IN LOKACIJA IZVEDENIH  
VRTIN. (Pridobljeno iz vira [10]).



 <p>           Prešernova 2, 5280 Idrinja            Tel: 05 37 41 310 Fax: 05 37 22 329            spletna stran: www.geologija.si            e-pošta: info@geologija.si         </p>		NAROČNIK Corus inženirij d.o.o., Žapuže 19, 5270 Ajdovščina
OBJEKT	Nordijski center Planica - 1a. faza	FAZA: PGD
ELABORAT	Geološko geomehansko poročilo	
TEMATIKA	SITUACIJA	
ODG. PROJEKTANT	Jože Janež, udi geol.	IZS RG 0026
PROJEKTANT	Tomaž Arčon, udi geol.	
DATUM	oktober 2010	MERILO 1:1000
ŠT. POR.	2266-153/2010-01	PRILOGA 5