

**SPECIJALNE
INŽENJERSKE
GRAĐEVINE**

Betonski telekomunikacijski tornjevi



Betonski tornjevi

-1953 g. Stuttgart – prvi armiranobetonski toranj.

Oblikovanje:

-ekonomski zahtjevi

-konstrukcijski zahtjevi

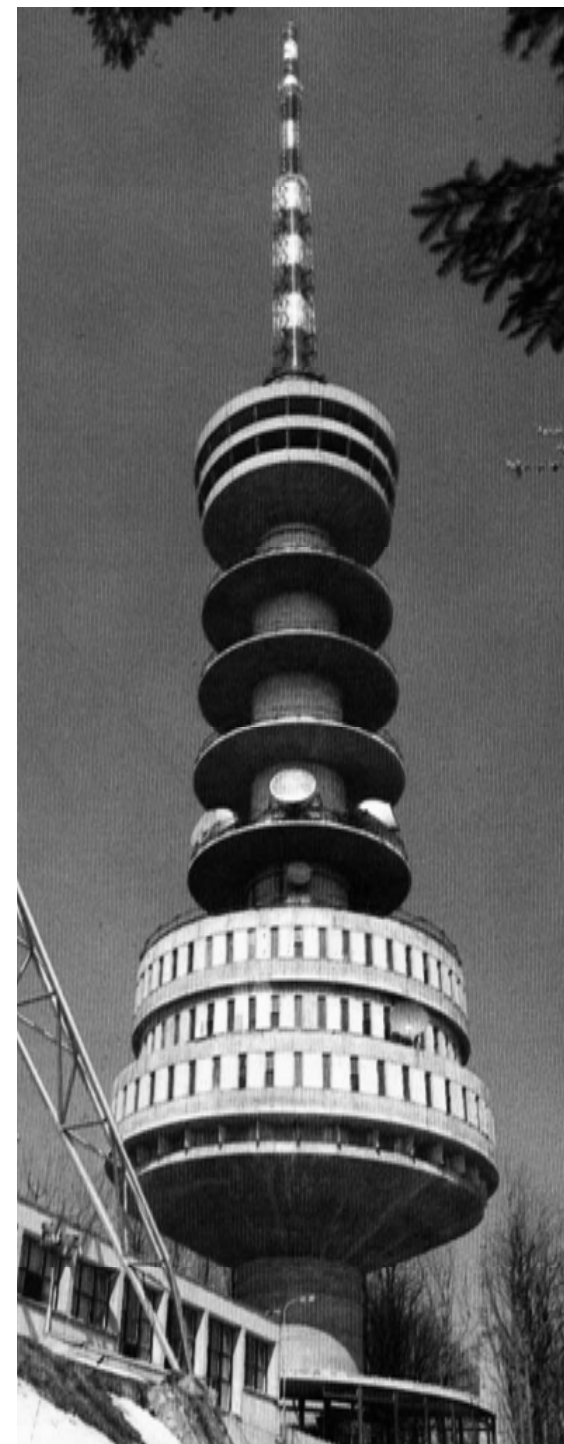
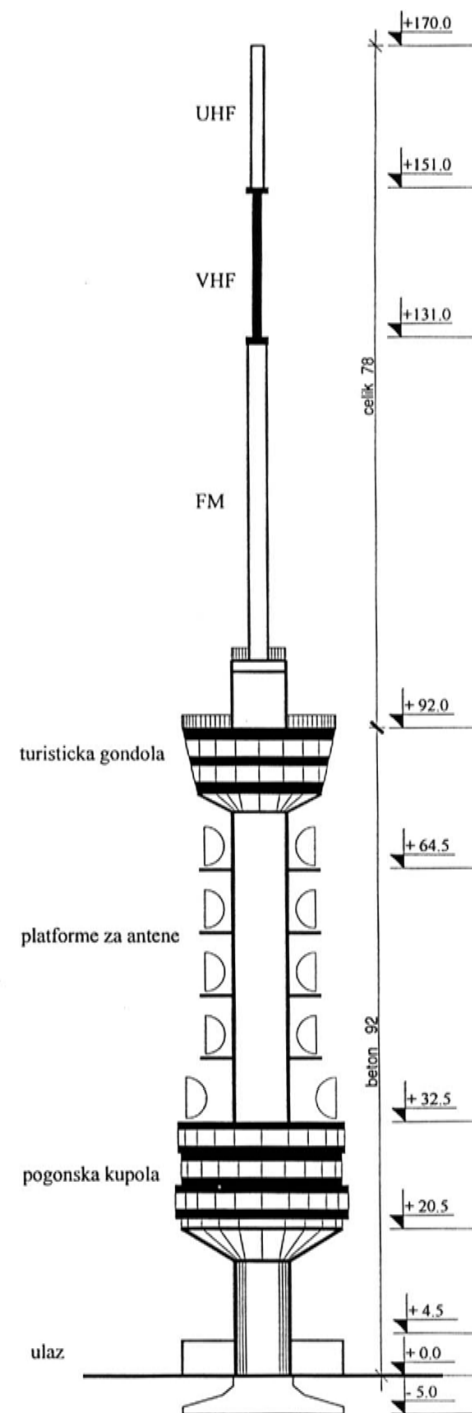
-prirodni uvjeti

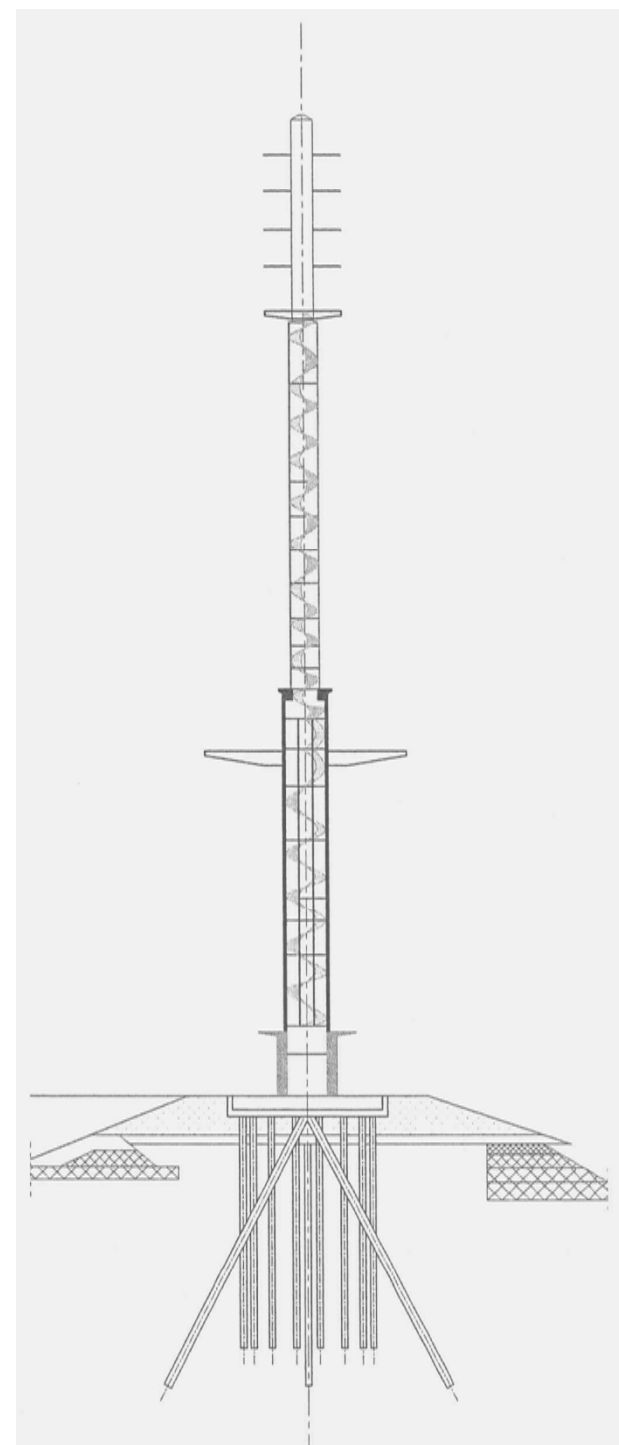
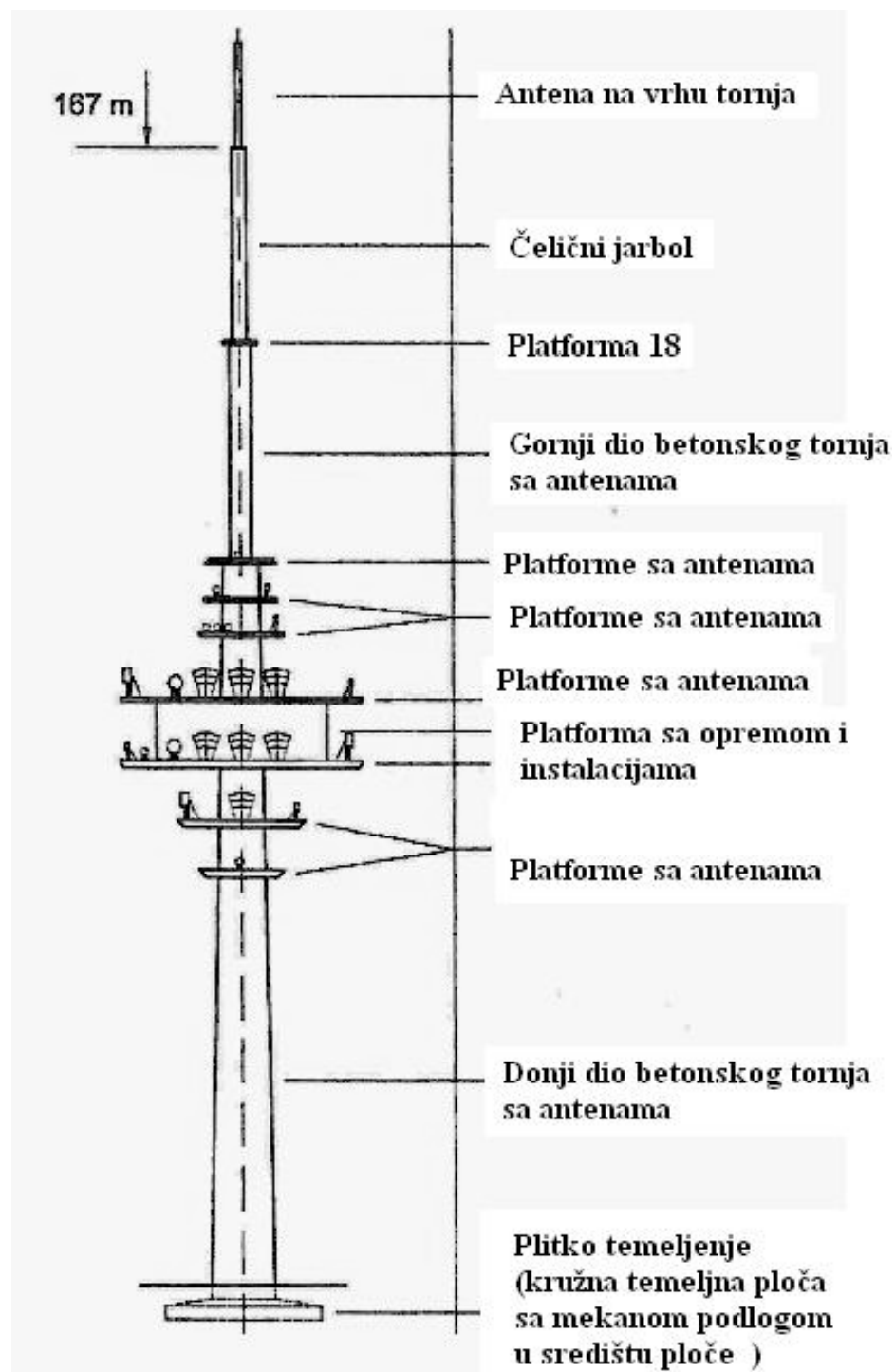
-zahtjevi uklapanja u okoliš

-zahtjevi na oblik (*klasičan izgled, ekstravagancija...*)

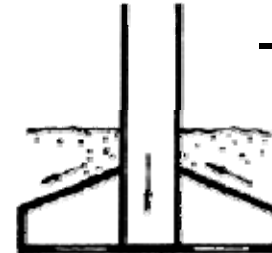
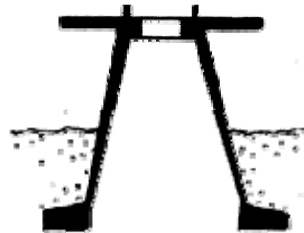
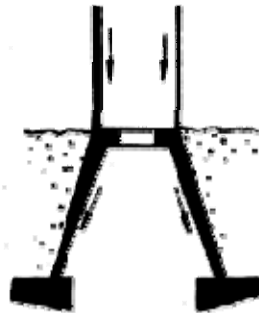
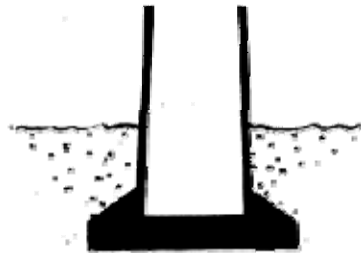
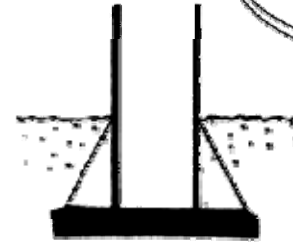
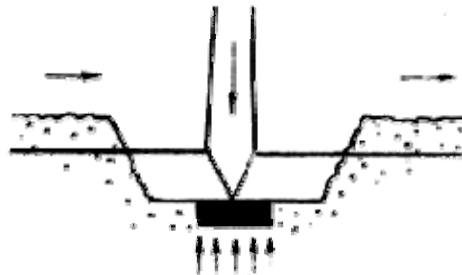
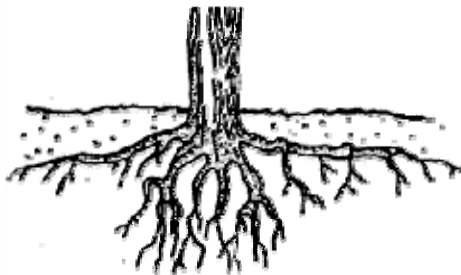
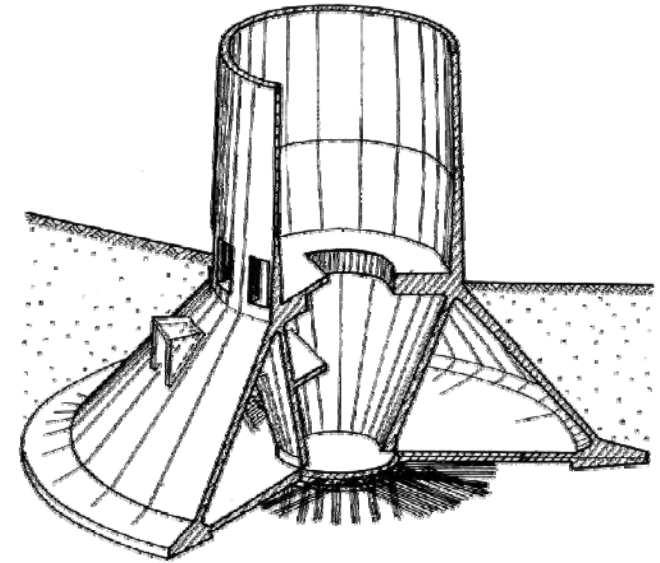
Sljemenski toranj

- visina tornja je 175m.
- izgrađen za potrebe televizije.
- u podrumsko-prizemnom dijelu su pogonski i pomoćni uređaji.
- donja gondola: uređaji RTV, četiri etaže na visini od 15m.
- treći dio su četiri konzolne ploče za zrcalne antene.
- gornja gondola: za turističke svrhe na visini od 70m.

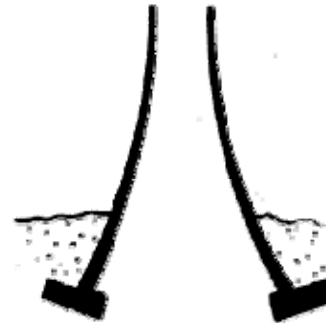
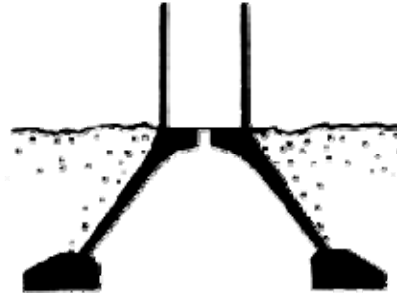
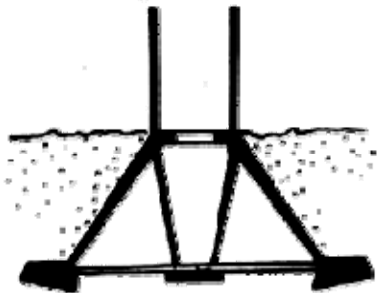




Načini temeljenja

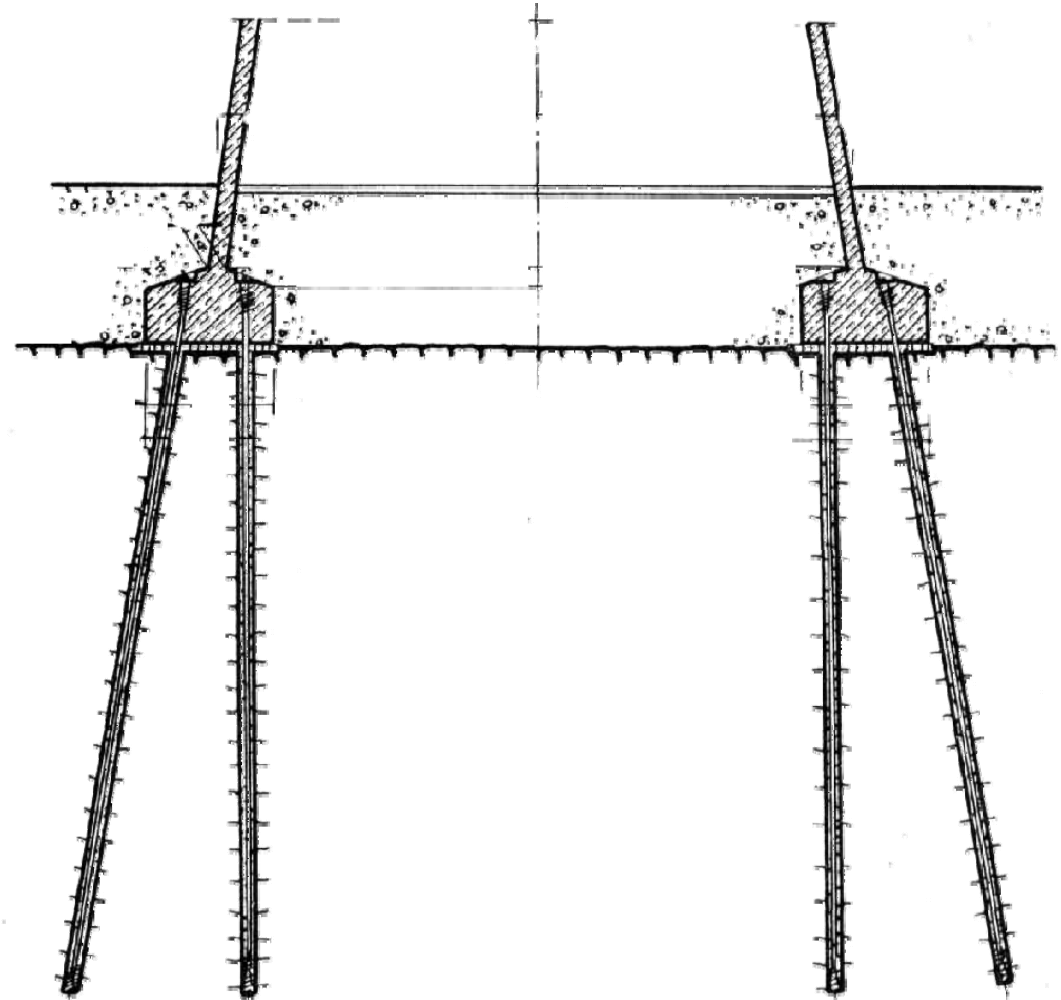


-kružne ili prstenaste ploče



Temeljenje sa geotehničkim sidrima

- u stjenovitom ili kamenom tlu.
- preuzimanje momenta sidrima.

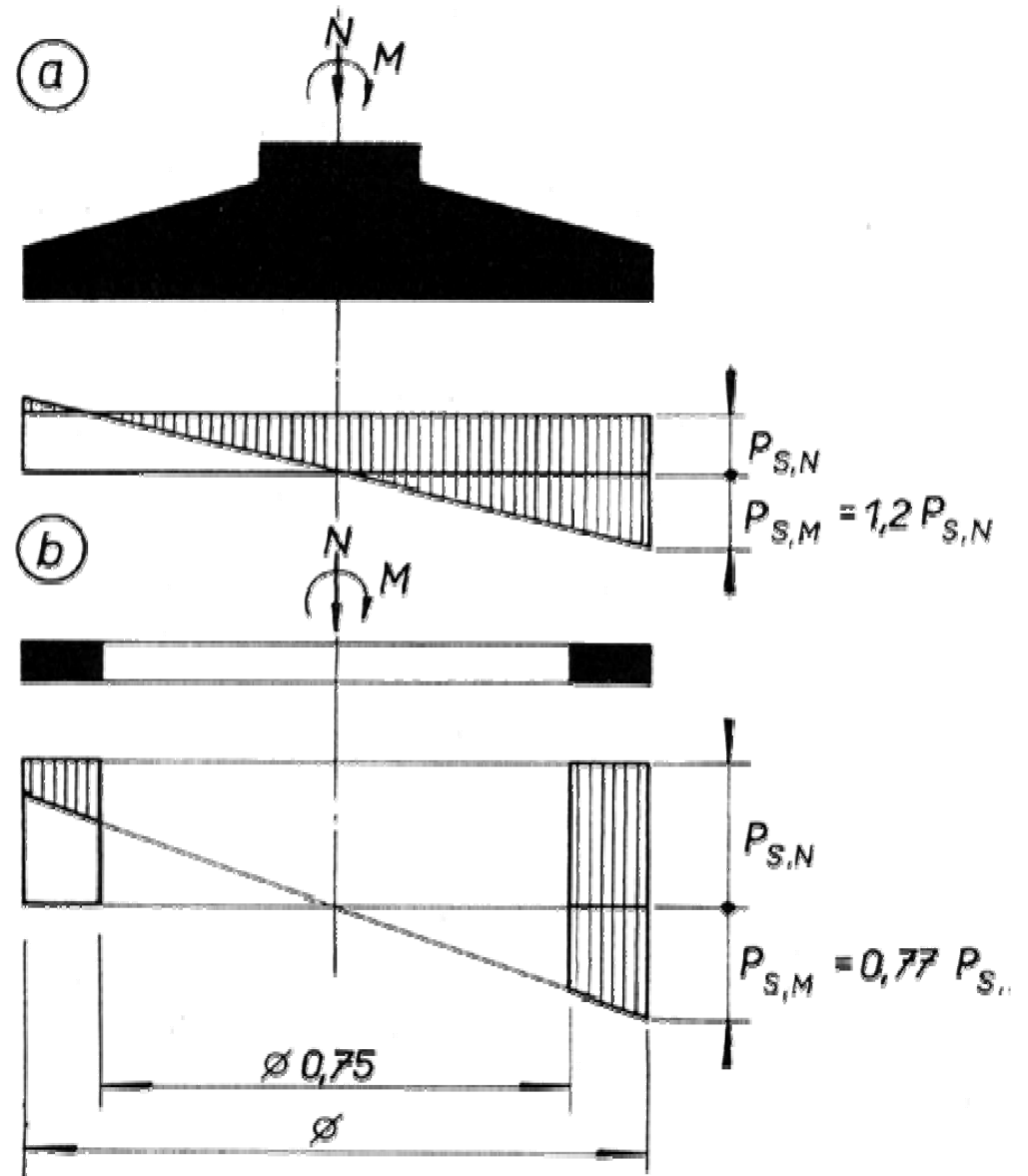


Temeljenje:

-dominantne sile u temelju određuju način temeljenja

-potrebna je zaštita od korozije

-imati u vidu djelovanje agresivnih voda.



Temeljenje:

DOKAZ EKSCENTRIČNOSTI OPTEREĆENJA

Potrebno je dokazati da za osnovna opterećenja se resultantna sila nalazi u 1. jezgri poprečnog presjeka temelja

$$\frac{e_x}{b_x} + \frac{e_y}{b_y} \leq \frac{1}{6}$$

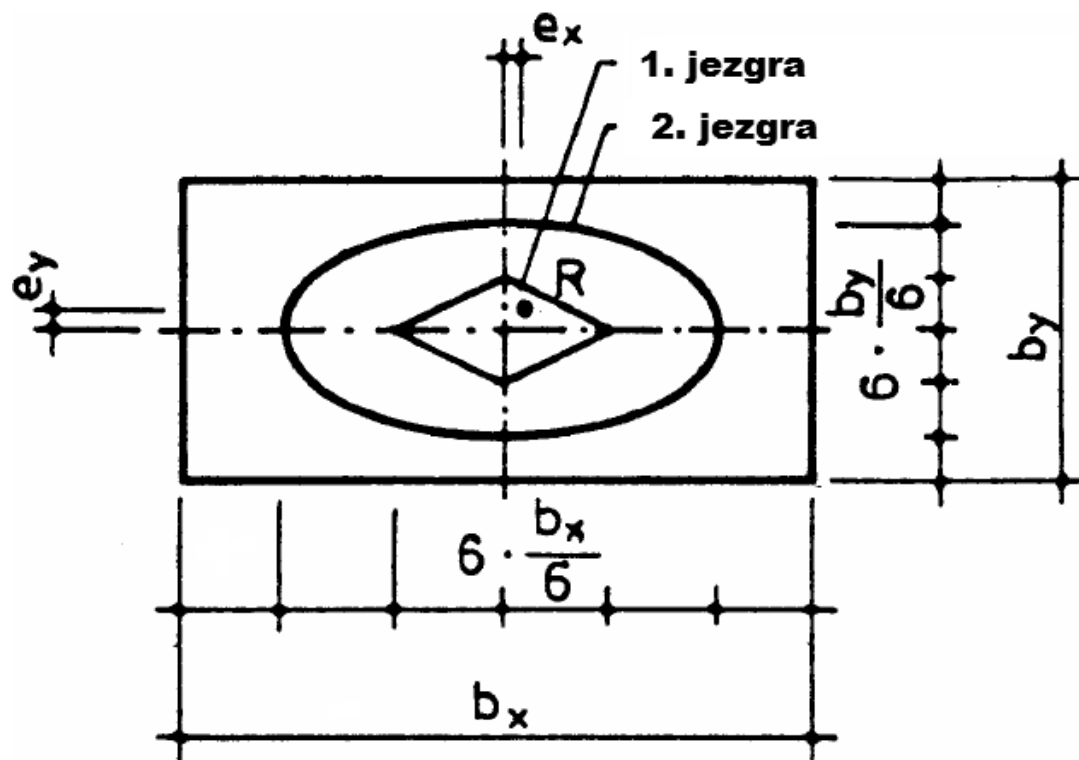
Za ostala opterećenja resultantna sila se mora nalaziti u 2. jezgri poprečnog presjeka

$$\left(\frac{e_x}{b_x}\right)^2 + \left(\frac{e_y}{b_y}\right)^2 \leq \frac{1}{9}$$

$$e_x = \frac{M_x}{V} \qquad e_y = \frac{M_y}{V}$$

Temeljenje:

DOKAZ EKSCENTRIČNOSTI OPTEREĆENJA



M_x – moment savijanja oko
osi x

M_y – moment savijanja oko
osi y

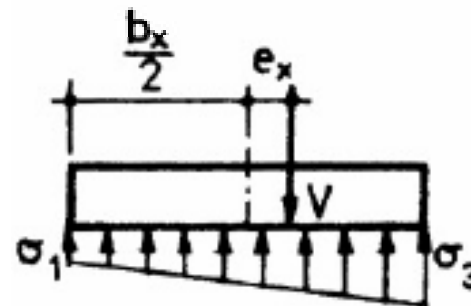
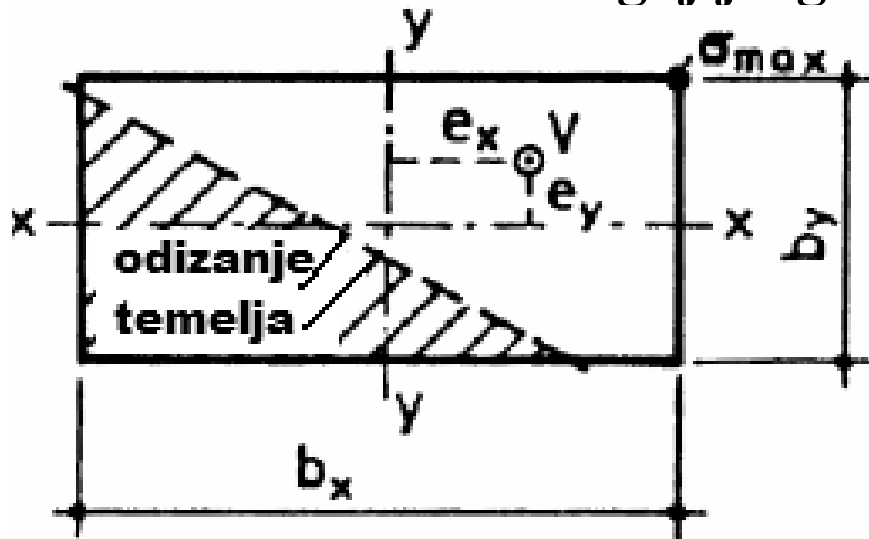
V – vertikalna sila na temelj

Temeljenje:

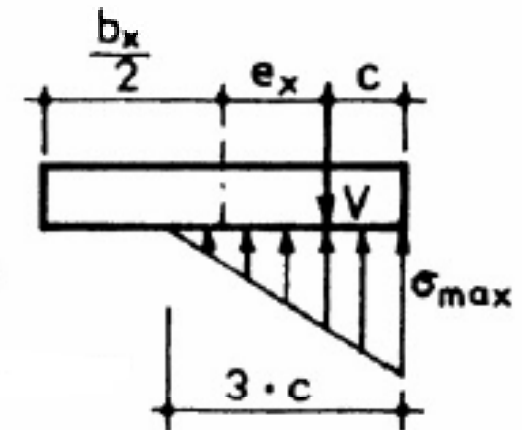
DOKAZ EKSCENTRIČNOSTI OPTEREĆENJA

Potrebno je dokazati da za osnovna opterećenja se rezultantna sila nalazi u 1. jezgri poprečnog presjeka temelja – CIJELA POVRŠINA TEMELJA JE U TLAKU, NEMA ODIZANJA TEMELJA OD TLA

Za ostala opterećenja dopušta se odizanje temelja, ali se rezultanta mora nalaziti u drugoj jezgri poprečnog presjeka



$$e_x \leq \frac{b_x}{6}$$



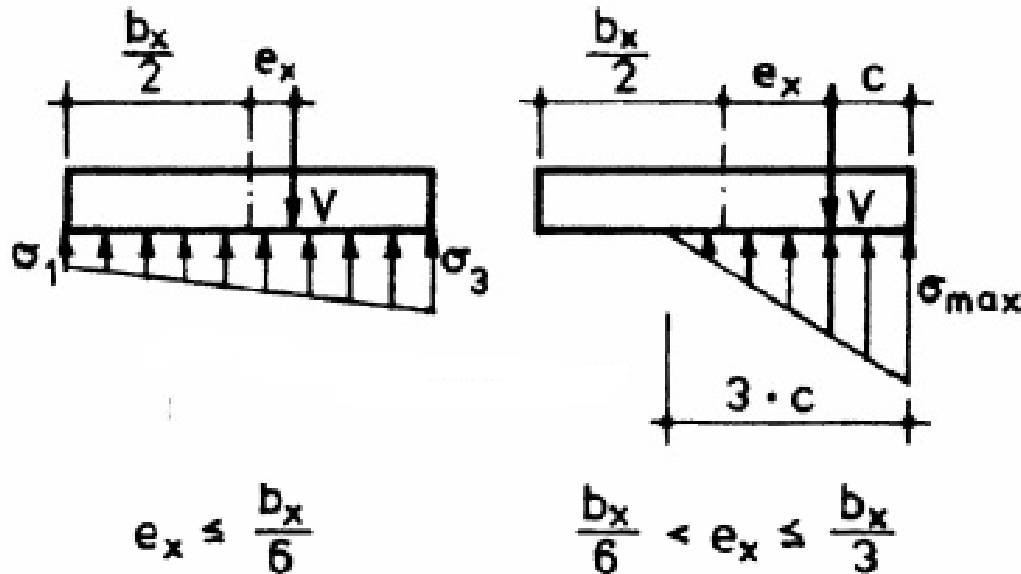
$$\frac{b_x}{6} < e_x \leq \frac{b_x}{3}$$

Temeljenje:

DOKAZ NAPREZANJA NA TLO

Naprezanja na tlo moraju biti manja ili jednaka maksimalno dopuštenom napreznju

- JEDNOOSNO SAVIJANJE : $e_x = 0$ ili $e_y = 0$



$$\begin{aligned} \text{a) } e_x \leq \frac{b_x}{6}: \quad \sigma_{3,1} &= \frac{V}{b_x \cdot b_y} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e_x}{b_x} \right) \\ \text{b) } \frac{b_x}{6} < e_x \leq \frac{b_x}{3}: \quad \sigma_{\max} &= \frac{2 \cdot V}{3 \cdot c \cdot b_y} \quad \sigma_{\min} = 0! \end{aligned}$$

Temeljenje:

DOKAZ NAPREZANJA NA TLO

Naprezanja na tlo moraju biti manja ili jednaka maksimalno dopuštenom napreznju

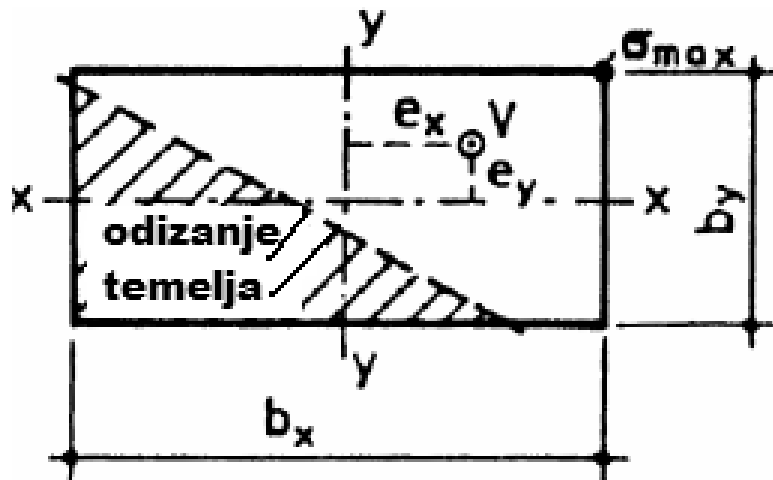
$$c) \frac{e_x}{b_x} + \frac{e_y}{b_y} \leq \frac{1}{6}:$$

DVOOSNO SAVIJANJE :

c) čitav presjek je u TLAKU

$$\sigma(x,y) = \frac{V}{b_x \cdot b_y} \left(1 \pm \frac{12 \cdot e_x \cdot y}{b_x^2} \pm \frac{12 \cdot e_y \cdot x}{b_y^2} \right)$$

d) presjek se dijelom odiže od tla

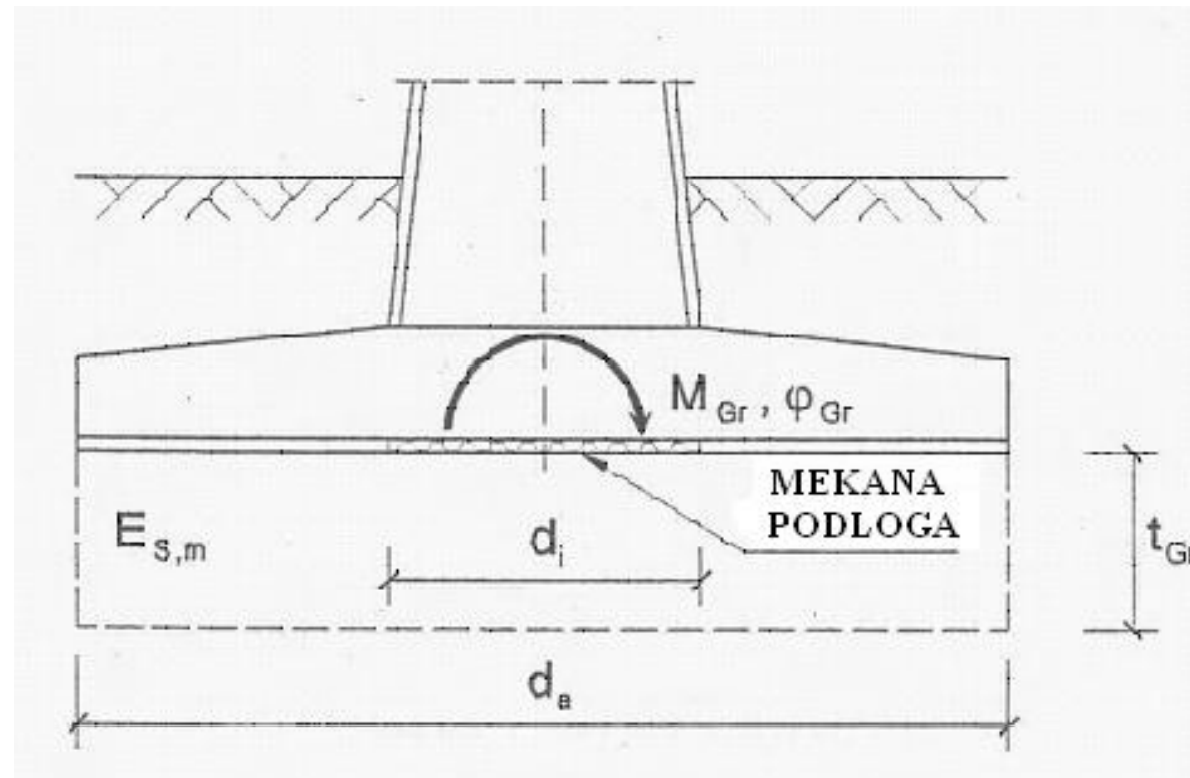


$$d) \frac{e_x}{b_x} + \frac{e_y}{b_y} > \frac{1}{6} \quad \text{i} \quad \left(\frac{e_x}{b_x} \right)^2 + \left(\frac{e_y}{b_y} \right)^2 \leq \frac{1}{9}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\mu \cdot V}{b_x \cdot b_y}$$

μ - iz tablica prema Hülsmöller-u

Temeljenje:



Ispod središnjeg dijela temelja se postavlja mekana podloga kako bi se pritisak na tlo prenio po betonskom prstenu vanjskog promjera d_a i unutarnjeg promjera d_i

U slučaju jednake krutosti tla ispod cijele temeljne ploče sila iz stijenki betonskog tornja širila bi se kroz temeljnu ploču najkraćim putem putom (kut 45°)
- na tlo bi djelovala veća naprezanja

Temeljenje:

Površina kružnog prstena: $A_{tem} = \pi \cdot (d_a^2 - d_i^2)$

Moment otpora poprečnog presjeka: $W_{tem} = \frac{I_p}{r} = \frac{\frac{\pi}{64} \cdot (d_a^2 - d_i^2)}{8}$

Jezgra poprečnog presjeka: $I_p = \frac{W_{tem}}{A_{tem}}$

Ekscentricitet: $e = \frac{M_k}{N_k}$

Naprezanje na tlo pod karakterističnim opterećenjem: $\sigma_k = \frac{N_k}{A_{tem}} \pm \frac{M_k}{W_{tem}}$

Temeljenje:

Zakretanje temelja trajnog karaktera uslijed stalnog opterećenja zadaje se kao imperfekcija tornja (toranj je kos).

Posebnu pažnju na zakretanje temelja uslijed nejednolikog opterećenja potrebno je posvetiti kod nevezanih tla.

Kratkotrajno zakretanje temelja φ uslijed djelovanja vjetra:

$$\varphi = \frac{M_{Gr}}{c_s \cdot I_{Gr}}$$

gdje je:

- M_{Gr} moment savijanja na kontaktu temelja sa tlom
- I_{Gr} moment tromosti poprečnog presjeka temelja na spoju sa tlom
- c_s krutost tla na zakretanje

Temeljenje:

Za proračun vibracija i proračun deformacija za granično stanje uporabljivosti potrebno je poznavati otpora tla na kratkotrajno djelovanje sila.

$$c_{s,dyn} = \frac{E_{s,dyn}}{f' \cdot \sqrt{A_{GR}}} = \frac{E_{s,dyn}}{t_{GR}}$$

gdje je :

$E_{s,dyn}$ – dinamički modul elastičnosti

A_{Gr} – površina temelja

$f' = 0,25$ – faktor oblika vibracija

$t_{GR} = 0,25 \cdot \sqrt{A_{GR}}$ - djelotvorna dubina antimetričnog djelovanja

Temeljenje:

Za proračun deformacija po teoriji 2. reda za granično stanje nosivosti potrebno je uzeti u obzir i zakretanje temelja.

Navedeni efekt može se uzeti u obzir preko statičkog modula elastičnosti $E_{s,stat}$ umjesto dinamičkog modula.

Ovisno o vrsti tla odnos dinamičkog i statičkog modula elastičnosti:

Nevezana tla: $\approx 2 < E_{s,dyn} / E_{s,stat} < \approx 4$

Vezana tla: $\approx 6 < E_{s,dyn} / E_{s,stat} < \approx 20$

Temeljenje:

Statički koeficijent podloge:

$$c_{s,dyn} = \frac{E_{s,stat}}{f' \cdot \sqrt{A_{GR}}} = \frac{E_{s,stat}}{t_{GR}}$$

Krutost temelja na rotaciju modelira se sa oprugom sljedećih karakteristika:

$$c_{\varphi} = \frac{\partial M_{GR}}{\partial \varphi} = c_S \cdot I_{GR} = \frac{E_S \cdot I_{GR}}{t_{GR}} = \frac{4 \cdot E_S \cdot I_{GR}}{\sqrt{A_{GR}}}$$

Vrijednost krutosti opruge za različite oblike temelja:

a) Kvadratni temelj (duljina stranice a_{GR}):

$$t_{GR} = 0,25 \cdot a_{GR}$$

$$c_{\varphi} = 0,333 \cdot E_S \cdot a_{GR}^3$$

Temeljenje:

b) Kužni temelj (promjer d_{GR}):

$$t_{GR} = 0,25 \cdot \sqrt{A_{GR}} = 0,125 \cdot \sqrt{\pi} \cdot d_{GR} = 0,222 \cdot d_{GR}$$

$$c_{\varphi} = \frac{E_S \cdot I_{GR}}{t_{GR}} = 0,125 \cdot E_S \cdot \sqrt{\pi} \cdot d_{GR}^3 = 0,222 \cdot E_S \cdot d_{GR}^3$$

c) Prstenasti temelj (unutarnji promjer d_a , vanjski promjer d_i)

Djelotvorna dubina temelja t_{Gr} procijenjena je na $t_{Gr} < 0,222 \cdot d_a$

$$c_{\varphi} = \frac{E_S \cdot I_{GR}}{t_{GR}} > 0,222 \cdot E_S \cdot \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a}$$

Temeljenje:

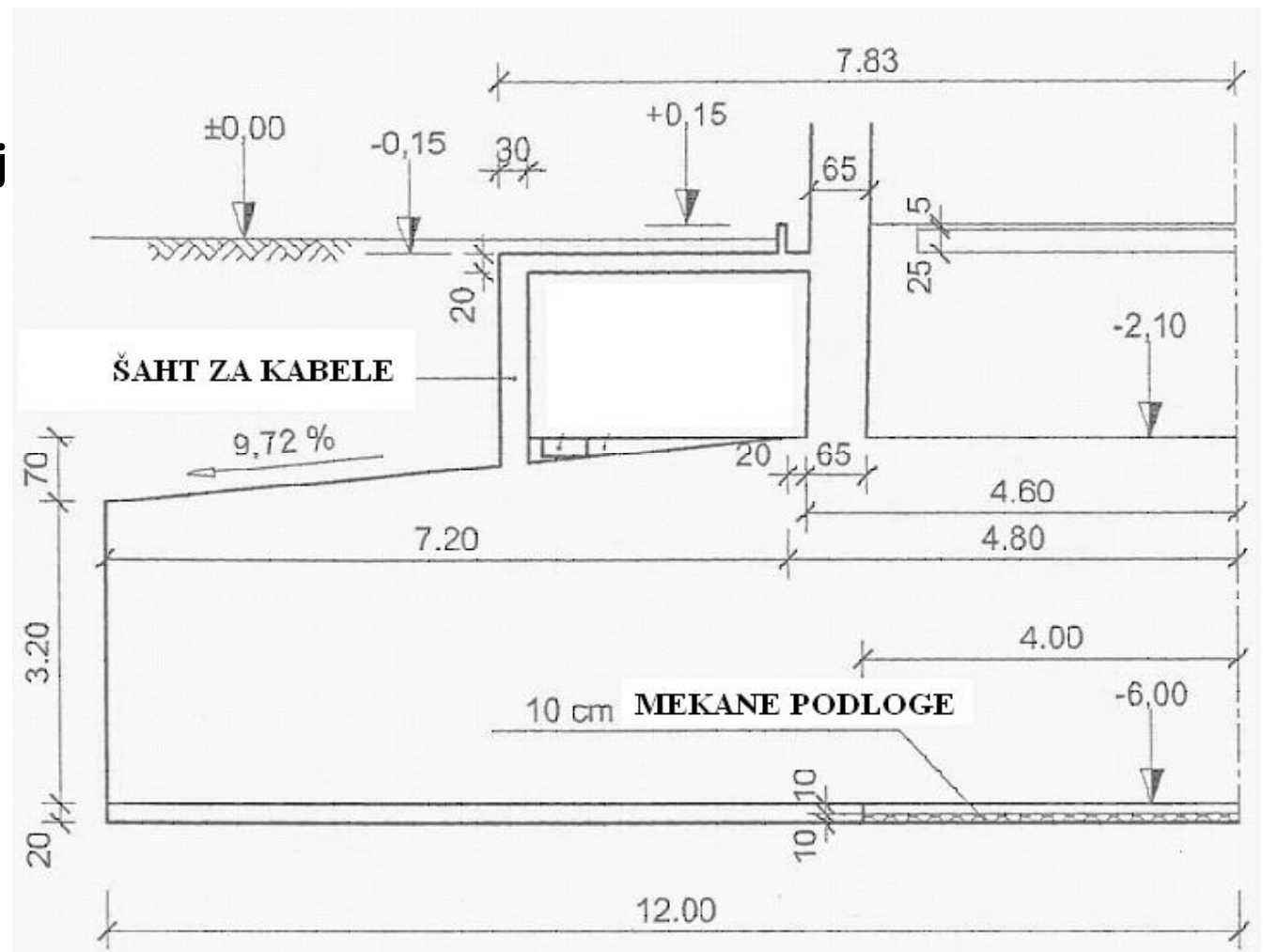
Karakterističan oblik temeljne ploče armiranobetonskog tornja

Nedaleko tornja se nalazi građevina (kuća, zgrada) sa telekomunikacijskom opremom

Podzemnim kabelom su vezani građevina i toranj

Kabeli se uz toranj nalaze u šahtu

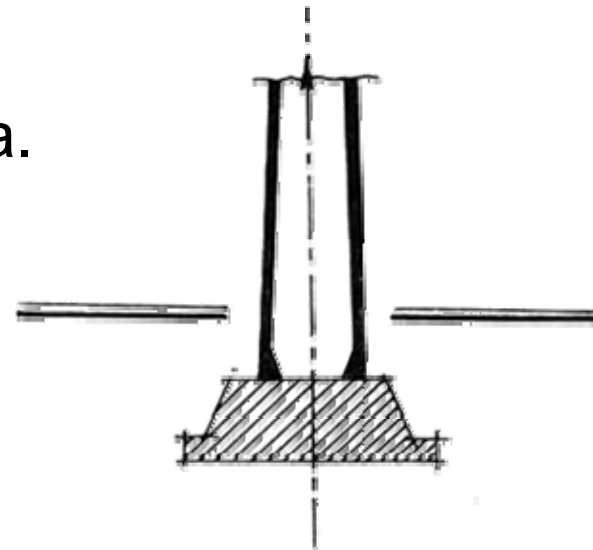
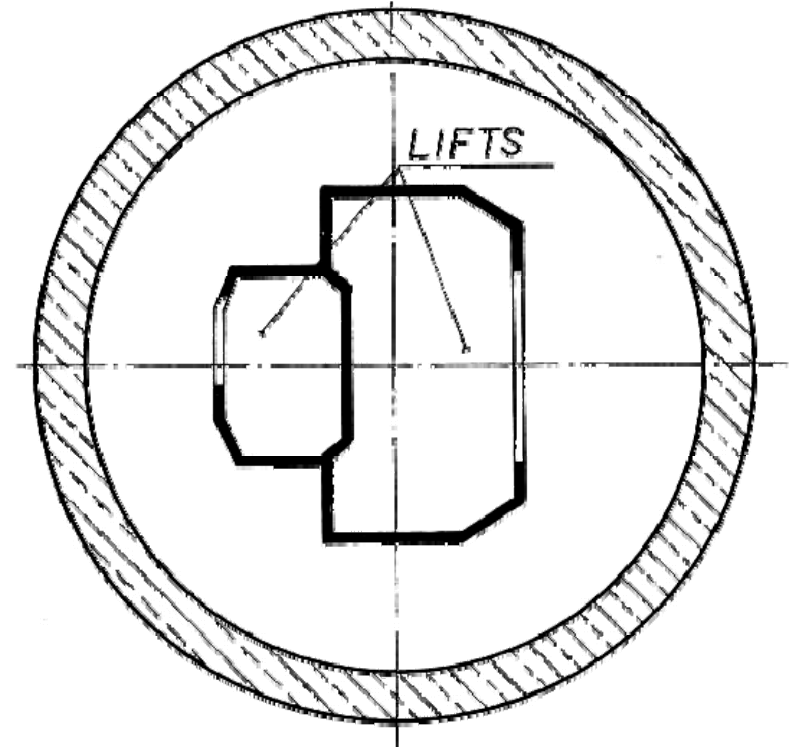
Problem je otvor u dnu tornja za prolaz kabela - oslabljenje dna tornja



Tijelo tornja

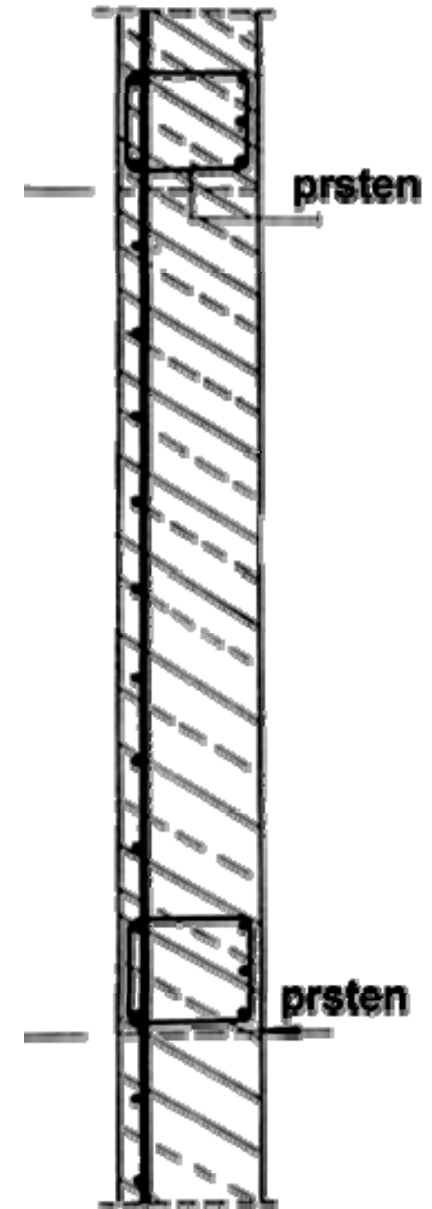
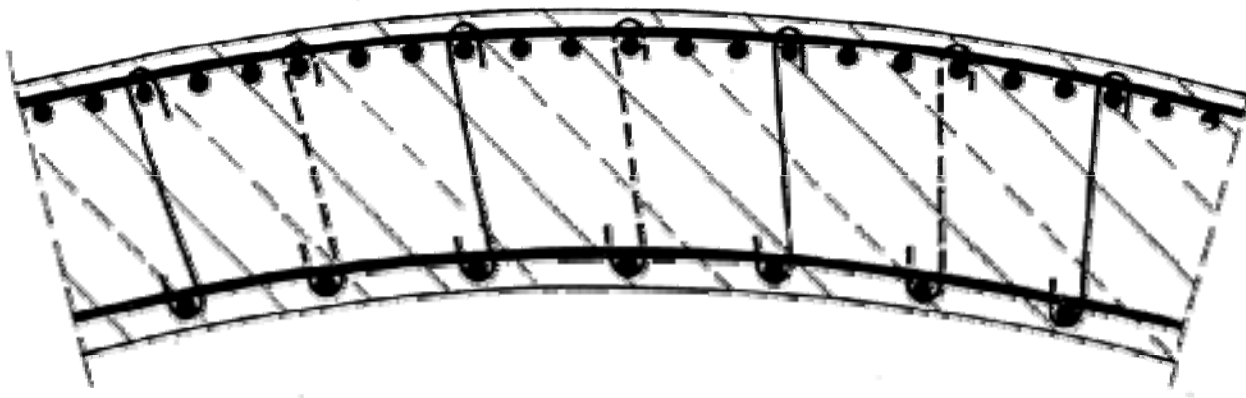
-najbolji konstrukcijski element
je zatvorena betonska cijev
kružnog ili poligonalnog
poprečnog presjeka.

-zašiljena konstrukcija
penjajućeg ili kliznog oblika.



Armiranje tijela tornja:

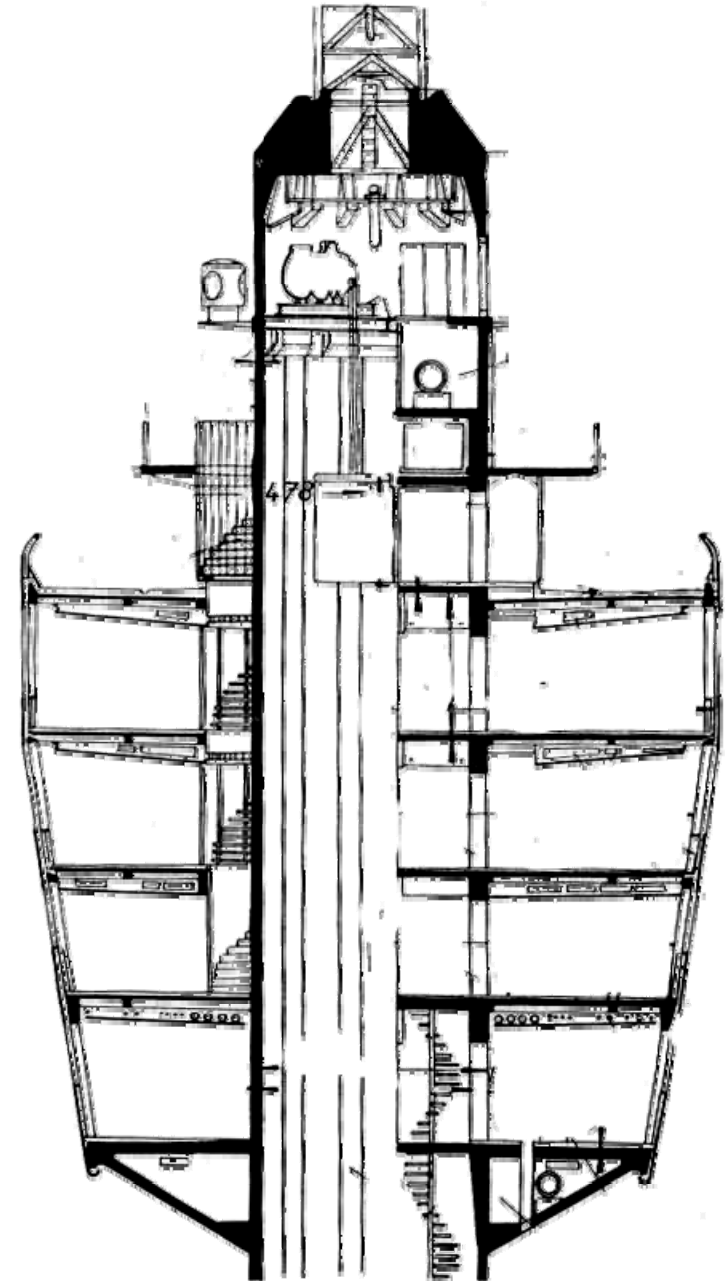
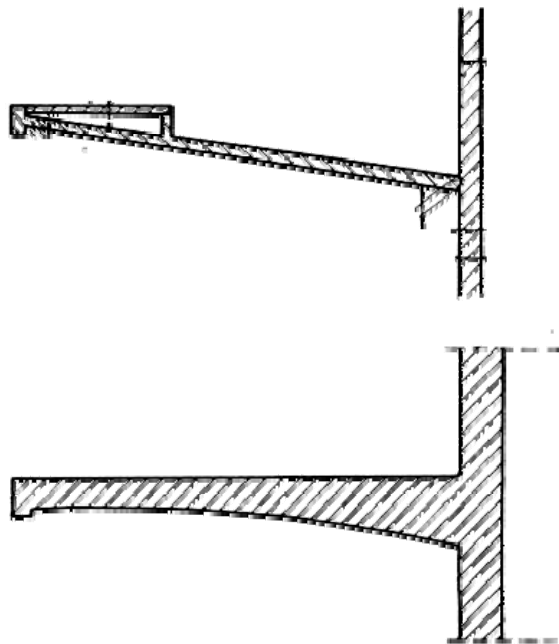
- vertikalna armatura: šipke na razmacima 10-15 cm.
- kružna armatura: prihvaćanje radijalnih sila.



Platforme tornjeva

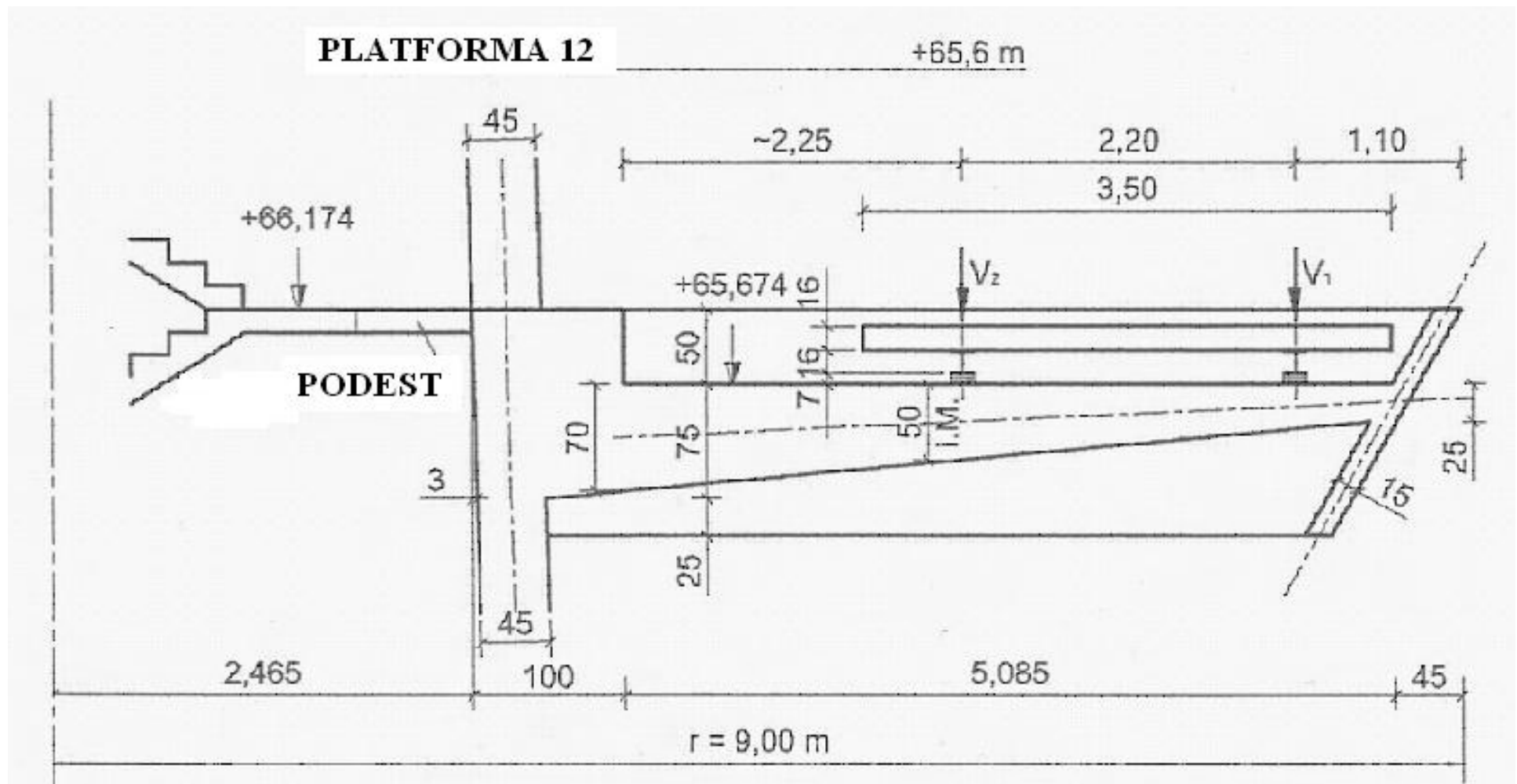
-ovješene platforme
(plosnata konoidna ljuska)

-klasična konzola



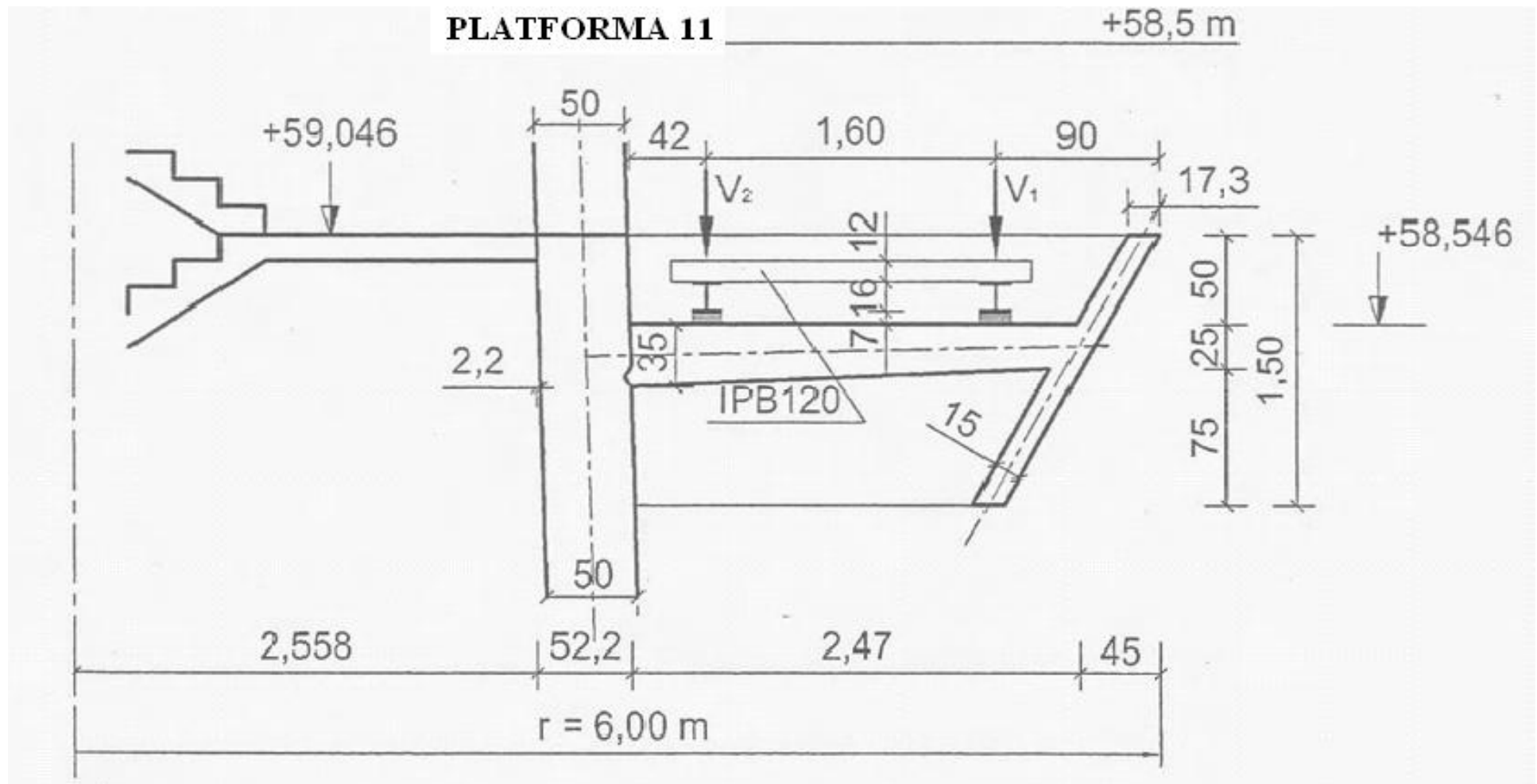
Veće platforme tornjeva

- Izvedba tijela tornja do položaja kružnog AB prstena
- Prsten je u pravilu cca dvostruke debljine stjenke tornja
- Naknadno se izvode konzole promjenjive visine



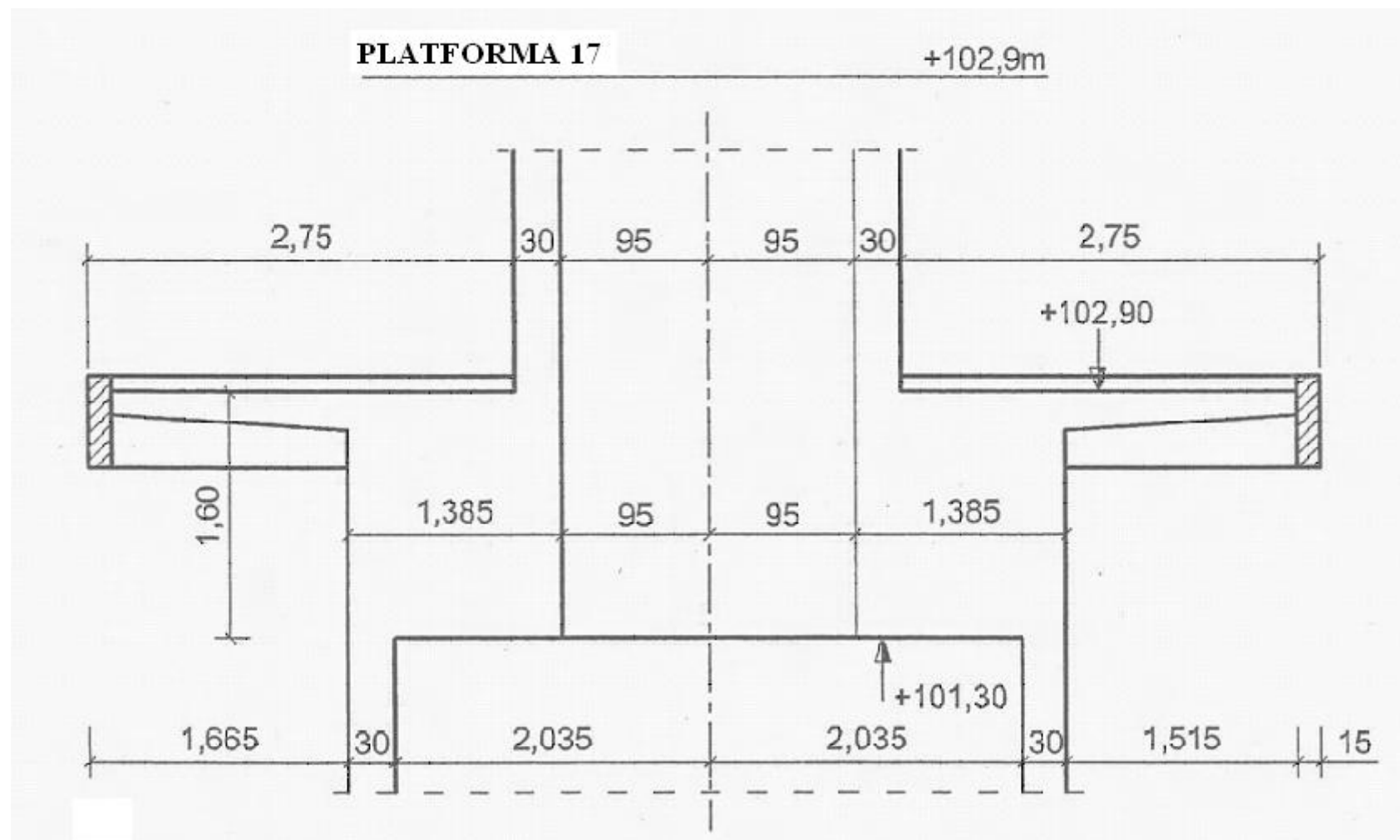
Manje platforme tornjeva

- Izvedba tijela tornja konstantne debljine podiznom oplatom
- Ostavljanje nastavka armature za sidrenje konzole



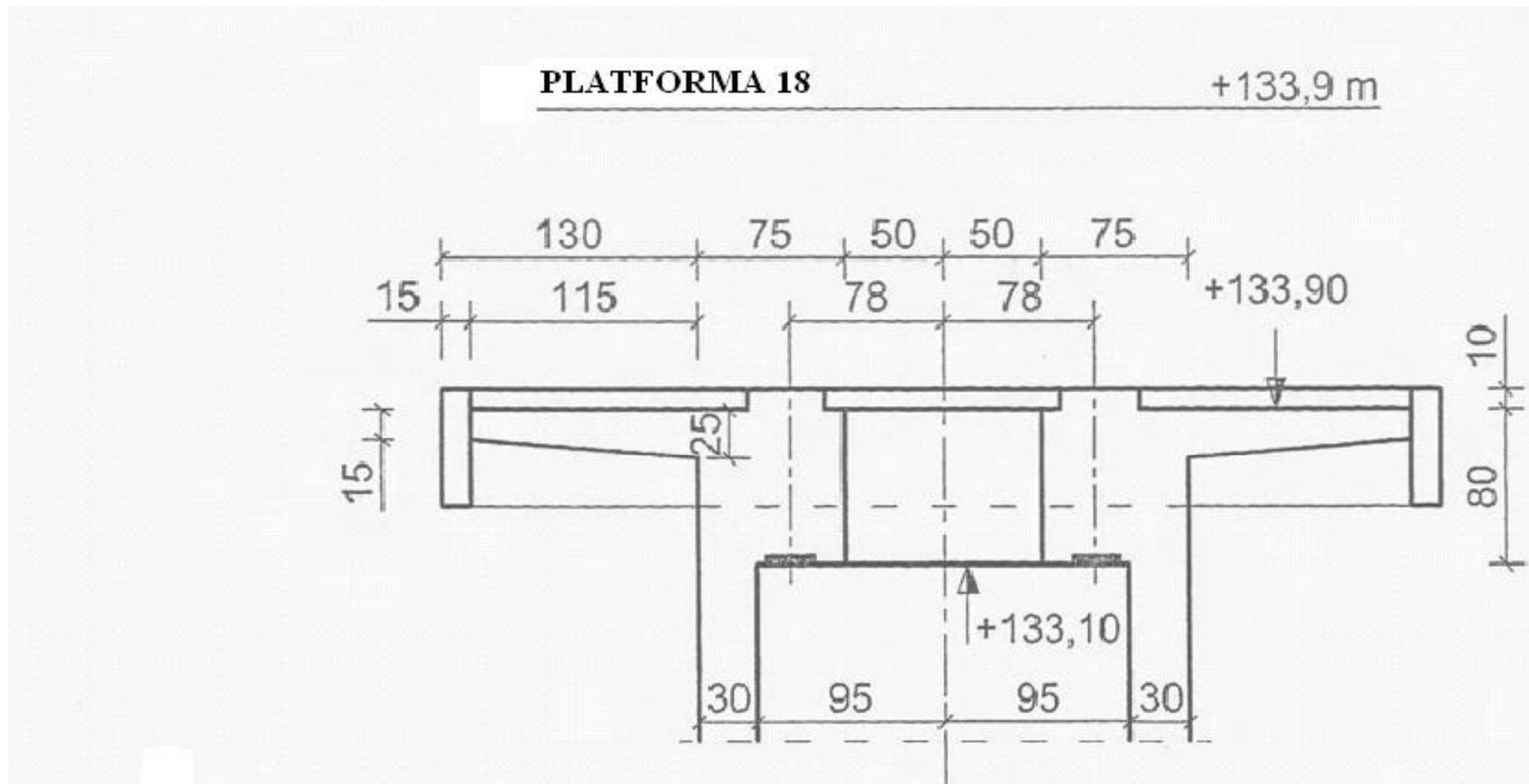
Promjena promjera tornja

- Detalj promjene promjera tornja
- Armiranobetonski prsten za sidrenje gornjeg dijela tornja



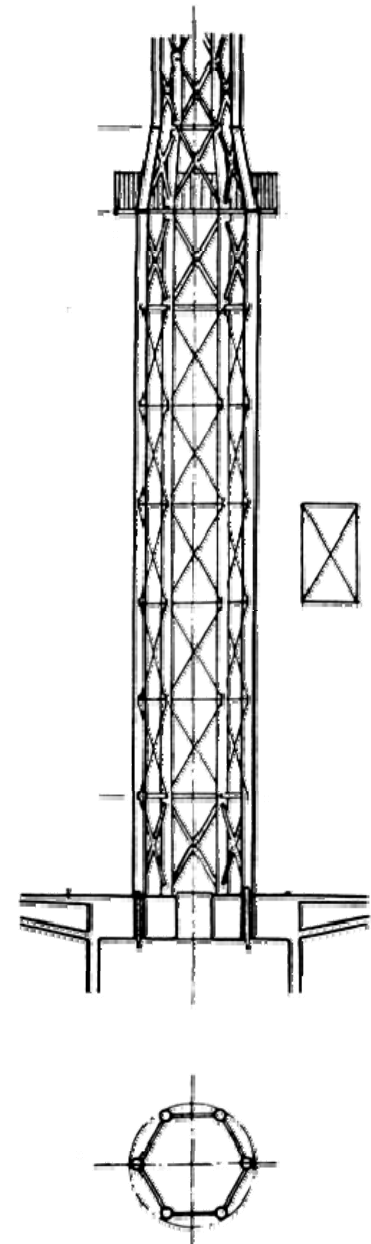
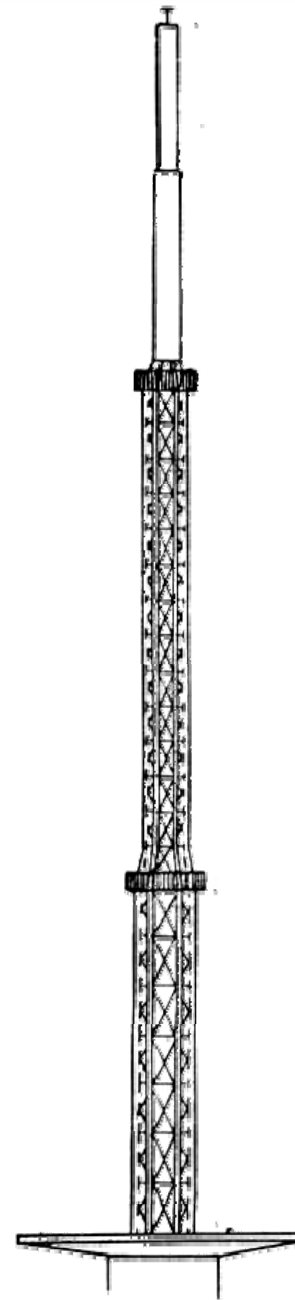
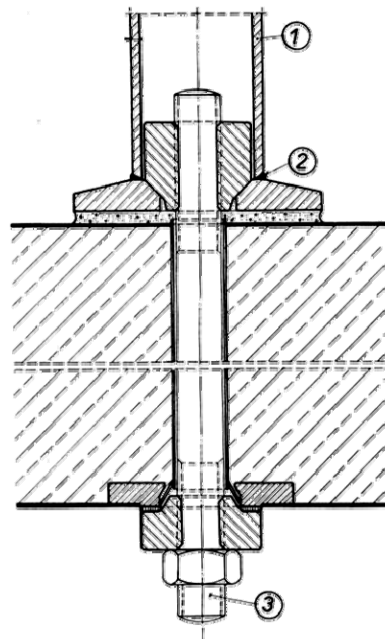
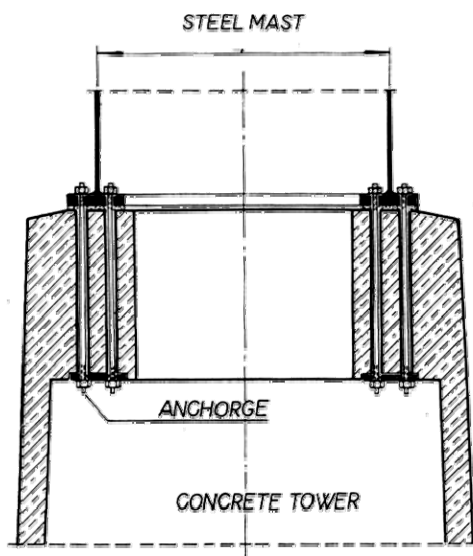
Vrh tornjeva

- Detalj završetka vrha tornja
- Armiranobetonski prsten za sidrenje čeličnog tornja



Čelični jarboli na betonskim tornjevima

- čelična rešetka usidrena na betonski dio tornja.
- poprečni presjek većinom heksagon.



Dimensioniranje tornjeva

Dimensioniranje prema teoriji 2. reda:

Prvo se vrši proračun po teoriji I. reda.

Zatim se približnim postupkom odredi povećanje sila zbog teorije 2. reda:

Odnos modula elastičnosti čelika i betona $\alpha_E = \frac{E_s}{E_{cm}}$

Moment krutosti kružnog prstena

$I_i = \frac{\pi}{64} \cdot (d_a^4 - d_i^4) + \pi \cdot \alpha_E \cdot (r_a^3 \cdot \rho_a + r_i^3 \cdot \rho_i) \cdot t$

d_a – vanjski promjer prstena

d_i – unutarnji promjer prstena

r_a – vanjski polumjer prstena

r_i – unutarnji polumjer prstena

t – debljina prstena

ρ_a – koeficijent armiranja vanjske armature

ρ_i – koeficijent armiranja unutarnje armature

Dimenzioniranje tornjeva

Dimenzioniranje prema teoriji 2. reda:

Faktor uvećanja momenta savijanja dobivenog prema teoriji I. reda:

$$\alpha^2 = \frac{N \cdot h_F^2}{E_{cm} \cdot I_c}$$

N – vertikalna sila na temelj tornja

h_F – visina tornja

E_{cm} – srednja vrijednost sekantnog modula elastičnosti betona

I_c – srednja vrijednost momenta tromosti

Moment savijanja prema teoriji 2. reda: $M_{Ed}^{II} = M_{Ed}^I \cdot (1 + 0,90 \cdot \alpha^2)$

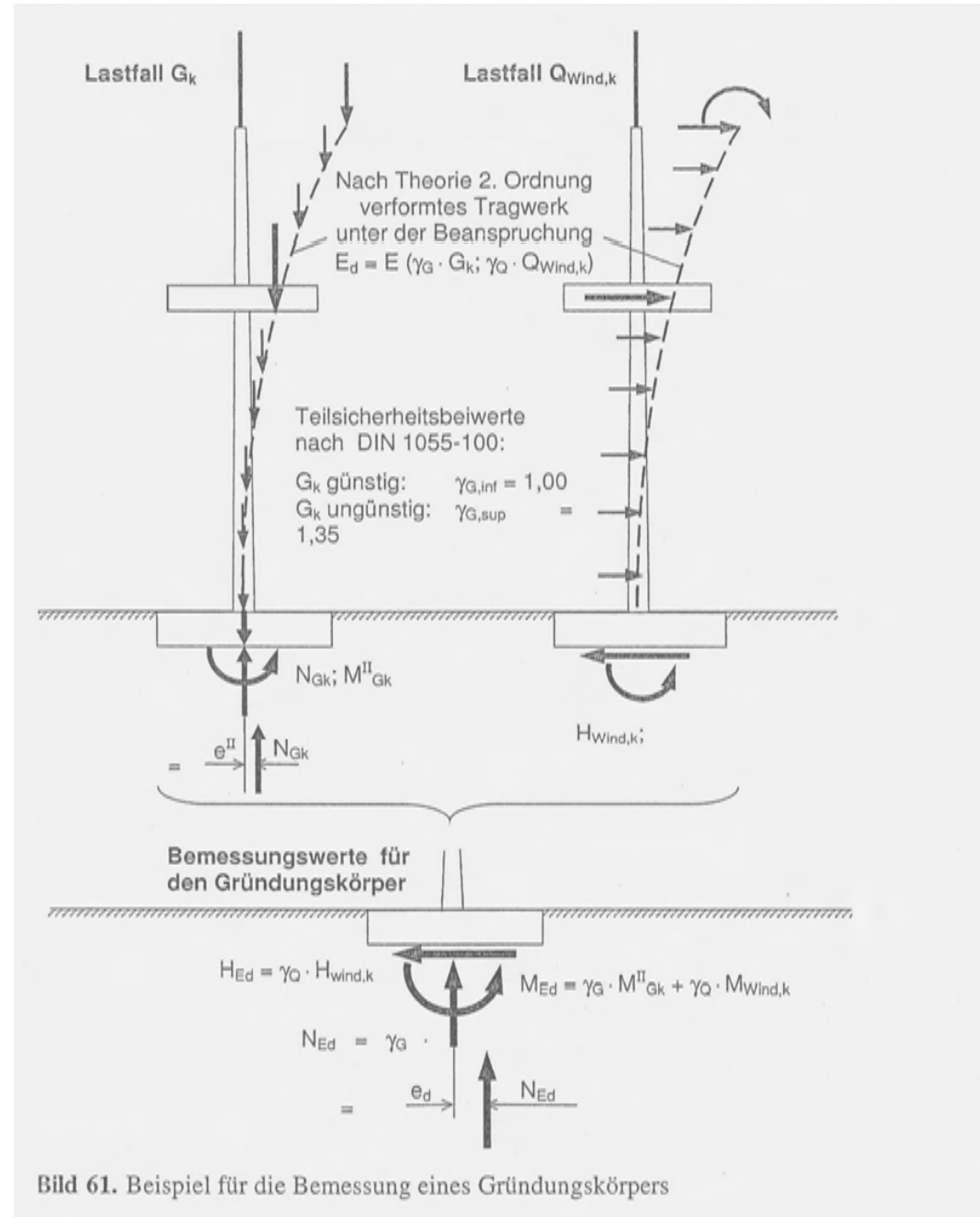
Dimenzioniranje tornjeva

Dimenzioniranje prema teoriji 2. reda:

Kombinacije opterećenja:

1.) Kombinacija $\max E_d$
Maksimalna vertikalna sila
 $N_{Sd, \max} (1,35 \cdot G + 1,50 \cdot Q)$
i
maksimalni moment savijanja
 $M_{Sd, \max} (1,50 \cdot Q)$

2.) Kombinacija $\min E_d$
Minimalna vertikalna sila
 $N_{Sd, \min} (1,00 \cdot G)$
i
maksimalni moment savijanja
 $M_{Sd, \max} (1,50 \cdot Q)$

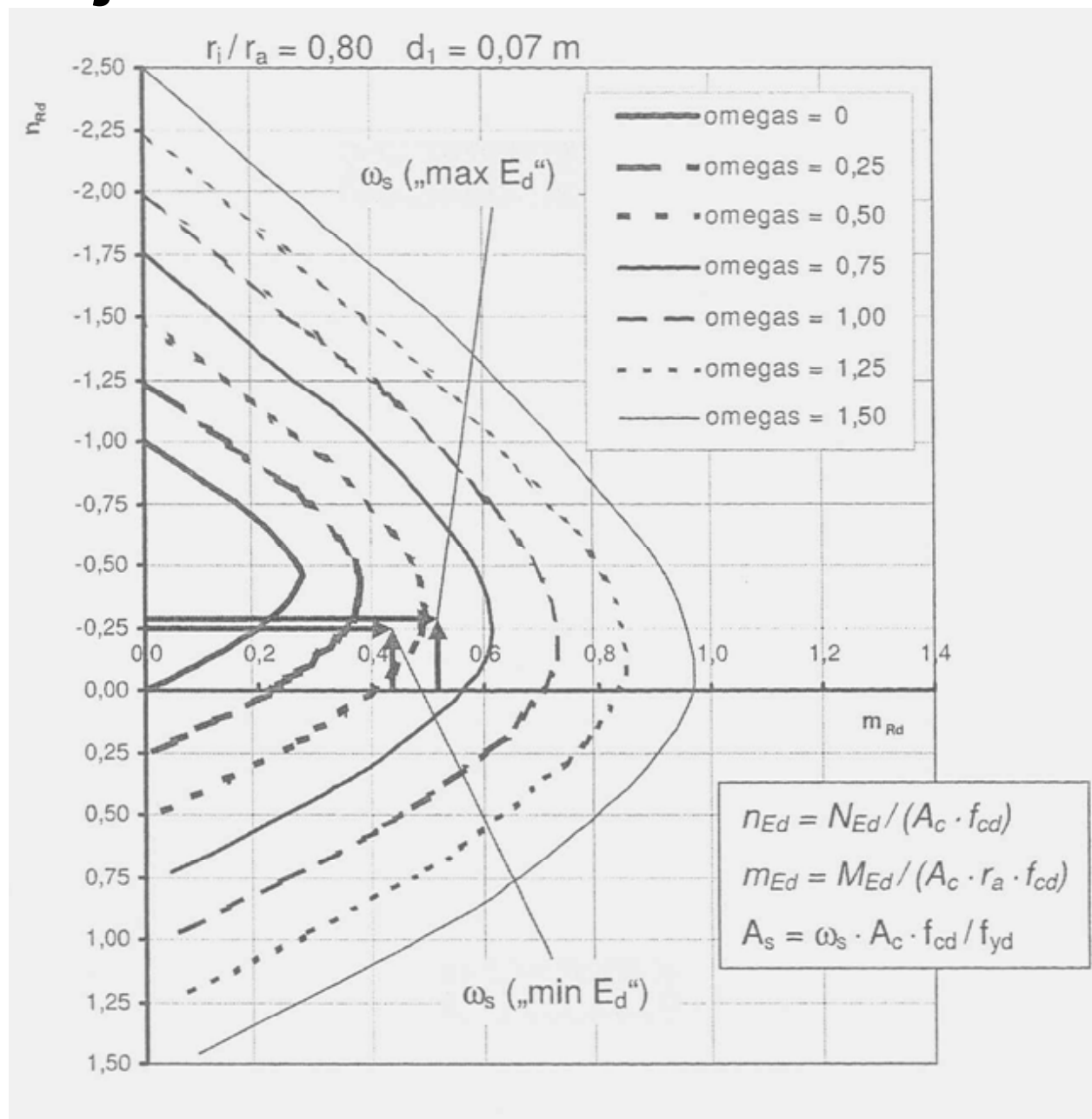


Dimenzioniranje tornjeva

Dimenzioniranje prema teoriji 2. reda:

Dijagram interakcije
uzdužne sile i
momenta savijanja

Očitamo mehanički
koeficijent armiranja



Dimensioniranje tornjeva

Modeliranje tornja FEM metodom:

Za granično stanje nosivosti tornja potrebno je obuhvatiti geometrijsku nelinearnost (teorija 2. reda) i materijalnu nelinearnost.

Numerički model:

- Štapni model tornja sa razmakom čvorova od $a \approx 1 \cdot \varnothing$ do $2 \cdot \varnothing$ gdje je $\varnothing$ promjer tornja
- Štapni elementi sa linearno promjenjivim poprečnim presjekom kruga
- Popustljivost tla ispod temelja na zakretanje modelirano je oprugom