

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:

Šabec, T., 2013. Analiza novega hladilnega stolpa v Šoštanju na temperaturni vpliv. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Brank, B.): 35 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:

Šabec, T., 2013. Analiza novega hladilnega stolpa v Šoštanju na temperaturni vpliv. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Brank, B.): 35 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

MODUL KONSTRUKCIJE

Kandidat:

TOMAŽ ŠABEC

**ANALIZA NOVEGA HLADILNEGA STOLPA V
ŠOŠTANJU NA TEMPERATURNI VPLIV**

Diplomska naloga št.: 30/B-GR

**ANALYSIS OF THE NEW COOLING TOWER IN
ŠOŠTANJ ON TEMPERATURE ACTION**

Graduation thesis No.: 30/B-GR

Mentor:
prof. dr. Boštjan Brank

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Janko Logar

Ljubljana, 12. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Tomaž Šabec izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Analiza novega hladilnega stolpa v Šoštanju na temperaturni vpliv«.

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

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

Ljubljana, 28. 8. 2013

Tomaž Šabec

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 537.32:624.04(497.4Šoštanj)(043.2)
Avtor: Tomaž Šabec
Mentor: prof. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž.grad.
Naslov: Analiza novega hladilnega stolpa v Šoštanju na temperaturni vpliv
Tip dokumenta: diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 35 str., 19 pregl., 31 sl., 4 pril.
Ključne besede: hladilni stolp, temperaturna obtežba, VGB-R 610 e, 2010 edition, SIST EN 1991-1-5:2004

Izvleček

V diplomski nalogi je analiziran temperaturni vpliv na novi hladilni stolp v Šoštanju po smernicah standarda VGB-R 610 e, izdaja 2010. Prvi del diplomske naloge podaja splošne specifikacije hladilnega stolpa 6. bloka Termoelektrarne Šoštanj (TEŠ 6), opisuje delovanje lupine hiperboloidnih hladilnih stolpov ter prikaže izris njegove lupine s programskim orodjem Mathematica. V drugem delu se posvetimo postopku določitve temperaturne obtežbe po standardu VGB-R 610 e, izdaja 2010 za hladilni stolp TEŠ 6. V tretjem delu predstavimo mrežo končnih elementov računskega modela in način podajanja temperaturne obtežbe v programu SAP2000. V zadnjem delu analiziramo rezultate računa po metodi končnih elementov s programom SAP2000 za različne obtežne primere s temperaturno obtežbo, in sicer: vrednost in razporeditev notranjih sil v lupini, uklonske oblike ter velikost uklonskih faktorjev, potrebno armaturo v lupini hladilnega stolpa in pokažemo področja potencialnih razpok betona v lupini.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 537.32:624.04(497.4Šoštanj)(043.2)
Author: Tomaž Šabec
Supervisor: prof. Boštjan Brank, Ph.D.
Title: Analysis of the new cooling tower in Šoštanj on temperature action
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 35 p., 19 tab., 31 fig., 4 ann.
Key words: cooling tower, temperature action, VGB-R 610 e, 2010 edition, SIST EN 1991-1-5:2004

Abstract

In this graduation thesis, the influence of temperature action on the new cooling tower in Šoštanj is analyzed. The temperature load is defined according to guideline VGB-R 610 e, izdaja 2010. In the first part of work, general specifications of the new cooling tower in Šoštanj are presented. The plot of the shell of the cooling tower by using Mathematica is given. In second part of thesis we determine temperature action on the new cooling tower in Šoštanj according to VGB-R 610 e, izdaja 2010. In third part of work the finite element model of cooling tower is presented to analyze behavior of the cooling tower due to temperature action, we use SAP2000 finite element computer code. We present in detail how the temperature loadings are defined in SAP2000. The last part is related to analysis of the results provided by SAP2000. We present internal forces, buckling shapes and buckling factors, reinforcements of the shell for the load cases analyses and check for potential cracks in concrete.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se bi zahvalil prof. dr. Boštjan Branku.

Zahvala gre tudi Ditki Čakš za pomoč z mrežo končnih elementov računskega modela hladilnega stolpa.

Na koncu pa bi se rad zahval še staršem za finančno pomoč tekom študija.

KRATICE IN OKRAJŠAVE

<i>D</i>	- lastna teža
NDCT ŠOŠTANJ unit 6	- Civil Permit Design for the Construction of the Natural Draft Cooling Tower Šoštanj Unit 6 Slovenia, 2010
T^{OP}	- temperaturna obtežba pozimi, ko je termoelektrarna v operativnem stanju,
T^W	- temperaturna obtežba pozimi, ko je termoelektrarna v remontu,
T^S	- temperaturna obtežba poleti, ko je termoelektrarna v remontu.
VGB-R 610 e, izdaja 2010	- Structural Design of Cooling Towers, Guideline on Structural design, Calculation, Engineering and Construction of Cooling Towers, VGB-R 610 e, 2010 edition
<i>We</i>	- obtežba vetra; pritisk, ki deluje na zunanji del lupine
<i>Wi</i>	- obtežba vetra; pritisk - srk, ki deluje na notranji del lupine

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Splošno.....	1
1.2	Metodologija.....	1
2	HLADILNI STOLPI.....	2
2.1	Naloga hladilnih stolpov.....	2
2.2	Oblika hladilnih stolpov.....	2
3	HLADILNI STOLP TEŠ 6.....	4
3.1	Opis geometrije konstrukcije.....	4
3.1.1	Izris oblike lupine s programom Mathematica.....	6
3.2	Opis materialov.....	10
3.2.1	Beton.....	10
3.2.2	Jeklo.....	10
3.3	Obtežbe na hladilni stolp.....	10
3.4	Obnašanje lupinastih konstrukcij.....	11
3.4.1	Gaussova ukrivljenost.....	11
3.4.2	Obnašanje lupine pod obtežbo.....	12
4	TEMPERATURNI VPLIVI NA ŠOŠTANJSKI HLADILNI STOLP PO VGB-R 610 E.....	13
4.1	Splošno.....	13
4.2	Operativno stanje elektrarne pozimi.....	13
4.3	Remont elektrarne pozimi.....	14
4.4	Remont elektrarne poleti.....	14
5	ANALIZE PO METODI KONČNIH ELEMENTOV S PROGRAMOM SAP2000.....	15
5.1	Mreža končnih elementov.....	15
5.2	Materiali.....	19
5.3	Podajanje obtežbe v SAP2000.....	19
5.3.1	Lastna teža.....	19
5.3.2	Temperaturna obtežba.....	20
5.4	Obtežne kombinacije in varnostni faktorji.....	22
5.4.1	Mejno stanje nosilnosti.....	23
5.4.2	Mejno stanje uporabnosti.....	23
6	REZULTATI ANALIZ S PROGRAMOM SAP2000.....	24
6.1	Notranje sile v hladilnem stolpu.....	24
6.1.1	Notranje sile zaradi lastne teže.....	25
6.1.2	Notranje sile zaradi temperaturne obtežbe.....	26
6.1.2.1	Operativno stanje elektrarne pozimi (T^{OP}).....	26
6.1.2.2	Remont elektrarne pozimi T^W	26
6.1.2.3	Remont elektrarne poleti T^S	26

6.1.3	Notranje sile zaradi temperaturne obtežbe in lastne teže.....	27
6.2	Uklonska analiza	27
6.2.1	Komentar uklonske analize.....	28
6.3	Armatura.....	28
6.3.1	Predpisi za določanje armature po standardu VGB-R 610 e, izdaja 2010	28
6.3.1.1	Minimalna armatura	28
6.3.1.2	Splošne zahteve	28
6.3.1.3	Material.....	28
6.3.1.4	Razmik med armaturo	28
6.3.1.5	Spodnji in zgornji rob lupine	28
6.3.1.6	Pregled minimalnih vrednosti.....	29
6.3.2	Določitev armature.....	29
6.3.3	Primerjava armatur in komentar	31
6.3.4	Območja razpok in nateznih napetosti zaradi temperaturnih vplivov	32
7	ZAKLJUČEK	34
VIRI	35

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1.1: Odvisnost αT od vrste materiala	1
Preglednica 3.1: Spreminjanje debeline lupine z višino.....	5
Preglednica 3.2: Zaščitna plast armature.....	10
Preglednica 4.1: Odvisnost ΔT_{eff}^{OP} od debeline zidu	14
Preglednica 4.2: Potek vrednosti obtežbe zaradi sonca v odvisnosti od kota ϑ	14
Preglednica 5.1: Povprečna debelina lupine.....	16
Preglednica 5.2: Primer izpisa iz preglednice, ki prikazuje ime ploskovnega končnega elementa in njegov prerez.....	21
Preglednica 5.3: Primer izpisa iz preglednice, ki prikazuje imena prereзов in njihove debeline	21
Preglednica 5.4: Primer izpisa iz preglednice, ki prikazuje ime elementa in njegovo temperaturna obtežbo	21
Preglednica 5.5: Primer izpisa iz tabele, ki prikazuje vozlišča in njihove koordinate	21
Preglednica 5.6: Primer izpisa iz tabele, ki prikazuje vozlišča in pripadajoče vrednosti vzorca	21
Preglednica 5.7: Grafični prikaz temperaturnih obtežb.....	22
Preglednica 5.8: Varnostni faktorji	23
Preglednica 5.9: Obtežne kombinacije v mejnem stanju nosilnosti	23
Preglednica 5.10: Obtežne kombinacije v mejnem stanju uporabnosti.....	23
Preglednica 5.11: Največje dovoljene širine razpok	23
Preglednica 6.1: Obtežne kombinacije za analizo notrajnih sil.....	24
Preglednica 6.2: Obtežne kombinacije za uklonsko analizo	27
Preglednica 6.3: Obtežne kombinacije za dimenzioniranje armature	29

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Prikaz delovanja termoelektrarne	2
Slika 2.2: Sestavni deli hiperboloidnega stolpa	3
Slika 2.3: Pomen koeficienta c v enačbi (2.1)	3
Slika 3.1: Slika prikazuje izgled TEŠ 6 v obratovnjaju	4
Slika 3.2: Zrisani hiperboli v originalni obliki	6
Slika 3.3: Zrisani spremenjeni enačbi hiperbol in združeni na višini grla	7
Slika 3.4: Zrisan spodnji del lupine	8
Slika 3.5: Zrisan zgornji del lupine	9
Slika 3.6: Združena iz zrisana oba dela lupine	9
Slika 3.7: Grafični prikaz glavnih radijev ukrivljenosti	11
Slika 3.8: Grafični prikaz ploskev s pozitivno, negativno in nično Gaussovo ukrivljenostjo	11
Slika 3.9: Prenos sil v lupinah z različno Gaussovo ukrivljenostjo	12
Slika 4.1: Prikaz obtežbe zaradi sonca	14
Slika 5.1: Luknja	19
Slika 5.2: Pogled (levo) in tloris (desno) mreže končnih elementov	19
Slika 5.3: Definicija temperaturnega gradienta	20
Slika 6.1: Notranje sile za elemente tipa »shell«	24
Slika 6.2: Lokalni koordinatni sistem elementov lupine	25
Slika 6.3: F_{22} [kN/m] zaradi lastne teže	25
Slika 6.4: F_{11} [kN/m] zaradi lastne teže	26
Slika 6.5: Skica napetosti v lupini pri obtežbi ΔT_M^{OP}	26
Slika 6.6: Skica napetosti v lupini pri obtežbi $\Delta T_M^{S_{eff}}$	27
Slika 6.7: Prikaz minimalnih vrednosti za obročno (levo) in meridijsko (desno) armaturo	29
Slika 6.8: Določitev materialnih karakteristik armature (levo) in zaščitne plasti (desno) v programu SAP2000	30
Slika 6.9: Grafi potrebne meridijske (zgoraj) in obročne (spodaj) armature po višini lupine	30
Slika 6.10: Primerjava meridijskih armatur	31
Slika 6.11: Primerjava obročnih armatur	32
Slika 6.12: σ_{max} na notranji (levo) in zunanji (desno) površini lupine: $1,00 \cdot D + 1,00 \cdot T^{OP}$	33
Slika 6.13: σ_{max} [kN/m ²] na zunanji površini bolj detajlno: $1,00 \cdot D + 1,00 \cdot T^{OP}$	33
Slika 6.14: σ_{max} na notranji (levo) in zunanji (desno) površini lupine: $1,00 \cdot D + 0,50 \cdot T^W$	33
Slika 6.15: σ_{max} na notranji (levo) in zunanji (desno) površini lupine: $1,00 \cdot D + 0,50 \cdot T^S$	33

1 UVOD

1.1 Splošno

Kot vemo, ima večina trdnih snovi lastnost, da se pri segrevanju raztezajo, pri ohlajanju pa krčijo. Tako povzroči na nepodprtem telesu temperaturna sprememba le njegovo deformacijo, medtem ko na podprtem telesu povzroči deformacije in notranje sile, ki so seveda odvisne od načina podpiranja. Pri večini nepodprtih teles je sprememba normalnih deformacij linearno odvisna od spremembe temperature. To odvisnost povezuje temperaturni razteznostni koeficient α_T , ki je v normalnih razmerah praktično neodvisen od mehanske obtežbe in trenutne temperature, je pa odvisen od materiala telesa in ima enoto $[\frac{1}{c^\circ}]$ (Preglednica 1.1). Tako lahko zapišemo temperaturno deformacijo palice v smeri svoje osi kot:

$$\epsilon^T = \alpha_T \cdot \Delta T. \quad (1.1)$$

Pri tem je

$$\Delta T = T - T_0. \quad (1.2)$$

Preglednica 1.1: Odvisnost α_T od vrste materiala
(SIST EN 1991-1-5)

material	$\alpha_T (\cdot 10^{-6} \frac{1}{c^\circ})$
beton	10
konstrukcijsko jeklo	12
nerjaveče jeklo	16
aluminij	24
les vzdolžno z vlakni	5
les prečno na vlakna	30-70

Ker je vloga hladilnega stolpa hlajenje hladilne vode in izpust dimnih plinov, se notranjost hladilnega stolpa precej segreje, kar povzroči, še posebej pozimi, precejšno temperaturno razliko med notranjostjo in zunanostjo stolpa. Poleti pa je glavni izvor temperaturnih sprememb v stolpu sončna radiacija. Zato je pomembno, da analiziramo notranje sile, ki so posledica teh temperaturnih sprememb.

1.2 Metodologija

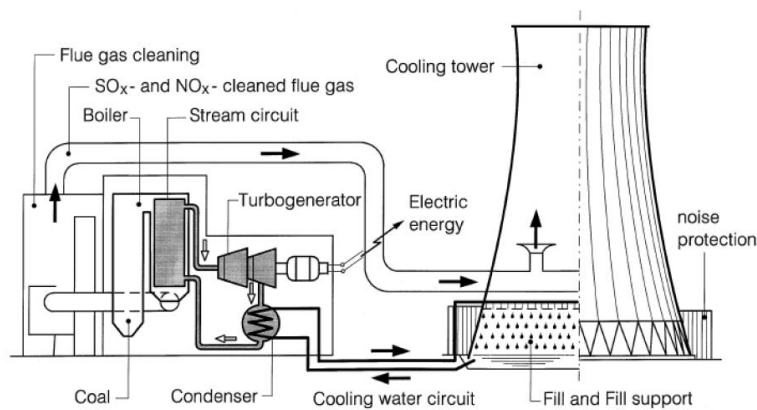
Izdelava diplomske naloge je zahtevala analizo temperaturnih vplivov na nov hladilni stolp v Šoštanju. Princip izračuna temperaturne obtežbe na hladilni stolp smo povzeli po standardu VGB-R 610 e, izdaja 2010. S programom SAP2000 smo pripravili računski model za hladilni stolp za analizo po metodi končnih elementov. S pomočjo različnih analiz smo izračunali notranje sile, količino potrebne armature ter uklonske oblike in faktorje.

2 HLADILNI STOLPI

2.1 Naloga hladilnih stolpov

Hladilni stolpi so velike, tanko, lupinske armiranobetonske konstrukcije, ki se postavljajo v termoelektrarnah. Z njihovo pomočjo se odpadna toplota in prečiščeni plini, ki nastajajo med tehnološkim procesom, oddajajo v ozračje.

V termoelektrarni se z izgorevanjem premoga v kotlu upari voda, ki poganja turbino, ta pa nato generator, ki proizvaja električno energijo. Paro, ki pride iz turbine, se s pomočjo hladilne vode kondenzira in ponovno pošlje v kotel (slika 2.1). Toplota, ki jo pri tem prejme hladilna voda, se v razpršišču hladilnega stolpa odda v ozračje. Pri tem se izgubi skoraj polovica toplote pridobljene v kotlu. Tudi očiščeni dimni plini iz kotla se odvedejo v hladilni stolp. (Brank, B. 2012)



Slika 2.1: Prikaz delovanja termoelektrarne
(Gould, P. L., Krätzig, W. B. 1999, str. 4)

Pretok zraka v stolpu lahko povzroči naravni vlek, lahko se ga povzroči mehansko s pomočjo ventilatorjev, lahko pa s kombinacijo obeh. Pri naravnem vleku hladilna voda segreva zrak v stolpu, ki se nato dviga, ker ima manjšo gostoto in posledično manjši tlak od zunanega zraka. Zato v stolp s spodnje strani neprekinjeno priteka zunanji hladnejši zrak.

Voda v hladilnem stolpu se lahko ohlaja preko direktnega stika z ozračjem ali pa brez direktnega stika z ozračjem. Pri direktnem stiku gre za ohlajanje z izhlapevanjem in konvekcijskem ohlajanjem, pri čemer se nekaj vode odda v ozračje, ostala voda pa se nato zbere na dnu stolpa v lovilnem bazenu in se ponovno uporabi za hlajenje. To je t.i. »moker« tip hladilnega stolpa. Če pa se voda ohlaja brez direktnega stika z ozračjem s pomočjo konvekcijskega hlajenja, pri čemer tak princip spominja na velikanski avtomobilski radiator, pa je to »suh« tip hladilnega stolpa. V primerjavi z »mokrim« tipom pride tu le do 30% toplotnega izkoristka. Vendar pa je »suh« tip boljši za okolje (Gould, P. L., Krätzig, W. B. 1999, str. 2).

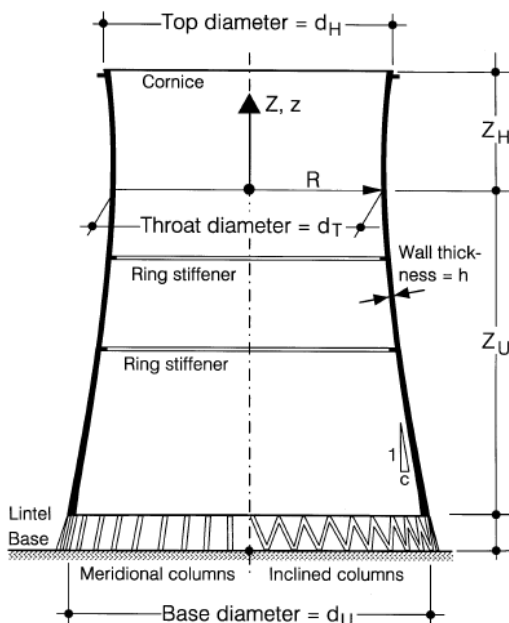
2.2 Oblika hladilnih stolpov

Znano hiperboloidno obliko hladilnega stolpa sta leta 1918 patentirala nizozemska arhitekta Van Iterson in Kuyper (Gould, P. L., Krätzig, W. B. 1999, str. 3). Razloga za uporabo takšne oblike za hladilni stolp sta dva. Prvi je, da takšna oblika zahteva manjšo porabo materiala pri enakih višinah, kot bi jo popolnoma navpični hladilni stolp, saj je bolj stabilna. Drugi pa je, da takšna oblika prinaša na dnu stolpa veliko površino za izhlapevanje vode in bazen; nadaljnje zoženje stolpa pospešuje dvig zrak proti vrhu; vnovična razširitev na vrhu pa povečuje turbulentno mešanje zraka. Zaradi napredka, tako v gradbenih materialih, gradbeništvu, strojništvu in energetiki, je po letu 1918 sledil pravi razcvet razvoja hladilnih stolpov.

Matematično je hiperboloid opisan z enačbo (2.1).

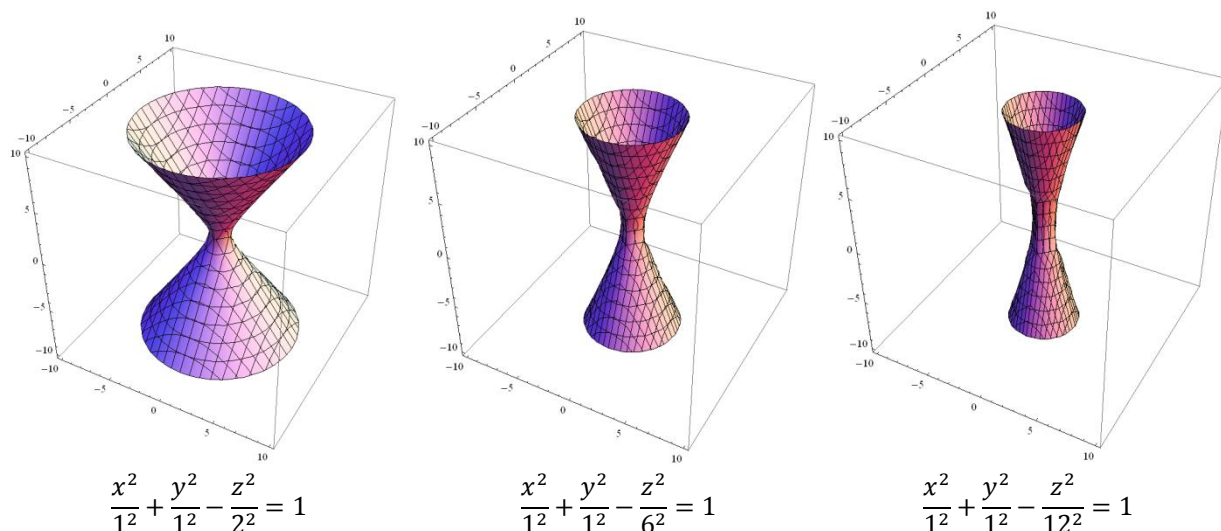
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (2.1)$$

Pri tem konstante a , b , in c narekujejo razpotegnjenost hiperboloida v x , y in z smeri. Izhodišče koordinatnega sistema je na višini grla hiperboloida, to je dela, kjer je hiperboloid najožji kot je prikazano na sliki 2.2. Če želimo torej, da ima hiperboloid v kateremkoli horizontalnem prerezu krožen prerez, morata biti koeficienta v zgornji enačbi $a=b$.



Slika 2.2: Sestavni deli hiperboloidnega stolpa
 (Gould, P. L., Krätzig, W. B. 1999, str. 11)

S koeficientom c reguliramo radij grla glede na spodnji in zgornji radij hiperboloida, kot je demonstrirano na sliki 3.3.



Slika 2.3: Pomen koeficienta c v enačbi (2.1)

Lupina stoji na stebrih, med katerimi so potrebne odprtine za dovod zraka v hladilni stolp (slika 2.2). Ker pride na stiku vpetja lupine v steber do koncentracij napetosti, je na tem delu potrebna ustrezna ojačitev lupine.

3 HLADILNI STOLP TEŠ 6

Blok 6 Termoelektrarne Šoštanj naj bi nadomestil tehnološko zastarele in ekonomsko nerentabilne bloke 1, 2, 3, 4 in 5. Poskusno naj bi začel obratovati konec leta 2014, imel pa naj bi viden ekonomski učinek. Znižal naj bi trenutno ceno električne energije v TEŠ, saj naj potrebovali za enako količino električne energije 30% manj premoga, prav tako pa naj bi zmanjšal obremenjenost okolja, saj naj bi v ozračje spuščal 55% manj žveplovih oksidov in 50% manj dušikovih oksidov (TEŠ, 2013).



Slika 3.1: Slika prikazuje izgled TEŠ 6 v obratovanju (TEŠ, 2013)

3.1 Opis geometrije konstrukcije

Geometrija konstrukcije je povzeta po NDCT ŠOŠTANJ unit 6, 2010. Celotna konstrukcija hladilnega stolpa se dviga 162 m visoko na terenom. Od tega so stebri visoki 10,102 m, lupina pa 153,698 m. Podprta je z 32 stebri. Stebri imajo pravokotni prečni prerez, ki se z višino zmanjšuje. Spodaj imajo stebri debelino 2,725 m, na vrhu pa 1 m, pri čemer je njihova debelina vseskozi 1,1 m. Njihov načrt je v prilogi A. Temeljenje konstrukcije je sestavljeno iz pasovnega temeljnega obroča dimenzij 5x1,4 m, ki stoji pilotih. Piloti so postavljeni v dveh linijah, pri čemer je v vsaki liniji po 96 pilotov premera 1,18 m. Načrt temeljenja je v prilogi A.

Premer konstrukcije na višini temeljev je 99,597 m, na višini spodnjega dela lupine 93,116 m, na višini grla 56,29 m in na višini zgornjega dela lupine 59,180 m. Lupina konstrukcije je hiperboloid, opisan z dvema enačbama, posebej za spodnji in posebej za zgornji del lupine, ki se stikata na višini grla. Njena debelina se spreminja po višini, in sicer je debelina na dnu 1,06 m, nato se debelina stanjša na 0,180 m na višini grla, zatem pa se zopet odebeli na 0,351 m na vrhu lupine. Spreminjanje radija, premera in debeline lupine po višini prikazuje Preglednica 3.1. Na vrhu lupine poteka po obodu dodaten obroč v obliki črke »U«, ki služi kot dodatna ojačitev in kot kontrolni hodnik. Načrt hodnika je prikazan v prilogi A. V lupini je odprtina za dovod dimnih plinov velikosti 10x11 m na višini 49,91 m.

Gradnja lupine je potekala s plezajočim opažem. To pomeni, da se je za del lupine postavil opaž in zabetoniral. Ko se je beton strdil, se je opaž dvignilo in nadaljevalo z betoniranjem na naslednji višini.

Animacijo gradnje najdemo na tem spletnem naslovu:

<http://shrani.si/f/29/YM/20PB7dYU/animacija.gif>.

Preglednica 3.1: Spreminjanje debeline lupine z višino
(NDCT ŠOŠTANJ unit 6, 2010, str. 58)

Višina lupine [m]	Radij [m]	Premer [m]	Debelina lupine [m]
153,698	29,59	59.18	351
152,148	29,539	59.078	300
146,905	29,276	58.552	180
144,476	29,287	58.574	180
141,402	29,187	58.374	180
138,328	29,087	58.174	180
135,254	28,988	57.976	180
132,18	28,889	57.778	180
129,106	28,792	57.584	180
126,032	28,696	57.392	180
122,958	28,601	57.202	180
119,884	28,509	57.018	180
116,81	28,421	56.842	180
113,736	28,338	56.676	180
110,662	28,262	56.524	180
107,588	28,199	56.398	180
104,514	28,157	56.314	185
101,44	28,145	56.29	190
98,367	28,172	56.344	200
95,293	28,24	56.48	210
92,219	28,347	56.694	210
89,145	28,496	56.992	210
86,071	28,684	57.368	210
82,997	28,912	57.824	210
79,923	29,18	58.36	210
76,849	29,487	58.974	210
73,775	29,832	59.664	210
70,701	30,214	60.428	210
67,627	30,632	61.264	210
64,553	31,086	62.172	210
61,479	31,573	63.146	210
58,405	32,093	64.186	210
55,331	32,645	65.29	210
52,257	33,227	66.454	210
49,183	33,838	67.676	210
46,109	34,476	68.952	210
43,035	35,141	70.282	210
39,961	35,83	71.66	210
36,887	36,544	73.088	210
33,813	37,28	74.56	210
30,74	38,037	76.074	210
27,666	38,814	77.628	210
24,592	39,611	79.222	210
21,518	40,425	80.85	210
18,444	41,257	82.514	210
15,37	42,105	84.21	210
12,296	42,968	85.936	220
9,222	43,846	87.692	270
6,148	44,737	89.474	300
3,074	45,641	91.282	600
0	46,558	93.116	1060

3.1.1 Izris oblike lupine s programom Mathematica

Kot smo omenili že prej, je srednja ploskev lupine sestavljena iz dveh hiperboloidov, ki se stikata v grlu. Enačba hiperbole, ki predstavlja navpični presek po sredini hiperboloida, je sledeča:

$$A \cdot z^2 + 2 \cdot B \cdot z \cdot r + r^2 + 2 \cdot D \cdot z + 2 \cdot E \cdot r + F = 0. \quad (3.1)$$

Pri tem so A , B , C , D , E in F koeficienti hiperbole, z je spremenljivka višine, r pa spremenljivka radija lupine.

Koeficienti za del lupine od dna do grla so sledeči (NDCT ŠOŠTANJ unit 6, 2010, str. 56):

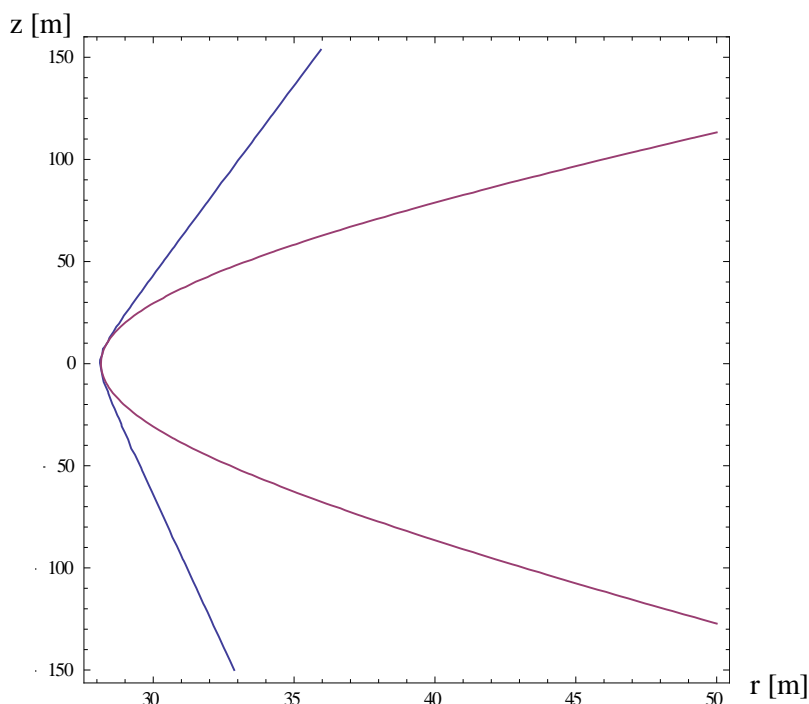
$A2 = -0.119224423989E00$,
 $B2 = -0.383381350156E-01$,
 $D2 = 0.107900935088E01$,
 $E2 = 0.242223322392E00$,
 $F2 = -0.805749921024E03$.

Koeficienti za del lupine od grla do vrha pa sledeči (NDCT ŠOŠTANJ unit 6, 2010, str. 56):

$A1 = -0.182520414604E-02$;
 $B1 = -0.102555306936E-01$;
 $D1 = 0.288637241019E00$;
 $E1 = -0.277099729701E02$;
 $F1 = 0.767653749499E03$;

Če ti dve hiperboli v Mathematici z ukazom ContourPlot izrišemo, dobimo grafa na sliki 3.2.

```
ContourPlot[{A1 * z * z + 2 * B1 * z * r + r * r + 2 * D1 * z + 2 * E1 * r + F1 =
= 0, A2 * z * z + 2 * B2 * z * r + r * r + 2 * D2 * z + 2 * E2 * r + F2 =
= 0}, {r, 28, 50}, {z, -150, 153.698}]
```



Slika 3.2: Zrisani hiperboli v originalni obliki

Ker je izhodišče koordinatnega sistema v grlu, me je zanimalo na kateri višini ima hiperbola spodnjega dela lupine radij dna lupine. To sem ugotovil s spodnjim ukazom.

```
r=46.558;  
Solve[A2*z*z+2*B2*z*r+r*r+2*D2*z+2*E2*r+F2==0, z]
```

```
{{z → -113.843}, {z → 102.001}}
```

Rezultat mi pove, da je hiperbola obrnjena na glavo, saj če pogledamo v Preglednico 3.2 ima lupina grlo na višini okoli 101,44 m. Z znanjem srednješolske matematike sem hiperbolo postavil na noge, hkrati pa izhodišče koordinatnega sistema postavil na dno lupine. Dobil sem spodnjo enačbo, ki sem jo hkrati še testiral na višini $z=0$ m.

```
z=0;  
Solve[A2*(z-102.001)*(z-102.001)-2*B2*(z-102.001)*r+r*r-2*D2*(z-  
102.001)+2*E2*r+F2==0, r]
```

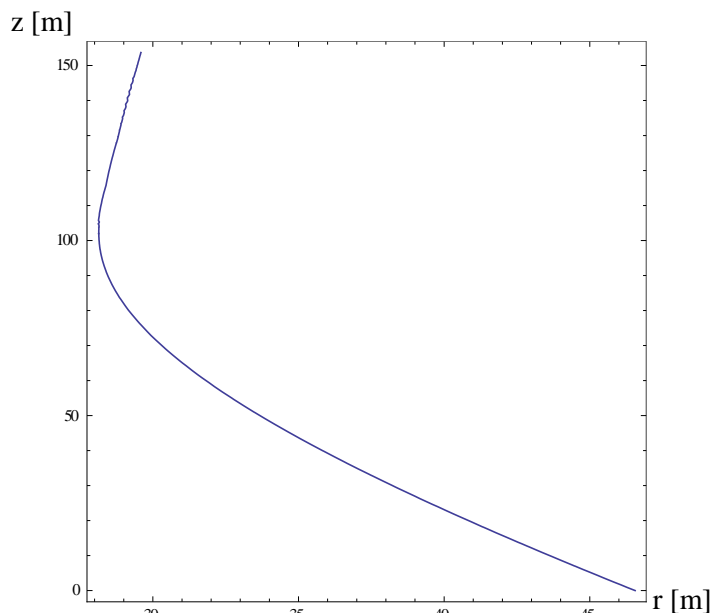
```
{{r → -39.221}, {r → 46.558}}
```

Po enakem postopku sem prišel do spremenjene enačbe hiperbole zgornjega dela lupine, ki je bila prav tako obrnjena na glavo ter jo testiral na višini vrha lupine $z=153.698$ m in opazil skladnost s Preglednico 3.3.

```
z=153.698;  
Solve[A1*(z-102.001)*(z-102.001)-2*B1*(z-102.001)*r+r*r-2*D1*(z-  
102.001)+2*E1*r+F1==0, r]
```

```
{{r → 24.770}, {r → 29.590}}
```

Sedaj sem izrisal obe hiperboli v istem koordinatnem sistemu in ju združil na višini $z=102.001$ m (slika 3.3).



Slika 3.3: Zrisani spremenjeni enačbi hiperbol in združeni na višini grla

Celotno lupino hiperboloida sem zrisal tako, da sem iz enačb hiperbol najprej izrazil radij r . Ker je vsak vodoravni prerez lupine krožnica, sem si pomagal z enačbo krožnice. V enačbah hiperbol nastopajo kvadratni členi, zato sta pri vsaki enačbi dva rezultata. Izpisal sem samo tista, ki nas zanimata, to je pri vsaki enačbi večjega. Na koncu sem še združil oba dela lupine slika 3.6.

$$\text{Solve}[A2 * (z - 102.001) * (z - 102.001) - 2 * B2 * (z - 102.001) * r + r * r - 2 * D2 * (z - 102.001) + 2 * E2 * r + F2 == 0, r]$$

$$r = 3.668 - 0.038z + 1.126\sqrt{1433.133 + 0.095z^2}$$

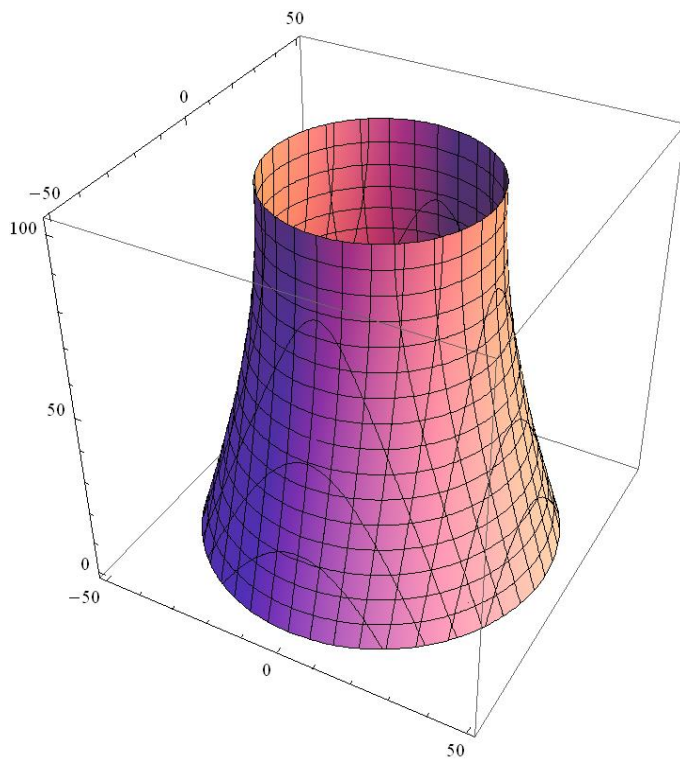
$$\text{Solve}[A1 * (z - 102.001) * (z - 102.001) - 2 * B1 * (z - 102.001) * r + r * r - 2 * D1 * (z - 102.001) + 2 * E1 * r + F1 == 0, r]$$

$$r = 28.756 - 0.010z + 1.246\sqrt{12.464 - 0.025z + 0.001z^2}$$

Ta dva rezultata sem vstavil v spodnjo enačbo krožnice in izrisal oba dela lupine.

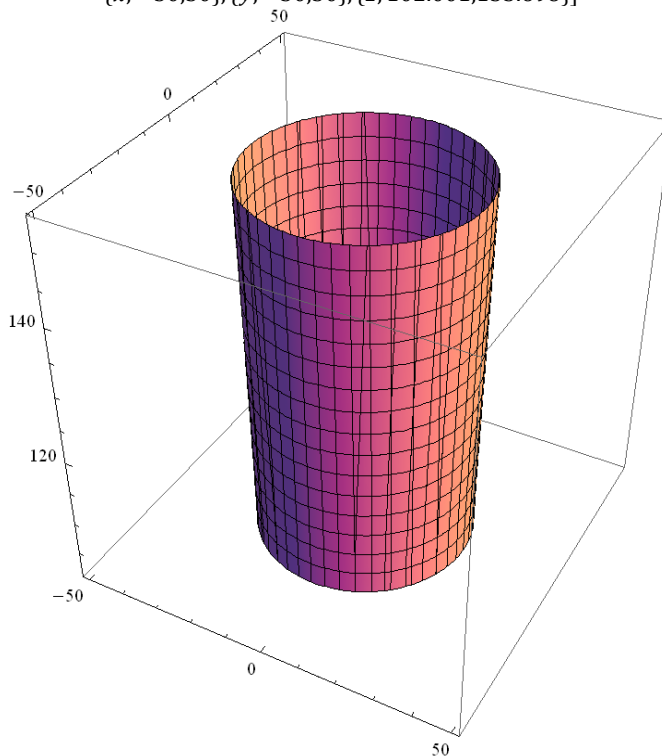
$$x^2 + y^2 = r^2 \tag{3.2}$$

$$\text{ContourPlot3D}[x^2 + y^2 == (3.668 - 0.038z + 1.126\sqrt{1433.133 + 0.095z^2})^2, \{x, -50, 50\}, \{y, -50, 50\}, \{z, 0, 102.001\}]$$

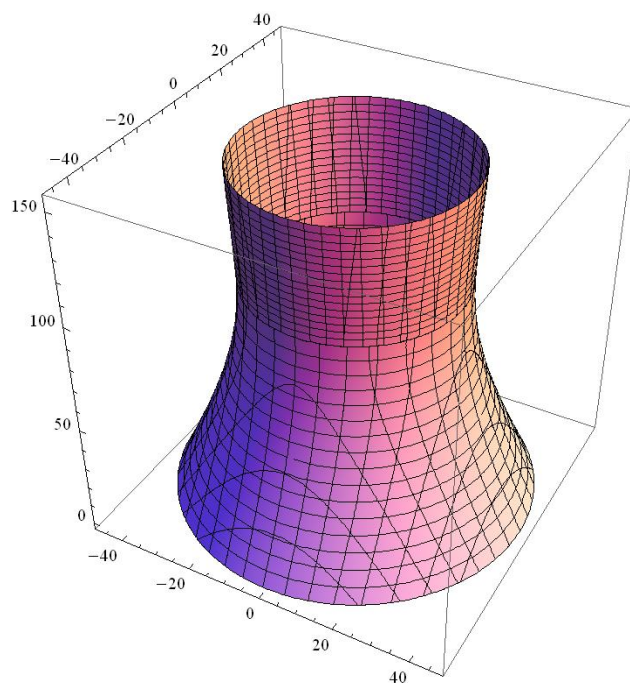


Slika 3.4: Zrisan spodnji del lupine

ContourPlot3D[x^2 + y^2 == (28.756 - 0.010z + 1.246 · $\sqrt{12.464 - 0.025z + 0.001z^2}$)^2,
{x, -50,50}, {y, -50,50}, {z, 102.001,153.698}]



Slika 3.5: Zrisan zgornji del lupine



Slika 3.6: Združena iz zrisana oba dela lupine

3.2 Opis materialov

Podatki o materialu so povzeti po NDCT ŠOŠTANJ unit 6, 2010, str. 47. Gre za armirano betonsko konstrukcijo. V statičnem računu so uporabljena naslednja varnostna faktorja: $\gamma_c=1,5$ za beton in $\gamma_s=1,15$ za jeklo.

3.2.1 Beton

Uporabljena sta betona dveh trdnostnih razredov.

- Beton C30/37
 - karakteristična tlačna trdnost: $f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$
 - karakteristična natezna trdnosti: $f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$
 - elastični modul: $E_{cm} = 33000 \text{ MN/m}^2$
- Beton C35/45
 - karakteristična tlačna trdnost: $f_{ck} = 35 \text{ MN/m}^2$
 - karakteristična natezna trdnosti: $f_{ctm} = 3,8 \text{ MN/m}^2$
 - elastični modul: $E_{cm} = 34000 \text{ MN/m}^2$

3.2.2 Jeklo

Uporabljeno jeklo je S 500 B.

- karakteristična tlačna trdnost: $f_{yk} = 500 \text{ MN/m}^2$
- karakteristična natezna trdnosti: $f_{tk} = 540 \text{ MN/m}^2$
- elastični modul: $E_{cm} = 33000 \text{ MN/m}^2$

Potrebna zaščitna plast armature je v skladu s standardom Eurocode 2 in VGB-r610 e, edition 2010 (Preglednica 3.2).

Preglednica 3.2: Zaščitna plast armature

	c_{min} [mm]	Δc_{dev} [mm]	c_{nom} [mm]
lupina	30	5	35
stebri	40	10	50
pasovni temelji	40	10	50
prefabricirani notranji elementi	30	5	35
plošča	30	10	40

3.3 Obtežbe na hladilni stolp

Na konstrukcijo delujejo naslednje najbolj pogoste obtežbe: lastna teža (D), stalna obtežba, veter (W), potresna obtežba (E), temperaturne spremembe (T), obremenitve med gradnjo (C), posedki tal (S). Pri projektnih obtežbah za dimenzioniranje konstrukcije, je potrebno preveriti več različnih obtežnih kombinacij.

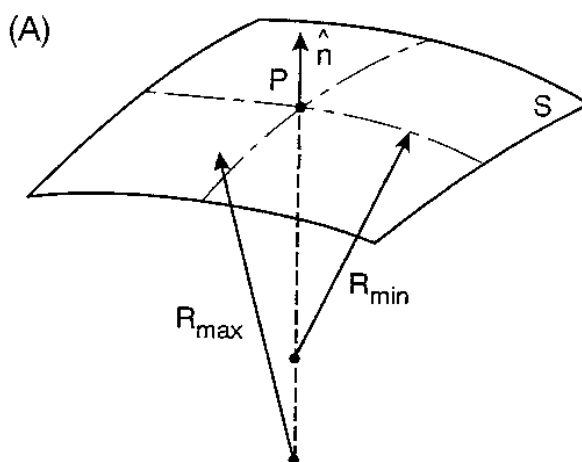
V tej diplomii obravnavamo temperaturno obtežbo.

3.4 Obnašanje lupinastih konstrukcij

3.4.1 Gaussova ukrivljenost

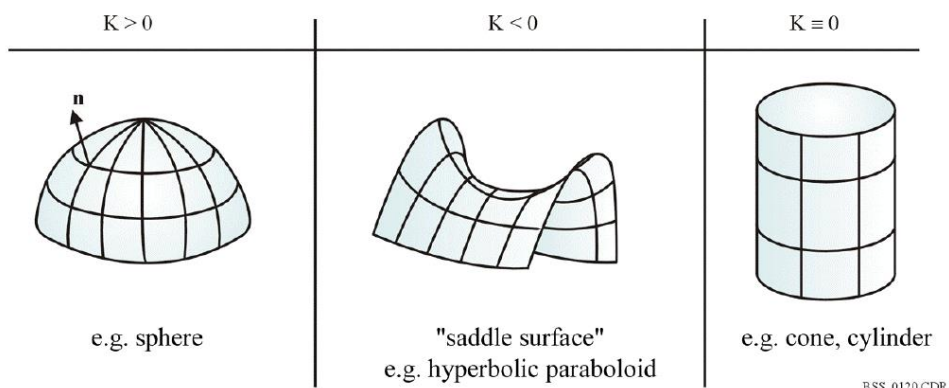
Način prenosa obtežbe v lupini je tesno odvisen od Gaussove ukrivljenosti le te. Gaussova ukrivljenost (oznaka K) v določeni točki na ploskvi lupine je v diferencialni geometriji definirana kot produkt glavnih ukrivljenosti (κ_1 in κ_2) v tej točki. Glavni ukrivljenosti v neki točki pa sta definirani kot največja in najmanjša recipročna vrednost pritisnjenih krožnic v tej točki. Glavnih ukrivljenosti sta vedno pravokotni. Ti dve smeri se imenujeta glavni smeri.

$$K = \kappa_1 \cdot \kappa_2, \quad \kappa_1 = \frac{1}{R_1}, \quad \kappa_2 = \frac{1}{R_2} \quad (3.3)$$



Slika 3.7: Grafični prikaz glavnih radijev ukrivljenosti (Gauss, 2013)

Če sta središča krožnic na isti strani ploskve, ima le ta pozitivno ukrivljenost, če sta središča krožnic na različnih straneh ploskve, ima le ta negativno ukrivljenost in če je vsaj ena od glavnih ukrivljenosti enaka nič, ima ploskev Gaussovo ukrivljenost enako nič (slika 3.8).



BSS_0120.CDR

Slika 3.8: Grafični prikaz ploskev s pozitivno, negativno in nično Gaussovo ukrivljenostjo (Bletzinger, 2002, str.17)

3.4.2 Obnašanje lupine pod obtežbo

Ukrivljenost lupine omogoča, da se na pretežnem delu lupine obtežba prenaša z osnimi oz. membranskimi silami, momenti pa so zanemarljivi. Hladilni stolp, ki ima obliko hiperboloida, ima negativno Gaussovo ukrivljenost. Prav to dejstvo je glavni razlog, zakaj je lahko lupina hladilnega stolpa kljub višini 154 m ponekod le 18 cm debela. Vendar pa momente pričakujemo ob podporah in odprtinah lupine, zato je tam lupina tudi ustrezno ojačana. Na sliki 3.9 vidimo obnašanje lupin s $K > 0$, $K = 0$ in $K < 0$.

	$K > 0$	$K = 0$	$K < 0$
structural behavior in membrane state			
The load carrying capacity of a doubly curved shell ($K \neq 0$) is better than of a shell of simple curvature $K = 0$			

Slika 3.9: Prenos sil v lupinah z različno Gaussovo ukrivljenostjo
(Bletzinger, 2002, str.8)

Vidimo, da lahko lupini s $K \neq 0$ prenašata večjo obtežbo kot lupina s $K = 0$, saj se del obtežbe prenaša tudi v smeri druge ukrivljenosti kot osna sila.

4 TEMPERATURNI VPLIVI NA ŠOŠTANJSKI HLADILNI STOLP PO VGB-R 610 E

4.1 Splošno

Temperaturi v notranjosti in zunanosti hladilnega stolpa se spreminjata. Notranja temperatura je odvisna od tega, ali je termoelektrarna v operativnem stanju ali v remontu. Zunanja temperatura pa je odvisna od vremena in letnih časov. Merodajne temperaturne razlike med zunanostjo in notranostjo, ki povzročijo absolutno največje notranje sile, dobimo z inženirskim razmislekom. Tako podaja standard VGB-R 610 e, izdaja 2010 tri različne temperaturne obtežbe, ki jih je potrebno v obsegu temperaturnih vplivov na hladilni stolp analizirati:

- temperaturna obtežba pozimi, ko je termoelektrarna v operativnem stanju,
- temperaturna obtežba pozimi, ko je termoelektrarna v remontu,
- temperaturna obtežba poleti, ko je termoelektrarna v remontu.

Spremembo temperature v lupini hladilnega stolpa delimo na konstantno spremembo temperature po celotni debelini lupine ΔT_N in na linearno spremembo temperature ΔT_M , pri kateri je temperatura linearna funkcija po debelini lupine z vrednostjo 0 na sredini. Pri tem je linearna sprememba temperature ΔT_M definirana kot pozitivna, ko je notranjost lupine hladilnega stolpa hladnejša kot zunanost. Konstantna sprememba temperature ΔT_N je obtežba, ki povzroča v lupini osne sile, linearna sprememba temperature ΔT_M pa momente.

Da dobimo ΔT_N in ΔT_M , moramo poznati najvišje in najnižje temperature v notranjosti in zunanosti hladilnega stolpa. V standardu SIST EN 1991-1-5 najdemo podatka, da je v Velenju najnižja zimska temperatura $T_{min}=-24^{\circ}\text{C}$, najvišja poletna v senci pa je $T_{max}=+37^{\circ}\text{C}$. Prav tako je definirana referenčna temperatura pri izgradnji stolpa, ki znaša $T_0=+15^{\circ}\text{C}$. Če bi bila torej temperatura v notranjosti in zunanosti hladilnega stolpa $+15^{\circ}\text{C}$, ne bi nanj delovala nobena temperaturna obtežba.

4.2 Operativno stanje elektrarne pozimi

Tukaj upoštevamo, da je zunanja temperatura $T_{min}=-24^{\circ}\text{C}$, kot notranjo temperaturo pa standard VGB-R 610 e, izdaja 2010 podaja vrednost $T_i=+25^{\circ}\text{C}$. Dobimo spodnji vrednosti za ΔT_N^{OP} in ΔT_M^{OP} .

$$\Delta T_N^{OP}=(T_{min}+T_i)/2-T_0=(25+(-24))/2-15=-14,5^{\circ}\text{C} \quad (4.1)$$

$$\Delta T_M^{OP}=(T_{min}-T_i)=25-(-24)=-49^{\circ}\text{C} \quad (4.2)$$

Lupina ima običajno za nekaj stopinj drugačno temperaturo kot okoliški zrak. Prehod od temperature zraka do temperature stene se izvrši v tanki (okrog cm debeli) plasti zraka tik ob steni, v t.i. termični mejni plasti (Kladnik, R. 1989). Zato lahko ΔT_M^{OP} reduciramo po enačbi (4.3).

$$\Delta T_{eff}^{OP}=\Delta T_M^{OP} \cdot \frac{h}{\lambda_c \cdot (\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} + \frac{h}{\lambda_c})} \quad (4.3)$$

Pri tem je λ_c koeficient toplotne prevodnosti za beton, ki znaša $\lambda_c=2.10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. α_i in α_a sta prestopna koeficienta iz zraka na beton, ki sta sicer odvisna od viskoznosti in hitrosti zraka ob steni, vendar ju v naših izračunih predpostavimo kot konstanti z enako vrednostjo $\alpha_i=\alpha_a=25\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$. ΔT_{eff}^{OP} pa je efektivna linearna sprememba temperature.

Preglednica 4.1 prikazuje odvisnost ΔT_{eff}^{OP} od debeline zidu.

Preglednica 4.1: Odvisnost ΔT_{eff}^{OP} od debeline zidu

debelina h [cm]	ΔT_{eff}^{OP}
0.18	25.3
0.2	26.6
0.22	27.8
0.24	28.8
0.26	29.8
0.28	30.6
0.3	31.4
0.32	32.1
0.34	32.8
0.36	33.4

4.3 Remont elektrarne pozimi

Tukaj upoštevamo, da sta zunanja in notranja temperatura $T_{min}=-24^{\circ}\text{C}$. ΔT_M^W je zaradi konstantne spremembe temperature po celotnem prerezu enak $\Delta T_M^W=0$. Dobimo spodnjo vrednost za konstantno spremembo temperature po preseku ΔT_N^W .

$$\Delta T_N^W = T_{min} - T_0 = -24 - 15 = -39 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4.4)$$

4.4 Remont elektrarne poleti

Tukaj se upošteva, da sta zunanja in notranja temperatura $T_{max}=+37^{\circ}\text{C}$. Ker poleti zaradi večje moči sonca segreva lupino tudi sončna radiacija, moramo tudi ta vpliv upoštevati v računu. V nekem času je lahko s soncem obsijane le polovica lupine. Kjer padajo sončni žarki najbolj pravokotno na lupino, se lupina najbolj segreje. Zato upoštevamo sinusno razporejen ΔT_M^S po polovici oboda hladilnega stolpa. Ker je sonce najmočnejše opoldne, senca pa takrat pada proti severu, je najbolj segret južni del lupine. Standard VGB-R 610 e, izdaja 2010 podaja vrednost $\Delta T_M^S = 25^{\circ}\text{C}$ na mestu, kjer sonce najbolj segreje lupino. ΔT_M^S se ne spreminja po višini lupine. Dobimo sledeči vrednosti za konstantno spremembo temperature po preseku ΔT_N^S in linearno spremembo temperature ΔT_M^S .

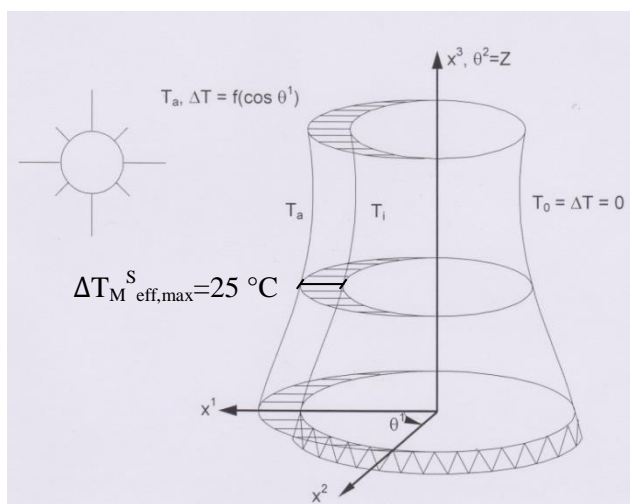
$$\Delta T_N^S = T_{max} - T_0 = 37 - 15 = 22 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4.5)$$

$$\Delta T_M^S = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4.6)$$

$$\Delta T_M^S(\vartheta) = \Delta T_M^S \cdot \cos(\vartheta) \quad (4.7)$$

Preglednica 4.2: Potek vrednosti obtežbe zaradi sonca v odvisnosti od kota ϑ

Kot [$^{\circ}$]	ΔT_M^S [$^{\circ}\text{C}$]
0	25.0
10	24.6
20	23.5
30	21.7
40	19.2
50	16.1
60	12.5
70	8.6
80	4.3
90	0.0

Slika 4.1: Prikaz obtežbe zaradi sonca
(NDCT ŠOŠTANJ unit 6, 2010, str. 26)

5 ANALIZE PO METODI KONČNIH ELEMENTOV S PROGRAMOM SAP2000

5.1 Mreža končnih elementov

Mrežo končnih elementov sem povzel po Čakš (2013). Mreža končnih elementov je prilagojena spremembi debeline lupine ter stičiščem stebrov in lupine, zato je na teh mestih tudi ustrezno zgoščena. Tako je v spodnjem delu, kjer so vpeti stebri, v zgornjem delu, ki je dodatno ojačan s pohodnim "U" obročem, okoli luknje namenjene dovodu dimnih plinov ter v srednjem delu, kjer pride do spremembe debeline, mreža zgoščena tako v vertikalni kot tudi v obodni smeri. Zaradi zgostitev so med deli mreže narejeni prehodi (slika 5.1 in slika 5.2).

Spodnji del mreže je sestavljen iz 20 končnih elementov po višini in 128 končnih elementov po obodu. Njihova višina je 0,7685 m, širina pa med 2,25 m in 2,07 m, odvisno od polmera lupine. Na tem delu se debelina lupine iz 1,06 m zmanjša na 0,21 m. Sledi prehod na spodnji srednji del, ki ima redkejšo mrežo. Ta je po višini sestavljena iz 26 končnih elementov, ki imajo višino 3,074 m in povprečno širino med 4,14 m in 2,77 m, odvisno od polmera lupine. Debelina lupine na tem delu je konstantno 0,21 m. Pri grlu lupine pride zopet do spremembe debeline lupine iz 0,21 m na 0,18 m. Zato sledi prehod na gostejšo mrežo. Ta je sestavljena po višini iz 16 končnih elementov, ki v višino merijo 0,7685 m, v širino pa povprečno 1,38 m. Na zgornjem srednjem delu je debelina lupine konstantna in meri 0,18 m, kar pomeni vnovični prehod na redkejšo mrežo. Po višini je mreža tu razdeljena na 13 končnih elementov, ki merijo 3,074 m v višino in povprečno med 2,76 m in 2,86 m v širino, odvisno od polmera lupine. Na vrhu stolpa se lupina zopet odebeli, zato sledi še zadnji prehod na gostejšo mrežo. Na tem delu se pojavi tudi "U" hodnik, zaradi česar je mreža na tem delu precej neenakomerno razdeljena, in sicer ima najmanjši element višino le 0,17 m, največji pa 0,87 m. V širino povprečno merijo med 1,43 m in 1,44 m.

Luknja za dovod dimnih plinov se nahaja pod kotom $64,69^\circ$ glede na izbrano smer x globalnega koordinatnega sistema, njene dimenzije pa so približno 11 m x 10 m. Spodnja polovica luknje je pravokotne oblike, zgornja pa polkrožne. Spodnji rob luknje je na višini 49,764 m nad terenom, zgornji pa na 60,764 m. Lupina v okolici luknje je odebeljena. Odebelitev se na zgornji strani luknje začne 11,19 m nad luknjo, na višini 71,955 m, debelina pa se iz 0,21 m zveča na 0,32 m. Na spodnjem delu se odebelitev začne na višini 38,281 m, torej 11,483 m pod luknjo in se tako kot zgoraj iz 0,21 m odebeli na 0,32 m. Na vsaki strani luknje je lupina ravno tako odebeljena. Odebelitev se začne cca 6,80 m na vsako stran luknje in se postopoma poveča iz 0,21 m na 0,32 m. V tem delu je mreža precej zgoščena, posamezni končni elementi imajo višino cca 0,5 m in povprečno širino med 1,86 m in 1,50 m.

Lupina je podprta z 32 meridianskimi stebri, ki imajo spremenljiv prečni prerez. Spodaj, kjer so polno vpeti, merijo 2,725 m x 1,1 m. Zgoraj merijo 1,0 m x 1,1 m.

Na zgornjem delu je lupina ojačana z "U" pohodnim obročem. Obroč v višino meri 1,2 m, širok je 1,099 m, debelina notranje stene je 0,18 m, tla pa so debela 0,35 m.

Zaradi lažjega podajanja je namesto spremenljive debeline končnih elementov podana povprečna debelina, kot prikazuje Preglednica 5.1.

Preglednica 5.1: Povprečna debelina lupine
(Čakš, 2013)

Višina lupine [m]	Višina stolpa [m]	Radij [m]	Debelina [mm]	Povprečna debelina [mm]
153,698	162	29,59	351,00	
				338,250
152,923	161,225	29,57153	325,50	
				319,000
152,5355	160,8375	29,54736	312,50	
				309,075
152,323	160,625	29,54736	305,65	
				302,825
152,148	160,45	29,539	300,00	
				297,500
151,9295	160,2315	29,52787	295,00	
				292,500
151,7111	160,0131	29,51606	290,00	
				285,000
151,2742	159,5762	29,49075	280,00	
				270,000
150,4003	158,7023	29,43611	260,00	
				250,000
149,5265	157,8285	29,38121	240,00	
				230,000
148,6527	156,9547	29,33215	220,00	
				210,000
147,7788	156,0808	29,29505	200,00	
				190,000
146,905	155,207	29,276	180,00	
144,476	152,778	29,287	180,00	
141,402	149,704	29,187	180,00	
138,328	146,63	29,087	180,00	
135,254	143,556	28,988	180,00	
132,18	140,482	28,889	180,00	
129,106	137,408	28,792	180,00	
				180
126,032	134,334	28,696	180,00	
122,958	131,26	28,601	180,00	
119,884	128,186	28,509	180,00	
116,81	125,112	28,421	180,00	
113,736	122,038	28,338	180,00	
110,662	118,964	28,262	180,00	
107,588	115,89	28,199	180,00	
				180,625
106,8195	115,1215	28,1862	181,25	
				181,875
106,051	114,353	28,17484	182,50	
				183,125
105,2825	113,5845	28,16506	183,75	
				184,375
104,514	112,816	28,157	185,00	
				185,625

se nadaljuje ...

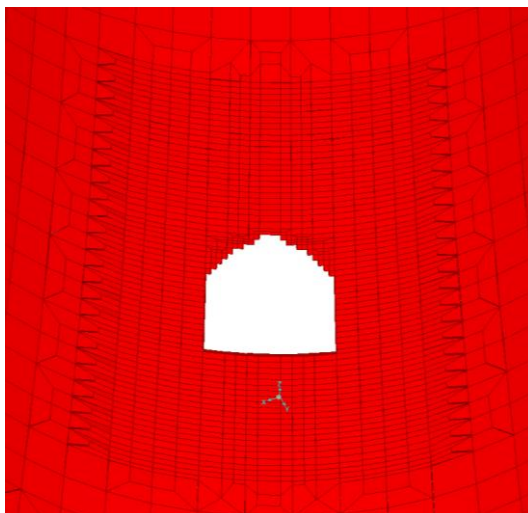
... nadaljevanje Preglednice 5.1

103,7455	112,0475	28,15079	186,25	
				186,875
102,977	111,279	28,14661	187,50	
				188,125
102,2085	110,5105	28,14462	188,75	
				189,375
101,44	109,742	28,145	190,00	
				191,250
100,6718	108,9738	28,14789	192,50	
99,9035	108,2055	28,15333	195,00	
				193,750
				196,250
99,13525	107,4373	28,16136	197,50	
				198,750
98,367	106,669	28,172	200,00	
				201,250
97,5985	105,9005	28,18526	202,50	
				203,750
96,83	105,132	28,20106	205,00	
				206,250
96,0615	104,3635	28,21934	207,50	
				208,750
95,293	103,595	28,24	210,00	
92,219	100,521	28,347	210,00	
89,145	97,447	28,496	210,00	
86,071	94,373	28,684	210,00	
82,997	91,299	28,912	210,00	
79,923	88,225	29,18	210,00	
76,849	85,151	29,487	210,00	
73,775	82,077	29,832	210,00	
70,701	79,003	30,214	210,00	
67,627	75,929	30,632	210,00	
64,553	72,855	31,086	210,00	
61,479	69,781	31,573	210,00	
58,405	66,707	32,093	210,00	
55,331	63,633	32,645	210,00	
52,257	60,559	33,227	210,00	
49,183	57,485	33,838	210,00	
46,109	54,411	34,476	210,00	
43,035	51,337	35,141	210,00	
39,961	48,263	35,83	210,00	
36,887	45,189	36,544	210,00	
33,813	42,115	37,28	210,00	
30,74	39,042	38,037	210,00	
27,666	35,968	38,814	210,00	
24,592	32,894	39,611	210,00	
21,518	29,82	40,425	210,00	
18,444	26,746	41,257	210,00	
15,37	23,672	42,105	210,00	
				210
				211,250

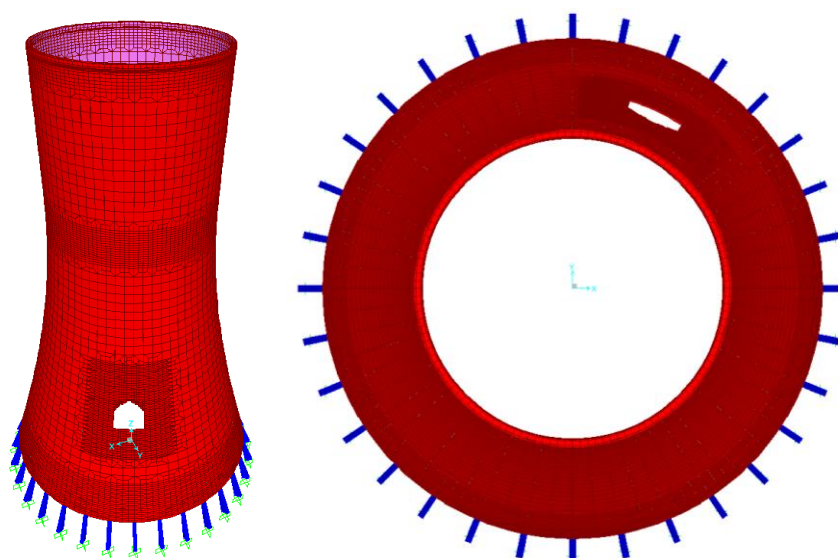
se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 5.1

14,6015	22,9035	42,31933	212,50	
				213,750
13,833	22,135	42,5346	215,00	
				216,250
13,0645	21,3665	42,75082	217,50	
				218,750
12,296	20,598	42,968	220,00	
				226,250
11,5275	19,8295	43,18616	232,50	
				238,750
10,759	19,061	43,40525	245,00	
				251,250
9,9905	18,2925	43,62521	257,50	
				263,750
9,222	17,524	43,846	270,00	
				273,750
8,4535	16,7555	44,06757	277,50	
				281,250
7,685	15,987	44,28991	285,00	
				288,750
6,9165	15,2185	44,51305	292,50	
				296,250
6,148	14,45	44,737	300,00	
				337,500
5,3795	13,6815	44,96177	375,00	
				412,500
4,611	12,913	45,18736	450,00	
				487,500
3,8425	12,1445	45,41377	525,00	
				562,500
3,074	11,376	45,641	600,00	
				657,500
2,3055	10,6075	45,86904	715,00	
				772,500
1,537	9,839	46,09789	830,00	
				887,500
0,7685	9,0705	46,32754	945,00	
				1002,500
0	8,302	46,558	1060,00	



Slika 5.1: Luknja
(Čakš, 2013)



Slika 5.2: Pogled (levo) in tloris (desno) mreže končnih elementov
(Čakš, 2013)

5.2 Materiali

Projektna dokumentacija narekuje uporabo betonov C30/37 in C35/45 ter jekla za armaturo S 500 B. Za meridianske stebre je uporabljen beton C35/45. Ker piše, da sta za lupino uporabljena oba trdnostna razreda, ni pa omenjeno za katere dele kateri trdnosti razred, sem kot material za mrežo lupine uporabil beton C35/45. Pri tem sem za linearni temperaturni razteznostni koeficient α_T betona in armaturnega jekla po navodilih SIST EN 1991-1-5 uporabil vrednost $\alpha_T=1 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{C}^\circ}$

5.3 Podajanje obtežbe v SAP2000

5.3.1 Lastna teža

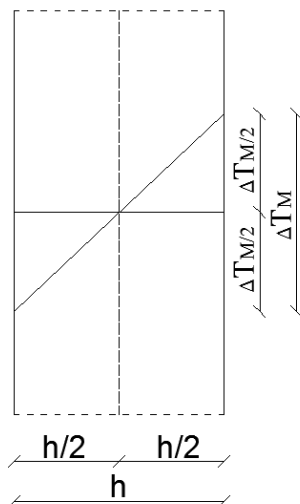
Program SAP2000 avtomatsko izračuna in generira za vsak model preko njegove geometrije in uporabljenih materialov obtežni primer »DEAD«, s katerim zajame vpliv karakteristične lastne teže na konstrukcijo.

5.3.2 Temperaturna obtežba

Temperaturna obtežba se v programu SAP2000 poda na dva načina, in sicer kot:

- sprememba temperature celotnega elementa,
- temperaturni gradient elementa, ki je definiran po izrazu (5.1), slika 5.3.

$$\text{temperaturni gradient} = \frac{\Delta T_M/2}{h/2} = \frac{\Delta T_M}{h} \quad (5.1)$$



Slika 5.3: Definicija temperaturnega gradienta

Pri podajanju konstantne spremembe temperature po celotnem elementu v SAP2000 za katerikoli obtežni primer ni večjih težav, saj označimo vse ploskovne elementa in podamo temperaturno razliko. Drugače je pri podajanju linearna sprememba temperature.

Ker se debelina končnih elementov po višini lupine hladilnega stolpa spreminja, od debelina pa sta odvisna tako temperaturni gradient kot efektivna linearna sprememba temperature (glej enačbo 4.3), bi bilo ročno podajanje obtežbe za vsak element izjemno zamudno. Tega se lahko v programu SAP2000 elegantno izognemo z izjemno uporabno funkcijo, ki se imenuje »Interactive Database Editing«. Z njeno pomočjo lahko vse podatke in lastnosti modela prikažemo v obliki urejenih Preglednic 5.2-5.6, ki jih lahko uvozimo v program Microsoft Excel, podatke uredimo v tem program, nato pa jih uvozimo nazaj v SAP2000.

Recept za podajanje temperaturne obtežbe za hladilni stolp TEŠ 6 zaradi linearne spremembe temperature ΔT_M , ko je elektrarna v operativnem stanju pozimi, je bil sledeč:

- najprej sem izvozil naslednje tri preglednice v Excel: tabelo, ki prikazuje ime ploskovnega končnega elementa (ime elementa je sestavljeno iz številke, ki potekajo od 1 do števila vseh končnih elementov) in ime njegovega prereza, preglednico, ki prikazuje imena prerezov in njihove debeline ter preglednico, ki prikazuje ime elementa in njegovo temperaturno obtežbo,
- nato sem podatke o prerezih in debelinah lupine kopiral v tabelo o temperaturni obtežbi »TABLE: Area Loads - Temperature«, in s preprostimi Excel operacijami v skladu z enačbami (4.1)-(4.7) in (5.1) določil temperaturno obtežbo za vsak element posebej,
- iz tabele »TABLE: Area Loads - Temperature« sem pobrisal vrednosti, ki sem jih kopiral v tabelo in pustil le izračunani temperaturni gradient ter jo uvozil nazaj v SAP2000.

Pri tem je bilo nekoliko zamudnejše podajanje obtežbe za obtežni primer, ko je TEŠ 6 v remontu poleti zaradi sonca. Tukaj sem najprej izvozil tabelo koordinat vozlišč elementov »Joint Coordinates«, ki podaja lokacijo vozlišča v polarnem koordinatnem sistemu in tabelo vrednosti vzorca vozlišč »Joint Pattern Assignment« in ju združil, tako da sem v tabeli »Joint Pattern Assignment« dodal 6. stolpec iz

tabele »Joint Coordinates«. Nato sem s pomočjo kosinusne funkcije ustvaril vrednosti v vozliščih, kot ga prikazuje slika 4.1. Pri tem je največja vrednost v kateremkoli vozlišču 1.

Preglednica 5.2: Primer izpisa iz preglednice, ki prikazuje ime ploskovnega končnega elementa in njegov prerez

TABLE: Area Section Assignments		
Area	Section	MatProp
Text	Text	Text
1	8,302-9,0705	Default

Preglednica 5.3: Primer izpisa iz preglednice, ki prikazuje imena prereзов in njihove debeline

TABLE: Area Section Properties							
Section	Material	MatAngle	AreaType	Type	DrillDOF	Thickness	BendThick
Text	Text	Degrees	Text	Text	Yes/No	m	m
10,6075-11,376	lupina	0	Shell	Shell-Thick	Yes	0.6575	0.6575

Preglednica 5.4: Primer izpisa iz preglednice, ki prikazuje ime elementa in njegovo temperaturna obtežbo

TABLE: Area Loads - Temperature					
Area	LoadPat	Type	Temp	TempGrad3	JtPattern
Text	Text	Text	C	C/m	Text
1	OPER_ZIMA_MOM	Gradient		-41.86	None

Preglednica 5.5: Primer izpisa iz tabele, ki prikazuje vozlišča in njihove koordinate

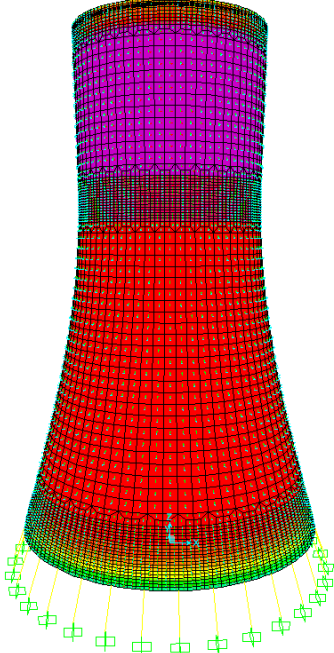

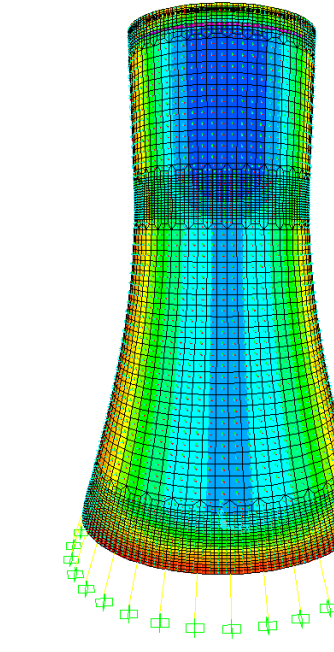

TABLE: Joint Coordinates						
Joint	CoordSys	CoordType	XorR	Y	T	Z
Text	Text	Text	m	m	Degrees	m
1	GLOBAL	Cylindrical	46.028		0	8.302

Preglednica 5.6: Primer izpisa iz tabele, ki prikazuje vozlišča in pripadajoče vrednosti vzorca

TABLE: Joint Pattern Assignments		
Joint	Pattern	Value
Text	Text	Unitless
1	RADIACIJA	0

Sledil je najbolj zamuden del, saj sem moral »na roke« izbrati tiste končne elemente lupine, ki imajo enako debelino, izračunati pripadajoči temperaturni gradient v skladu z enačbami (4.6)-(4.7) in (5.1) in ga podati med obtežbo. Rezultat je viden v Preglednici 5.7.

Preglednica 5.7: Grafični prikaz temperaturnih obtežb

obtežni primer	slika obtežbe	skala gradienta v $\left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}\right]$
$\Delta T_{eff}^{OP}/h$, ko je TEŠ 6 v operativnem stanju pozimi.		
$\Delta T_M^S/h$, ko je TEŠ 6 v remontu poleti.		

5.4 Obtežne kombinacije in varnostni faktorji

V standardu VGB-R 610 e, izdaja 2010 sta podani obtežni kombinaciji za mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti. V njiju nastopajo obtežni faktorji, ki so podani v spodnji preglednici.

Preglednica 5.8: Varnostni faktorji
(VGB-R 610 e, izdaja 2010, str. 33)

obtežba	delni varnostni faktor		kombinacijski faktor		
	γ_G	γ_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2
lastna teža D	1,00/1,35	-	-	-	-
operativno stanje elektrarne pozimi T ^{OP}	-	0/1,50	0	1,0	1,0
remont elektrarne pozimi T ^W	-	0/1,50	0	0,5	0
remont elektrarne poleti T ^S	-	0/1,50	0	0,5	0

Pri stalnih in začasnih projektnih stanjih se v mejnem stanju nosilnosti upošteva spodnja kombinacija.

$$\sum_{j>1} \gamma_{G,j} \cdot D_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (5.2)$$

V mejnem stanju uporabnosti se upošteva spodnja pogosta kombinacija.

$$\sum_{j>1} D_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (5.3)$$

Uklonska stabilnost se upošteva po spodnji kombinaciji.

$$\gamma_B(D + W_e + W_i); \gamma_B \geq 5 \quad (5.4)$$

5.4.1 Mejno stanje nosilnosti

V mejnem stanju nosilnosti smo pri analizi le temperaturne in lastne obtežbe uporabili spodnje tri obtežne kombinacije, ki sledijo iz enačbe (5.2). Uporabljena materialna varnostna faktorja sta $\gamma_c=1,5$ za beton in $\gamma_s=1,15$ za jeklo.

Preglednica 5.9: Obtežne kombinacije v mejnem stanju nosilnosti

Obtežbe, ki nastopajo.	obtežna kombinacija
operativno stanje elektrarne pozimi T ^{OP} in lastna teža	$1,35 \cdot D + 1,50 \cdot T^{OP}$
remont elektrarne pozimi T ^W in lastna teža	$1,35 \cdot D + 1,50 \cdot T^W$
remont elektrarne poleti T ^S in lastna teža	$1,35 \cdot D + 1,50 \cdot T^S$

5.4.2 Mejno stanje uporabnosti

V mejnem stanju uporabnosti so upoštewane obtežne kombinacije iz Preglednice 5.10, ki sledijo iz enačbe (5.3). V mejnem stanju uporabnosti je potrebna še kontrola razpok hladilnega stolpa. Največja dovoljena širina razpok je odvisna od razreda izpostavljenosti elementov konstrukcije. Dovoljene širine razpok za lupino, temelje in stebre so navedene v Preglednici 5.11.

Preglednica 5.10: Obtežne kombinacije v mejnem stanju uporabnosti

Obtežbe, ki nastopajo v obtežni kombinaciji.	obtežna kombinacija
operativno stanje elektrarne pozimi T ^{OP} in lastna teža D	$1,00 \cdot D + 1,00 \cdot T^{OP}$
remont elektrarne pozimi T ^W in lastna teža D	$1,00 \cdot D + 0,50 \cdot T^W$
remont elektrarne poleti T ^S in lastna teža D	$1,00 \cdot D + 0,50 \cdot T^S$

Preglednica 5.11: Največje dovoljene širine razpok
(VGB-R 610 e, izdaja 2010, str. 35)

element	največja dovoljena širina razpoke [mm]
lupina	0.20
lupina, temelji in stebri	0.30

6 REZULTATI ANALIZ S PROGRAMOM SAP2000

Ker v projektni dokumentaciji piše, da sta za lupino uporabljena betona trdnostnih razredov C/30/37 in C35/45, ni pa omenjeno za katere dele lupine, sem pri analizi notrajnih sil za celotno lupino uporabil beton trdnosti C35/45.

6.1 Notranje sile v hladilnem stolpu

Analiza notrajnih sil poteka po principu linearne statične analize, kjer se rešuje sistem linearnih enačb, ki ima spodnjo obliko.

$$K \cdot u = F \quad (6.1)$$

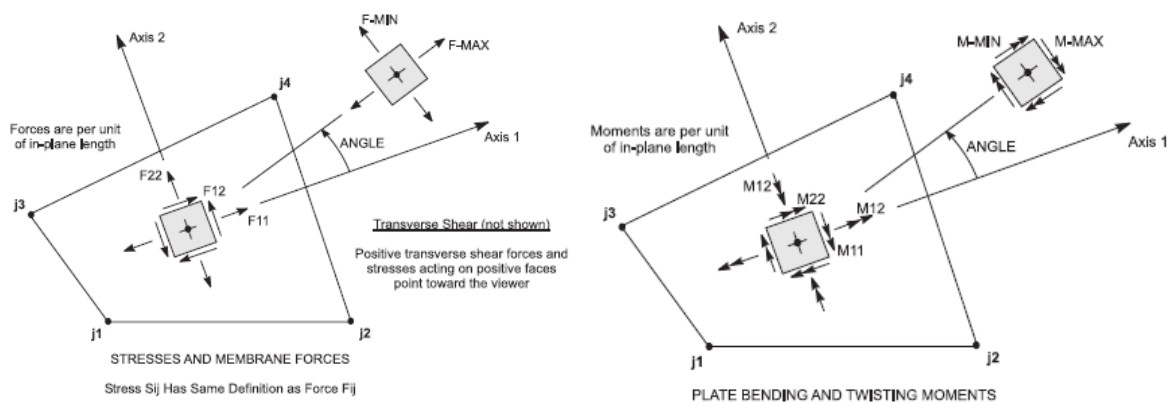
Pri tem je :

- K – linearna togostna matrika konstrukcije,
- r – vektor zunanje obtežbe,
- u – vektor rezultirajočih pomikov.

Obtežne kombinacije za katere sem naredil analizo notrajnih sil so v Preglednici 6.1.

Smeri lokalnega koordinatnega sistema v končnem elementu lupine so prikazane na sliki 6.2. Smer 1 kaže v desno v tangentski smeri na krožnico horizontalnega preseka, smer 2 gleda navzgor, smer 3 pa gleda ven iz lupine proti nam.

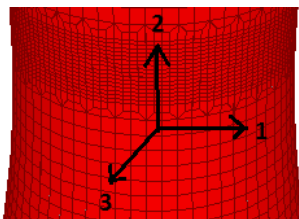
Grafični rezultati notrajnih sil vseh obtežnih kombinacij so podani v prilogi B.



Slika 6.1: Notranje sile za elemente tipa »shell«
(SAP2000, 1998)

Preglednica 6.1: Obtežne kombinacije za analizo notrajnih sil

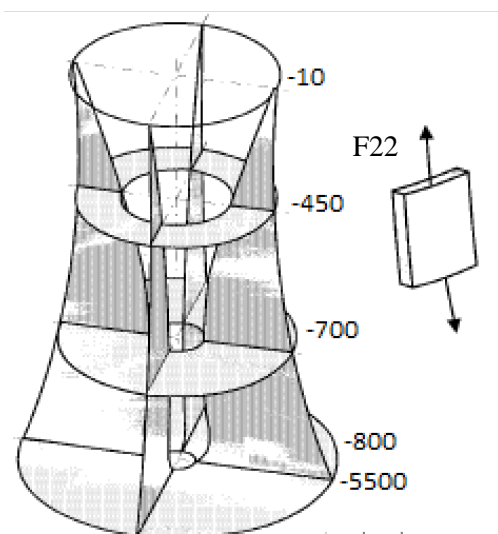
Obtežbe, ki nastopajo.	Analizirane obtežne kombinacije
lastna teža	$1,35 \cdot D$
operativno stanje elektrarne pozimi T^{OP}	$1,50 \cdot T^{OP}$
remont elektrarne pozimi T^W	$1,50 \cdot T^W$
remont elektrarne poleti T^S	$1,50 \cdot T^S$
operativno stanje elektrarne pozimi T^{OP} in lastna teža	$1,35 \cdot D + 1,50 \cdot T^{OP}$
remont elektrarne pozimi T^W in lastna teža	$1,35 \cdot D + 1,50 \cdot T^W$
remont elektrarne poleti T^S in lastna teža	$1,35 \cdot D + 1,50 \cdot T^S$



Slika 6.2: Lokalni koordinatni sistem elementov lupine

6.1.1 Notranje sile zaradi lastne teže

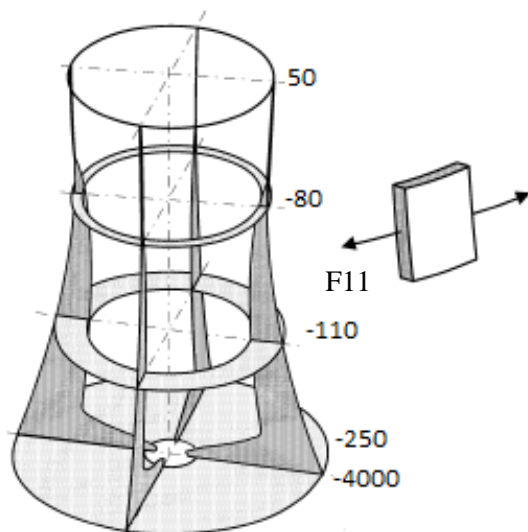
Lastna teža povzroča v meridijski smeri (glej Sliko 6.3) tlačne sile F_{22} , ki se višajo v smeri od vrha hladilnega stolpa proti dnu. Na območju vpetja stebra so tlaki približno 7x večji kot povprečni tlaki v lupini.



Slika 6.3: F_{22} [kN/m] zaradi lastne teže

(Gould, P. L., Krätzig, W. B. 1999, str 19, številске vrednosti so izračunane v tej diplomski nalogi)

Tudi tlačne sile F_{11} v obročni smeri se višajo od vrha stolpa proti dnu, kar lahko pripišemo hiperboloidni obliki stolpa. Ker ima beton nosi veliko več v tlaku kot nategu, je to za konstrukcijo »ugodno«. Podobno kot sile F_{22} , se tudi sile F_{11} skoncentrirajo na območju vpetja v steber. Na vrhu hladilnega stolpa so natezne sile (slika 6.4).

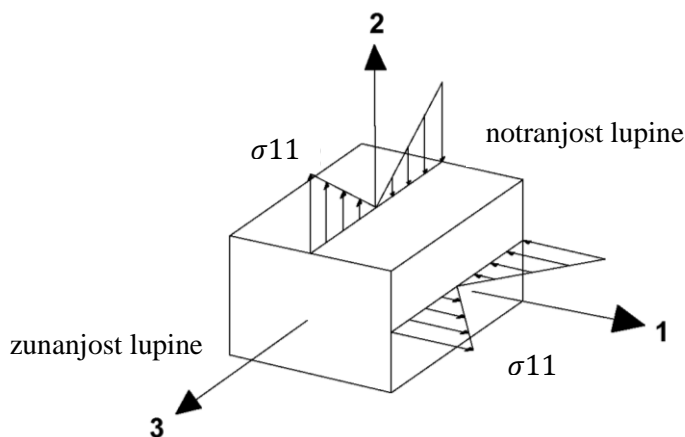


Slika 6.4: F_{11} [kN/m] zaradi lastne teže
(Gould, P. L., Krätzig, W. B. 1999, str 17, številске vrednosti so izračunane v tej diplomski nalogi)

6.1.2 Notranje sile zaradi temperaturne obtežbe

6.1.2.1 Operativno stanje elektrarne pozimi (T^{OP})

Pri tej obtežbi je lupina obtežena s konstantno spremembo temperature po celotni debeli lupine $\Delta T_N^{OP} = -14,5$ °C in linearno spremembo temperature $\Delta T_M^{OP} = -49$ °C. Prva je vzrok, da prevladujejo natezne osne sile tako v smeri 1 kot v smeri 2, saj se želi material skrčiti. Druga pa je vzrok za pojav negativnih momentov M_{11} in M_{22} v lupini, saj se želi material v notranjosti lupine razširiti, kar tam povzroča tlak, v zunanosti pa skrčiti, kar tam povzroča nateg.



Slika 6.5: Skica napetosti v lupini pri obtežbi ΔT_M^{OP}

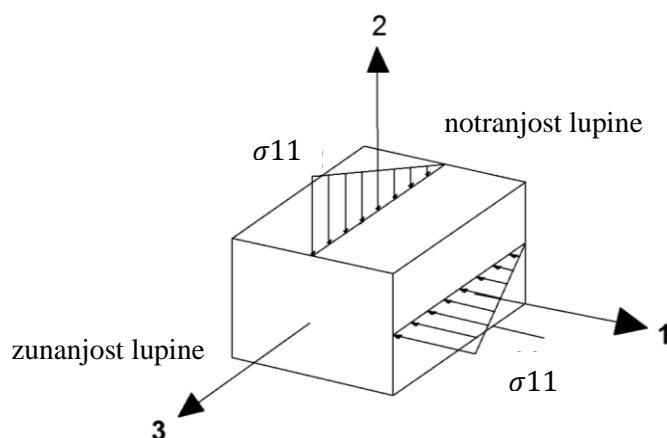
6.1.2.2 Remont elektrarne pozimi T^W

Pri tej obtežbi je lupina obtežena s konstantno spremembo temperature po celotni debeli lupine $\Delta T_N^{OP} = -39$ °C. Ta obtežba povzroča v lupini natezne osne sile, saj se želi material skrčiti, kar mu podpore preprečujejo.

6.1.2.3 Remont elektrarne poleti T^S

Pri tej obtežbi je lupina obtežena s konstantno spremembo temperature po celotni debeli lupine $\Delta T_N^S = 22$ °C in linearno spremembo temperature $\Delta T_M^{S, eff, max} = 25$ °C. Prva je vzrok, da prevladujejo

tlačne osne sile tako v smeri 1 kot v smeri 2, saj se želi material razširiti. Druga pa je vzrok za pojav pozitivnih momentov $M11$ in $M22$ v z soncem obsijani lupini, saj se želi material v zunanosti lupine razširiti zaradi vpliva sonca, kar povzroča tlačne napetosti.



Slika 6.6: Skica napetosti v lupini pri obtežbi ΔT_M^S

6.1.3 Notranje sile zaradi temperaturne obtežbe in lastne teže

Tukaj gre le za ovojnico notrajnih sil zaradi temperaturnih obtežb in lastne teže. Na podlagi rezultatov analiz obtežnih kombinacij iz Preglednice 6.1 poteka v tej diplomski nalogi dimenzioniranje armature.

6.2 Uklonska analiza

Uklonska analiza je bila narejena s programom SAP2000. Pri tej analizi iščemo tako velikost obtežbe, pri kateri bo prišlo do uklona. V splošni obliki iščemo rešitev posplošenega problema lastnih vrednosti.

$$[K - \lambda_i \cdot G(u(F))] \cdot \Psi_i = 0 \quad (6.2)$$

Pri tem so:

- K - linearna togostna matrika,
- $G(u(F))$ - geometrijsko nelinearna togostna matrika iz vrednotena s pomiki u pri obtežbi F ,
- λ_i - lastne vrednosti togostne matrike - uklonski faktorji,
- Ψ_i - pripadajoči lastni vektorji - uklonska oblika.

Uklonske oblike so oštevilčene od 1 do n . Lastna vrednost oz uklonski faktor λ nam pove, kolikokrat moramo pomnožiti obtežbo F , da povzročimo uklonsko nestabilnost. Pri tem so uklonske oblike oštevilčene po vrsti od tiste z najmanjšim uklonskim faktorjem proti tistim z večjim.

Analiza uklonske stabilnosti lupine se sicer dela po obtežni kombinaciji podani z enačbo (5.4), v kateri nastopata le lastna teža in vpliv vetra. Ker pa v tej diplomski nalogi analiziramo le temperaturni vpliv na konstrukcijo sem naredil in primerjal uklonske analize za spodnje obtežne kombinacije.

Preglednica 6.2: Obtežne kombinacije za uklonsko analizo

Obtežbe, ki nastopajo.	Analizirane obtežne kombinacije
lastna teža	$1,0 \cdot D$
operativno stanje elektrarne pozimi T^{OP} in lastna teža	$1,0 \cdot D + 1,0 \cdot T^{OP}$
remont elektrarne pozimi T^W in lastna teža	$1,0 \cdot D + 1,0 \cdot T^W$
remont elektrarne poleti T^S in lastna teža	$1,0 \cdot D + 1,0 \cdot T^S$

6.2.1 Komentar uklonske analize

Vidimo, da ni nevarnosti uklona lupine saj je za vse obtežne primere faktor $\gamma_B \geq 5$ po zahtevku enačbe (5.3). Opazimo tudi, da sta si po dve zaporedni uklonski obliki podobni, saj pride le do rotacije horizontalnih valov glede na izhodišče. V primeru, da lupine ne bi vsebovala luknje za dimne pline, bi imeli tudi enaka uklonska faktorja. Vidimo tudi, da temperaturna obtežba nima velikega vpliva na uklonsko stabilnost, saj so si uklonske oblike, ki vsebujejo temperaturno obtežbo zelo podobne z uklonskimi oblikami, ki je ne vsebujejo. Zanimivo je tudi to, da temperaturna obtežba, pozimi, ko je elektrarna v operativnem stanju, ter temperaturna obtežba poleti, ko je elektrarna v remontu celo zmanjšata možnost uklona, torej delujeta ugodno.

6.3 Armatura

6.3.1 Predpisi za določanje armature po standardu VGB-R 610 e, izdaja 2010

6.3.1.1 Minimalna armatura

Zahtevana minimalna armatura za prosto stoječe hladilne stolpe v razmerju od prečnega prereza lupine znaša:

- v meridijski smeri: $\rho_M = 0,3\% A_C$,
- v obodni smeri:
 - $\rho_M = 0,3\% A_C$ za spodnjo polovico lupine,
 - $\rho_M = 0,4\% A_C$ za zgornjo polovico lupine.

Tu je $A_C = 1 \cdot h$ (površina 1 m dolgega prereza lupine).

6.3.1.2 Splošne zahteve

Armatura mora biti zagotovljena na notranji in zunanji strani lupine, pri čemer mora biti vsaka sestavljena iz obročne in meridijske armature. Armaturi na zunanji in notranji strani lupine si naj bosta kar se da podobni. Različni sta lahko kadar je to statično upravičeno. V večini lupine je meridijska armatura znotraj, obročna pa zunaj. Obročna armatura ima nekakšno funkcijo stremen. Na dnu stolpa pa je potrebno meridijsko armaturo položiti na zunanjo stran in s tem zapreti obročno armaturo, razen če je obročna armatura že kako drugače fiksirana ali pa so izvedeni dodatni detajlni računi.

6.3.1.3 Material

Material mora biti v skladu s standardom. Pri tem pa mora veljati, da je minimalen premer palice 8 mm. Iz gradbenih razlogov pa je priporočljiva uporaba palic s premerom najmanj 10 mm, razen če so sprejeti učinkoviti ukrepi, ki preprečijo nihanje prosto stoječih palic.

6.3.1.4 Razmik med armaturo

Maksimalen razmik med armaturnimi palici je omejen na 20 cm za meridijsko armaturo in 15 cm za obročno armaturo.

6.3.1.5 Spodnji in zgornji rob lupine

Zgornji in spodnji rob lupine morata biti ojačana s primernimi robnimi palicami. Če ni narejena detajlna analiza, je najmanjša »togost« zgorjega roba podana s spodnjo enačbo.

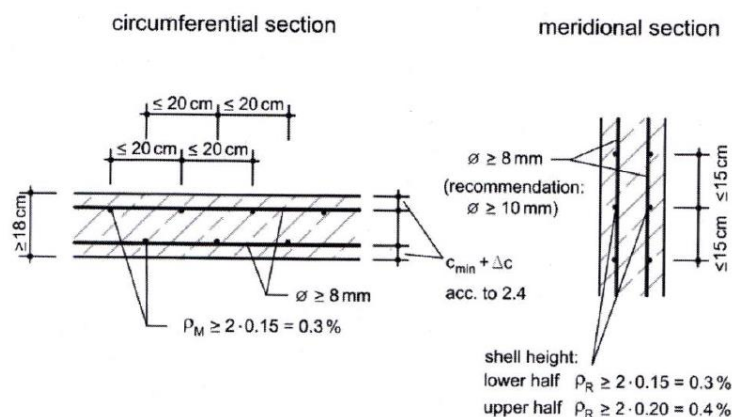
$$\frac{I_x}{r_H} = 0,003 m^3 \quad (6.4)$$

Pri tem je:

- I_x - vztrajnostni moment nerazpokanega armiranega betonskega prereza, sestavljenega iz zgornjega ojačanega dela in podpornih delov lupine (ob predpostavki povprečne debeline lupine) glede na srednjo ploskev lupine,
- r_H - polmer lupine na zgornjem robu.

6.3.1.6 Pregled minimalnih vrednosti

Minimalne vrednosti so prikazane sliki 6.7.



Slika 6.7: Prikaz minimalnih vrednosti za obročno (levo) in meridijsko (desno) armaturo (VGB-R 610 e, izdaja 2010, str. 41)

6.3.2 Določitev armature

Armaturo je določena s programom SAP2000 z linearno statično analizo za obtežne kombinacije v Preglednici 6.3. Ker je temperaturna obtežba tudi edina spremenljiva obtežba, saj ostalih obtežb v tej diplomski nalogi nisem analiziral, je faktorizirana s faktorjem $\gamma_Q = 1,50$.

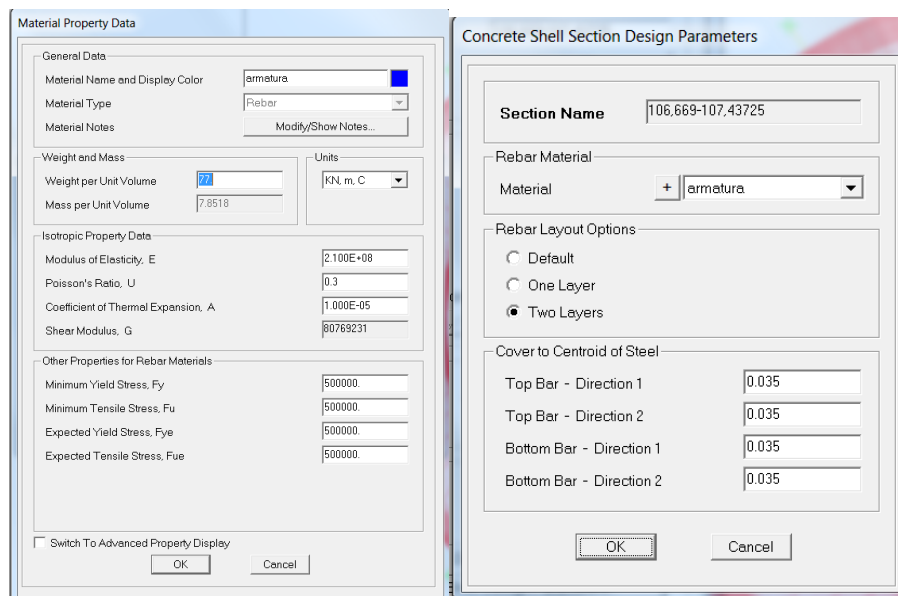
Preglednica 6.3: Obtežne kombinacije za dimenzioniranje armature

Obtežbe, ki nastopajo.	Analizirane obtežne kombinacije
operativno stanje elektrarne pozimi T^{OP} in lastna teža	$1,35 \cdot D + 1.50 \cdot T^{OP}$
remont elektrarne pozimi T^W in lastna teža	$1,35 \cdot D + 1.50 \cdot T^W$
remont elektrarne poleti T^S in lastna teža	$1,35 \cdot D + 1.50 \cdot T^S$

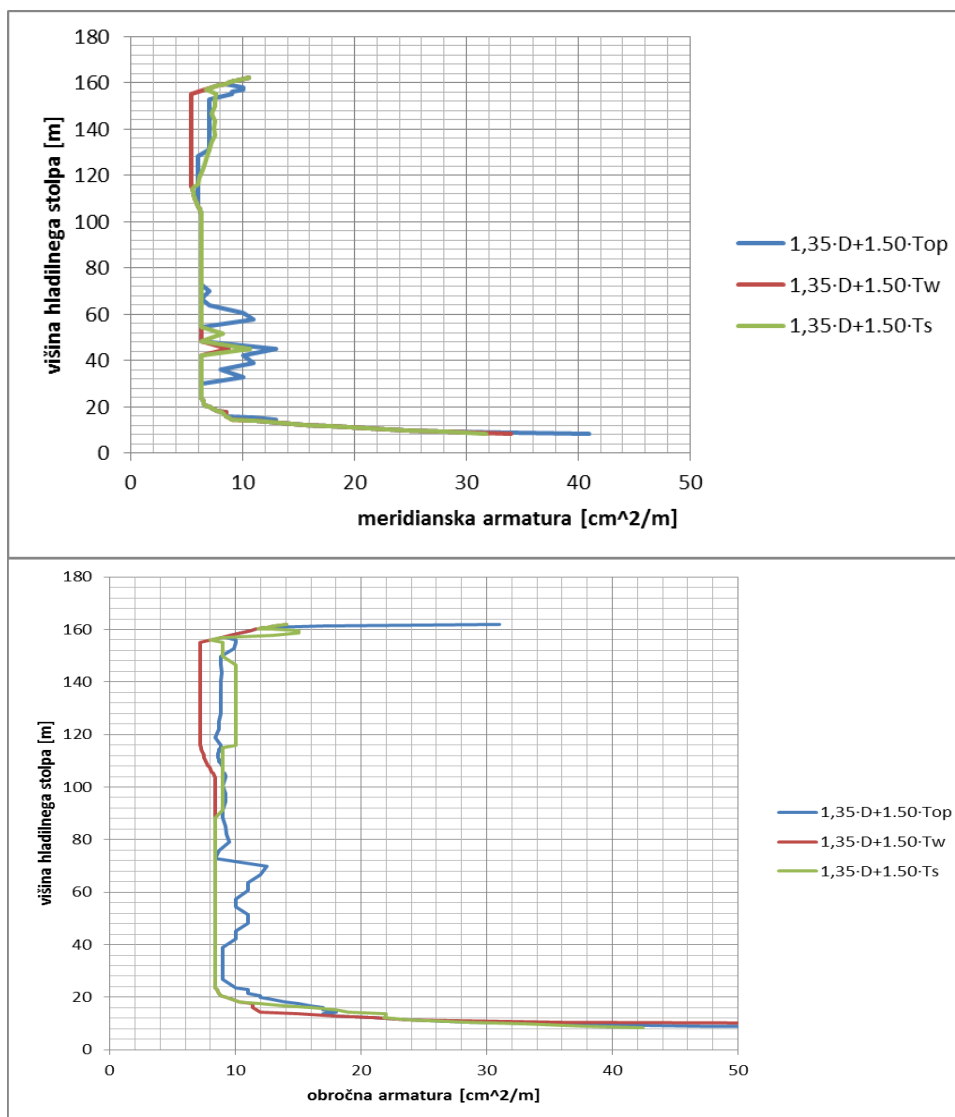
Pri tem je bilo treba podati:

- trdnostne karakteristike armature (armatura S500 B ima $f_{yk} = 500000 \text{ kN/m}^2$),
- položaj armature, pri nas je to zunaj in znotraj, obkraj v meridijski in obročni smeri ter
- zaščitno plast, ki pri nas znaša 3.5 cm v skladu s Preglednico 3.4 tako za meridijsko kot obročno smer

Program nam nato poda rezultate v obliki barvnih diagramov. Ker program SAP2000, za razliko od programa ROSHE3, ki je bil uporabljen v projektni dokumentaciji, ne omogoča izvoza izpisa armature po lupini, armatura pa po obodu lupine precej variira, sem vrednosti potrebne armature ocenil iz barvnih diagramov. Preglednice s potrebnimi armaturami v meridijski in obročni smeri, kjer je upoštevana tudi zahtevana minimalna armatura (glej 6.3.1.1) najdemo v prilogi D. Na sliki 6.9 je grafično prikazana potrebna skupna armatura v meridijski in obročni smeri za vse tri obtežne primere. Pri vsaki višini je odčitana največja izračunana vrednost obeh armatur na tej višini.



Slika 6.8: Določitev materialnih karakteristik armature (levo) in zaščitne plasti (desno) v programu SAP2000



Slika 6.9: Grafi potrebne meridianske (zgoraj) in obročne (spodaj) armature po višini lupine

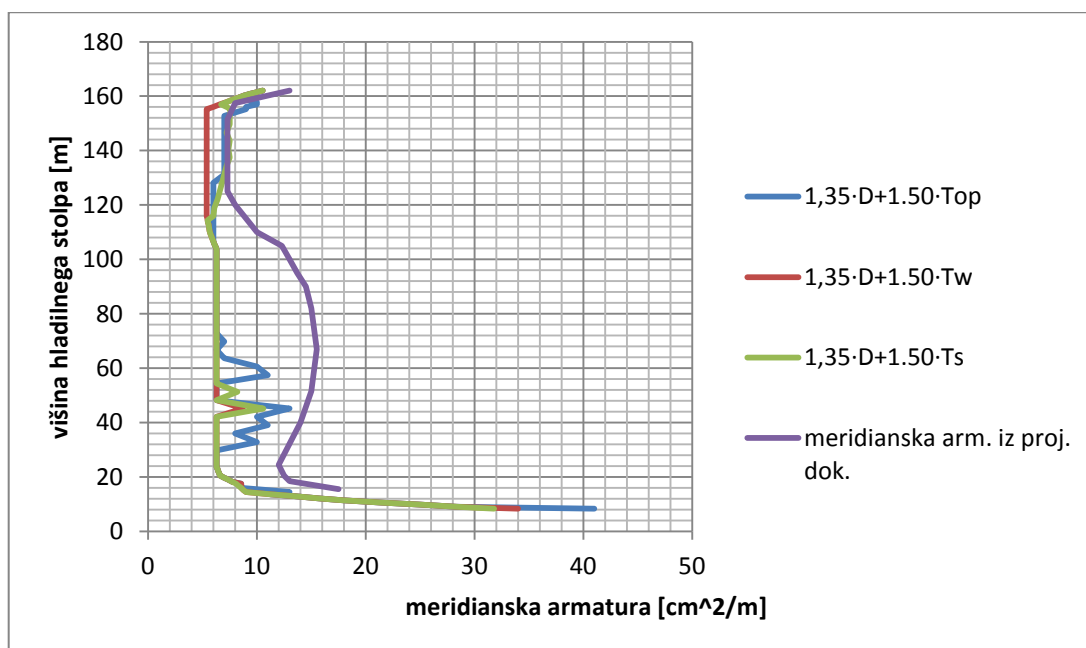
6.3.3 Primerjava armatur in komentar

Sliki 6.10 in 6.11 primerjata grafe armatur, izračunanih v obsegu te diplomske naloge, z grafi armatur določenih v NDCT ŠOŠTANJ unit 6, str. 272 in 273. Najprej nam v oči pade skoncentriranost armature na višini luknje za dimne pline. To nam pove, da luknja predstavlja šibko točko lupine. Pri tem moramo dodati, da so odčitki armature oddaljeni vsaj 2 m od luknje, saj sama luknja potrebuje ločeno armiranje. Količina armature v projektni dokumentaciji je višja zato, ker obtežni primeri, iz katerih je izračunana količina armature, vsebujejo poleg temperaturnih vplivov, tudi vplive vetra, skrčke in potresne vplive. V projektni dokumentaciji je analiziranih 19 obtežnih primerov. Majhno ujemanje grafov meridianske armature ter zadovoljivo ujemanje grafov obročne armature pričata o tem, da imajo temperaturni vplivi manjši doprinos k meridianski armaturi ter večji doprinos k obročni armaturi. To potrjuje tudi NDCT ŠOŠTANJ unit 6, str. 271, kjer je za obročno armaturo po večini lupine merodajna 11. obtežna kombinacija, v kateri veter ne predstavlja prevladujoče spremenljive obtežbe.

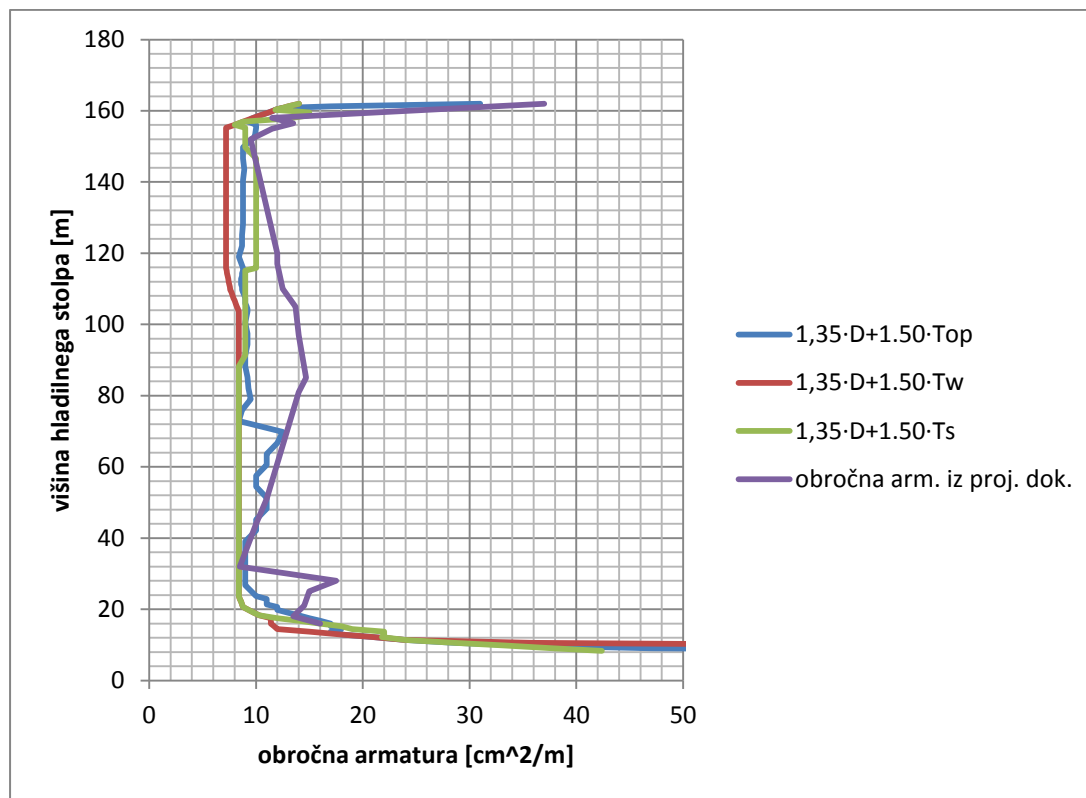
$$BK11=1,5 \cdot D + 0,96 \cdot W + 1,03 \cdot T^{OP} + 1,03 \cdot Sh \quad (6.5)$$

Tu je:

- W – obtežba zaradi vplivov vetra
- Sh – obtežba zaradi posedkov tal.



Slika 6.10: Primerjava meridianskih armatur



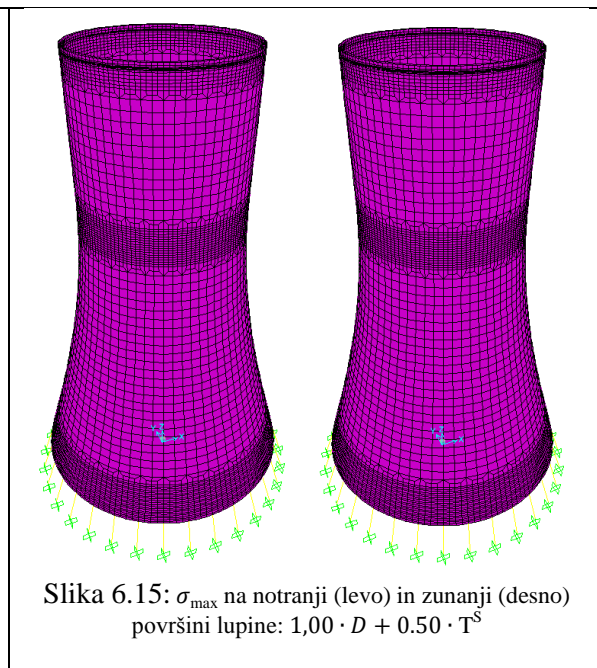
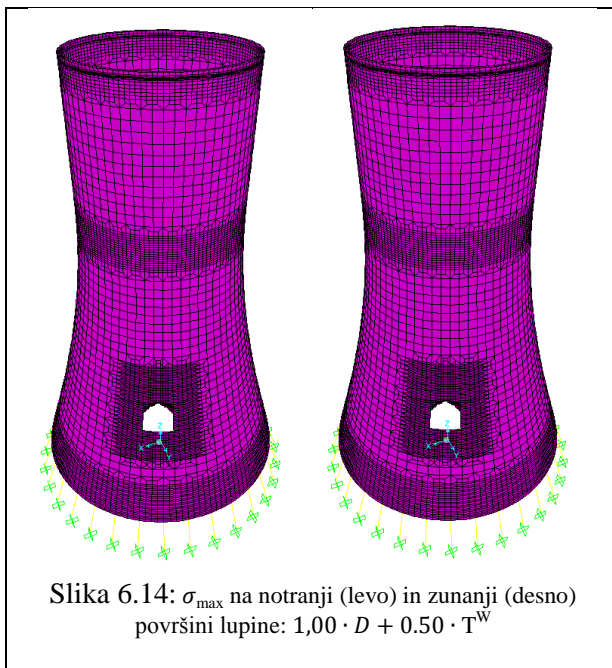
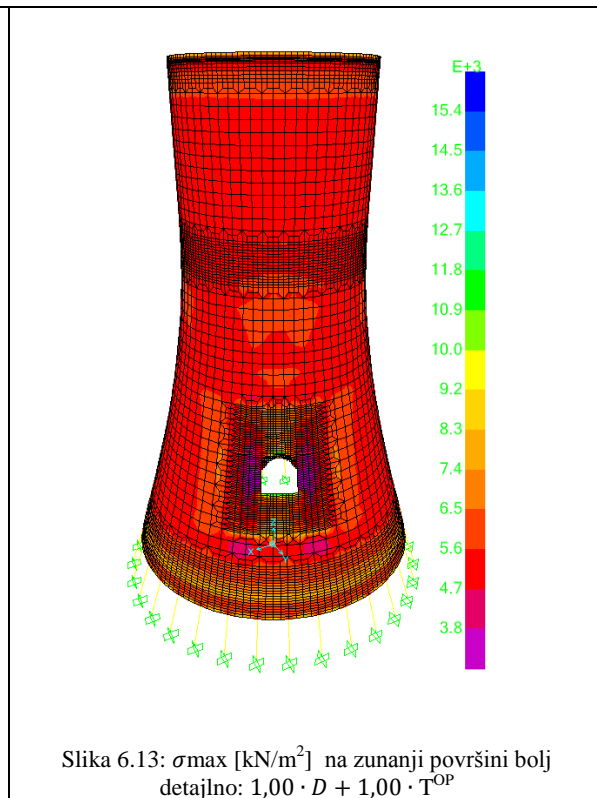
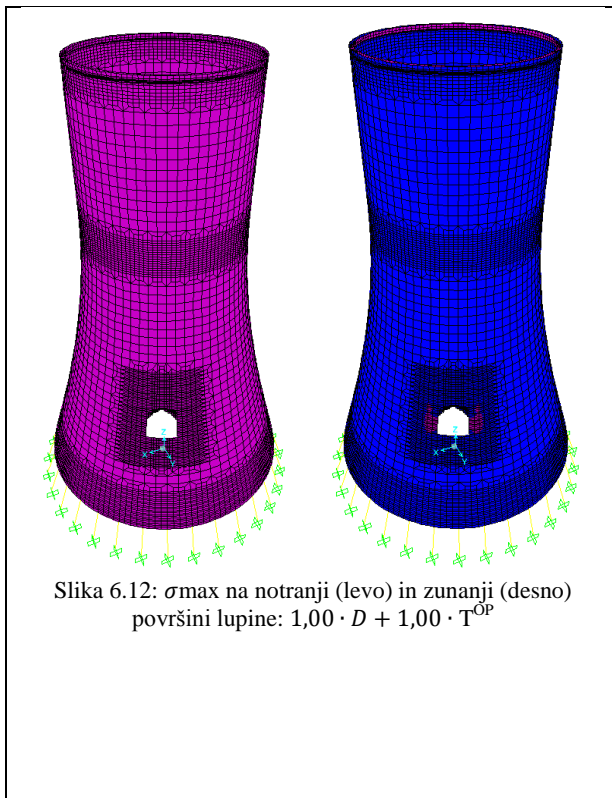
Slika 6.11: Primerjava obročnih armatur

6.3.4 Območja razpok in nateznih napetosti zaradi temperaturnih vplivov

Standard VGB-R 610 e, izdaja 2010 ne podaja nobenih napotkov preverjanja napetosti in deformacij običajnih hladilnih stolpov v MSU. Potrebno pa je preveriti razpoke. Njihove največje dovoljene širine so podane v Preglednici 5.11.

Obtežne kombinacije, za katere preverjamo napetosti v lupini so podane v Preglednici 5.10. Karakteristična natezna trdnost betona C35/45 je $f_{ctm} = 3,8 \text{ MN/m}^2$. Na slikah 6.12–6.14 so mesta, kjer je presežena natezna trdnost betona in so potencialna mesta razpok obarvana modro. Mesta, kjer te nevarnosti ni, so obarvana vijolično.

Kot vidimo lahko pride do razpok le v zimskem času, ko je elektrarna v obratovanju. V poletnem času, kljub temu, da deluje sončna radiacija, ki povzroča natezne napetosti na notranji površini lupine, ne pride do razpokanja. So pa vrednosti nateznih napetosti nevarno blizu natezni trdnosti betona, in sicer variirajo okoli 3000 kN/m^2 .



7 ZAKLJUČEK

V tej diplomski nalogi smo analizirali temperaturne vplive na šoštanjski novi hladilni stolp. Temperaturno obtežbo na hladilni stolp smo podali v skladu s standardom VGB-R 610 e, izdaja 2010 in klimo kraja. Le ta podaja tri merodajne temperaturne obtežbe, in sicer: temperaturno obtežbo pozimi, ko je termoelektrarna v operativnem stanju, temperaturno obtežbo pozimi, ko je termoelektrarna v remontu in temperaturno obtežbo poleti, ko je termoelektrarna v remontu. Pri tem smo v poletnem obtežnem primeru upoštevali tudi vpliv sončne radiacije na segrevanje lupine. Spremembo temperature v lupini hladilnega stolpa smo razdelili na konstantno spremembo temperature po celotni debelini lupine ΔT_N in na linearno spremembo temperature ΔT_M , pri kateri je sprememba temperatura linearna funkcija po debelini lupine z vrednostjo nič na sredini.

Študija oblike hladilnega stolpa je pokazala, da se zaradi nje na pretežnem delu lupine obtežba prenaša le s tlačnimi osnimi oz. membranskimi silami, zaradi česar je lupina stolpa lahko tako tanka.

V analizi notranjih sil smo to potrdili, saj je lastna teža povzročala zanemarljivo majhne momente. Ugotovili smo tudi, da konstantna sprememba temperature po debelini lupine ΔT_N povzroča osne notranje sile, linearna sprememba temperature ΔT_M pa momentne notranje sile.

Uklonska analiza je pokazala, da temperaturna obtežba nima večjega vpliva na uklon lupine.

S programom SAP2000 smo določili tudi količino obročne in meridianske armature za tri obtežne kombinacije. Kot merodajna se je v spodnjem delu lupine pokazala zimska obtežna kombinacija, ko je elektrarna v delovanju, v zgornjem delu pa poletna obtežna kombinacija, ko je elektrarna v remontu. Ugotovili smo tudi, da se količina armature poveča na mestih, kjer so večji momenti (v poletni obtežni kombinaciji na jugu lupine) in v okolici luknje za dimne pline. Primerjava s količino armature v projektni dokumentaciji je pokazala, da ima temperaturna obtežba večji vpliv na količino armature v obročni kot v meridianski smeri.

VIRI

Uporabljeni viri

Beg, D. (ur), Pogačnik, A. (ur). 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 1077 str.

Bletzinger, K. 2002. Theory of Shells, Lehrstuhl für Statik. München, Technische Universität: 35 str.

Brank, B. 2012. Hladilni stolp: analiza obnašanja konstrukcije. Osebna komunikacija. (29. 8. 2013.)

Brank, B. 2012. Civil Permit Design for the Construction of the Natural Draft Cooling Tower Šoštanj Unit 6 Slovenia. 2010. Osebna komunikacija. (30. 8. 2013.)

Čakš, D. 2013. Analiza novega hladilnega stolpa v Šoštanju na vpliv vetra. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Čakš): 160 str.

Gould, P. L., Krätzig, W. B. 1999. Cooling Tower Structures. Structural Engineering Handbook. Boca Raton, CRC Press LLC: 35 str.

Kladnik, R. 1989. Visokošolska fizika del 1: Mehanski in toplotni pojavi. 2. natis. Ljubljana, Državna založba Slovenije: str. 20.

SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures. Basic Analysis Reference. 1998. Computers and Structures Inc. Berkeley, California: 96 str.

VGB-R 610 e 2010 edition. Structural Design of Cooling Towers, Guideline on Structural Design, Calculation, Engineering and Construction of Cooling Towers, VGB-R 610 e, 2010 edition. 2010. VGB PowerTech: 59 str.

Uporabljeni internetni viri

Gauss. 2013.
<http://ciks.cbt.nist.gov/garbocz/paper68/fig1a.gif> (Pridobljeno 29. 8. 2013.)

TEŠ. 2013.
http://sl.wikipedia.org/wiki/Termoelektrarna_%C5%A0%C5%A1tanj_blok_6 (Pridobljeno 9. 8. 2013.)

Standardi

SIST EN 1991-1-5:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-5. del: Splošni vplivi – Toplotni vplivi

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Zbirka načrtov iz projektne dokumentacije

- Geometrija stebra
- Pasovni temelj
- Tloris temeljenja
- Geometrija hodnika na vrhu lupine

PRILOGA B: Notranje sile

- Notranje sile zaradi lastne teže: $1,35 \cdot D$
- Notranje sile zaradi temperaturne obtežbe
- Notranje sile zaradi lastne teže in temperaturne obtežbe

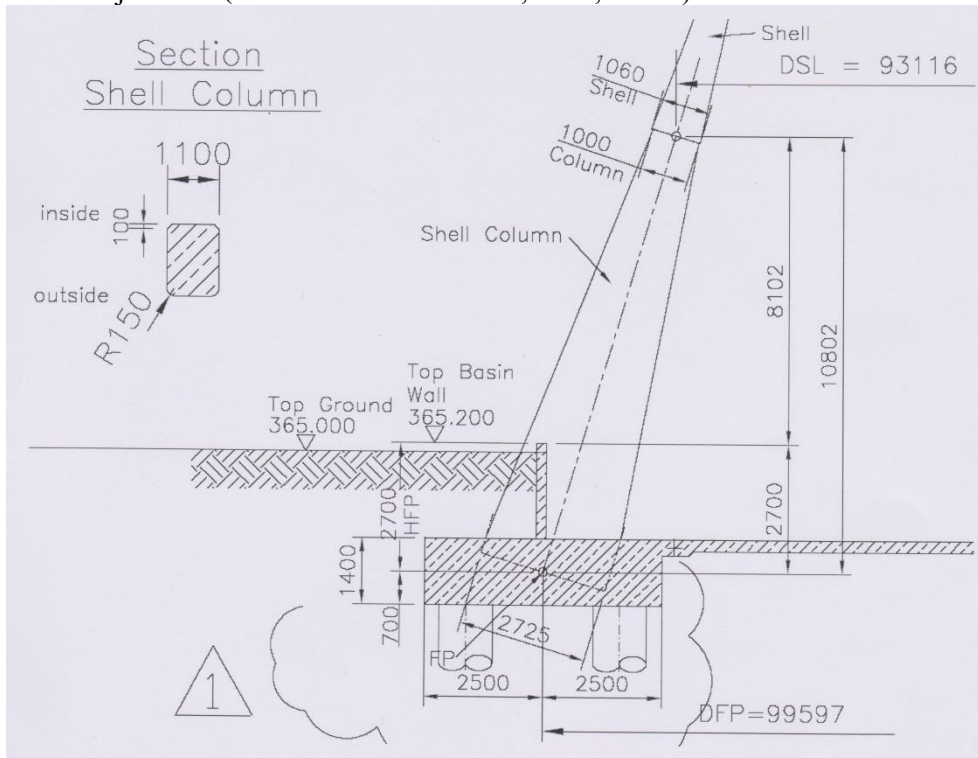
PRILOGA C: Uklonske oblike in uklonski faktorji

- Uklonske oblike in uklonski faktorji zaradi karakteristične lastne teže
- Uklonske oblike in uklonski faktorji zaradi karakteristične lastne teže in temperaturne obtežbe

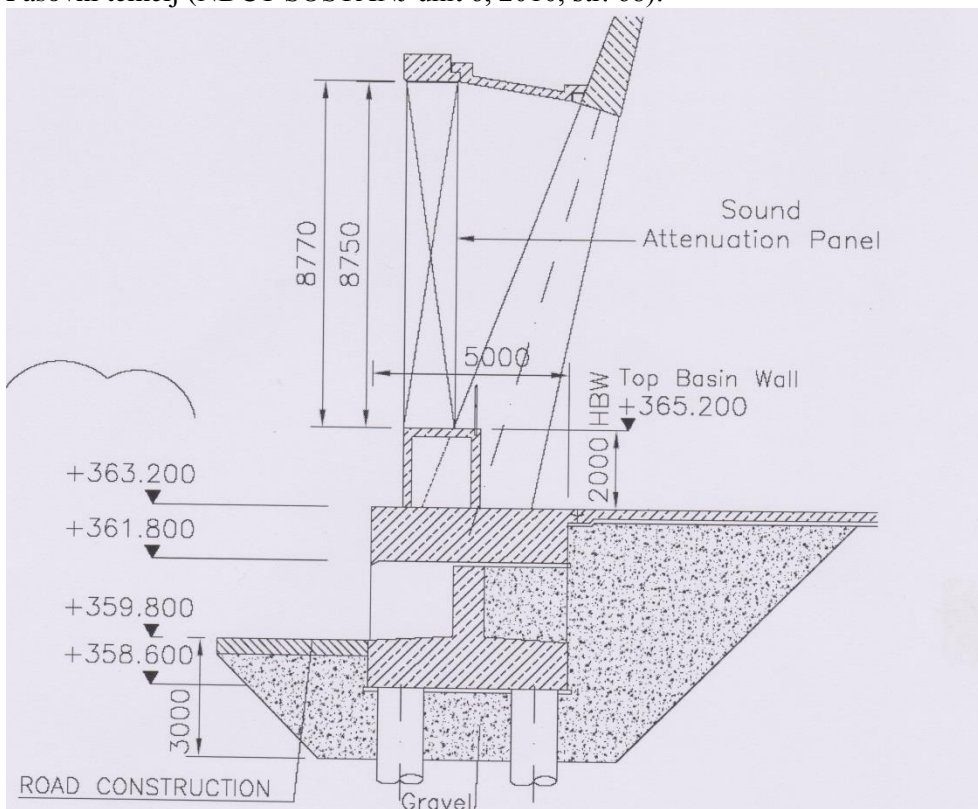
PRILOGA D: Tabela največjih vrednosti armature na določeni višini lupine

PRILOGA A: Zbirka načrtov iz projektne dokumentacije

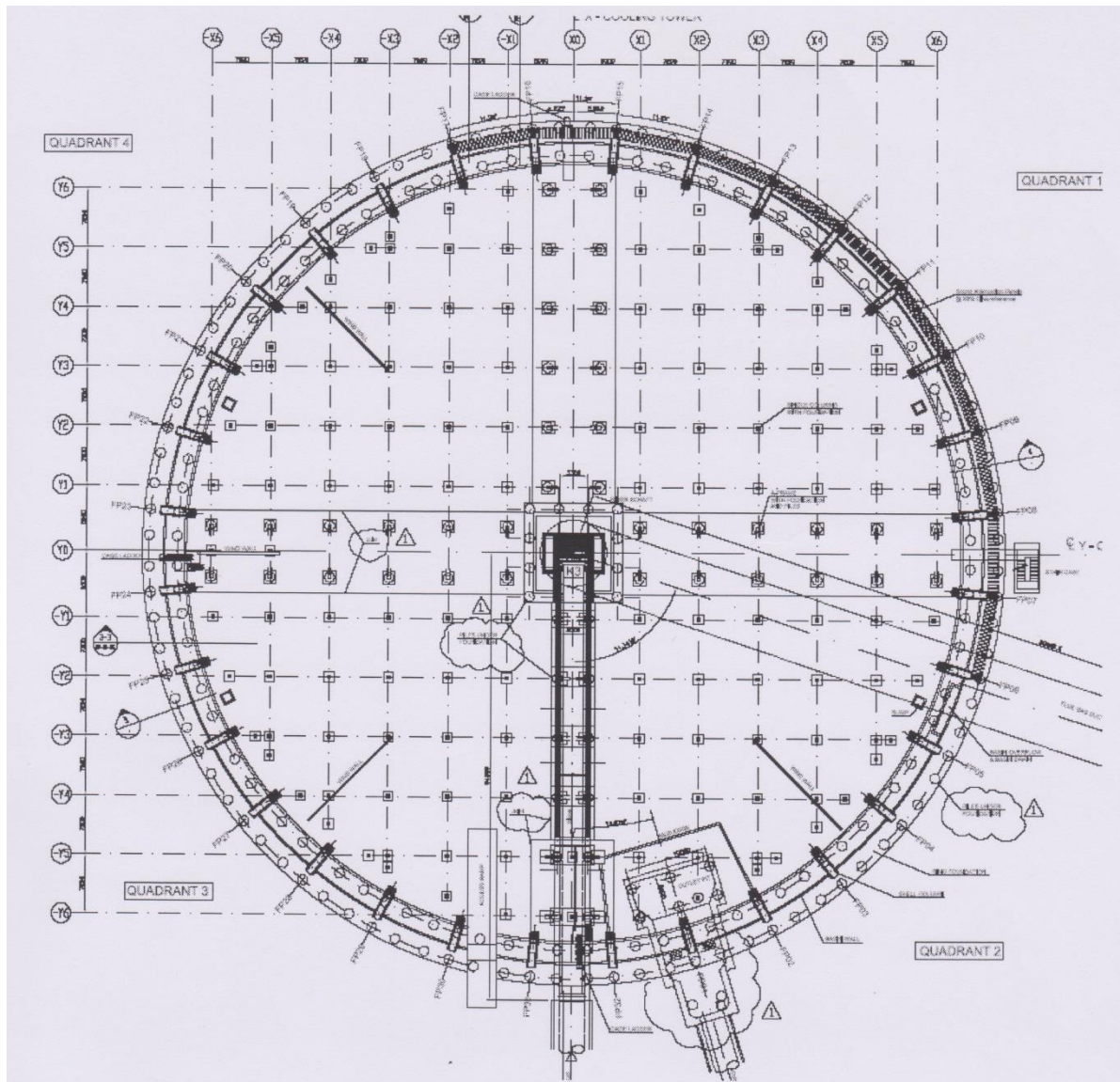
Geometrija stebra (NDCT ŠOŠTANJ unit 6, 2010, str. 65):



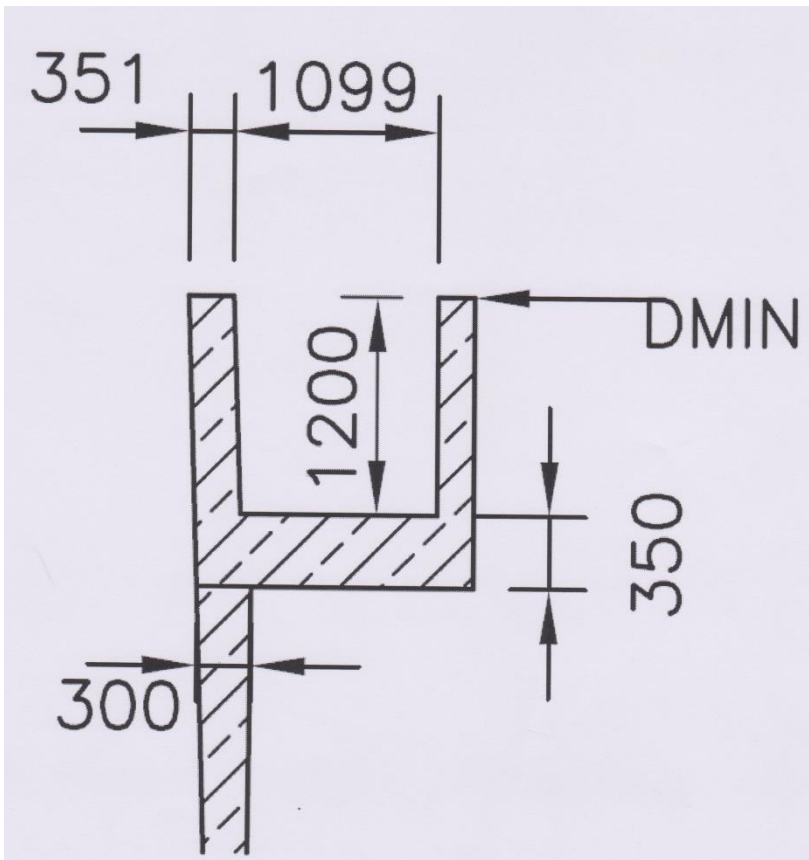
Pasovni temelj (NDCT ŠOŠTANJ unit 6, 2010, str. 68):



Tloris temeljenja (NDCT ŠOŠTANJ unit 6, 2010, str. 66):

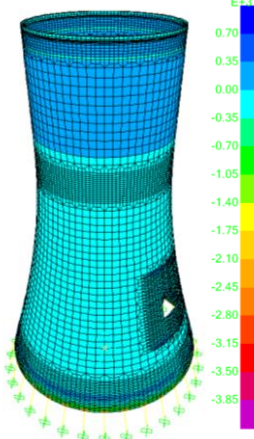
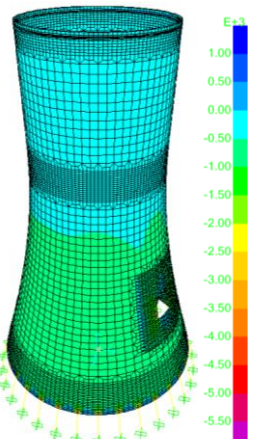
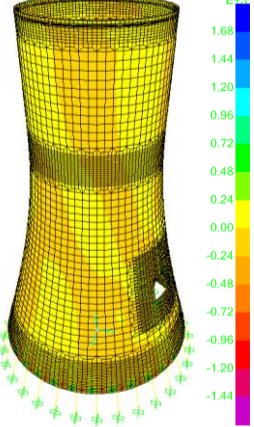


Geometrija hodnika na vrhu lupine (NDCT ŠOŠTANJ unit 6, 2010, str. 64):



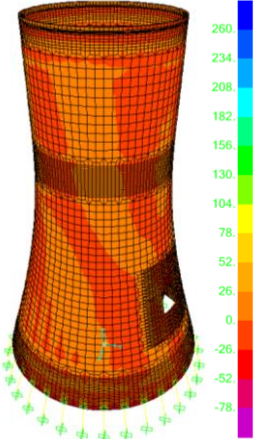
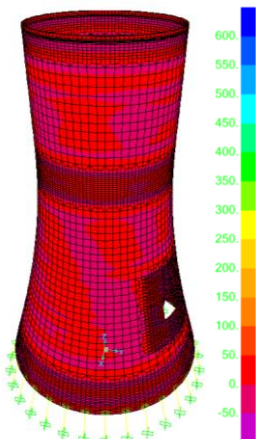
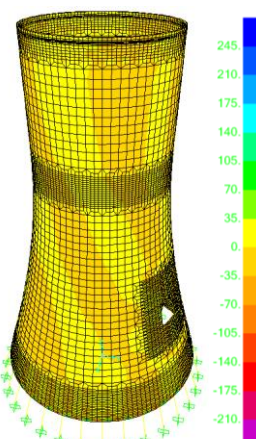
PRILOGA B: Notranje sile

Notranje sile zaradi lastne teže: $1,35 \cdot D$

Sila/ Moment	Slika	Max vrednost	Min vrednost
F11 [kN/m]		858,124	-3955,813
F22 [kN/m]		1411,890	-5740,186
F12 [kN/m]		1627,443	-1620,253

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi lastne teže $1,35 \cdot D$

<p>M11 [kNm/m]</p>		<p>260,949</p>	<p>-103,039</p>
<p>M22 [kNm/m]</p>		<p>621,342</p>	<p>-76,834</p>
<p>M12 [kNm/m]</p>		<p>230,368</p>	<p>-225,711</p>

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi lastne teže $1,35 \cdot D$

<p>V13 [kN/m]</p>		<p>146,862</p>	<p>-146,704</p>
<p>V23 [kN/m]</p>		<p>129,467</p>	<p>-38,970</p>

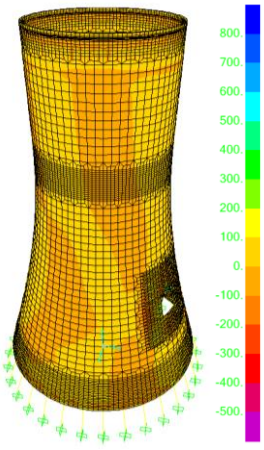
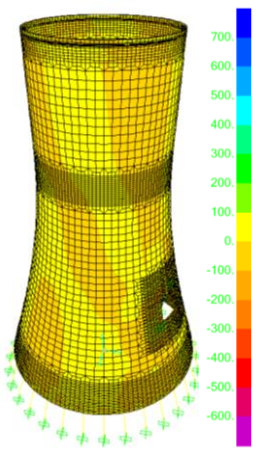
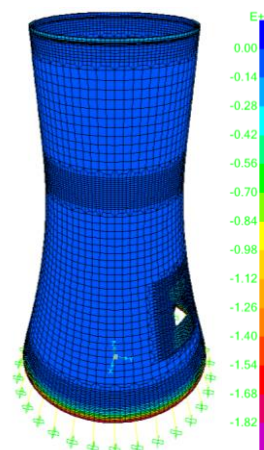
Notranje sile zaradi temperaturne obtežbe

operativno stanje elektrarne pozimi: $1,5 \cdot T^{OP}$

Sila/ Moment	Slika	Max vrednost	Min vrednost
<p>F11 [kN/m]</p>		<p>2550,892</p>	<p>-834,211</p>

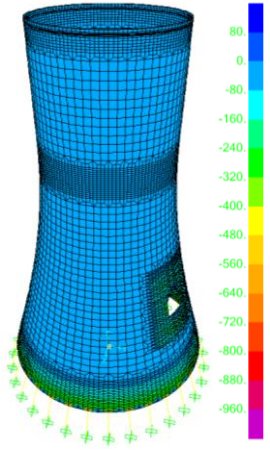
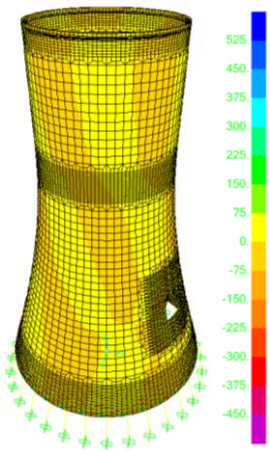
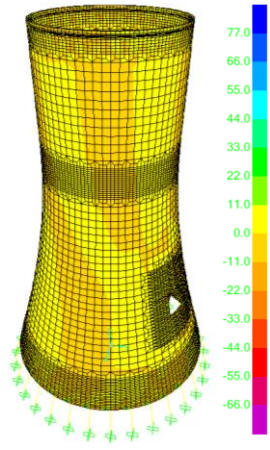
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi temperaturne obtežbe $1,5 \cdot T^{OP}$

<p>F22 [kN/m]</p>		<p>858,334</p>	<p>-531,987</p>
<p>F12 [kN/m]</p>		<p>644,317</p>	<p>-644,735</p>
<p>M11 [kNm/m]</p>		<p>3825,000</p>	<p>-1938,442</p>

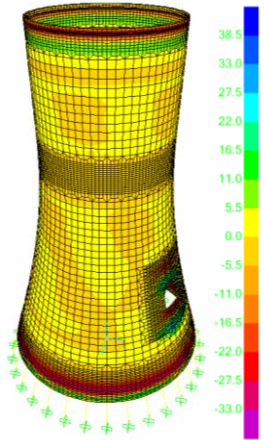
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi temperaturne obtežbe $1,5 \cdot T^{OP}$

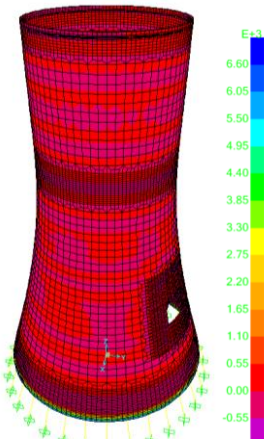
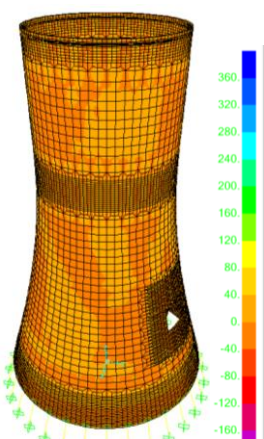
<p>M22 [kNm/m]</p>		<p>104,614</p>	<p>-1015,705</p>
<p>M12 [kNm/m]</p>		<p>495,104</p>	<p>-496,758</p>
<p>V13 [kN/m]</p>		<p>73,074</p>	<p>-72,136</p>

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi temperaturne obtežbe $1,5 \cdot T^{OP}$

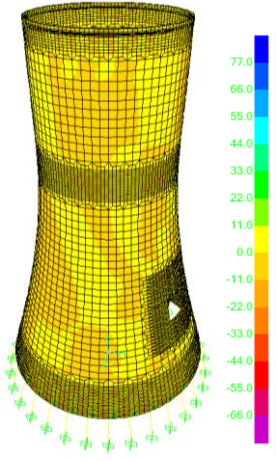
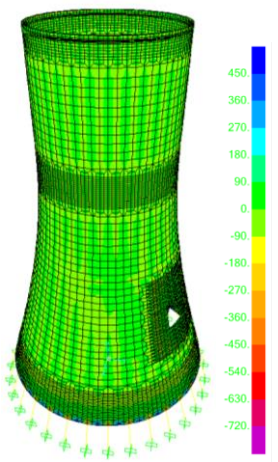
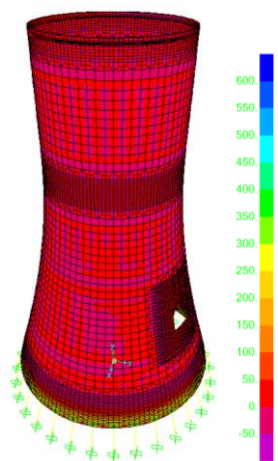
<p>V23 [kN/m]</p>		<p>35,881</p>	<p>-35,270</p>
-----------------------	---	---------------	----------------

remont elektrarne pozimi: $1,5 \cdot T^W$

Sila/ Moment	Slika	Max vrednost	Min vrednost
<p>F11 [kN/m]</p>		<p>6526,485</p>	<p>-594,174</p>
<p>F22 [kN/m]</p>		<p>353,475</p>	<p>-199,521</p>

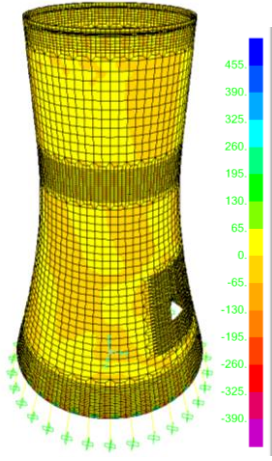
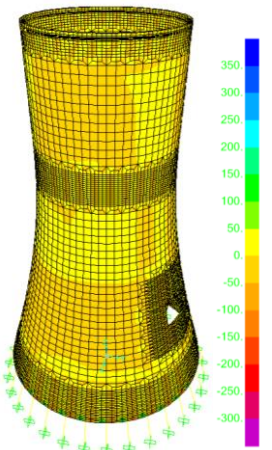
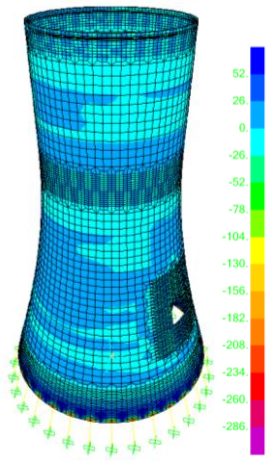
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi temperaturne obtežbe $1,5 \cdot T^W$

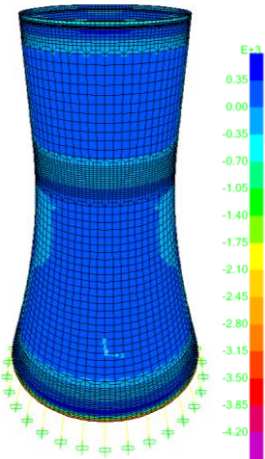
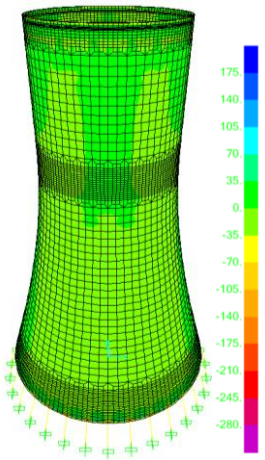
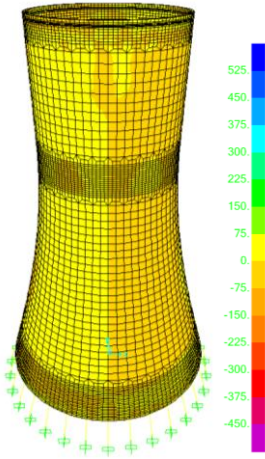
<p>F12 [kN/m]</p>		<p>72,569</p>	<p>-72,569</p>
<p>M11 [kNm/m]</p>		<p>535,219</p>	<p>-725,894</p>
<p>M22 [kNm/m]</p>		<p>588,445</p>	<p>-54,021</p>

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi temperaturne obtežbe $1,5 \cdot T^W$

<p>M12 [kNm/m]</p>		<p>454,568</p>	<p>-454,569</p>
<p>V13 [kN/m]</p>		<p>329,528</p>	<p>-329,522</p>
<p>V23 [kN/m]</p>		<p>74,075</p>	<p>-304,866</p>

remont elektrarne poleti: $1,5 \cdot T^S$

Sila/ Moment	Slika	Max vrednost	Min vrednost
F11 [kN/m]		511,995	-4282,655
F22 [kN/m]		185,520	-301,088
F12 [kN/m]		520,612	-520,699

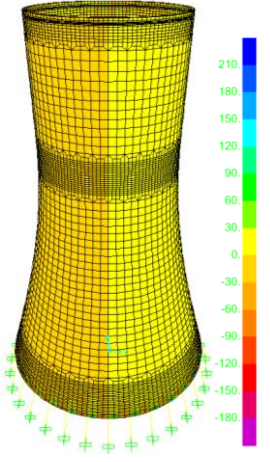
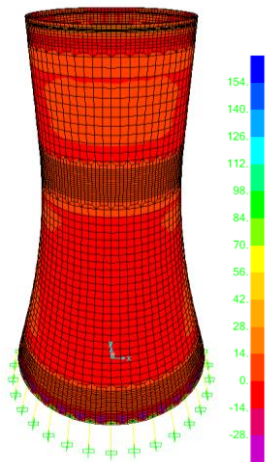
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi temperaturne obtežbe $1,5 \cdot T^S$

<p>M11 [kNm/m]</p>		<p>1356,738</p>	<p>-286,053</p>
<p>M22 [kNm/m]</p>		<p>450,958</p>	<p>-327,520</p>
<p>M12 [kNm/m]</p>		<p>238,995</p>	<p>-238,895</p>

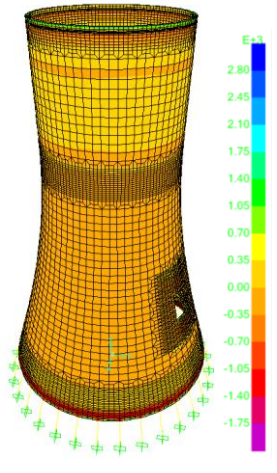
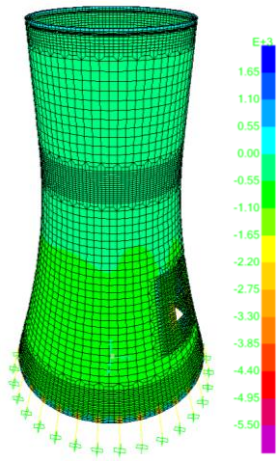
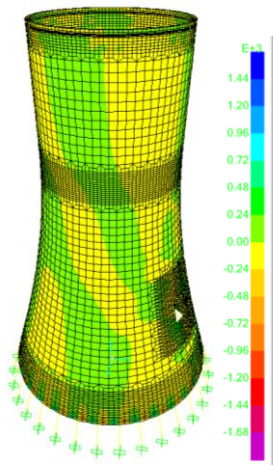
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi temperaturne obtežbe $1,5 \cdot T^S$

V13 [kN/m]		202,013	-202,021
V23 [kN/m]		163,206	-41,461

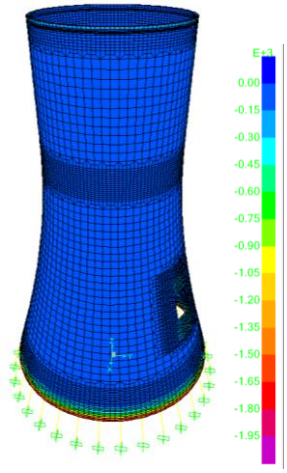
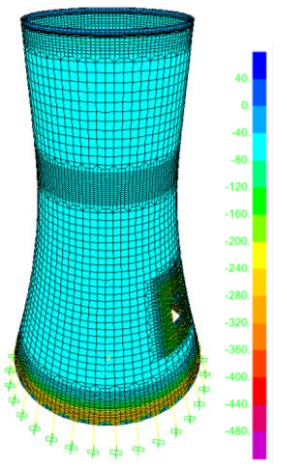
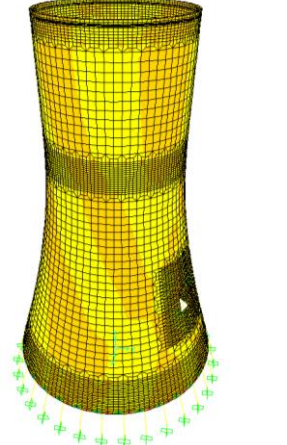
Notranje sile zaradi lastne teže in temperaturne obtežbe

lastna teža in operativno stanje elektrarne pozimi: $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^{OP}$

Sila/ Moment	Slika	Max vrednost	Min vrednost
F11 [kN/m]		2901,727	-2017,323
F22 [kN/m]		1606,095	-5851,254
F12 [kN/m]		1678,077	-1692,243

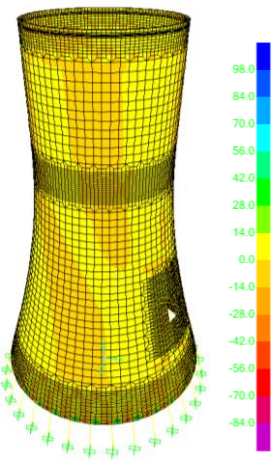
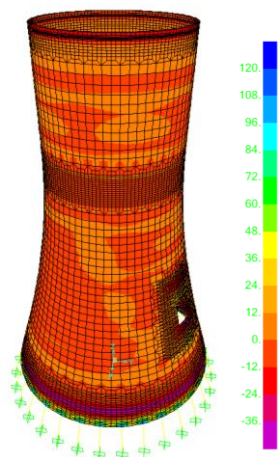
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi lastne teže in temperaturne obtežbe
 $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^{OP}$

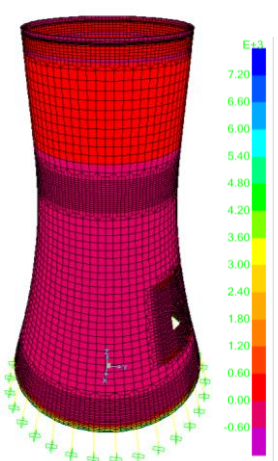
<p>M11 [kNm/m]</p>		<p>0,124</p>	<p>-1964,407</p>
<p>M22 [kNm/m]</p>		<p>40,549</p>	<p>-487,182</p>
<p>M12 [kNm/m]</p>		<p>288,855</p>	<p>-288,653</p>

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi lastne teže in temperaturne obtežbe
 $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^{OP}$

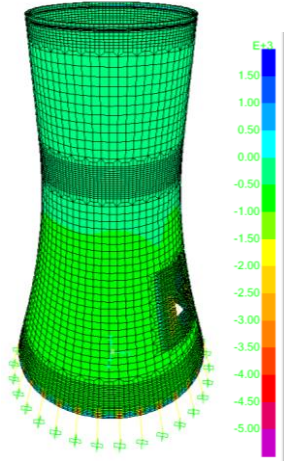
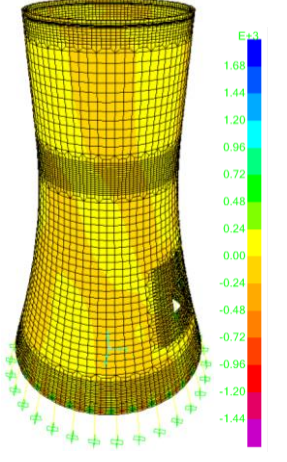
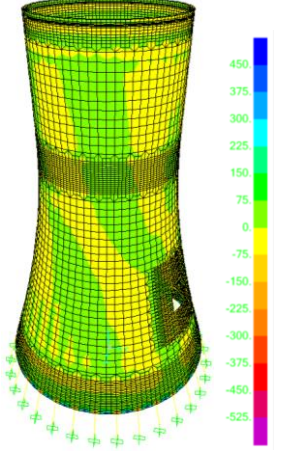
<p>V13 [kN/m]</p>		<p>97,171</p>	<p>-97,614</p>
<p>V23 [kN/m]</p>		<p>125,385</p>	<p>-46,713</p>

lastna teža in remont elektrarne pozimi: $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^W$

<p>Sila/ Moment</p>	<p>Slika</p>	<p>Max vrednost</p>	<p>Min vrednost</p>
<p>F11 [kN/m]</p>		<p>7154,088</p>	<p>-1112,094</p>

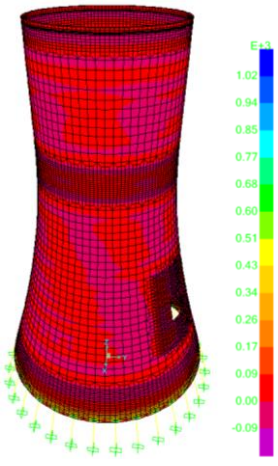
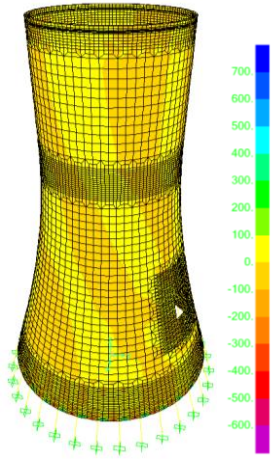
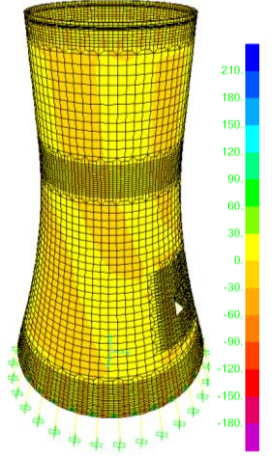
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi lastne teže in temperaturne obtežbe
 $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^W$

<p>F22 [kN/m]</p>		<p>1486,689</p>	<p>-5386,711</p>
<p>F12 [kN/m]</p>		<p>1570,881</p>	<p>-1563,764</p>
<p>M11 [kNm/m]</p>		<p>521,389</p>	<p>-527,026</p>

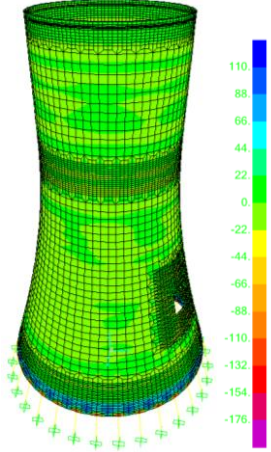
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi lastne teže in temperaturne obtežbe
 $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^W$

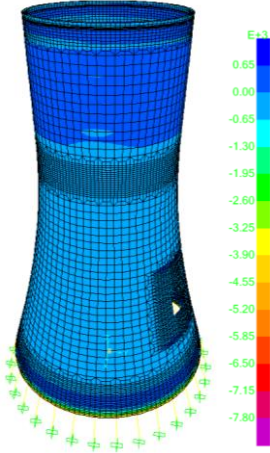
<p>M22 [kNm/m]</p>		<p>1093,544</p>	<p>-130,845</p>
<p>M12 [kNm/m]</p>		<p>684,859</p>	<p>-680,218</p>
<p>V13 [kN/m]</p>		<p>199,945</p>	<p>-200,619</p>

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi lastne teže in temperaturne obtežbe
 $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^W$

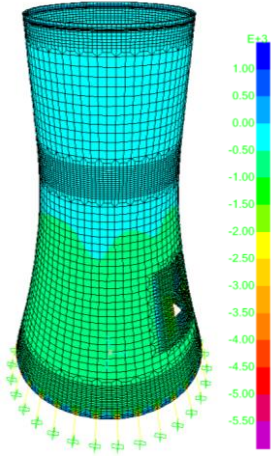
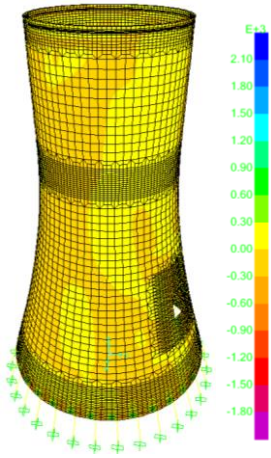
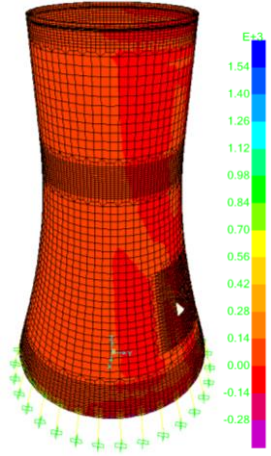
<p>V23 [kN/m]</p>		<p>103,699</p>	<p>-191,970</p>
-----------------------	---	----------------	-----------------

remont elektrarne poleti in lastna teža: $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^S$

Sila/ Moment	Slika	Max vrednost	Min vrednost
<p>F11 [kN/m]</p>		<p>876,750</p>	<p>-8121,084</p>

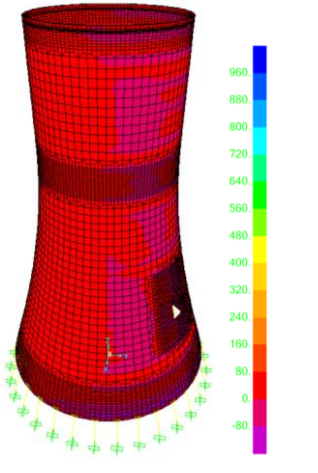
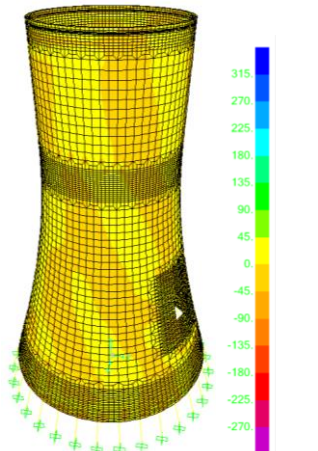
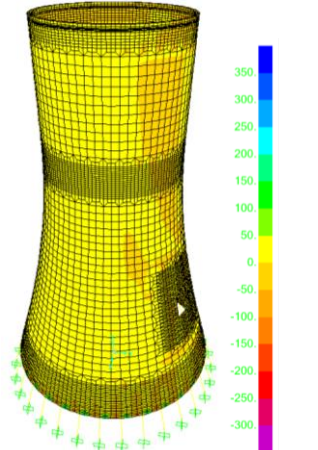
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi lastne teže in temperaturne obtežbe
 $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^S$

<p>F22 [kN/m]</p>		<p>1386,452</p>	<p>-5984,279</p>
<p>F12 [kN/m]</p>		<p>2021,853</p>	<p>-2036,937</p>
<p>M11 [kNm/m]</p>		<p>1611,424</p>	<p>-328,578</p>

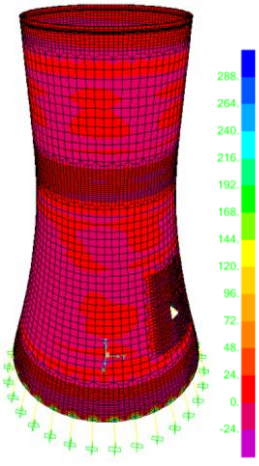
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi lastne teže in temperaturne obtežbe
 $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^S$

<p>M22 [kNm/m]</p>		<p>1018,775</p>	<p>-152,435</p>
<p>M12 [kNm/m]</p>		<p>301,676</p>	<p>-302,258</p>
<p>V13 [kN/m]</p>		<p>344,436</p>	<p>-344,372</p>

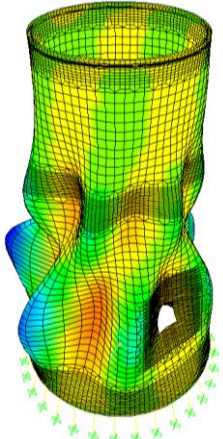
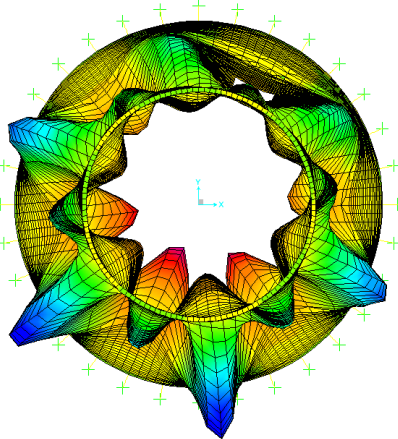
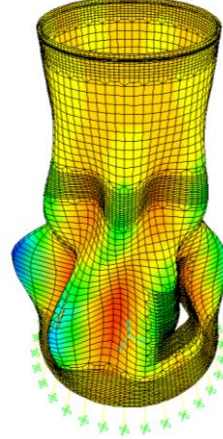
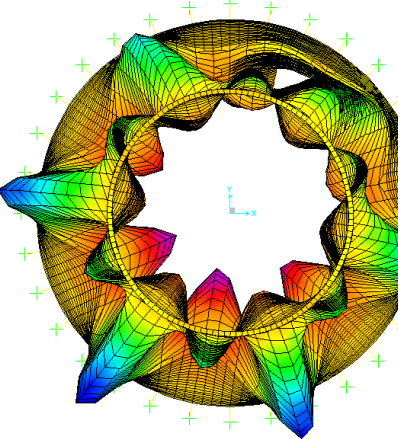
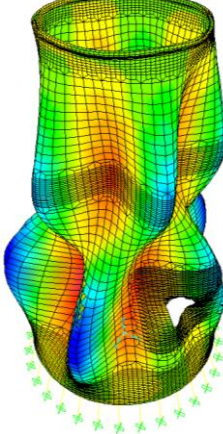
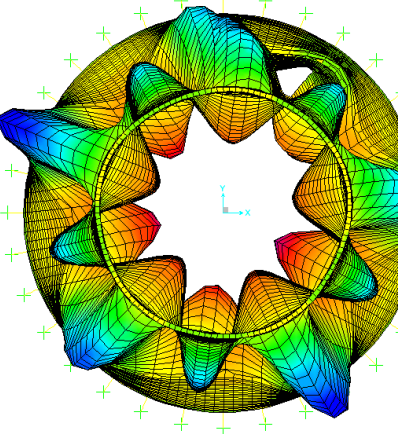
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice notranjih sil zaradi lastne teže in temperaturne obtežbe
 $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^S$

<p>V23 [kN/m]</p>		291,968	-39,022
-----------------------	---	---------	---------

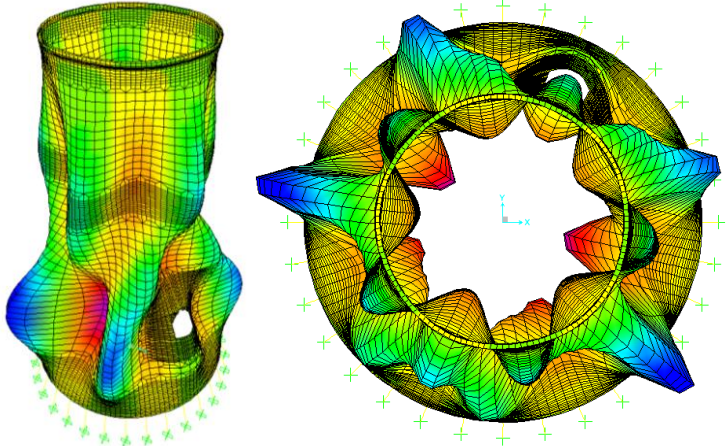
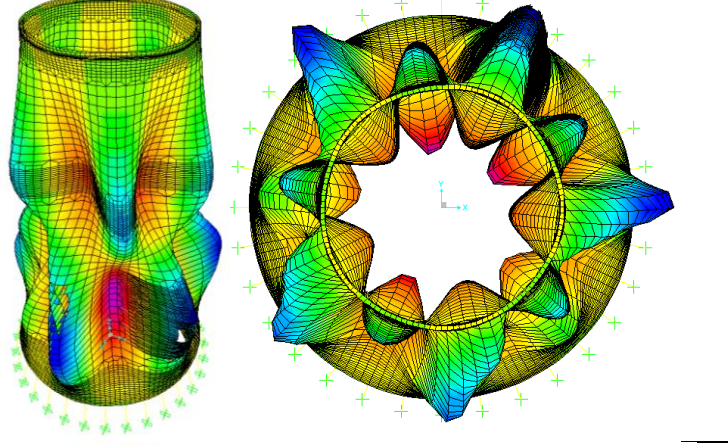
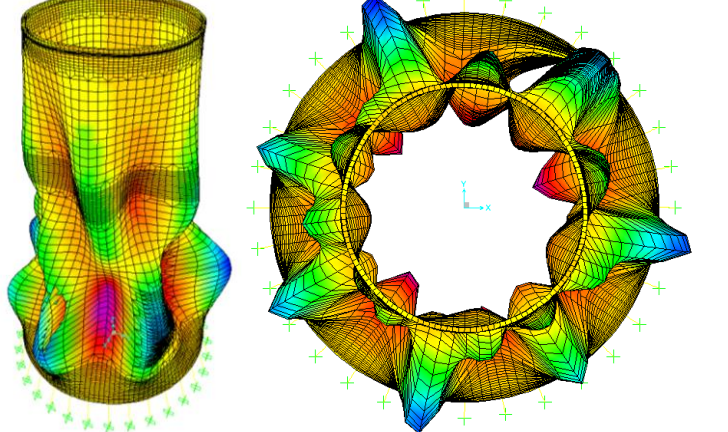
PRILOGA C: Uklonske oblike in uklonski faktorji

Uklonske oblike in uklonski faktorji zaradi karakteristične lastne teže

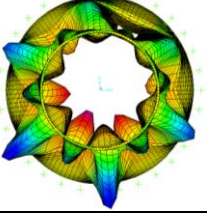
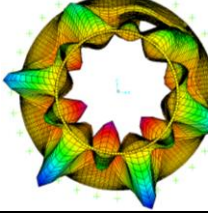
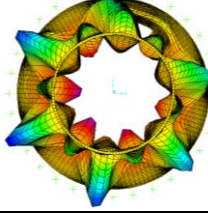
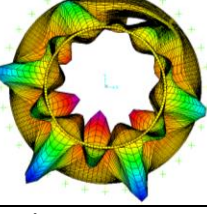
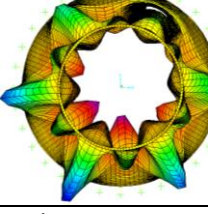
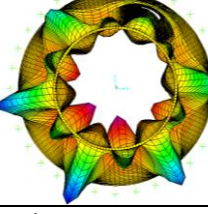
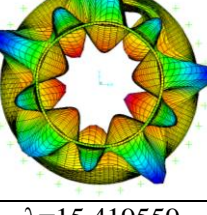
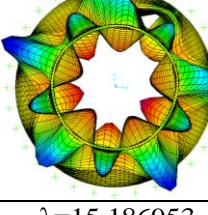
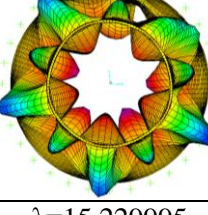
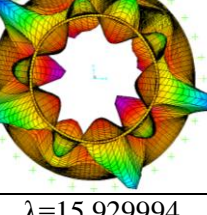
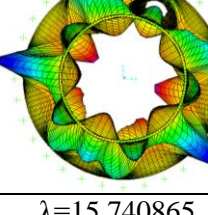
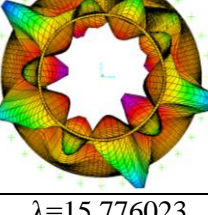
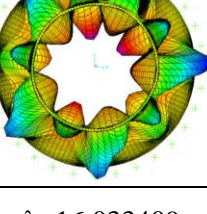
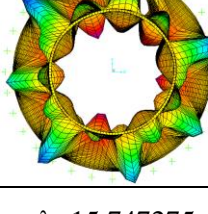
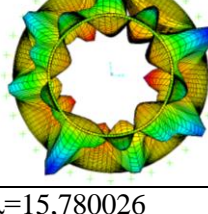
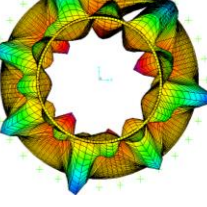
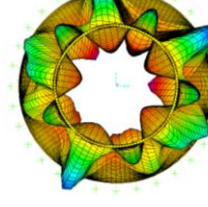
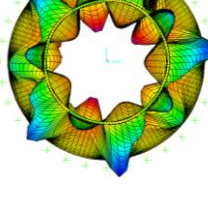
Uklonska oblika	λ (D)		
1	14,892782		
2	14,89562		
3	15,08346		

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice uklonske oblike in uklonski faktorji zaradi karakteristične lastne teže

4	15,24319	
5	15,794786	
6	15,810295	

Uklonske oblike in uklonski faktorji zaradi karakteristične lastne teže in temperaturne obtežbe

	$\lambda (1,0 \cdot D + 1,0 \cdot T^{OP})$	$\lambda (1,0 \cdot D + 1,0 \cdot T^W)$	$\lambda (1,0 \cdot D + 1,0 \cdot T^S)$
1	$\lambda=14,985719$ 	$\lambda=14,846576$ 	$\lambda=14,895658$ 
2	$\lambda=15,007834$ 	$\lambda=14,849545$ 	$\lambda=14,910675$ 
3	$\lambda=15,22432$ 	$\lambda=15,047187$ 	$\lambda=15,080593$ 
4	$\lambda=15,419559$ 	$\lambda=15,186953$ 	$\lambda=15,229995$ 
5	$\lambda=15,929994$ 	$\lambda=15,740865$ 	$\lambda=15,776023$ 
6	$\lambda=16,033409$ 	$\lambda=15,747275$ 	$\lambda=15,780026$ 

PRILOGA D: Tabela največjih vrednosti armature na določeni višini lupine

$$1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^{OP}$$

višina stolpa [m]	debelina [mm]	Ac [m ² /m]	0,4% Ac	0,3% Ac	obročna	obročna	meridian ska	meridian ska	obročna	meridian ska	potrebna obročna armatura	potrebna meridijska armatura
					spodaj	zgoraj	spodaj	zgoraj	skupaj	skupaj	skupaj	skupaj
162	351	0,351	14,04	10,53	2	29	1	1	31	2	31	10,53
161,225	325,5	0,3255	13,02	9,765	1	16	1	1	17	2	17	9,765
160,8375	312,5	0,3125	12,5	9,375	0	11	0	3	11	3	12,5	9,375
160,625	305,65	0,30565	12,226	9,1695	0	10	0	6	10	6	12,226	9,1695
160,45	300	0,3	12	9	0	10	0	7	10	7	12	9
160,2315	295	0,295	11,8	8,85	0	10	0	7	10	7	11,8	8,85
160,0131	290	0,29	11,6	8,7	0	9,1	0	8	9,1	8	11,6	8,7
159,5762	280	0,28	11,2	8,4	0	8	0	8	8	8	11,2	8,4
158,7023	260	0,26	10,4	7,8	0	7,7	0	9	7,7	9	10,4	9
157,8285	240	0,24	9,6	7,2	0	8,4	0	10	8,4	10	9,6	10
156,9547	220	0,22	8,8	6,6	0	9,3	0	10	9,3	10	9,3	10
156,0808	200	0,2	8	6	0	10	0	9	10	9	10	9
155,207	180	0,18	7,2	5,4	0	10	0	9	10	9	10	9
152,778	180	0,18	7,2	5,4	0	9,9	0	7	9,9	7	9,9	7
149,704	180	0,18	7,2	5,4	0	8,8	0	7	8,8	7	8,8	7
146,63	180	0,18	7,2	5,4	0	8,8	0	7	8,8	7	8,8	7
143,556	180	0,18	7,2	5,4	0	8,9	0	7	8,9	7	8,9	7
140,482	180	0,18	7,2	5,4	0	8,8	0	7	8,8	7	8,8	7
137,408	180	0,18	7,2	5,4	0	8,8	0	7	8,8	7	8,8	7
134,334	180	0,18	7,2	5,4	0	8,8	0	7	8,8	7	8,8	7
131,26	180	0,18	7,2	5,4	0	8,8	0	7	8,8	7	8,8	7
128,186	180	0,18	7,2	5,4	0	8,8	0	6	8,8	6	8,8	6
125,112	180	0,18	7,2	5,4	0	8,7	0	6	8,7	6	8,7	6
122,038	180	0,18	7,2	5,4	0	8,7	0	6	8,7	6	8,7	6
118,964	180	0,18	7,2	5,4	0	8,4	0	6	8,4	6	8,4	6
115,89	180	0,18	7,2	5,4	0	8,8	0	6	8,8	6	8,8	6
115,1215	181,25	0,18125	7,25	5,4375	0	8,8	0	6	8,8	6	8,8	6
114,353	182,5	0,1825	7,3	5,475	0	8,7	0	6	8,7	6	8,7	6
113,5845	183,75	0,18375	7,35	5,5125	0	8,7	0	6	8,7	6	8,7	6
112,816	185	0,185	7,4	5,55	0	8,6	0	6	8,6	6	8,6	6
112,0475	186,25	0,18625	7,45	5,5875	0	8,6	0	6	8,6	6	8,6	6
111,279	187,5	0,1875	7,5	5,625	0	8,6	0	6	8,6	6	8,6	6
110,5105	188,75	0,18875	7,55	5,6625	0	8,7	0	6	8,7	6	8,7	6
109,742	190	0,19	7,6	5,7	0	8,7	0	6	8,7	6	8,7	6
108,9738	192,5	0,1925	7,7	5,775	0	8,8	0	6	8,8	6	8,8	6
108,2055	195	0,195	7,8	5,85	0	8,9	0	6	8,9	6	8,9	6
107,4373	197,5	0,1975	7,9	5,925	0	9	0	6	9	6	9	6

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice armature v lupini za $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^{OP}$

106,669	200	0,2	8	6	0	9	0	6	9	6	9	6
105,9005	202,5	0,2025	8,1	6,075	0	9	0	6	9	6	9	6,075
105,132	205	0,205	8,2	6,15	0	9,1	0	6	9,1	6	9,1	6,15
104,3635	207,5	0,2075	8,3	6,225	0	9,2	0	6	9,2	6	9,2	6,225
103,595	210	0,21	8,4	6,3	0	9,2	0	6	9,2	6	9,2	6,3
100,521	210	0,21	8,4	6,3	0	9	0	6	9	6	9	6,3
97,447	210	0,21	8,4	6,3	0	9,2	0	5	9,2	5	9,2	6,3
94,373	210	0,21	8,4	6,3	0	9,2	0	5	9,2	5	9,2	6,3
91,299	210	0,21	8,4	6,3	0	9	0	5	9	5	9	6,3
88,225	210	0,21	8,4	6,3	0	9	0	5	9	5	9	6,3
85,151	210	0,21	8,4	6,3	0	9,2	0	5	9,2	5	9,2	6,3
82,077	210	0,21	8,4	6,3	0	9,3	0	5	9,3	5	9,3	6,3
79,003	210	0,21	8,4	6,3	0	9,5	0	5	9,5	5	9,5	6,3
75,929	210	0,21	8,4	6,3	0	8,7	0	5	8,7	5	8,7	6,3
72,855	210	0,21	8,4	6,3	0	7,2	0	2	7,2	2	8,4	6,3
69,781	210	0,21	8,4	6,3	0	12,5	0	7	12,5	7	12,5	7
66,707	210	0,21	8,4	6,3	0	12	0	5	12	5	12	6,3
63,633	210	0,21	8,4	6,3	0	11	0	7	11	7	11	7
60,559	210	0,21	8,4	6,3	0	11	0	10	11	10	11	10
57,485	210	0,21	8,4	6,3	0	10	1	10	10	11	10	11
54,411	210	0,21	8,4	6,3	1	9	1	5	10	6	10	6,3
51,337	210	0,21	8,4	6,3	0	11	0	5	11	5	11	6,3
48,263	210	0,21	8,4	6,3	0	11	0	5	11	5	11	6,3
45,189	210	0,21	8,4	6,3	0	10	9	4	10	13	10	13
42,115	210	0,21	8,4	6,3	0	10	0	10	10	10	10	10
39,042	210	0,21	8,4	6,3	0	10	0	11	10	11	9	11
35,968	210	0,21	8,4	6,3	0	9	0	8	9	8	9	8
32,894	210	0,21	8,4	6,3	0	9	0	10	9	10	9	10
29,82	210	0,21	8,4	6,3	0	9	0	3	9	3	9	6,3
26,746	210	0,21	8,4	6,3	0	9	0	1	9	1	9	6,3
23,672	210	0,21	8,4	6,3	0	10	0	3	10	3	10	6,3
22,9035	212,5	0,2125	8,5	6,375	0	11	0	3	11	3	11	6,375
22,135	215	0,215	8,6	6,45	0	11	0	3	11	3	11	6,45
21,3665	217,5	0,2175	8,7	6,525	0	11	0	2	11	2	11	6,525
20,598	220	0,22	8,8	6,6	0	12	0	3	12	3	12	6,6
19,8295	232,5	0,2325	9,3	6,975	0	12	0	3	12	3	12	6,975
19,061	245	0,245	9,8	7,35	0	13	0	3	13	3	13	7,35
18,2925	257,5	0,2575	10,3	7,725	0	14	0	3	14	3	14	7,725
17,524	285	0,285	11,4	8,55	0	15	0	4	15	4	15	8,55
16,7555	285	0,285	11,4	8,55	0	16	0	8	16	8	16	8,55
15,987	285	0,285	11,4	8,55	0	17	0	8	17	8	17	8,55
15,2185	292,5	0,2925	11,7	8,775	0	17	0	11	17	11	17	11
14,45	300	0,3	12	9	0	18	0	13	18	13	18	13
13,6815	375	0,375	15	11,25	0	17	0	10	17	10	17	11,25
12,913	450	0,45	18	13,5	0	17	0	9	17	9	18	13,5

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice armature v lupini za $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^{OP}$

12,1445	525	0,525	21	15,75	0	17	0	9	17	9	21	15,75
11,376	600	0,6	24	18	0	19	0	9	19	9	24	18
10,6075	715	0,715	28,6	21,45	0	25	0	10	25	10	28,6	21,45
9,839	830	0,83	33,2	24,9	0	35	0	10	35	10	35	24,9
9,0705	945	0,945	37,8	28,35	0	47	5	14	47	19	47	28,35
8,302	1060	1,06	42,4	31,8	0	84	17	24	84	41	84	41

$1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^W$

višina stolpa [m]	debelina [mm]	Ac [m ² /m]	0,4% Ac	0,3% Ac	obroč na spoda j	obr očn a zgo raj	meri dians ka spod aj	merid iansk a zgora j	obr očn a sku paj	meridi anska skupaj	potrebna obročna armatura skupaj	potrebna meridi anska armatura skupaj
162	351	0,351	14,04	10,53	0	0,6	0	0	0,6	0	14,04	10,53
161,225	325,5	0,3255	13,02	9,765	0	0,6	0	0	0,6	0	13,02	9,765
160,8375	312,5	0,3125	12,5	9,375	0	0,6	0	0	0,6	0	12,5	9,375
160,625	305,65	0,30565	12,226	9,1695	0	0,6	0	0	0,6	0	12,226	9,1695
160,45	300	0,3	12	9	0	0	0	0	0	0	12	9
160,2315	295	0,295	11,8	8,85	0	0	0	0	0	0	11,8	8,85
160,0131	290	0,29	11,6	8,7	0,3	0	0	0	0,3	0	11,6	8,7
159,5762	280	0,28	11,2	8,4	0,4	0	0	0	0,4	0	11,2	8,4
158,7023	260	0,26	10,4	7,8	0,5	0	0	0	0,5	0	10,4	7,8
157,8285	240	0,24	9,6	7,2	0,3	0	0	0	0,3	0	9,6	7,2
156,9547	220	0,22	8,8	6,6	0,1	0	0	0	0,1	0	8,8	6,6
156,0808	200	0,2	8	6	0	0	0	0	0	0	8	6
155,207	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
152,778	180	0,18	7,2	5,4	0,2	0	0	0	0,2	0	7,2	5,4
149,704	180	0,18	7,2	5,4	0,1	0	0	0	0,1	0	7,2	5,4
146,63	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
143,556	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
140,482	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
137,408	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
134,334	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
131,26	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
128,186	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
125,112	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
122,038	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
118,964	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
115,89	180	0,18	7,2	5,4	0	0	0	0	0	0	7,2	5,4
115,1215	181,25	0,18125	7,25	5,4375	0	0	0	0	0	0	7,25	5,4375
114,353	182,5	0,1825	7,3	5,475	0	0	0	0	0	0	7,3	5,475
113,5845	183,75	0,18375	7,35	5,5125	0	0	0	0	0	0	7,35	5,5125
112,816	185	0,185	7,4	5,55	0	0	0	0	0	0	7,4	5,55
112,0475	186,25	0,18625	7,45	5,5875	0	0	0	0	0	0	7,45	5,5875
111,279	187,5	0,1875	7,5	5,625	0	0	0	0	0	0	7,5	5,625

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice armature v lupini za $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^W$

110,5105	188,75	0,18875	7,55	5,662 5	0	0	0	0	0	0	7,55	5,6625
109,742	190	0,19	7,6	5,7	0	0	0	0	0	0	7,6	5,7
108,9738	192,5	0,1925	7,7	5,775	0	0	0	0	0	0	7,7	5,775
108,2055	195	0,195	7,8	5,85	0	0	0	0	0	0	7,8	5,85
107,4373	197,5	0,1975	7,9	5,925	0	0	0	0	0	0	7,9	5,925
106,669	200	0,2	8	6	0	0	0	0	0	0	8	6
105,9005	202,5	0,2025	8,1	6,075	0	0	0	0	0	0	8,1	6,075
105,132	205	0,205	8,2	6,15	0	0	0	0	0	0	8,2	6,15
104,3635	207,5	0,2075	8,3	6,225	0	0	0	0	0	0	8,3	6,225
103,595	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
100,521	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
97,447	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
94,373	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
91,299	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
88,225	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
85,151	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
82,077	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
79,003	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
75,929	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
72,855	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
69,781	210	0,21	8,4	6,3	0	3	0	0	3	0	8,4	6,3
66,707	210	0,21	8,4	6,3	0	0,6	0	0	0,6	0	8,4	6,3
63,633	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
60,559	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
57,485	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
54,411	210	0,21	8,4	6,3	0	3	0	0	3	0	8,4	6,3
51,337	210	0,21	8,4	6,3	0	4	0,5	4	4	4,5	8,4	6,3
48,263	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
45,189	210	0,21	8,4	6,3	0	8	0,7	8	8	8,7	8,4	8,7
42,115	210	0,21	8,4	6,3	0	3	0	0	3	0	8,4	6,3
39,042	210	0,21	8,4	6,3	0	0,2	0	0	0,2	0	8,4	6,3
35,968	210	0,21	8,4	6,3	0	0,1	0	0	0,1	0	8,4	6,3
32,894	210	0,21	8,4	6,3	0	2	0	0	2	0	8,4	6,3
29,82	210	0,21	8,4	6,3	0	0,2	0	0	0,2	0	8,4	6,3
26,746	210	0,21	8,4	6,3	0	0	0	0	0	0	8,4	6,3
23,672	210	0,21	8,4	6,3	0	1	0	0	1	0	8,4	6,3
22,9035	212,5	0,2125	8,5	6,375	0	0,5	0	0	0,5	0	8,5	6,375
22,135	215	0,215	8,6	6,45	0	0,3	0	0	0,3	0	8,6	6,45
21,3665	217,5	0,2175	8,7	6,525	0	0	0	0	0	0	8,7	6,525
20,598	220	0,22	8,8	6,6	0	0	0	0	0	0	8,8	6,6
19,8295	232,5	0,2325	9,3	6,975	0	0	0	0	0	0	9,3	6,975
19,061	245	0,245	9,8	7,35	0	0	0	0	0	0	9,8	7,35
18,2925	257,5	0,2575	10,3	7,725	0	0	0	0	0	0	10,3	7,725
17,524	285	0,285	11,4	8,55	0	0	0	0	0	0	11,4	8,55

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice armature v lupini za $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^W$

16,7555	285	0,285	11,4	8,55	0	0	0	0	0	0	11,4	8,55
15,987	285	0,285	11,4	8,55	0	0	0	0	0	0	11,4	8,55
15,2185	292,5	0,2925	11,7	8,775	0	0	0	0	0	0	11,7	8,775
14,45	300	0,3	12	9	0	0	0	0	0	0	12	9
13,6815	375	0,375	15	11,25	0	0	0	0	0	0	15	11,25
12,913	450	0,45	18	13,5	0	0	0	0	0	0	18	13,5
12,1445	525	0,525	21	15,75	3	0	0,2	0	3	0,2	21	15,75
11,376	600	0,6	24	18	10	4	0,5	0	14	0,5	24	18
10,6075	715	0,715	28,6	21,45	21	15	0,7	0	36	0,7	36	21,45
9,839	830	0,83	33,2	24,9	36	35	1	1	71	2	71	24,9
9,0705	945	0,945	37,8	28,35	50	55	2	12	105	14	105	28,35
8,302	1060	1,06	42,4	31,8	92	78	3	31	170	34	170	34

$1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^S$

višina stolpa [m]	debelina [mm]	Ac [m ² /m]	0,4% Ac	0,3% Ac	obroč na	obr očn a	meri dians ka	merid iansk a	obr očn a	meridi ansk a	potrebna obročna armatura	potrebna meridiansk a armatura
					spoda j	zgor aj	spod aj	zgora j	sku paj	skupaj	skupaj	skupaj
162	351	0,351	14,04	10,53	1	0	0,7	0	1	0,7	14,04	10,53
161,225	325,5	0,3255	13,02	9,765	5	0	1	0	5	1	13,02	9,765
160,8375	312,5	0,3125	12,5	9,375	6	0	1	0	6	1	12,5	9,375
160,625	305,65	0,30565	12,226	9,1695	9	0	1	0	9	1	12,226	9,1695
160,45	300	0,3	12	9	10	0	1	0	10	1	12	9
160,2315	295	0,295	11,8	8,85	11	0	1,5	0	11	1,5	11,8	8,85
160,0131	290	0,29	11,6	8,7	13	0	2	0	13	2	13	8,7
159,5762	280	0,28	11,2	8,4	14	1	4	0	15	4	15	8,4
158,7023	260	0,26	10,4	7,8	14	1	5,6	0	15	5,6	15	7,8
157,8285	240	0,24	9,6	7,2	12	1	6,6	0	13	6,6	13	7,2
156,9547	220	0,22	8,8	6,6	5	1	6,7	0	6	6,7	8,8	6,7
156,0808	200	0,2	8	6	4	1	7,2	0	5	7,2	8	7,2
155,207	180	0,18	7,2	5,4	8	1	7,6	0	9	7,6	9	7,6
152,778	180	0,18	7,2	5,4	9	0	7,5	0	9	7,5	9	7,5
149,704	180	0,18	7,2	5,4	9	1	7,5	0	10	7,5	9	7,5
146,63	180	0,18	7,2	5,4	9	1	7,2	0	10	7,2	10	7,2
143,556	180	0,18	7,2	5,4	9	1	7,5	0	10	7,5	10	7,5
140,482	180	0,18	7,2	5,4	9	1	7,4	0	10	7,4	10	7,4
137,408	180	0,18	7,2	5,4	9	1	7,5	0	10	7,5	10	7,5
134,334	180	0,18	7,2	5,4	9	1	7,2	0	10	7,2	10	7,2
131,26	180	0,18	7,2	5,4	9	1	7	0	10	7	10	7
128,186	180	0,18	7,2	5,4	9	1	6,8	0	10	6,8	10	6,8
125,112	180	0,18	7,2	5,4	9	1	6,6	0	10	6,6	10	6,6
122,038	180	0,18	7,2	5,4	9	1	6,4	0	10	6,4	10	6,4
118,964	180	0,18	7,2	5,4	9	1	6,1	0	10	6,1	10	6,1
115,89	180	0,18	7,2	5,4	9	1	6	0	10	6	10	6

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice armature v lupini za $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^W$

115,1215	181,25	0,18125	7,25	5,437 5	9	0	5,7	0	9	5,7	9	5,7
114,353	182,5	0,1825	7,3	5,475	9	0	5	0	9	5	9	5,475
113,5845	183,75	0,18375	7,35	5,512 5	9	0	5	0	9	5	9	5,5125
112,816	185	0,185	7,4	5,55	9	0	5	0	9	5	9	5,55
112,0475	186,25	0,18625	7,45	5,587 5	9	0	4,9	0	9	4,9	9	5,5875
111,279	187,5	0,1875	7,5	5,625	9	0	4,9	0	9	4,9	9	5,625
110,5105	188,75	0,18875	7,55	5,662 5	9	0	4,9	0	9	4,9	9	5,6625
109,742	190	0,19	7,6	5,7	9	0	4,9	0	9	4,9	9	5,7
108,9738	192,5	0,1925	7,7	5,775	9	0	4,9	0	9	4,9	9	5,775
108,2055	195	0,195	7,8	5,85	9	0	4,9	0	9	4,9	9	5,85
107,4373	197,5	0,1975	7,9	5,925	9	0	4,9	0	9	4,9	9	5,925
106,669	200	0,2	8	6	9	0	4,8	0	9	4,8	9	6
105,9005	202,5	0,2025	8,1	6,075	9	0	4,8	0	9	4,8	9	6,075
105,132	205	0,205	8,2	6,15	9	0	4,8	0	9	4,8	9	6,15
104,3635	207,5	0,2075	8,3	6,225	9	0	4,7	0	9	4,7	9	6,225
103,595	210	0,21	8,4	6,3	9	0	4,5	0	9	4,5	9	6,3
100,521	210	0,21	8,4	6,3	9	0	5	0	9	5	9	6,3
97,447	210	0,21	8,4	6,3	9	0	4,3	0	9	4,3	9	6,3
94,373	210	0,21	8,4	6,3	9	0	4,1	0	9	4,1	9	6,3
91,299	210	0,21	8,4	6,3	9	0	3,9	0	9	3,9	9	6,3
88,225	210	0,21	8,4	6,3	8	0	3,7	0	8	3,7	8,4	6,3
85,151	210	0,21	8,4	6,3	8	0	3,5	0	8	3,5	8,4	6,3
82,077	210	0,21	8,4	6,3	8	0	3,3	0	8	3,3	8,4	6,3
79,003	210	0,21	8,4	6,3	8	0	3,2	0	8	3,2	8,4	6,3
75,929	210	0,21	8,4	6,3	8	0	3	0	8	3	8,4	6,3
72,855	210	0,21	8,4	6,3	8	0	2,8	0	8	2,8	8,4	6,3
69,781	210	0,21	8,4	6,3	8	0	2,7	0	8	2,7	8,4	6,3
66,707	210	0,21	8,4	6,3	8	0	2,5	0	8	2,5	8,4	6,3
63,633	210	0,21	8,4	6,3	8	0	2,4	0	8	2,4	8,4	6,3
60,559	210	0,21	8,4	6,3	8	0	2,2	0	8	2,2	8,4	6,3
57,485	210	0,21	8,4	6,3	8	0	2,1	0	8	2,1	8,4	6,3
54,411	210	0,21	8,4	6,3	8	0	2	0	8	2	8,4	6,3
51,337	210	0,21	8,4	6,3	8	0	2	6,2	8	8,2	8,4	8,2
48,263	210	0,21	8,4	6,3	8	0	2	0	8	2	8,4	6,3
45,189	210	0,21	8,4	6,3	8	0	2	8,6	8	10,6	8,4	10,6
42,115	210	0,21	8,4	6,3	8	0	1,5	1	8	2,5	8,4	6,3
39,042	210	0,21	8,4	6,3	8	0	1,5	0	8	1,5	8,4	6,3
35,968	210	0,21	8,4	6,3	8	0	1	0	8	1	8,4	6,3
32,894	210	0,21	8,4	6,3	8	0	1	2	8	3	8,4	6,3
29,82	210	0,21	8,4	6,3	8	0	0,8	0	8	0,8	8,4	6,3
26,746	210	0,21	8,4	6,3	8	0	2	0	8	2	8,4	6,3
23,672	210	0,21	8,4	6,3	8	0	0	0	8	0	8,4	6,3
22,9035	212,5	0,2125	8,5	6,375	8	0	0	0	8	0	8,5	6,375

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice armature v lupini za $1,35 \cdot D + 1,5 \cdot T^W$

22,135	215	0,215	8,6	6,45	8	0	0,6	0	8	0,6	8,6	6,45
21,3665	217,5	0,2175	8,7	6,525	8	0	1	0	8	1	8,7	6,525
20,598	220	0,22	8,8	6,6	8	0	1	0	8	1	8,8	6,6
19,8295	232,5	0,2325	9,3	6,975	8	0	2	0	8	2	9,3	6,975
19,061	245	0,245	9,8	7,35	9	0	2	0	9	2	9,8	7,35
18,2925	257,5	0,2575	10,3	7,725	10	0,3	2	0	10,3	2	10,3	7,725
17,524	270	0,27	10,8	8,1	11	1	3	0	12	3	12	8,1
16,7555	277,5	0,2775	11,1	8,325	12	2	3	0	14	3	14	8,325
15,987	285	0,285	11,4	8,55	13	3	2	0	16	2	16	8,55
15,2185	292,5	0,2925	11,7	8,775	14	4	1	0	18	1	18	8,775
14,45	300	0,3	12	9	15	4	0,5	0	19	0,5	19	9
13,6815	375	0,375	15	11,25	18	4	0,5	0	22	0,5	22	11,25
12,913	450	0,45	18	13,5	20	2	1	0	22	1	22	13,5
12,1445	525	0,525	21	15,75	21	0,8	1	0	21,8	1	21,8	15,75
11,376	600	0,6	24	18	19	0,6	4	0,4	19,6	4,4	24	18
10,6075	715	0,715	28,6	21,45	16	0	6	1	16	7	28,6	21,45
9,839	830	0,83	33,2	24,9	6	0	11	3,5	6	14,5	33,2	24,9
9,0705	945	0,945	37,8	28,35	0	0	14	9	0	23	37,8	28,35
8,302	1060	1,06	42,4	31,8	0	0	16	15	0	31	42,4	31,8