

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 program Gradbeništvo,
Komunalna smer

Kandidat:

Andrej Bajec

Temeljenje protihrupnih ograj po evrokod standardih

Diplomska naloga št.: 3183

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

asist. dr. Boštjan Pulko

Ljubljana, 4. 7. 2011

<u>STRAN Z NAPAKO</u>	<u>VRSTICA Z NAPAKO</u>	<u>NAMESTO</u>	<u>NAJ BO</u>

IZJAVE

Podpisani Andrej Bajec izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Temeljenje protihrupnih ograj po Evrokod standardih.«.

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

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

Ljubljana, 19. 6. 2011

Andrej Bajec

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali naslednji profesorji:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 699.844:066.3/8(043.2)
Avtor: Andrej Bajec
Mentor: Izr. prof. dr. Janko Logar
Naslov: Temeljenje protihrupnih ograj po Evrokod standardih.
Obseg in oprema: 65 strani, 2 preglednici, 22 slik, 245 enačb, 2 diagrama
Ključne besede: protihrupne ograje, temeljenje, evrokod standardi

Izvleček

V diplomski nalogi so najprej predstavljeni tipi protihrupnih ograj, nato se naloga osredotoča na stenast tip protihrupne ograje in njegovo temeljenje. Predstavljeni so izračuni obremenitve protihrupne ograje in s tem temelja. Kot temelj je izbran betonski temelj pravokotnega prereza. Predstavljene so vse potrebne kontrole temelja tako na mejno stanje nosilnosti kot uporabnosti. K diplomi je priložen CD z računalniškim programom za izračun cenovno optimalnega temelja.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 699.844:066.3/8(043.2)
Author: Andrej Bajec
Supervisor: Assoc. Prof. Janko Logar, Ph. D.
Title: Foundations of noise barriers according to eurocode standards
Notes: 65 pages, 2 tables, 22 figures, 245 equations, 2 diagrams
Key words: noise barriers, foundation, eurocode standards

Abstract:

In this thesis, different types of noise barriers are presented. The focus in the thesis then shifts to a wall type barrier and its foundation. Following this are the calculations of the forces that are acting on the barrier and by extension on the foundation itself. A choice for the foundation is a concrete rectangular shaped foundation. All the necessary controls of the foundation are introduced on the ultimate limit state and serviceability limit state. Added to the thesis is a CD which contains software for the calculation of the optimal price for the foundation after all other variables have been determined.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Janku Logarju, kakor tudi svojim staršem, ki sta mi stala ob strani in me podpirala med študijem.

KAZALO VSEBINE

KAZALO VSEBINE.....	VII
KAZALO SLIK	X
KAZALO DIAGRAMOV.....	X
KAZALO PREGLEDNIC	XI
1 TIPI PROTIHRUPNE ZAŠČITE	1
1.1 Uvod.....	1
1.2 Zidane in masivne protihrupne ograje.....	1
1.3 Protihrupne ograje sistema steber-plošča	2
1.4 Gabioni	3
1.5 Direktno vkopane ali v zemljo vtisnjene pregrade	3
2 OBTEŽBA IN KONSTRUKCIJSKE ZAHTEVE ZA PROTIHRUPNE OGRAJE ..	4
2.1 Uvod.....	4
2.2 Aerodinamična obtežba	4
2.3 Obtežba vetra	5
2.3.1 Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra ($v_{b,0}$)	5
2.3.2 Osnovna hitrosti vetra (v_b)	6
2.3.3 Srednja hitrost vetra na določeni višini nad tlemi($v_m(z)$)	7
2.3.4 Določitev vetrne turbulence	8
2.3.5 Tlak pri največji hitrosti pri sunkih vetra.....	9
2.3.6 Vpliv vetra na konstrukcijo (zunanji in notranji tlak vetra).....	9
2.3.7 Rezultanta sile vetra.....	11
2.4 Vpliv zračnega pritiska, povzročenega z vozili, ki vozijo ob protihrupni ograji	11
2.5 Vpliv lastne teže pregrade	12
2.6 Vpliv dinamične obtežbe snega, povzročene zaradi vpliva pluženja	13
2.7 Vpliv udarca vozila ob morebitni prometni nesreči.....	15
2.8 Kombinacija obtežb	15
2.9 Konstrukcijske zahteve za protihrupne ograje.....	16
3 TEMELJENJE PROTIHRUPNE OGRAJE PO STANDARDU EVROKOD 7	17
3.1 Uvod.....	17

3.2	Mejna stanja nosilnosti.....	17
3.3	Mejna stanja uporabnosti.....	18
4	MEJNO STANJE NOSILNOSTI – KONTROLA ZDRSA TEMELJA	20
4.1	Uvod.....	20
4.2	Pasovni temelj (na tekoči meter)	20
4.2.1	Lastnosti zemljine	20
4.2.2	Približen izračun potrebne debeline d_0	21
4.2.3	Shema aktivnih in pasivnih zemeljskih pritiskov bočno na temelj	22
4.2.4	Izrazi za projektne pristope in stanja	23
4.2.5	Kontrola zdrsa po različnih projektnih pristopih, za drenirano in nedrenirano stanje:	25
4.3	Točkovni temelj	26
4.3.1	Lastnosti zemljine	27
4.3.2	Približen izračun potrebne debeline d_0	28
4.3.3	Shema efektivnih vertikalnih zemeljskih pritiskov bočno na temelj.....	29
4.3.4	Izrazi za projektne pristope in stanja	30
4.3.5	Kontrola zdrsa po različnih projektnih pristopih, za drenirano in nedrenirano stanje	32
5	MEJNO STANJE NOSILNOSTI – KONTROLA NOSILNOSTI TAL TER DELEŽA TLAČENOSTI TAL.....	34
5.1	Uvod.....	34
5.2	Delež temelja, ki je tlačen za pasovni temelj.....	34
5.3	Delež temelja, ki je tlačen za točkovni temelj	37
5.4	Kontrola nosilnosti temeljnih tal za pasovni temelj.....	39
5.4.1	Lastnosti zemljine	39
5.4.2	Izrazi za projektne pristope in stanja	39
5.4.3	Neenačbe za preverjanje nosilnosti tal po različnih projektnih pristopih za nedrenirano stanje	41
5.4.4	Dodatni izrazi za kontrolo nosilnosti v dreniranih pogojih.....	41
5.4.5	Neenačbe za preverjanje nosilnosti tal po različnih projektnih pristopih za drenirano stanje	43
5.5	Kontrola nosilnosti temeljnih tal za točkovni temelj	44

5.5.1	Lastnosti zemljine.....	44
5.5.2	Izrazi za projektne pristope in stanja	44
5.5.3	Neenačbe za preverjanje nosilnosti tal po različnih projektних pristopih za nedrenirano stanje.....	46
5.5.4	Dodatni izrazi za kontrolo nosilnosti v dreniranih pogojih.....	46
5.5.5	Neenačbe za preverjanje nosilnosti tal po različnih projektных pristopih za drenirano stanje	49
6	MEJNO STANJE UPORABNOSTI.....	50
6.1	Pasovni temelj.....	50
6.2	Točkovni temelj	50
7	RAČUNALNIŠKI PROGRAM, PRILOŽEN DIPLOMI.....	52
7.1	Namen računalniškega programa.....	52
7.2	Uporabljena programska oprema	52
7.3	Princip delovanja računalniškega programa.....	52
7.4	Kratka navodila za uporabo računalniškega programa	52
7.5	Način izračuna cene temelja	58
7.6	Glavne ugotovitve pri simulaciji optimalnih temeljev.....	59
7.7	Primer izračuna temelja na glinenih in gramoznih tleh	59
7.7.1	Gramozna tla	59
7.7.2	Glinena tla	60
7.8	Primerjave cene temelja v odvisnosti od trdnosti tal ter projektnega pristopa	60
7.8.1	Gramozna tla	61
7.8.2	Glinena tla	61
8	ZAKLJUČEK.....	63
	LITERATURA.....	64

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz vrst protihrupne zaščite.....	1
Slika 2: Prikaz zidane protihrupne ograje	2
Slika 3: Prikaz protihrupne ograje sistema steber-plošča.....	2
Slika 4: Prikaz gabionov	3
Slika 5: Prikaz projektne hitrosti vetra po Sloveniji	6
Slika 6: Prikaz tlakov zaradi vpliva vetra na pregrado	10
Slika 7: Prikaz rezultante sile vetra na pregrado	11
Slika 8: Prikaz rezultante dinamičnega pritiska na tekoči meter pregrade	12
Slika 9: Grafični prikaz vpliva pluženja na pregrado	14
Slika 10: Prikaz vpliva hitrosti pluženja na silo na pregrado zaradi pluženja	15
Slika 11: 3D prikaz temeljenja protihrupne ograje za pasovni temelj	19
Slika 12: 3D prikaz temeljenja protihrupne ograje za točkovni temelj.....	19
Slika 13: Prerez pasovnega temelja	20
Slika 14: 3D prikaz podaljška pasovnega temelja	21
Slika 15: Shema aktivnih in pasivnih zemeljskih pritiskov bočno na pasovni temelj	22
Slika 16: Prerez točkovnega temelja in tloris le tega.....	27
Slika 17: 3d prikaz podaljška točkovnega temelja.....	28
Slika 18: Shema efektivnih vertikalnih zemeljskih pritiskov bočno na točkovni temelj.....	29
Slika 19: Prerez pasovnega temelja	34
Slika 20: Prerez točkovnega temelja in tloris le tega.....	37
Slika 21: 3D linijski temelj.....	58
Slika 22: Prerez linijskega temelja.....	58

KAZALO DIAGRAMOV

Diagram 1: Cena temelja na gramoznih tleh	61
Diagram 2: Cena temelja na glinenih tleh	62

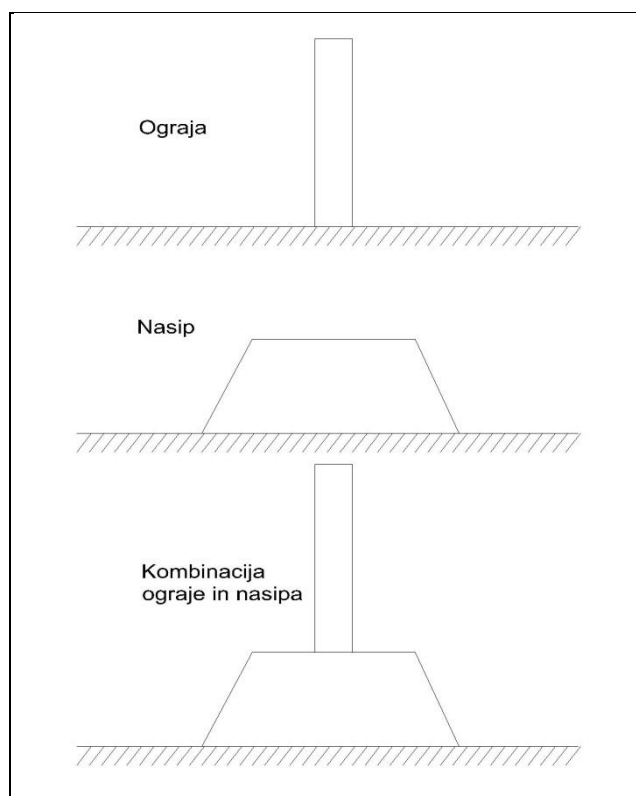
KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Kategorije terena po Sloveniji	7
Preglednica 2: Tabela tipičnih debelin in gostot materialov za protihrupne ograje	13

1 TIPI PROTIHRUPNE ZAŠČITE

1.1 Uvod

Protihrupna zaščita je lahko protihrupna ograja, protihrupni nasip ali kombinacija nasipa in ograje:



Slika 1: Prikaz vrst protihrupne zaščite

V nadaljnjem se bom omejil na protihrupne ograje, kajti diplomska naloga obravnava temeljenje le-teh.

1.2 Zidane in masivne protihrupne ograje

Te pregrade so bodisi sestavljene iz zidakov različnih vrst bodisi betonske. Gradijo se z zlaganjem zidakov ali betoniranjem na mestu.

Primer zidane protihrupne ograje:



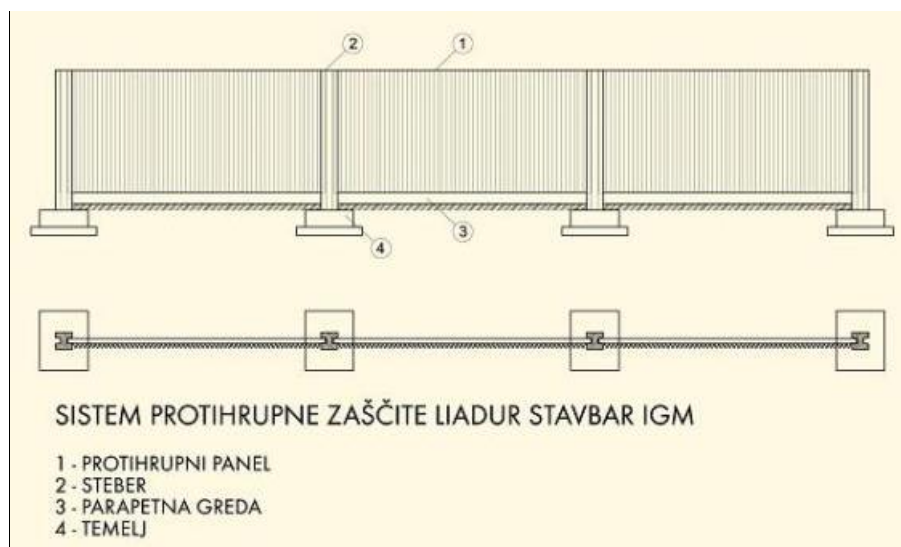
Slika 2: Prikaz zidane protihrupne ograje

Takšne vrste protihrupnih ograj se temeljijo pasovno.

1.3 Protihrupne ograje sistema steber-plošča

Tak sistem je sestavljen iz plošče, ki je vgrajena med dvema stebroma. Temelj je točkoven, nahaja se pod stebrom, na katerega je pričvrščena ograja.

Primer:



Slika 3: Prikaz protihrupne ograje sistema steber-plošča

Večje razdalje med stebri so bolj ekonomične, vendar pa zaradi večje površine protihrupne ograje med stebri povzročajo večje pritiske na steber in posledično tudi na temelj, pa tudi plošče so podvržene večjemu momentu.

1.4 Gabioni

Tak tip pregrade je narejen iz lomljenca, ki je zložen v posebne mrežaste košare, narejene iz močne žičnate mreže. Košare se postavljajo ena na drugo po sistemu piramide, tako da dosežemo stabilnost in zahtevano višino pregrade. Temeljenje je narejeno na dobro drenirani in komprimirani podlagi. Tak tip pregrade je smiselno, če imamo v bližini dovolj materiala zanjo.

Primer:



Slika 4: Prikaz gabionov

1.5 Direktno vkopane ali v zemljo vtisnjene pregrade

Te vrste pregrade so izdelane iz prefabriciranih elementov in so direktno ukopane ali vtisnjene v podlago brez kakršnekoli predhodne priprave temeljev.

V diplomski nalogi se bom ukvarjal s temeljenjem stenskih protihrupnih ograj, in sicer takšnih, ki zahtevajo pasovni ali točkovni temelj.

2 OBTEŽBA IN KONSTRUKCIJSKE ZAHTEVE ZA PROTIHRUPNE OGRAJE

2.1 Uvod

Cestne protihrupne ograje so izpostavljene (po standardu EN 1794-1) naslednjim vplivom:

1. Vpliv vetra.
2. Vpliv zračnega pritiska, povzročenega zaradi vozil, ki vozijo ob protihrupni ograji.
3. Vpliv lastne teže.
4. Vpliv dinamične obtežbe snega, povzročene zaradi pluženja.
5. Vpliv udarca vozila ob morebitni prometni nesreči.
6. Vpliv kamenja, ki udarja ob ograjo zaradi vožnje avtomobilov.

Opomba:

Obtežba kamenja, ki udari ob ograjo zaradi vožnje avtomobilov, ni relevantna za dimenzioniranje samih temeljev protihrupne ograje, zato je v nadaljnjem zapisu ne bom omenjal. Po standardu protihrupni ograji ni potrebno prenesti obtežbe vozila, ki se v ograjo zaleti ob morebitni prometni nesreči, zato v nadaljnjem zapisu tudi te vrste obtežbe ne bom omenjal.

2.2 Aerodinamična obtežba

Aerodinamična obtežba deluje pravokotno (oz. tako poenostavimo v izračunu) na ploskev, ki je izpostavljena zračnemu toku.

Aerodinamično obtežbo delimo na obtežbo zračnega pritiska, povzročenega zaradi vozil, katera vozijo ob protihrupni ograji, in vpliv vetra. Računamo, da obe obtežbi ne delujeta sočasno.

2.3 Obtežba vetra

2.3.1 Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra ($v_{b,0}$)

Razbrati je potrebno temeljno vrednost osnovne hitrosti vetra ($v_{b,0}$). Ta hitrost predstavlja 10-minutno srednjo hitrost vetra ne glede na smer in letni čas, na višini 10 metrov nad ravnim odprtim terenom z nizkim rastlinjem in ovirami v oddaljenosti najmanj 20-kratne višine ovir (2. kategorija terena).

Ta hitrost se razlikuje glede na nadmorsko višino in glede na cono, v kateri se nahajamo v Sloveniji.

Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra ($v_{b,0}$):

Cona 1 (večina Slovenije):

- 20 m/s pod 800 m
- 25 m/s od 800m do 1600 m
- 40 m/s nad 2000 m

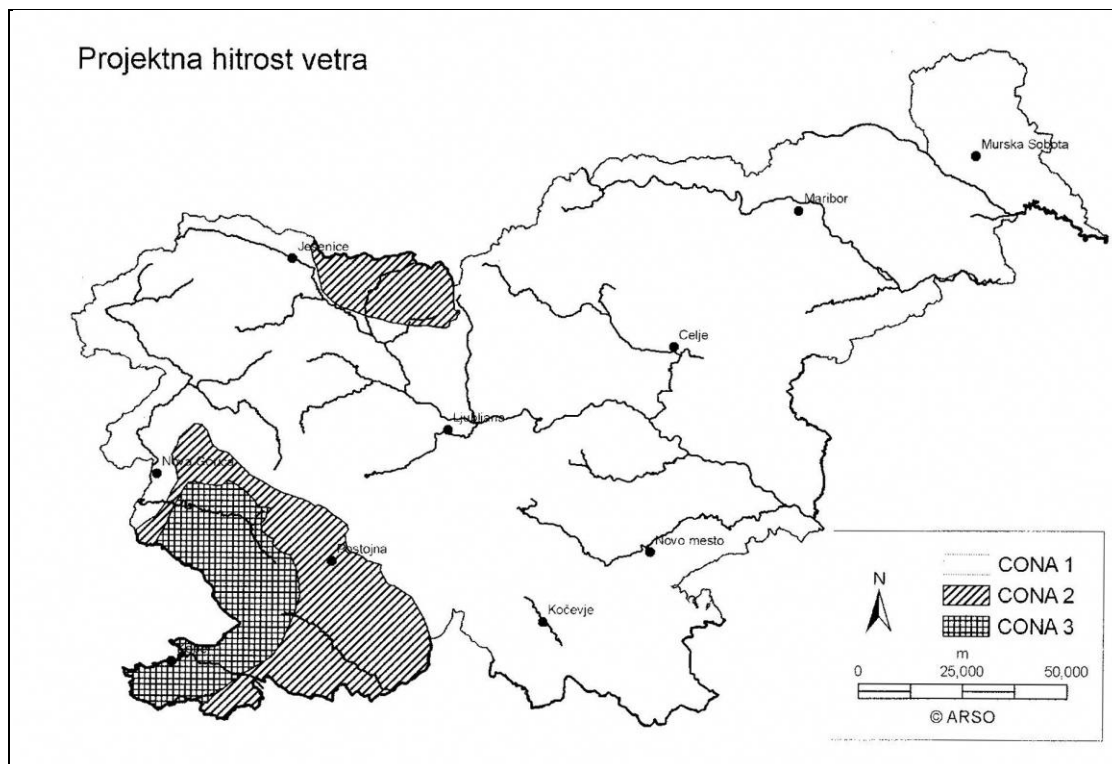
Cona 2 (Trnovski gozd, Notranjska, Karavanke):

- 25 m/s pod 1600 m
- 30 m/s od 1600 m do 2000 m
- 40 m/s nad 2000 m

Cona 3 (Primorje, Kras in del Vipavske doline):

- 30 m/s

Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra (cone) je razvidna s slike št. 5:



Slika 5: Prikaz projektna hitrosti vetra po Sloveniji

2.3.2 Osnovna hitrosti vetra (v_b)

v_b je hitrost vetra 10 m nad terenom 2.kategorije z upoštevanjem smeri vetra in vplivom letnih časov. Izračuna se po enačbi 1:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} \quad (1)$$

Priporočena vrednost faktorjev c_{dir} in c_{season} je 1 (vpliv nadmorske višine je v Sloveniji upoštevan v temeljni vrednosti osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$).

2.3.3 Srednja hitrost vetra na določeni višini nad tlemi($v_m(z)$)

Ta hitrost se spreminja v odvisnosti od višine. Večja kot je višina, večja bo hitrost. Z namenom, da pa poenostavim na varno stran, bom privzel, da piha veter na pregrado kar po celotni višini s hitrostjo, s katero piha na vrhu pregrade, kjer je veter tudi najmočnejši.

Označil bom $z = z_{\max} = h$ = višina pregrade. Višino pregrade določi projektant glede na akustične in estetske ter vizualne potrebe.

Postopek za izračun $v_m(h)$ je sledeč:

1–Izračun faktorja hrapavosti $Cr(z=h)$:

Iz preglednice (preglednica št. 1) je treba razbrati vrednosti $z_{\min}$ ter z_0 :

Preglednica 1: Kategorije terena po Sloveniji

Kategorija terena	$Z_0(m)$	$Z_{\min}(m)$
0 – Morsko ali obalno področje, izpostavljeno proti odprtem morju.	0,003	1
I – Jezersko ali ravninsko področje z zanemarljivim rastlinjem in brez ovir.	0,01	1
II – Področje z nizkim rastlinjem (trava) in s posameznimi ovirami (drevesi, stavbami) na razdalji najmanj 20 višin ovir.	0,05	2
III – Področja z običajnim rastlinjem ali s stavbami ali s posameznimi ovirami na razdalji največ 20 višin ovir (vasi, podeželsko okolje, stalni gozd).	0,3	5
IV – Področje, kjer je najmanj 15% površine pokrite s stavbami s povprečno višino več kot 15 m.	1,0	10

Nato se izračuna $Cr(z=h)$ iz naslednje enačbe (2 in 3):

$$Cr=0,19 \times (Z_0/0,05m)^{0,07} \times \ln(h/Z_0) \text{ za } z_{\min} \leq h \leq 200 \text{ m} \quad (2)$$

$$Cr=0,19 \times (Z_0/0,05m)^{0,07} \times \ln(z_{\min}/Z_0) \text{ za } h \leq z_{\min} \quad (3)$$

2 –Izračun faktorja hribovitosti terena C_0 :

Kjer hribovitost terena (npr. griči, strma pobočja itd.) povečuje hitrost vetra za več kot 5 %, se to upošteva s faktorjem hribovitosti c_0 .

Vrednost tega faktorja se giblje med 1 in 1,42. Za potrebe računov v tej nalogi (kjer ne obravnavamo konkretne lokacije) sem vzel maksimalno vrednost c_0 .

$$c_0 = 1,42 \quad (4)$$

3 – Izračun $v_m(h)$:

$$v_m(h) = C_r(h) * c_0 * v_b \quad (5)$$

2.3.4 Določitev vetrne turbulence

Intenziteta turbulence $I_v(h)$ na višini h je določena kot standardna deviacija turbulence, deljena s srednjo hitrostjo vetra.

Opomba:

Turbulentna komponenta vetra ima srednjo vrednost 0 in standardno deviacijo σ_v . Standardna deviacija turbulence σ_v se lahko določi po izrazu (6)

$$\sigma_v = k_r * v_b * k_I \quad (6)$$

k_r : faktor terena, ki je odvisen od hrapavostne dolžine Z_0 in se izračuna po izrazu (7):

$$k_r = 0,19 * (Z_0/0,05)^{0,07} \quad (7)$$

Opomba:

Priporočen postopek za določitev $I_v(h)$ je dan z naslednjima izrazoma (8 in 9):

$$I_v(h) = \sigma_v / v_m(h) = k_I / (c_0(h) * \ln(h / Z_0)) \text{ za } Z_{\min} \leq h \leq 200 \text{ m} \quad (8)$$

$$I_v(h) = I_v(Z_{\min}) \text{ za } h \leq Z_{\min} \quad (9)$$

kjer so:

k_I – turbulentni faktor. Vrednost k_I je lahko določena v nacionalnem dodatku. Priporočena vrednost za k_I je 1,0.

c_0 – faktor hribovitosti 1,42.

Z_0 – hrapavostna dolžina, dana v preglednici št. 1.

2.3.5 Tlak pri največji hitrosti pri sunkih vetra

Določi se tlak pri največji hitrosti ob sunkih vetra $q_p(h)$ na višini h , ki vključuje srednjo hitrost in kratkotrajno spreminjanje hitrosti.

OPOMBA: V nacionalnem dodatku je lahko podano pravilo za določitev $q_p(h)$. Priporočeno pravilo je dano v izrazu (10)

$$q_p(h) = (1 + 7 * I_v(h)) * (1/2) * \rho * (v_m(h))^2 \quad (10)$$

kjer je:

ρ – gostota zraka, ki je odvisna od nadmorske višine, temperature in zračnega tlaka, pričakovanega med neurjem na obravnavanem območju.

Vrednosti za ρ so lahko določene v nacionalnem dodatku. Priporočena vrednost je $1,25 \text{ kg/m}^3$.

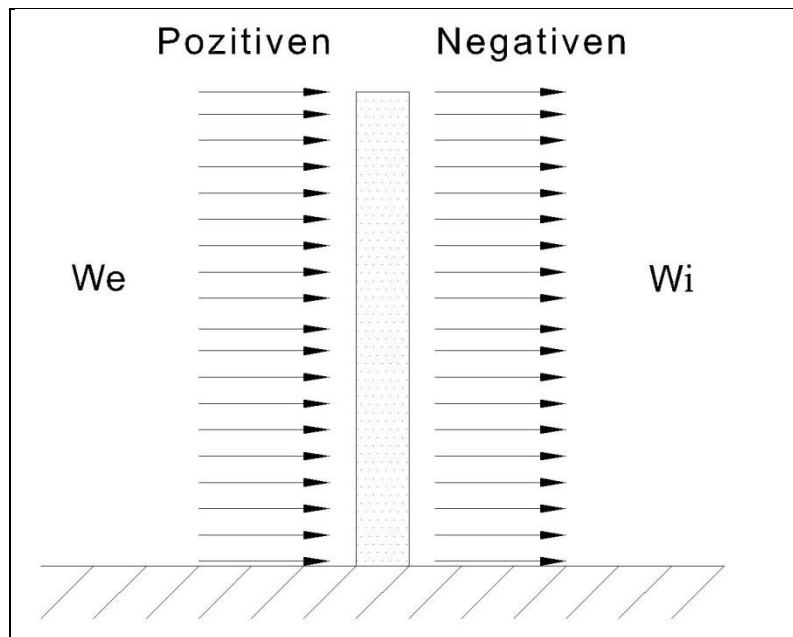
2.3.6 Vpliv vetra na konstrukcijo (zunanji in notranji tlak vetra)

Vplive vetra na konstrukcijo in konstrukcijske elemente je treba določiti z upoštevanjem zunanjih in notranjih tlakov vetra.

Izračun:

W_e – zunanji tlak na posamezno ploskev na višini h .

W_i – notranji tlak na posamezno ploskev na višini h .



Slika 6: Prikaz tlakov zaradi vpliva vetra na pregrado

$$W_e = q_p(h) \cdot C_{pe} \quad (11)$$

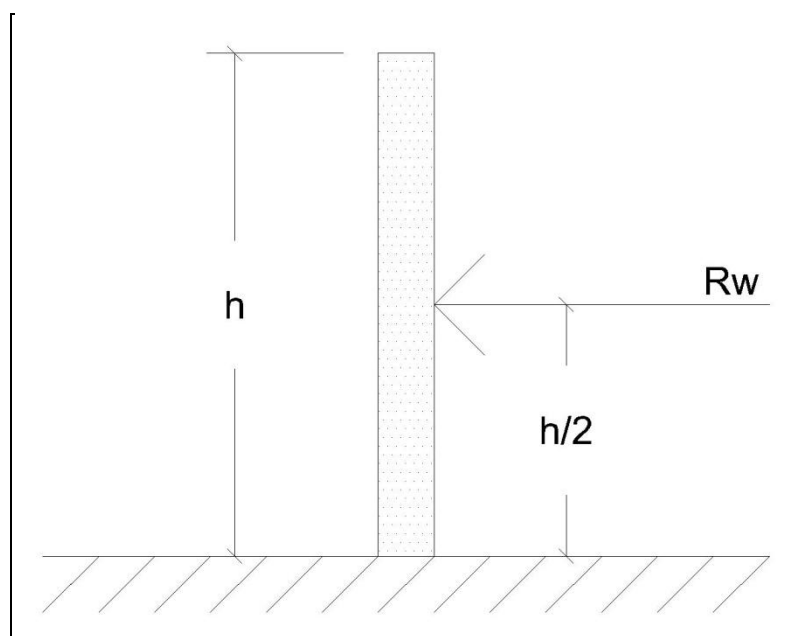
$$W_i = q_p(h) \cdot C_{pi} \quad (12)$$

Za potrebe računov v tej nalogi sem vzel vrednosti koeficientov C_{pe} in C_{pi} 1.

$$C_{pe}=1 \quad C_{pi}=1 \quad (13)$$

2.3.7 Rezultanta sile vetra

Sedaj lahko izračunamo rezultanto sile vetra, kot je prikazano na skici(7):



Slika 7: Prikaz rezultante sile vetra na pregrado

R_w je sila vetra na tekoči meter pregrade (rezultanta sile vetra)

$$R_w = 2 * q_p(h) * h. \quad (14)$$

R_w deluje na višini $h/2$.

2.4 Vpliv zračnega pritiska, povzročenega z vozili, ki vozijo ob protihrupni ograji

Standard predvideva 3 primere:

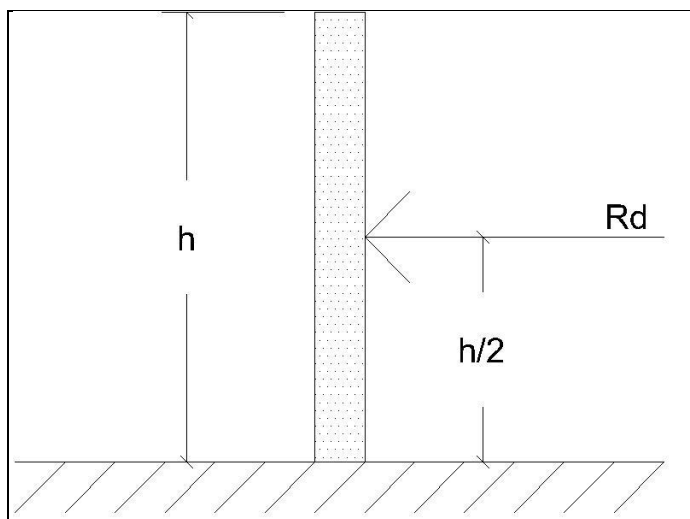
- a) vozila na odprtem, na razdalji 1m od protihrupne ograje in pri max. hitrosti 100 km/h:
zračni pritisk je 650 paskalov (v obe smeri)
- b) vozila na odprtem, na razdalji 3m od protihrupne ograje in pri max. hitrosti nad 120 km/h:
zračni pritisk je 800 paskalov (v obe smeri)

- c) dvosmerni promet v predoru, na razdalji 1m od protihrupne ograje in pri max. hitrosti vozil 120 km/h
zračni pritisk je 1500 paskalov (v obe smeri)

Rezultanto zračnega pritiska bom označeval s kratico R_d . Izračuna se po enačbi (15), kjer je P_r oznaka za zračni pritisk povzročen z vozili.

$$R_d = h * P_r \quad (15)$$

R_d je rezultanta dinamičnega pritiska na tekoči meter pregrade. Deluje na višini $h/2$.



Slika 8: Prikaz rezultante dinamičnega pritiska na tekoči meter pregrade

2.5 Vpliv lastne teže pregrade

Lastno težo na kvadratni meter površine se izračuna po formuli:

Lastna teža/ m^2 = debelina pregrade * specifična teža materiala protihrupne ograje. Če nas zanima teža protihrupne ograje na tekoči meter le-te, pomnožimo lastno težo z višino protihrupne ograje.

V pomoč lahko pride naslednja preglednica (2):

Preglednica 2: Tabela tipičnih debelin in gostot materialov za protihrupne ograje

Material	Debelina (mm)	Gostota(kg/m ²)
polikarbonati	8 – 12	10 – 14
akrili	15	18
betonski bloki	200	151
gosti betoni	100	244
lahki betoni	150	244
lahki betoni	100	161
opeka	150	288
jeklo, 18 ga	1,27	9,8
jeklo, 20 ga	0,95	7,3
jeklo, 22 ga	0,79	6,1
jeklo, 24 ga	0,64	4,9
aluminij	1,59	4,4
aluminij	3,18	8,8
aluminij	6,35	17,1
les	25	18
vezana plošča	13	8,3
vezana plošča	25	16,1
steklo	3,18	7,8
pleksi steklo	6	7,3
absorpcijski paneli, obloženi s poliestrskim filmom in z metalno površino	50 – 125	20 – 30

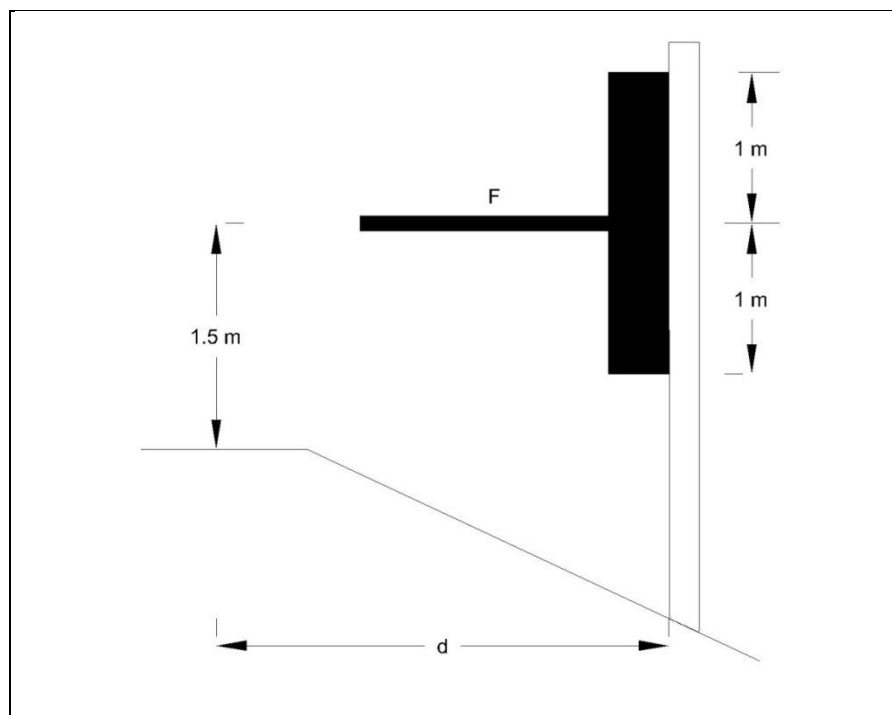
2.6 Vpliv dinamične obtežbe snega, povzročene zaradi vpliva pluženja

Volumen in višina obtežbe je odvisna od hitrosti in tipa pluga ter od razdalje protihrupne ograje od roba ceste.

Če je razdalja območja pluženja od protihrupne ograje večja od 7 metrov, se po standardu predvideva, da bo obtežba vetra močnejša oz. večja od pritiska snega.

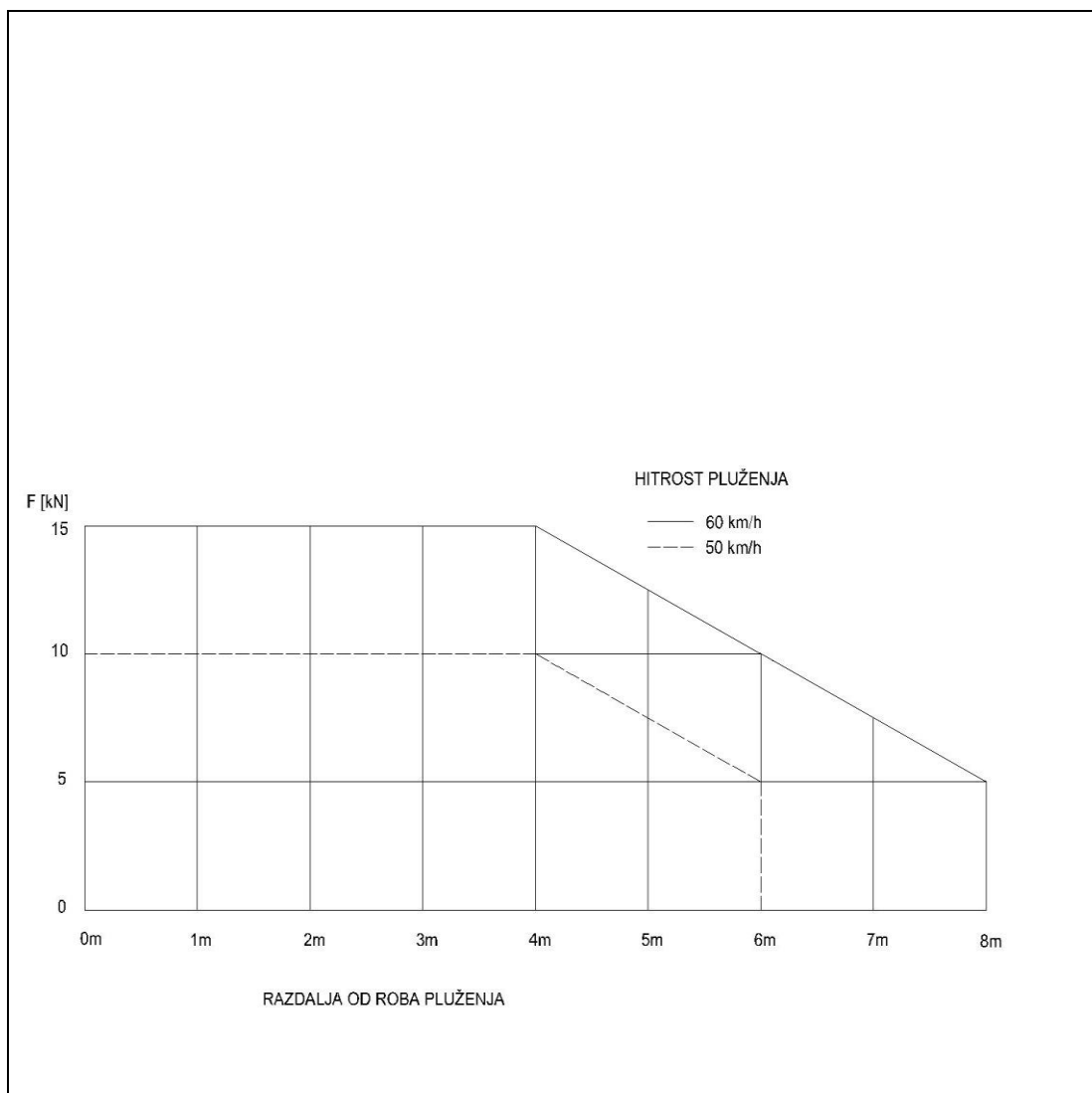
Predvideva se, da se obtežba razprostira na ploskvi oblike kvadrata z dolžino stranice 2 metra. Rezultanta obtežbe F deluje 1,5 metra nad višino cestišča.

Ker je ta obtežba točkovna, temelj protihrupne ograje pa je lahko linijski in je torej dolg, ali pa je temeljenje protihrupne ograje sestavljeno iz točkovnih temeljev na določeni medsebojni razdalji, bi potebovali vzdolžno togost protihrupne ograje, da bi vedeli, na kakšni dolžini se bo obtežba pluzenja prenesla na temelj. Ker je to izvedljivo le za konkretne primere, bom v tej nalogi predpostavil, da pluzenje deluje na tekoči meter pregrade s silo $F/2$ na višini 1,5 metra od nad cestiščem (slika 9):



Slika 9: Grafični prikaz vpliva pluzenja na pregrado

Izračun sile F (slika 10):



Slika 10: Prikaz vpliva hitrosti pluženja na silo na pregrado zaradi pluženja

2.7 Vpliv udarca vozila ob morebitni prometni nesreči

Po standardu protihrupni ograji ni potrebno prenesti obtežbe vozila, ki se vanjo zaleti, tako da te vrste obtežbe ni potrebno upoštevati.

2.8 Kombinacija obtežb

Po standardu se obtežba vetra, obtežba zračnega pritiska zaradi vozil ter obtežba zaradi pluženja obravnavajo ločeno, torej da ne delujejo istočasno.

V izračunu sem obtežbo zaradi lastne teže pomnožil z delnim faktorjem 1 (lastna teža deluje ugodno na temelj), ostale obtežbe pa z delnim faktorjem 1,5.

Torej je potrebno izračunati moment na temej zaradi obtežbe vetra, obtežbe zračnega pritiska zaradi vozil ter obtežbe zaradi pluženja posebej in izbrati tisto obtežbo, ki povzroči največji moment. Nato je potrebno v izračunu upoštevati le obtežbo lastne teže, pomnoženo z delnim faktorjem 1 in obtežbo, ki povzroči največji moment, pomnoženo z delnim faktorjem 1,5.

2.9 Konstrukcijske zahteve za protihrupne ograje

V standardu EN 1794-1 piše, da se deformacije nosilnih elementov računa tako, da se ne upošteva rotacij in premikov temeljev.

V evrokodu 7 je v informativnem dodatku navedeno, da je posedek lahko v mejnem stanju uporabnosti tudi 5 cm ali več, relativni zasuk temelja pa 1/2000 do 1/300 za običajne okvirne konstrukcije.

V računalniškem programu za dimenzioniranje temelja protihrupne ograje bodo zahteve mejnega stanja uporabnosti izbirne.

3 TEMELJENJE PROTIHRUPNE OGRAJE PO STANDARDU EVROKOD 7

3.1 Uvod

V tem poglavju nameravam na kratko opisati pravila evrokod 7 standarda, ki bi prišla v poštev pri dimenzioniranju temelja protihrupne ograje.

Mejno stanje nosilnosti in uporabnosti bom preveril z metodo izračuna.

Temeljenje protihrupne ograje spada v geotehnično kategorijo 2.

Projektni nivo podtalnice bo poljubno med površjem tal in dnom temelja.

V standardu je navedeno:

Do poškodb zaradi zmrzovanja ne bo prišlo, v kolikor:

- zemljina ni občutljiva na zmrzovanje
- je globina temeljenja pod ravnjo zmrzovanja
- se zmrzovanje prepreči z izolacijo

Torej je treba upoštevati, da je globina temeljenja vedno izpod ravni zmrzovanja tal.

3.2 Mejna stanja nosilnosti

Evrokod 7 zahteva preverjanje naslednjih mejnih stanj nosilnosti:

1. Izgubo statičnega ravnotežja konstrukcije ali tal kot togega telesa, pri čemer trdnosti materialov konstrukcije in tal niso pomembne pri zagotavljanju odpornosti (EQU). To mejno stanje se v veliki večini primerov zadosti s zahtevo, da je vsaj 60% temelja tlačnega in je ekscentričnost obtežbe temelja temu ustrezna (v računalniškem programu v tej diplomski nalogi bo to sicer izbirni podatek).
2. Notranja odpoved ali pretirana deformacija konstrukcije ali konstrukcijskih elementov vključno s temelji, piloti, kletnimi stenami itd., kjer je za zagotavljanje odpornosti pomembna trdnost materialov v konstrukciji (STR). To stanje ni v domeni moje

diplomske naloge, ker se nanaša na armiranje temelja. Bom pa v nalogi poskrbel, da bo temelj dovolj debel, da ne bi bilo potrebno vanj vložiti neekonomično veliko armature.

3. Odpoved ali pretirano deformacija tal, pri čemer je za zagotavljanje odpornosti pomembna trdnost zemljine ali kamnine (GEO).

To stanje bom preveril, in sicer po treh za to predvidenih projektnih pristopih.

4. Izgubo ravnotežja konstrukcije ali tal zaradi dviga kot posledica vodnega pritiska (vzgon) ali drugih navpičnih vplivov (UPL).

Tega stanja ne bom preveril, ker je temelj poln (ni votel) in ni mogoče, da bi se zaradi vzgona dvignil.

5. Hidravlični lom tal, notranja erozija in tvorba podzemnih poti vode v tleh kot posledica hidravličnih gradientov (HYD).

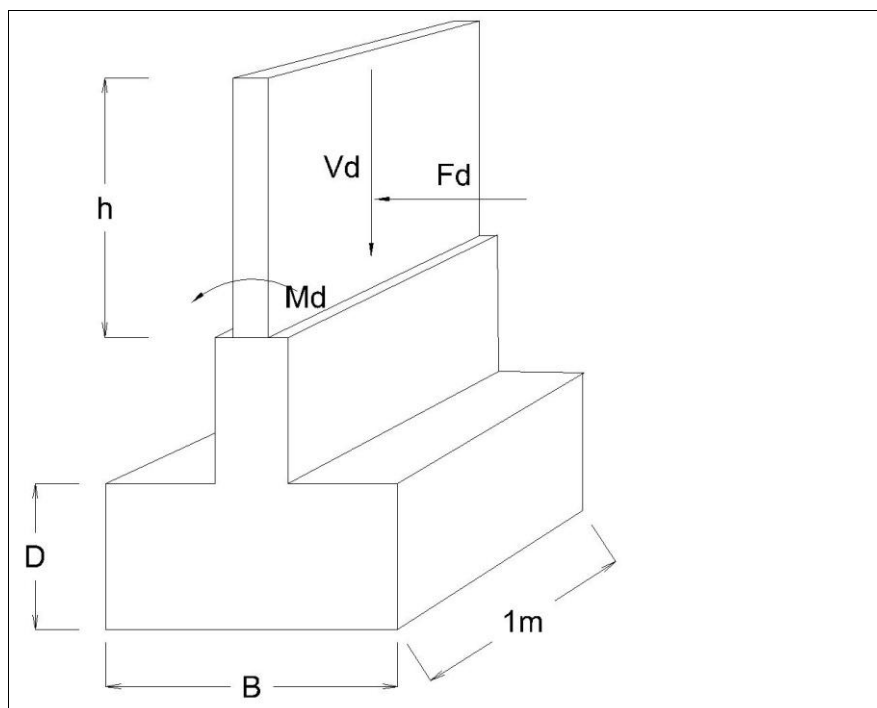
Tudi tega stanja ne bom preveril, ker je predvideno, da je ob cesti poskrbljeno za drenažo in odtok vode.

3.3 Mejna stanja uporabnosti

V evrokodu 7 je v informativnem dodatku navedeno, da je posedek lahko v mejnem stanju uporabnosti tudi 5 cm ali več, relativni zasuk temelja pa $1/2000$ do $1/300$ za običajne okvirne konstrukcije.

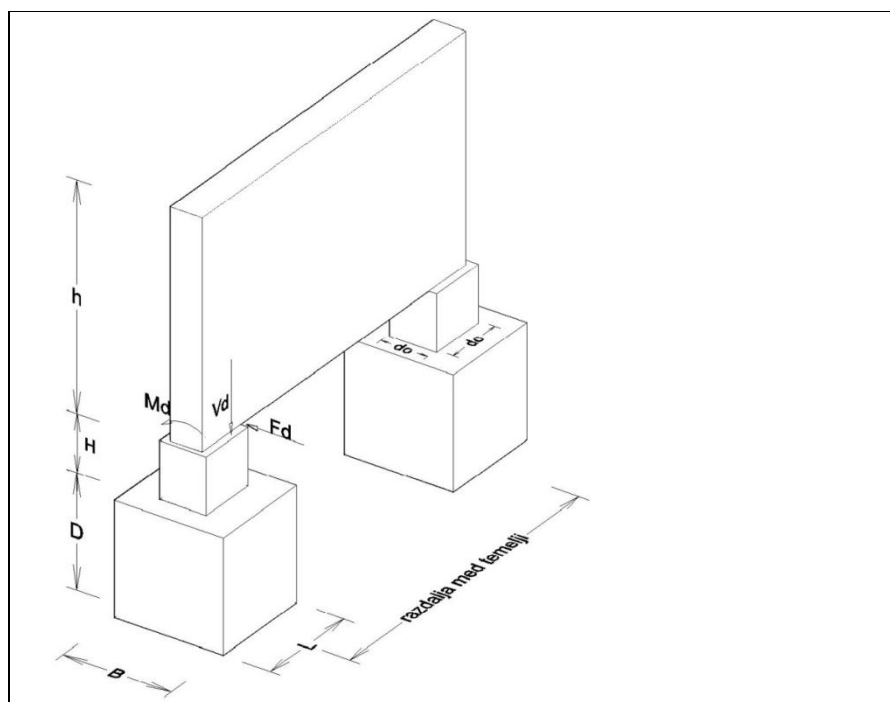
V mojem računalniškem programu za optimalno dimenzioniranje temelja bodo maksimalni posedek in zasuk temelja poljubni (izbirni) podatki.

Skica temeljenja protihrupne ograje – pasovni temelj:



Slika 11: 3D prikaz temeljenja protihrupne ograje za pasovni temelj

Skica temeljenja protihrupne ograje – točkovni temelj:



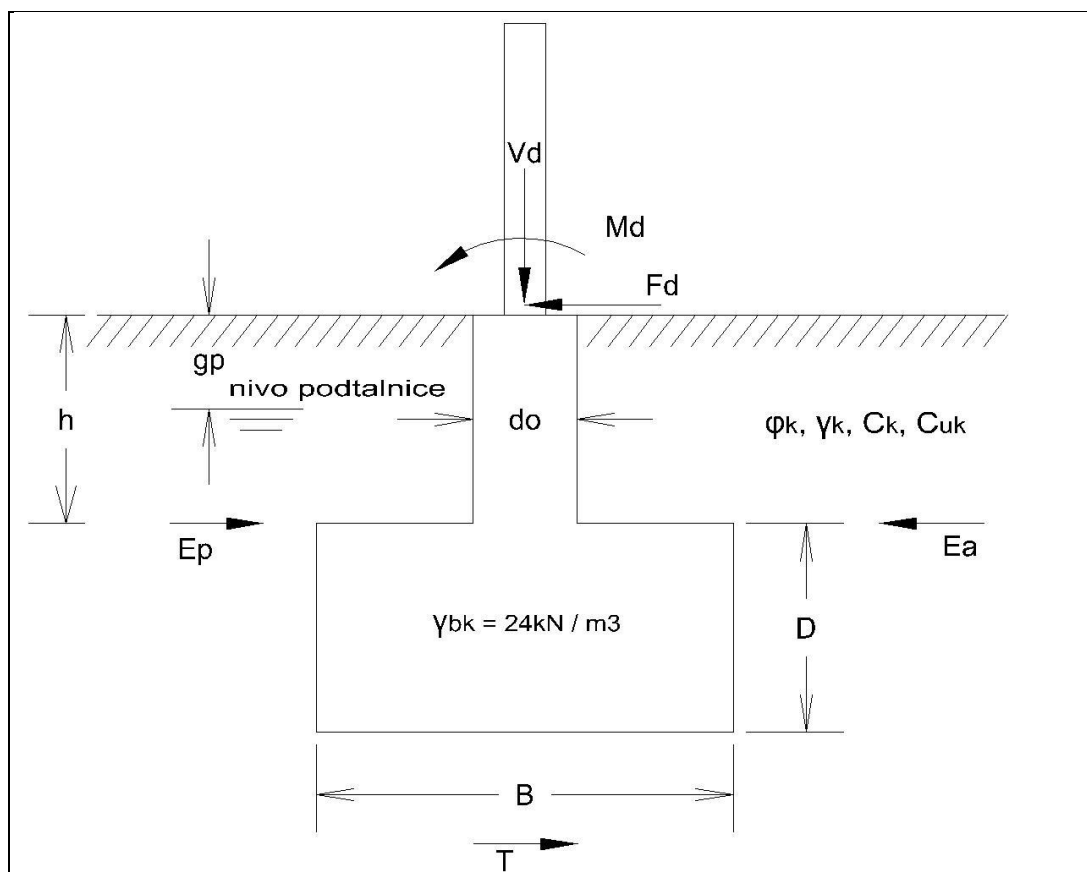
Slika 12: 3D prikaz temeljenja protihrupne ograje za točkovni temelj

4 MEJNO STANJE NOSILNOSTI – KONTROLA ZDRSA TEMELJA

4.1 Uvod

Temelj seveda ne sme zdrsniti in v nadaljevanju bom predstavil kontrolo zdrsa temelja, tako za pasovni kakor točkovni temelj, za drenirano in nedrenirano stanje in sicer po treh projektnih pristopih.

4.2 Pasovni temelj (na tekoči meter)



Slika 13: Prerez pasovnega temelja

4.2.1 Lastnosti zemljine

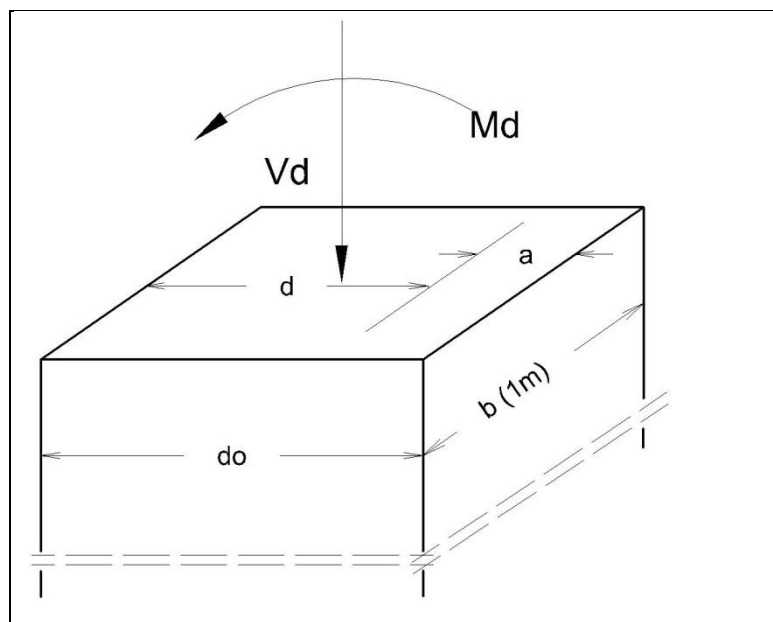
γ_k = karakteristična specifična teža zemljine

ϕ_k = karakteristični strižni kot zemljine

c_k = karakteristična vrednost kohezije zemljine

c_{uk} = karakteristična nedrenirana strižna trdnost zemljine

4.2.2 Približen izračun potrebne debeline d_0



Slika 14: 3D prikaz podaljška pasovnega temelja

Kot osnovo za izračun d_0 sem vzel betonski prerez debeline $b = 1$ meter in iskane višine prereza d_0 . Višino prereza bom izračunal kakor na 1 meter širokemu betonskemu nosilcu, kateri je enojno armiran in obremenjen z obtežbo velike ekscentričnosti. Seveda bi bil temelj simetrično armiran, kajti moment lahko deluje v obe smeri. Betonski prerez je potrebno tudi ustrezno strižno armirati.

Iz enačbe 16:

$$k_d = \frac{M_d + V_d \left(\frac{d-a}{2} \right)}{f_{cd} b d^2} \quad (16)$$

izpostavim d in dobim enačbo 17:

$$d = \frac{V_d + \sqrt{16 f_{cd} b k_d M_d + V_d^2 - 8 f_{cd} b a k_d V_d}}{4 f_{cd} b k_d} \quad (17)$$

Nato iz enačbe 18 izračunam d_0 :

$$d_0 = d + a + \Delta a \quad (18)$$

oznake:

a – zaščitna plast betona (cca 5 cm)

V_d, M_d – notranje sile na tekoči meter temelja

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} \quad (19)$$

f_{ck} je karakteristična tlačna trdnost betona

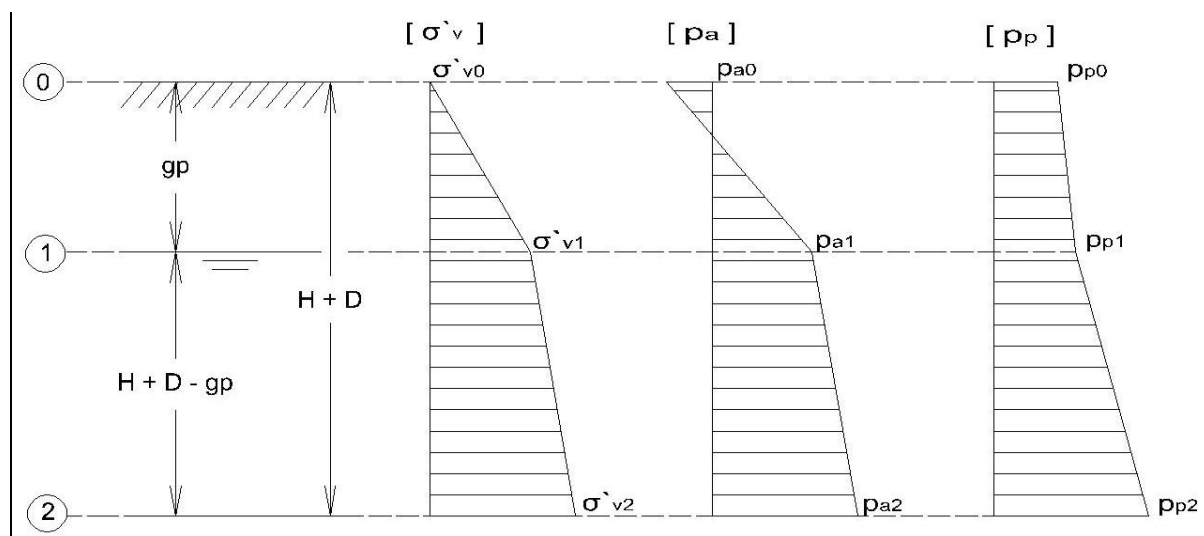
b – 1 m

k_d – koeficient izkoriščenosti tlačne cone betona

Δa – dodatna varnost zaradi nepopolnosti geometrije itd. Evrokod 7-1 priporoča vrednost 10 cm.

D naj ne bo manjši od d_0 , ker sicer lahko pride do zloma v samem temelju.

4.2.3 Shema aktivnih in pasivnih zemeljskih pritiskov bočno na temelj



Slika 15: Shema aktivnih in pasivnih zemeljskih pritiskov bočno na pasovni temelj

Oznake:

0, 1, 2 – Nivoji globine

g_p – Gladina podtalnice. V kolikor je $g_p > H + D$, podtalnica nima vpliva na temelj in se v enačbah predvideva, da velja: $g_p = H + D$

σ_v – efektivna vertikalna napetost v zemljini

p_a – aktivni zemeljski pritisk

p_p – pasivni zemeljski pritisk

4.2.4 Izrazi za projektne pristope in stanja

– Izračun sile, s katero temelj pritiska na zemljino pod njim (W):

$$W = V_d + (BD + Hd_0)\gamma_{bk} + (H(B - d_0))\gamma_k \quad (20)$$

– Izračun efektivnih vertikalnih napetosti v zemljini na različnih (prelomnih) globinah:

$$\sigma'_{V_0} = 0 \quad (21)$$

$$\sigma'_{V_1} = g_p \gamma_k \quad (22)$$

$$\sigma'_{V_2} = (H + D)\gamma_k - (H + D - g_p)\gamma_w \quad (23)$$

– Izračun karakterističnih koeficientov aktivnega in pasivnega zemeljskega pritiska:

$$k_{a;k} = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2}) \quad (24)$$

$$k_{p;k} = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi_k}{2}) \quad (25)$$

– Izračun računskih karakteristik tal:

$$\varphi_d = \arctan(\tan(\varphi_k) \frac{1}{1,25}) \quad (26)$$

$$c_d = \frac{c_k}{1,25} \quad (27)$$

$$c_{ud} = \frac{c_{uk}}{1,4} \quad (28)$$

– Izračun računskih koeficientov aktivnega in pasivnega zemeljskega pritiska:

$$k_{a;d} = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_d}{2}) \quad (29)$$

$$k_{p;d} = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi_d}{2}) \quad (30)$$

– Izračun aktivnih horizontalnih pritiskov na temelj, in sicer tako karakterističnih kakor računskih na prelomnih globinah:

$$p_{a0;k} = -2c_k \sqrt{k_{a;k}} \quad (31)$$

$$p_{a0;d} = -2c_d \sqrt{k_{a;d}} \quad (32)$$

$$p_{a1;k} = \sigma'_{V1} k_{a;k} + p_{a0;k} \quad (33)$$

$$p_{a1;d} = \sigma'_{V1} k_{a;d} + p_{a0;d} \quad (34)$$

$$p_{a2;k} = \sigma'_{V2} k_{a;k} + p_{a0;k} + (H + D - g_p) \gamma_w \quad (35)$$

$$p_{a2;d} = \sigma'_{V2} k_{a;d} + p_{a0;d} + (H + D - g_p) \gamma_w \quad (36)$$

– Izračun rezultante aktivnih horizontalnih pritiskov zemljine na temelj:

$$E_{a;k} = g_p \frac{p_{a0;k} + p_{a1;k}}{2} + (H + D - g_p) \frac{p_{a1;k} + p_{a2;k}}{2} \quad (37)$$

$$E_{a;d} = g_p \frac{p_{a0;d} + p_{a1;d}}{2} + (H + D - g_p) \frac{p_{a1;d} + p_{a2;d}}{2} \quad (38)$$

– Izračun pasivnih horizontalnih pritiskov na temelj, in sicer tako karakterističnih kakor računskih na prelomnih globinah:

$$p_{p0;k} = 2c_k \sqrt{k_{p;k}} \quad (39)$$

$$p_{p0;d} = 2c_d \sqrt{k_{p;d}} \quad (40)$$

$$p_{p1;k} = \sigma'_{v1} k_{p;k} + 2c_k \sqrt{k_{p;k}} \quad (41)$$

$$p_{p1;d} = \sigma'_{v1} k_{p;d} + 2c_d \sqrt{k_{p;d}} \quad (42)$$

$$p_{p2;k} = \sigma'_{v2} k_{p;k} + 2c_k \sqrt{k_{p;k}} + (H + D - g_p) \gamma_w \quad (43)$$

$$p_{p2;d} = \sigma'_{v2} k_{p;d} + 2c_d \sqrt{k_{p;d}} + (H + D - g_p) \gamma_w \quad (44)$$

– Izračun rezultante pasivnih horizontalnih pritiskov zemljine na temelj:

$$E_{p;k} = g_p \frac{p_{p0;k} + p_{p1;k}}{2} + (H + D - g_p) \frac{p_{p1;k} + p_{p2;k}}{2} \quad (45)$$

$$E_{p;d} = g_p \frac{p_{p0;d} + p_{p1;d}}{2} + (H + D - g_p) \frac{p_{p1;d} + p_{p2;d}}{2} \quad (46)$$

– Izračun karakterističnega in računskega trenja pod temeljem za drenirano stanje:

$$T_d = W \tan \varphi_d \quad (47)$$

$$T_k = W \tan \varphi_k \quad (48)$$

– Izračun karakterističnega in računskega trenja pod temeljem za nedrenirano stanje:

$$T_{uk} = B c_{uk} \quad (49)$$

$$T_{ud} = B c_{ud} \quad (50)$$

4.2.5 Kontrola zdrsa po različnih projektnih pristopih, za drenirano in nedrenirano stanje:

– Drenirano stanje, projektni pristop 1, kombinacija a:

$$E_{a;k} * 1,35 + F_d \leq E_{p;k} + T_k \quad (51)$$

– Drenirano stanje, projektni pristop 1, kombinacija b:

$$E_{a;d} + \frac{F_d}{1,5} * 1,3 \leq E_{p;d} + T_d \quad (52)$$

– Drenirano stanje, projektni pristop 2:

$$E_{a;k} * 1,35 + F_d \leq \frac{E_{p;k}}{1,4} + \frac{T_k}{1,1} \quad (53)$$

– Drenirano stanje, projektni pristop 3:

$$E_{a;d} + F_d \leq E_{p;d} + T_d \quad (54)$$

– Nedrenirano stanje, projektni pristop 1, kombinacija a:

$$E_{a;k} * 1,35 + F_d \leq E_{p;k} + T_{uk} \quad (55)$$

– Nedrenirano stanje, projektni pristop 1, kombinacija b:

$$E_{a;d} + \frac{F_d}{1,5} * 1,3 \leq E_{p;d} + T_{ud} \quad (56)$$

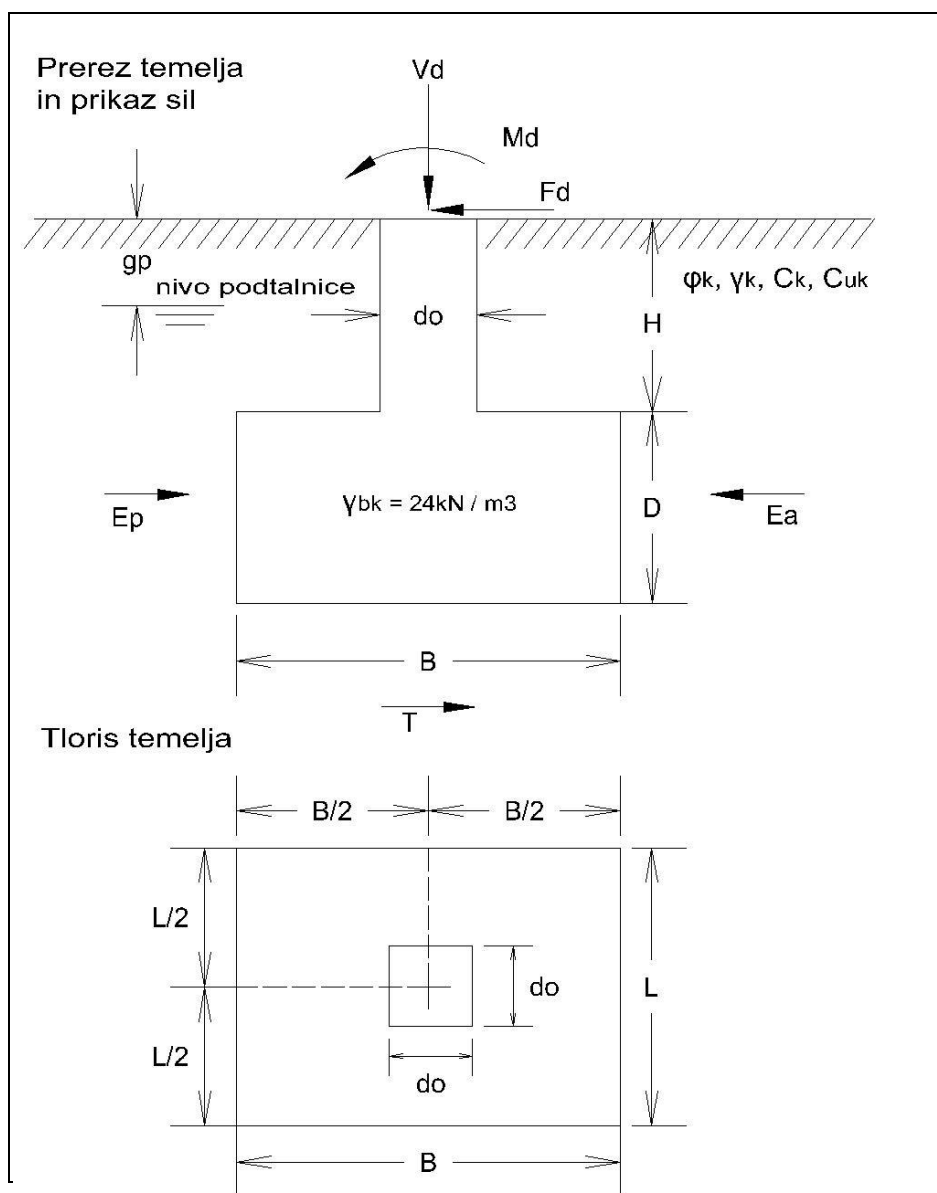
– Nedrenirano stanje, projektni pristop 2:

$$E_{a;k} * 1,35 + F_d \leq \frac{E_{p;k}}{1,4} + \frac{T_{uk}}{1,1} \quad (57)$$

– Nedrenirano stanje, projektni pristop 3:

$$E_{a;d} + F_d \leq E_{p;d} + T_{ud} \quad (58)$$

4.3 Točkovni temelj



Slika 16: Prerez točkovnega temelja in tloris le tega

4.3.1 Lastnosti zemljine

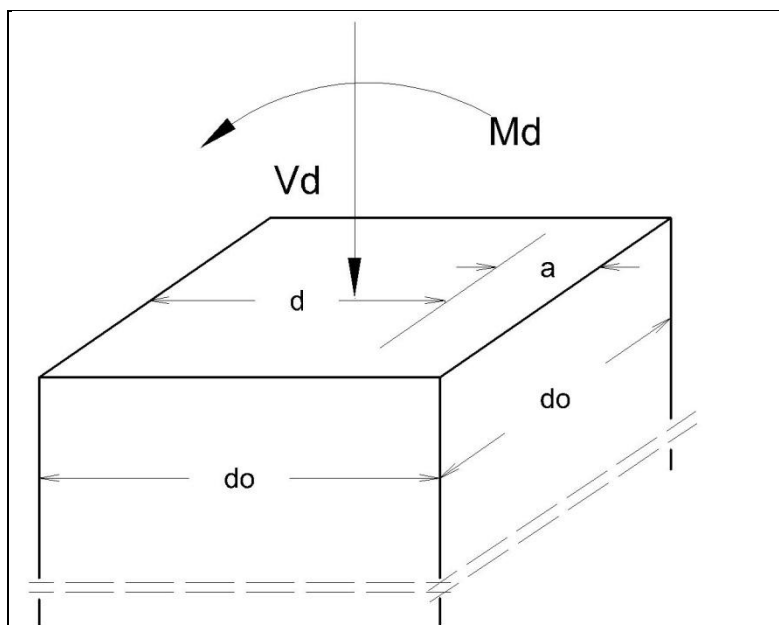
γ_k = karakteristična specifična teža zemljine

ϕ_k = karakteristični strižni kot zemljine

c_k = karakteristična vrednost kohezije zemljine

c_{uk} = karakteristična nedrenirana strižna trdnost zemljine

4.3.2 Približen izračun potrebne debeline d_0



Slika 17: 3d prikaz podaljška točkovnega temelja

Kot osnovo za izračun d_0 sem vzel betonski prerez debeline d_0 in višine d_0 . Višino prereza bom izračunal kakor na betonskem nosilcu, ki je enojno armiran in obremenjen z obtežbo velike ekscentričnosti. Seveda bi bil temelj simetrično armiran, kajti moment lahko deluje v obe smeri. Betonski prerez je potrebno tudi ustrezno strižno armirati.

Imam enačbo 59:

$$k_d = \frac{M_d + V_d \left(\frac{d-a}{2} \right)}{f_{cd}(d+a)d^2} \quad (59)$$

v kateri je neznanka d . Iz enačbe izračunam d ter nato d_0 :

$$d_0 = d + a + \Delta a \quad (60)$$

Oznake:

a – zaščitna plast betona (cca 5 cm)

V_d, M_d – notranje sile na tekoči meter temelja

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} \quad (61)$$

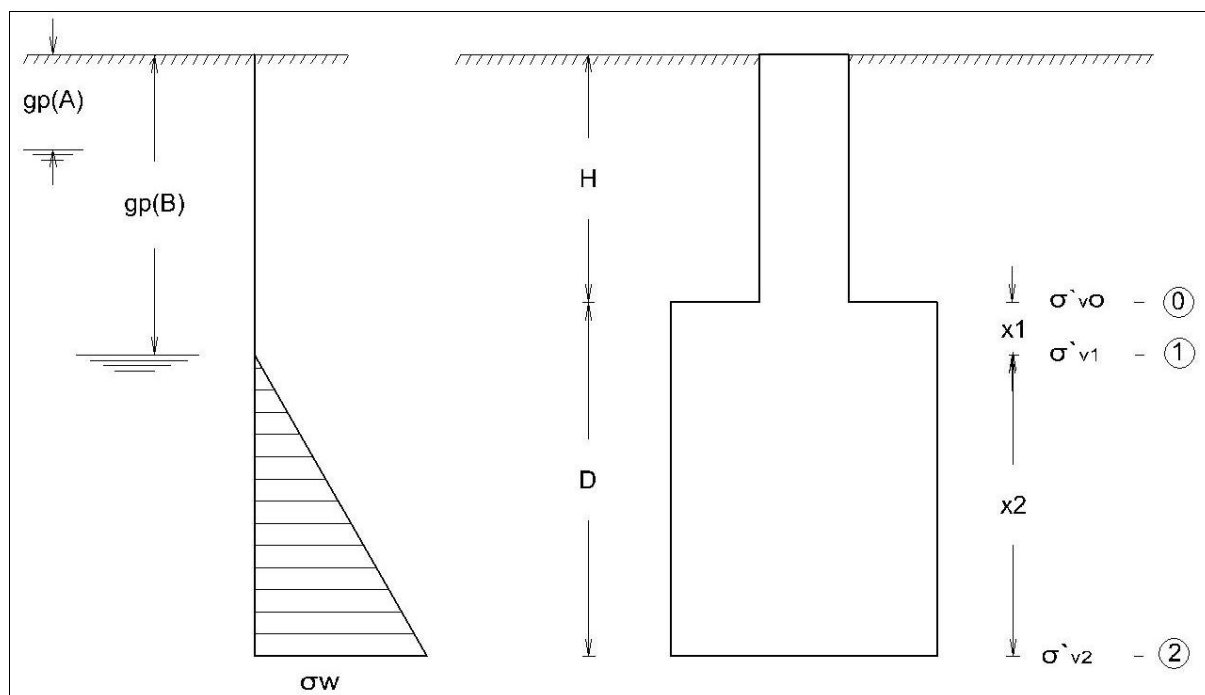
f_{ck} je karakteristična tlačna trdnost betona

k_d – koeficient izkoriščenosti tlačne cone betona

Δa – dodatna varnost zaradi nepopolnosti geometrije itd. Evrokod 7-1 priporoča vrednost 10 cm.

D naj ne bo manjši od d_0 , ker lahko sicer pride do zloma v samem temelju.

4.3.3 Shema efektivnih vertikalnih zemeljskih pritiskov bočno na temelj



Slika 18: Shema efektivnih vertikalnih zemeljskih pritiskov bočno na točkovni temelj

Oznake:

0, 1, 2 – Nivoji globine

g_p – Gladina podtalnice. V kolikor je $g_p > H + D$, podtalnica nima vpliva na temelj in se v enačbah predvideva, da velja: $g_p = H + D$

σ_v' – efektivna vertikalna napetost v zemljini

Pritisk zemljine na podaljšek, ki povezuje temelj s površino, je zaradi majhnosti površine zanemarljiv.

Ker sta možna dva primera nahajanja podtalnice (glej sliko 18), je potrebno definirati x_1 in x_2 :

$$x_1 = \max(g_p - H, 0) \quad (62)$$

$$x_2 = D - x_1 \quad (63)$$

– Izračun efektivnih vertikalnih napetosti v zemljini na različnih (prelomnih) globinah:

$$\sigma'_{V_0} = H\gamma_k - \max(H - g_p, 0)\gamma_w \quad (64)$$

$$\sigma'_{V_1} = (H + x_1)\gamma_k - \max(H - g_p, 0)\gamma_w \quad (65)$$

$$\sigma'_{V_2} = (H + D)\gamma_k - \max(H + D - g_p, 0)\gamma_w \quad (66)$$

4.3.4 Izrazi za projektne pristope in stanja

– Izračun sile, s katero temelj pritiska na zemljo pod njim (W):

$$W = V_d + DBL\gamma_{bk} + (BL - d_o^2)H\gamma_k + d_o^2H\gamma_{bk} \quad (67)$$

– Izračun karakterističnih koeficientov aktivnega in pasivnega zemeljskega pritiska:

$$k_{a,k} = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2}) \quad (68)$$

$$k_{p,k} = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi_k}{2}) \quad (69)$$

– Izračun računskih karakteristik tal:

$$\varphi_d = \arctan(\tan(\varphi_k) \frac{1}{1,25}) \quad (70)$$

$$c_d = \frac{c_k}{1,25} \quad (71)$$

$$c_{ud} = \frac{c_{uk}}{1,4} \quad (72)$$

- Izračun računskih koeficientov aktivnega in pasivnega zemeljskega pritiska:

$$k_{a;d} = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_d}{2}) \quad (73)$$

$$k_{p;d} = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi_d}{2}) \quad (74)$$

- Izračun aktivnih horizontalnih pritiskov na temelj, in sicer tako karakterističnih kakor računskih na prelomnih globinah:

$$p_{a0;k} = \sigma'_{V_0} k_{a;k} - 2c_k \sqrt{k_{a;k}} + \max(0, H - g_p) \gamma_w \quad (75)$$

$$p_{a0;d} = \sigma'_{V_0} k_{a;d} - 2c_d \sqrt{k_{a;d}} + \max(0, H - g_p) \gamma_w \quad (76)$$

$$p_{a1;k} = \sigma'_{V_1} k_{a;k} - 2c_k \sqrt{k_{a;k}} + \max(0, H - g_p) \gamma_w \quad (77)$$

$$p_{a1;d} = \sigma'_{V_1} k_{a;d} - 2c_d \sqrt{k_{a;d}} + \max(0, H - g_p) \gamma_w \quad (78)$$

$$p_{a2;k} = \sigma'_{V_2} k_{a;k} - 2c_k \sqrt{k_{a;k}} + (H + D - g_p) \gamma_w \quad (79)$$

$$p_{a2;d} = \sigma'_{V_2} k_{a;d} - 2c_d \sqrt{k_{a;d}} + (H + D - g_p) \gamma_w \quad (80)$$

- Izračun rezultante aktivnih horizontalnih pritiskov zemljine na temelj:

$$E_{a;k} = \left(\frac{p_{a0;k} + p_{a1;k}}{2} \right) x_1 + \left(\frac{p_{a1;k} + p_{a2;k}}{2} \right) x_2 \quad (81)$$

$$E_{a;d} = \left(\frac{p_{a0;d} + p_{a1;d}}{2} \right) x_1 + \left(\frac{p_{a1;d} + p_{a2;d}}{2} \right) x_2 \quad (82)$$

- Izračun pasivnih horizontalnih pritiskov na temelj, in sicer tako karakterističnih kakor računskih na prelomnih globinah:

$$p_{p0;k} = \sigma'_{V0} k_{p;k} + 2c_k \sqrt{k_{p;k}} + \max(0, H - g_p) \gamma_w \quad (83)$$

$$p_{p0;d} = \sigma'_{V0} k_{p;d} + 2c_d \sqrt{k_{p;d}} + \max(0, H - g_p) \gamma_w \quad (84)$$

$$p_{p1;k} = \sigma'_{V1} k_{p;k} + 2c_k \sqrt{k_{p;k}} + \max(0, H - g_p) \gamma_w \quad (85)$$

$$p_{p1;d} = \sigma'_{V1} k_{p;d} + 2c_d \sqrt{k_{p;d}} + \max(0, H - g_p) \gamma_w \quad (86)$$

$$p_{p2;k} = \sigma'_{V2} k_{p;k} + 2c_k \sqrt{k_{p;k}} + (H + D - g_p) \gamma_w \quad (87)$$

$$p_{p2;d} = \sigma'_{V2} k_{p;d} + 2c_d \sqrt{k_{p;d}} + (H + D - g_p) \gamma_w \quad (88)$$

– Izračun rezultante pasivnih horizontalnih pritiskov zemljine na temelj:

$$E_{p;k} = \left(\frac{p_{p0;k} + p_{p1;k}}{2} x_1 + \frac{p_{p1;k} + p_{p2;k}}{2} x_2 \right) L \quad (89)$$

$$E_{p;d} = \left(\frac{p_{p0;d} + p_{p1;d}}{2} x_1 + \frac{p_{p1;d} + p_{p2;d}}{2} x_2 \right) L \quad (90)$$

– Izračun karakterističnega in računskega trenja pod temeljem za drenirano stanje:

$$T_k = W \tan \varphi_k \quad (91)$$

$$T_d = W \tan \varphi_d \quad (92)$$

– Izračun karakterističnega in računskega trenja pod temeljem za nedrenirano stanje:

$$T_{uk} = BLc_{uk} \quad (93)$$

$$T_{ud} = BLc_{ud} \quad (94)$$

4.3.5 Kontrola zdrsa po različnih projektnih pristopih, za drenirano in nedrenirano stanje

- Drenirano stanje, projektni pristop 1, kombinacija a:

$$E_{a;k} * 1,35 + F_d \leq E_{p;k} + T_k \quad (95)$$

- Drenirano stanje, projektni pristop 1, kombinacija b:

$$E_{a;d} + \frac{F_d}{1,5} * 1,3 \leq E_{p;d} + T_d \quad (96)$$

- Drenirano stanje, projektni pristop 2:

$$E_{a;k} * 1,35 + F_d \leq \frac{E_{p;k}}{1,4} + \frac{T_k}{1,1} \quad (97)$$

- Drenirano stanje, projektni pristop 3:

$$E_{a;d} + F_d \leq E_{p;d} + T_d \quad (98)$$

- Nedrenirano stanje, projektni pristop 1, kombinacija a:

$$E_{a;k} * 1,35 + F_d \leq E_{p;k} + T_{uk} \quad (99)$$

- Nedrenirano stanje, projektni pristop 1, kombinacija b:

$$E_{a;d} + \frac{F_d}{1,5} * 1,3 \leq E_{p;d} + T_{ud} \quad (100)$$

- Nedrenirano stanje, projektni pristop 2:

$$E_{a;k} * 1,35 + F_d \leq \frac{E_{p;k}}{1,4} + \frac{T_{uk}}{1,1} \quad (101)$$

- Nedrenirano stanje, projektni pristop 3:

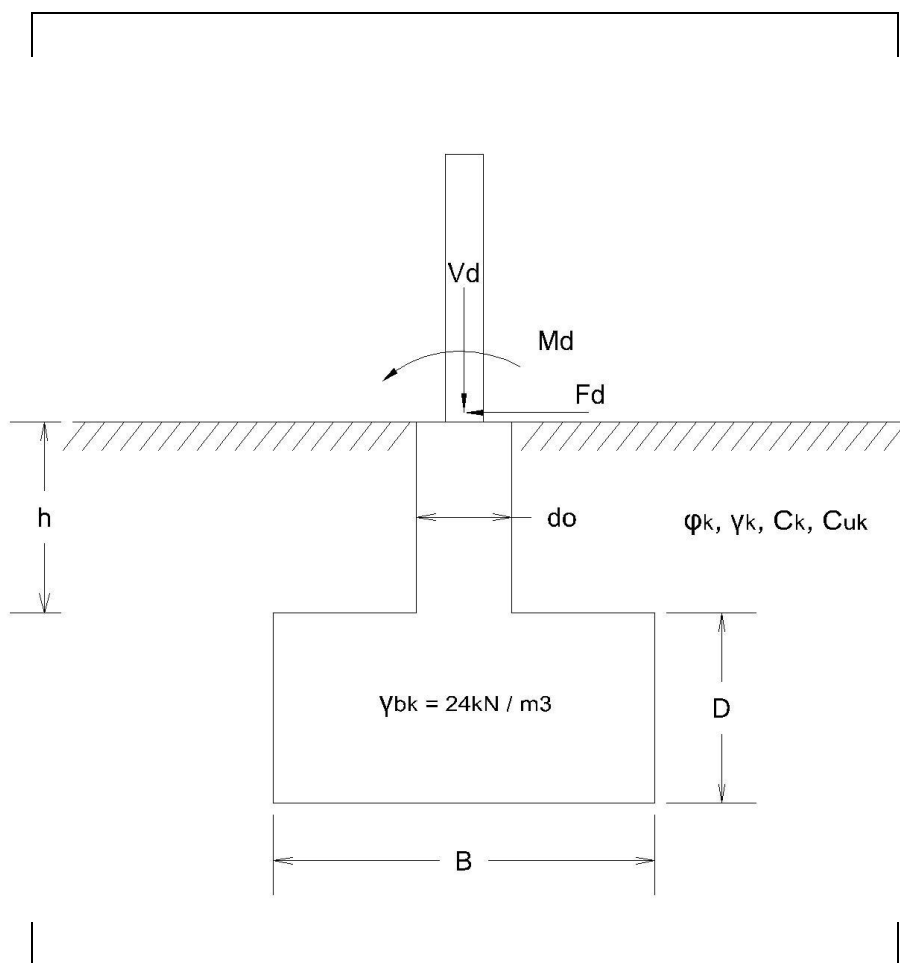
$$E_{a;d} + F_d \leq E_{p;d} + T_{ud} \quad (102)$$

5 MEJNO STANJE NOSILNOSTI – KONTROLA NOSILNOSTI TAL TER DELEŽA TLAČENOSTI TAL

5.1 Uvod

Temeljna tla morajo prenesti obremenitve temelja in tudi temelj mora biti pretežno tlaččen. Na začetku je evrokod 7 zahteval, da je vsaj 60 % temelja tlaččenega. Kasneje je to zahtevo umaknil. Sam bom kasneje v računalniškem programu delež temelja, ki naj bo tlaččen, pustil kot parameter, katerega projektant določi po lastni presoji.

5.2 Delež temelja, ki je tlaččen za pasovni temelj



Slika 19: Prerez pasovnega temelja

- Izračun sile, s katero temelj pritiska na zemljino pod njim (W):

$$W = V_d + (BD + Hd_0)\gamma_{bk} + (H(B - d_0))\gamma_k \quad (103)$$

- Izračun z različnimi varnostnimi faktorji pomnoženih količin za potrebe različnih projektnih pristopov:

$$W_{d1} = W \quad (104)$$

$$W_{d2} = W \quad (105)$$

$$M_{d1} = M_d \quad (106)$$

$$M_{d2} = \frac{M_d}{1,5} * 1,3 \quad (107)$$

$$e_{d1} = \frac{M_{d1}}{W_{d1}} * 1,3 \quad (108)$$

$$e_{d2} = \frac{M_{d2}}{W_{d2}} \quad (109)$$

- Izračun deleža tlačnosti ($dtl(\%)$) po projektnem pristopu 1, kombinacija a:

$$dtl(\%) = \frac{3\left(\frac{B}{2} - e_{d1}\right)}{B} * 100 \quad (110)$$

(ko je $e_{d1} > B/6$ (sicer je 100%))

- Izračun deleža tlačnosti ($dtl(\%)$) po projektnem pristopu 1, kombinacija b:

$$dtl(\%) = \frac{3\left(\frac{B}{2} - e_{d2}\right)}{B} * 100 \quad (111)$$

(ko je $e_{d2} > B/6$ (sicer je 100%))

- Izračun deleža tlačnosti ($dtl(\%)$) po projektnem pristopu 2:

$$dtl(\%) = \frac{3\left(\frac{B}{2} - e_{d1}\right)}{B} * 100 \quad (112)$$

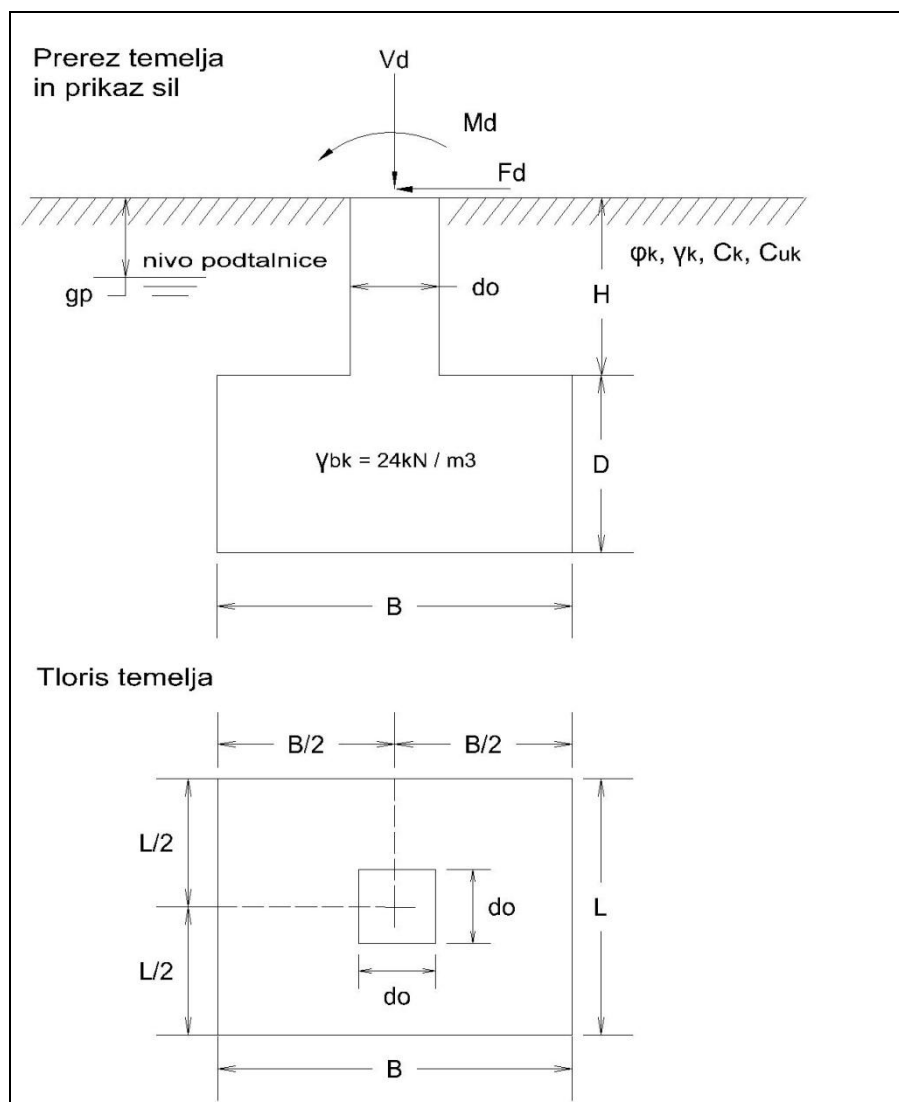
(ko je $e_{d1} > B/6$ (sicer je 100%))

- Izračun deleža tlačnosti ($dtl(\%)$) po projektnem pristopu 3:

$$dtl(\%) = \frac{3\left(\frac{B}{2} - e_{d1}\right)}{B} * 100 \quad (113)$$

(ko je $e_{d1} > B/6$ (sicer je 100%))

5.3 Delež temelja, ki je tlačен za točkovni temelj



Slika 20: Prerez točkovnega temelja in tloris le tega

- Izračun sile, s katero temelj pritiska na zemljo pod njim (W):

$$W = V_d + (BDL + Hd_0)\gamma_{bk} + (H(BL - d_0))\gamma_k + d_0^2 H \gamma_{bk} \quad (114)$$

- Izračun z različnimi varnostnimi faktorji pomnoženih količin za potrebe različnih projektnih pristopov:

$$W_{d1} = W * 1,35 \quad (115)$$

$$W_{d_2} = W \quad (116)$$

$$M_{d_1} = M_d \quad (117)$$

$$M_{d_2} = \frac{M_d}{1,5} * 1,3 \quad (118)$$

$$e_{d_1} = \frac{M_{d_1}}{W_{d_1}} * 1,3 \quad (119)$$

$$e_{d_2} = \frac{M_{d_2}}{W_{d_2}} \quad (120)$$

– Izračun deleža tlačnosti (dtl(%)) po projektnem pristopu 1, kombinacija a:

$$dtl(\%) = \frac{3\left(\frac{B}{2} - e_{d_1}\right)}{B} * 100 \quad (121)$$

(ko je $e_{d_1} > B/6$ (sicer je 100%))

– Izračun deleža tlačnosti (dtl(%)) po projektnem pristopu 1, kombinacija b:

$$dtl(\%) = \frac{3\left(\frac{B}{2} - e_{d_2}\right)}{B} * 100 \quad (122)$$

(ko je $e_{d_2} > B/6$ (sicer je 100%))

– Izračun deleža tlačnosti (dtl(%)) po projektnem pristopu 2:

$$dtl(\%) = \frac{3\left(\frac{B}{2} - e_{d_1}\right)}{B} * 100 \quad (123)$$

(ko je $e_{d_1} > B/6$ (sicer je 100%))

– Izračun deleža tlačnosti (dtl(%)) po projektnem pristopu 3:

$$dtl(\%) = \frac{3\left(\frac{B}{2} - e_{d1}\right)}{B} * 100 \quad (124)$$

(ko je $e_{d1} > B/6$ (sicer je 100%))

5.4 Kontrola nosilnosti temeljnih tal za pasovni temelj

5.4.1 Lastnosti zemljine

γ_k = karakteristična specifična teža zemljine

ϕ_k = karakteristični strižni kot zemljine

c_k = karakteristična vrednost kohezije zemljine

c_{uk} = karakteristična nedrenirana strižna trdnost zemljine

5.4.2 Izrazi za projektne pristope in stanja

– Izračun sile, s katero temelj pritiska na zemljino pod njim (W):

$$W = V_d + (BD + Hd_0)\gamma_{bk} + (H(B - d_0))\gamma_k \quad (125)$$

$$W_{d1} = W \quad (126)$$

$$W_{d2} = W \quad (127)$$

– Izračun računske površine centrično obremenjenega temelja:

$$M_{d1} = M_d \quad (128)$$

$$M_{d2} = \frac{M_d}{1,5} * 1,3 \quad (129)$$

$$H_{d1} = F_d \quad (130)$$

$$H_{d2} = \frac{F_d}{1,5} * 1,3 \quad (131)$$

$$e_{d_1} = \frac{M_{d_1}}{W_{d_1}} * 1,3 \quad (132)$$

$$e_{d_2} = \frac{M_{d_2}}{W_{d_2}} \quad (133)$$

$$B'_{d_1} = B - 2e_{d_1} \quad (134)$$

$$B'_{d_2} = B - 2e_{d_2} \quad (135)$$

$$A'_{d_1} = B'_{d_1} \quad (136)$$

$$A'_{d_2} = B'_{d_2} \quad (137)$$

– Izračun navpičnega tlaka ob temelju na globini temeljne ploskve:

$$q = (H + D)\gamma_k \quad (138)$$

– Izračun koeficientov nagiba in oblike temelja:

$$b_c = 1 \quad (139)$$

$$s_c = 1 \quad (140)$$

$$i_{c(pp1A)u} = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\max \left(0, 1 - \frac{H_{d_1}}{A'_{d_1} c_u} \right)} \right) \quad (141)$$

$$i_{c(pp1B)u} = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\max \left(0, 1 - \frac{H_{d_2}}{A'_{d_2} c_{ud}} \right)} \right) \quad (142)$$

$$i_{c(pp2)u} = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\max \left(0, 1 - \frac{H_{d_1}}{A'_{d_1} c_u} \right)} \right) \quad (143)$$

$$i_{c(pp3)u} = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\max \left(0, 1 - \frac{H_{d1}}{A'_{d1} c_{ud}} \right)} \right) \quad (144)$$

– Izračun računske nedrenirane strižne trdnosti zemljine:

$$c_{ud} = \frac{c_u}{1,4} \quad (145)$$

5.4.3 Neenačbe za preverjanje nosilnosti tal po različnih projektnih pristopih za nedrenirano stanje

– Projektni pristop 1, kombinacija a:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} [(\pi + 2)c_u b_c s_c i_{c(pp1A)u} + q] \quad (145)$$

– Projektni pristop 1, kombinacija b:

$$W_{d2} \leq A'_{d2} [(\pi + 2)c_{ud} b_c s_c i_{c(pp1B)u} + q] \quad (146)$$

– Projektni pristop 2:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} [(\pi + 2)c_u b_c s_c i_{c(pp2)u} + q] * \frac{1}{1,4} \quad (147)$$

– Projektni pristop 3:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} [(\pi + 2)c_{ud} b_c s_c i_{c(pp3)u} + q] \quad (148)$$

5.4.4 Dodatni izrazi za kontrolo nosilnosti v dreniranih pogojih

– Izračun efektivnega navpičnega tlaka ob temelju na globini temeljne ploskve:

$$q' = (H + D)\gamma_k - (H + D - \gamma_p)\gamma_w \quad (149)$$

– Izračun računskih trdnostnih parametrov zemljine (drenirano stanje):

$$c_d = \frac{c_k}{1,25} \quad (150)$$

$$\varphi_d = \arctan\left(\tan\left(\varphi_k\right) \frac{1}{1,25}\right) \quad (151)$$

– Izračun koeficientov nosilnosti:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (152)$$

$$N_{q_d} = e^{\pi \tan \varphi_d} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_d}{2}\right) \quad (153)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi \quad (154)$$

$$N_{c_d} = (N_{q_d} - 1) \cot \varphi_d \quad (155)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi \quad (156)$$

$$N_{\gamma_d} = 2(N_{q_d} - 1) \tan \varphi_d \quad (157)$$

– Izračun koeficientov nagiba in oblike temelja:

$$i_{q(pp1A)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_k \cot \varphi_k}\right]^2 \quad (158)$$

$$i_{q(pp1B)} = \left[1 - \frac{H_{d2}}{W_{d2} + A'_{d2} c_d \cot \varphi_d}\right]^2 \quad (159)$$

$$i_{q(pp2)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_k \cot \varphi_k}\right]^2 \quad (160)$$

$$i_{q(pp3)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_d \cot \varphi_d}\right]^2 \quad (161)$$

$$i_{\gamma(pp1A)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_k \cot \varphi_k} \right]^3 \quad (162)$$

$$i_{\gamma(pp1B)} = \left[1 - \frac{H_{d2}}{W_{d2} + A'_{d2} c_d \cot \varphi_d} \right]^3 \quad (163)$$

$$i_{\gamma(pp2)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_k \cot \varphi_k} \right]^3 \quad (164)$$

$$i_{\gamma(pp3)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_d \cot \varphi_d} \right]^3 \quad (165)$$

$$i_{c(pp1A)} = i_{q(pp1A)} - \frac{1 - i_{q(pp1A)}}{N_c \tan \varphi_k} \quad (166)$$

$$i_{c(pp1B)} = i_{q(pp1A)} - \frac{1 - i_{q(pp1B)}}{N_{cd} \tan \varphi_d} \quad (167)$$

$$i_{c(pp2)} = i_{q(pp2)} - \frac{1 - i_{q(pp2)}}{N_c \tan \varphi_k} \quad (168)$$

$$i_{c(pp3)} = i_{q(pp3)} - \frac{1 - i_{q(pp3)}}{N_{cd} \tan \varphi_d} \quad (169)$$

5.4.5 Neenačbe za preverjanje nosilnosti tal po različnih projektnih pristopih za drenirano stanje

– Projektni pristop 1, kombinacija a:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} \left[c_k N_c i_{c(pp1A)} + q' N_q i_{c(pp1A)} + 0,5 \gamma' B'_{d1} N_{\gamma} i_{c(pp1A)} \right] \quad (169)$$

– Projektni pristop 1, kombinacija b:

$$W_{d2} \leq A'_{d2} \left[c_d N_{cd} i_{c(pp1B)} + q' N_{qd} i_{c(pp1B)} + 0,5 \gamma' B'_{d2} N_{\gamma d} i_{c(pp1B)} \right] \quad (170)$$

– Projektni pristop 2:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} \left[c_k N_c i_{c(pp2)} + q' N_q i_{c(pp2)} + 0,5 \gamma' B'_{d1} N_{\gamma} i_{c(pp2)} \right] * \frac{1}{1,4} \quad (171)$$

– Projektni pristop 3:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} [c_d N_{cd} i_{c(pp3)} + q' N_{qd} i_{c(pp3)} + 0,5 \gamma' B'_{d1} N_{\gamma d} i_{c(pp3)}] \quad (172)$$

5.5 Kontrola nosilnosti temeljnih tal za točkovni temelj

5.5.1 Lastnosti zemljine

γ_k = karakteristična specifična teža zemljine

φ_k = karakteristični strižni kot zemljine

c_k = karakteristična vrednost kohezije zemljine

c_{uk} = karakteristična nedrenirana strižna trdnost zemljine

5.5.2 Izrazi za projektne pristope in stanja

– Izračun sile, s katero temelj pritiska na zemljino pod njim (W):

$$W = V_d + (BDL + Hd_0)\gamma_{bk} + (H(BL - d_0))\gamma_k + d_0^2 H \gamma_{bk} \quad (173)$$

$$W_{d1} = W \quad (174)$$

$$W_{d2} = W \quad (175)$$

– Izračun računske površine centrično obremenjenega temelja:

$$M_{d1} = M_d \quad (176)$$

$$M_{d2} = \frac{M_d}{1,5} * 1,3 \quad (177)$$

$$H_{d1} = F_d \quad (178)$$

$$H_{d2} = \frac{F_d}{1,5} * 1,3 \quad (179)$$

$$e_{d1} = \frac{M_{d1}}{W_{d1}} * 1,3 \quad (180)$$

$$e_{d2} = \frac{M_{d2}}{W_{d2}} \quad (181)$$

$$B'_{d1} = B - 2e_{d1} \quad (182)$$

$$B'_{d2} = B - 2e_{d2} \quad (183)$$

$$A'_{d1} = LB'_{d1} \quad (184)$$

$$A'_{d2} = LB'_{d2} \quad (185)$$

– Izračun navpičnega tlaka ob temelju na globini temeljne ploskve:

$$q = (H + D)\gamma_k \quad (186)$$

– Izračun računske nedrenirane strižne trdnosti zemljine:

$$c_{ud} = \frac{c_u}{1,4} \quad (187)$$

– Izračun koeficientov nagiba in oblike temelja:

$$b_c = 1 \quad (188)$$

$$s_{c(d1)u} = 1 + 0,2\left(\frac{B'_{d1}}{L}\right) \quad (189)$$

$$s_{c(d2)u} = 1 + 0,2\left(\frac{B'_{d2}}{L}\right) \quad (190)$$

$$i_{c(pp1A)} = i_{q(pp1A)} - \frac{1-i_{q(pp1A)}}{N_c \tan \varphi_k} \quad (191)$$

$$i_{c(pp1B)} = i_{q(pp1A)} - \frac{1-i_{q(pp1B)}}{N_{cd} \tan \varphi_d} \quad (192)$$

$$i_{c(pp2)} = i_{q(pp2)} - \frac{1-i_{q(pp2)}}{N_c \tan \varphi_k} \quad (193)$$

$$i_{c(pp3)} = i_{q(pp3)} - \frac{1-i_{q(pp3)}}{N_{cd} \tan \varphi_d} \quad (194)$$

5.5.3 Neenačbe za preverjanje nosilnosti tal po različnih projektnih pristopih za nedrenirano stanje

- Projektni pristop 1, kombinacija a:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} [(\pi + 2)c_u b_c s_{c(d1)u} i_{c(pp1A)u} + q] \quad (195)$$

- Projektni pristop 1, kombinacija b:

$$W_{d2} \leq A'_{d2} [(\pi + 2)c_{ud} b_c s_{c(d2)u} i_{c(pp1B)u} + q] \quad (196)$$

- Projektni pristop 2:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} [(\pi + 2)c_u b_c s_{c(d1)u} i_{c(pp2)u} + q] * \frac{1}{1,4} \quad (197)$$

- Projektni pristop 3:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} [(\pi + 2)c_{ud} b_c s_{c(d1)u} i_{c(pp3)u} + q] \quad (198)$$

5.5.4 Dodatni izrazi za kontrolo nosilnosti v dreniranih pogojih

- Izračun efektivnega navpičnega tlaka ob temelju na globini temeljne ploskve:

$$q' = (H + D)\gamma_k - (H + D - \gamma_p)\gamma_w \quad (199)$$

- Izračun računskih trdnostnih parametrov zemljine (drenirano stanje):

$$c_d = \frac{c_k}{1,25} \quad (200)$$

$$\varphi_d = \arctan\left(\tan\left(\varphi_k\right) \frac{1}{1,25}\right) \quad (201)$$

– Izračun koeficientov nosilnosti:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (202)$$

$$N_{q_d} = e^{\pi \tan \varphi_d} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_d}{2} \right) \quad (203)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi \quad (204)$$

$$N_{c_d} = (N_{q_d} - 1) \cot \varphi_d \quad (205)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi \quad (206)$$

$$N_{\gamma_d} = 2(N_{q_d} - 1) \tan \varphi_d \quad (207)$$

– Izračun koeficientov nagiba in oblike temelja:

$$m_{d1} = \frac{\left[2 + \frac{B'_{d1}}{L} \right]}{\left[1 + \frac{B'_{d1}}{L} \right]} \quad (208)$$

$$m_{d2} = \frac{\left[2 + \frac{B'_{d2}}{L} \right]}{\left[1 + \frac{B'_{d2}}{L} \right]} \quad (209)$$

$$i_{q(pp1A)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_k \cot \varphi_k} \right]^{m_{d1}} \quad (210)$$

$$i_{q(pp1B)} = \left[1 - \frac{H_{d2}}{W_{d2} + A'_{d2} c_d \cot \varphi_d} \right]^{m_{d2}} \quad (211)$$

$$i_{q(pp2)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_k \cot \varphi_k} \right]^{m_{d1}} \quad (212)$$

$$i_{q(pp3)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_d \cot \varphi_d} \right]^{m_{d1}} \quad (213)$$

$$i_{\gamma(pp1A)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_k \cot \varphi_k} \right]^{m_{d1}+1} \quad (214)$$

$$i_{\gamma(pp1B)} = \left[1 - \frac{H_{d2}}{W_{d2} + A'_{d2} c_d \cot \varphi_d} \right]^{m_{d2}+1} \quad (215)$$

$$i_{\gamma(pp2)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_k \cot \varphi_k} \right]^{m_{d1}+1} \quad (216)$$

$$i_{\gamma(pp3)} = \left[1 - \frac{H_{d1}}{W_{d1} + A'_{d1} c_d \cot \varphi_d} \right]^{m_{d1}+1} \quad (217)$$

$$i_{c(pp1A)} = i_{q(pp1A)} - \frac{1-i_{q(pp1A)}}{N_c \tan \varphi_k} \quad (218)$$

$$i_{c(pp1B)} = i_{q(pp1A)} - \frac{1-i_{q(pp1B)}}{N_{cd} \tan \varphi_d} \quad (219)$$

$$i_{c(pp2)} = i_{q(pp2)} - \frac{1-i_{q(pp2)}}{N_c \tan \varphi_k} \quad (220)$$

$$i_{c(pp3)} = i_{q(pp3)} - \frac{1-i_{q(pp3)}}{N_{cd} \tan \varphi_d} \quad (221)$$

$$s_{q(pp1A)} = 1 + \frac{B'_{d1}}{L} \sin \varphi_k \quad (222)$$

$$s_{q(pp1B)} = 1 + \frac{B'_{d2}}{L} \sin \varphi_d \quad (223)$$

$$s_{q(pp2)} = 1 + \frac{B'_{d1}}{L} \sin \varphi_k \quad (224)$$

$$s_{q(pp3)} = 1 + \frac{B'_{d1}}{L} \sin \varphi_d \quad (225)$$

$$s_{\gamma_{d1}} = 1 - 0,3 \frac{B'_{d1}}{L} \quad (226)$$

$$s_{\gamma_{d2}} = 1 - 0,3 \frac{B'_{d2}}{L} \quad (227)$$

$$s_{c(pp1A)} = \frac{s_{q(pp1A)} N_q - 1}{N_q - 1} \quad (228)$$

$$S_{c(pp1B)} = \frac{s_{q(pp1B)}N_{qd}-1}{N_{qd}-1} \quad (229)$$

$$S_{c(pp2)} = \frac{s_{q(pp2)}N_q-1}{N_q-1} \quad (230)$$

$$S_{c(pp3)} = \frac{s_{q(pp3)}N_{qd}-1}{N_{qd}-1} \quad (231)$$

5.5.5 Neenačbe za preverjanje nosilnosti tal po različnih projektnih pristopih za drenirano stanje

– Projektni pristop 1, kombinacija a:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} \left[c_k N_c S_{c(pp1A)} i_{c(pp1A)} + q' N_q s_{q(pp1A)} i_{q(pp1A)} + 0,5 \gamma' B'_{d1} N_{\gamma} s_{\gamma d1} i_{\gamma(pp1A)} \right] \quad (232)$$

– Projektni pristop 1, kombinacija b:

$$W_{d2} \leq A'_{d2} \left[c_d N_{cd} S_{c(pp1B)} i_{c(pp1B)} + q' N_{qd} s_{q(pp1A)} i_{q(pp1B)} + 0,5 \gamma' B'_{d2} N_{\gamma d} s_{\gamma d2} i_{\gamma(pp1B)} \right] \quad (233)$$

– Projektni pristop 2:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} \left[c_k N_c S_{c(pp2)} i_{c(pp2)} + q' N_q s_{q(pp2)} i_{q(pp2)} + 0,5 \gamma' B'_{d1} N_{\gamma} s_{\gamma d1} i_{\gamma(pp2)} \right] * \frac{1}{1,4} \quad (234)$$

– Projektni pristop 3:

$$W_{d1} \leq A'_{d1} \left[c_d N_{cd} S_{c(pp3)} i_{c(pp3)} + q' N_{qd} s_{q(pp3)} i_{q(pp3)} + 0,5 \gamma' B'_{d1} N_{\gamma d} s_{\gamma d1} i_{\gamma(pp3)} \right] \quad (235)$$

6 MEJNO STANJE UPORABNOSTI

6.1 Pasovni temelj

- Izračun maksimalne robne kontaktne napetosti σ_1 :

$$W = V_d + (BD + Hd_0)\gamma_{bk} + (H(B - d_0))\gamma_k \quad (236)$$

$$e = \frac{M}{W} \quad (237)$$

M je karakteristični moment zunanjih sil na temelj

$$\sigma_1 = \frac{W}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right), \text{ če je } e \leq \frac{B}{6}, \text{ sicer je } \sigma_1 = \frac{2W}{3\left(\frac{B}{2} - e\right)} \quad (237)$$

- Izračun maksimalnega posedka:

$$\rho_{\max} = \frac{\sigma_1}{K} \quad (238)$$

K je modul reakcije tal

- Izračun širine tlačene cone temelja B^* :

$$B^* = 3\left(\frac{B}{2} - e\right) \quad (239)$$

- Izračun zasuka temelja $\vartheta_{\max}$:

$$\vartheta_{\max} = \frac{\rho_{\max}}{B^*} \quad (240)$$

6.2 Točkovni temelj

- Izračun maksimalne robne kontaktne napetosti σ_1 :

$$W = V_d + (BDL + Hd_0)\gamma_{bk} + (H(BL - d_0))\gamma_k + d_0^2 H\gamma_{bk} \quad (241)$$

$$e = \frac{M}{W} \quad (237)$$

M je karakteristični moment zunanjih sil na temelj

$$\sigma_1 = \frac{W}{BL} \left(1 + \frac{6e}{B}\right), \text{ če je } e \leq \frac{B}{6}, \text{ sicer je } \sigma_1 = \frac{2W}{3L\left(\frac{B}{2} - e\right)} \quad (242)$$

– Izračun maksimalnega posedka:

$$\rho_{\max} = \frac{\sigma_1}{K} \quad (243)$$

K je modul reakcije tal

– Izračun širine tlačene cone temelja B^* :

$$B^* = 3\left(\frac{B}{2} - e\right) \quad (244)$$

– Izračun zasuka temelja $\vartheta_{\max}$:

$$\vartheta_{\max} = \frac{\rho_{\max}}{B^*} \quad (245)$$

7 RAČUNALNIŠKI PROGRAM, PRILOŽEN DIPLOMI

7.1 Namen računalniškega programa

Računalniški program je namenjen optimalnemu dimenzioniranju pravokotnega betonskega temelja za protihrupne ograje.

7.2 Uporabljena programska oprema

Uporabljen je Microsoft Office Excel 2007 in program visual basic, ki je sestavni del Excela.

7.3 Princip delovanja računalniškega programa

Računalniški program generira vse mogoče dimenzije točkovnih in pasovnih temeljev (seveda do določenih maksimalnih in minimalnih mej). Tako proizvede najrazličnejše kombinacije debelin, globin, širin in poglobitev temelja v zemljo.

Nato iz nabora tako pridobljenih temeljev izloči vse temelje, ki ne ustrezajo mejnemu stanju nosilnosti, uporabnosti in določenih konstruktivnih značilnosti.

Nato iz tako zožanega nabora temeljev izbere kot rešitev najcenejši temelj.

7.4 Kratka navodila za uporabo računalniškega programa

- Na Excelovem zavihku z imenom »obremenitev temelja« se izpolni krepko napisana polja in računalniški program samodejno izračuna zunanjo obremenitev temelja.
- Na Excelovih zavihkih: »lin.tem.-vnos podat. in izrač.« ter »točk.tem.-vnos podat. in izrač.« (uporabnik izbere zavihek glede na dejstvo, ali dimenzionira točkovni ali pasovni temelj) se najprej izpolni poglavje s podatki o karakteristikah zemljine itd., nato pa zažene 4 gumbе, ki izračunajo optimalne dimenzije temelja, vsak gumb za svoj projektni pristop.

- Izračuna se tudi cena temelja. Nato si lahko v zavihkih izpis rezultatov uporabnik ogleda temelj.
- Excelov zavihek »obremenitev temelja«:

Izračun obremenitev temelja (izpolni krepko tiskana polja)	
v polje B2 vpiši z_0 (glede kategorije terena, v metrih)	0,00
v polje B3 vpiši z_{min} (glede kategorije terena, v metrih)	1,00
v polje B4 vpiši višino protihrupne ograje h (v metrih)	4,00
v polju B5 lahko razbereš faktor hrapavosti C_r	1,12
v polje B6 vpiši v_{b0} (glede na cono, v m/s)	30,00
v polju B7 lahko razbereš v_m (h)	47,83
v polju B8 lahko razbereš faktor terena k_r	0,16
v polju B9 lahko razbereš intenziteto turbulence I_v	0,02
v polju B10 lahko razbereš maks. vetrni tlak na višini h (N/m^2)	1582,60
v polju B11 lahko razbereš horiz. silo vetra na tekoči meter lin.temelja (N)	12660,77
v polju B12 lahko razbereš mom. vetra na tekoči meter lin.temelja (Nm)	25321,55
v polje B13 vpiši lastno težo ograje (v kg/m^2)	200,00
v polju B14 lahko razbereš vert. silo teže na tekoči meter lin. temelja (N)	8000,00
v polje B15 vpiši dinamičen zr. pr. zaradi vozil (v pascalih)	1500,00
v polju B16 lahko razbereš horiz. silo din. pr. na tek. meter lin. temelja (N)	6000,00
v polju B17 lahko razbereš moment din.pr. na tek. meter lin. temelja (Nm)	12000,00
v polje B18 vpiši silo na pregrado zaradi pluženja (iz tabele), v N	15000,00
v polju B19 lahko razbereš horiz. silo pluženja na tekoči meter lin. temelja (N)	7500,00
v polju B20 lahko razbereš mom. pluženja na tekoči meter lin. temelja (Nm)	11250,00
<u>REZULTATI (za linijski temelj) :</u>	
v polju B22 je izračunana rač. horiz. obrem. na tek. meter lin. temelja (N)	18991,16
v polju B23 je izračunan rač.moment na tekoči meter lin. temelja (Nm)	37982,32
v polju B24 je izračunana rač.vert. sila teže na tek. meter lin. temelja (N)	8000,00

se nadaljuje

REZULTATI (za točkovni temelj):	
v polje B26 vpiši razdalje med točkovnimi temelji (v metrih)	4,00
v polju B27 je izračunana računska horiz. obrem. na točkovni temelj (N)	75964,64
v polju B28 je izračunan računski moment na točkovni temelj (Nm)	151929,29
v polju B29 je izračunana računska vert. sila teže na točkovni temelj (N)	32000,00

– Excelov zavihek »vnos podatkov...«:

V polje B1 vpiši globino zmrzovanja tal (m):	0,4
V polje B2 vpiši karakteristično specifično težo betona temelja (kN/m^3):	24
V polje B3 vpiši karakteristično specifično težo zemljine (kN/m^3):	21
V polje B4 vpiši specifično težo vode (kN/m^3):	10
V polje B5 vpiši globino gladine podtalnice (koliko m pod zemljo se začne podtalnica) (m):	1
V polje B6 vpiši karakteristični strižni kot zemljine (v stopinjah):	36
V polje B7 vpiši karakteristično vrednost kohezije zemljine (kPa):	0
V polje B8 vpiši karakteristično vrednost nedrenirane strižne trdnosti zemljine (kPa):	1000
V polje B9 vpiši modul reakcije tal K (kN/m^3):	16000
V polje B10 vpiši efektivno prostorninsko težo zemljine pod dnem temelja (kN/m^3):	8
V polje B11 vpiši koeficient izkoriščenosti tlačne cone betona k_d :	0,3
V polje B12 vpiši zaščitno plast betona (cm)-cca5cm:	5
V polje B13 vpiši dodatno debelino podaljška temelja za dodatno varnost (cm)-cca10cm:	10
V polje B14 vpiši minimalni delež temelja, ki naj bo tlaččen (v%):	60
V polje B15 vpiši maksimalni posedek temelja v msu (cm):	10
V polje B16 vpiši maksimalni zasuk temelja v msu (v rad):	0,02
V polje B17 vpiši karakteristično tlačno trdnost betona f_{ck} (Mpa):	20
V polje B18 vpiši ceno izkopa m^3 zemljine za temelj (euri):	10
V polje B19 vpiši ceno planacije m^2 površine pod temeljem (euri):	3
V polje B20 vpiši ceno m^3 podložnega betona (euri):	180
V polje B21 vpiši ceno m^3 armiranega betona za temelj (euri):	220
V polje B22 vpiši maksimalno širino temelja (B):	4
V polje B23 vpiši minimalno debelino temelja (D):	0,3
V polje B24 vpiši maksimalno globino temeljenja (H +D):	4

gumb za izračun najcenejšega ustreznega temelja po projektnem pristopu 1a:

IZRAČUNAJ

REZULTATI:

V polju B28 razberi debelino temelja B (m):	2,60
V polju B29 razberi višino temelja D (m):	0,30
V polju B30 razberi poglobitev temelja H (m):	0,40
V polju B31 razberi debelino betonskega podaljška med temeljem in pregrado d_0 (m):	0,25
	249,2
V polju B32 razberi ceno na tekoči meter (najcenejšo) temelja (euri):	9
V polju B33 razberi dodatno varnost na zdrs (drenirano):	2,35
	118,6
V polju B34 razberi dodatno varnost na zdrs (nedrenirano):	8
V polju B35 razberi dodatno varnost na nosilnost tal (drenirano):	4,02
	109,8
V polju B36 razberi dodatno varnost na nosilnost tal (nedrenirano):	0
V polju B37 razberi dodatno varnost na zasuk:	18,01
V polju B38 razberi dodatno varnost na posedek:	38,40
V polju B39 razberi dodatno varnost na pogoj deleža tlačnosti temelja:	1,00

gumb za izračun najcenejšega ustreznega temelja po projektnem pristopu 1b:

IZRAČUNAJ

REZULTATI:

V polju B43 razberi debelino temelja B (m):	2,40
V polju B44 razberi višino temelja D (m):	0,30
V polju B45 razberi poglobitev temelja H (m):	0,40
V polju B46 razberi debelino betonskega podaljška med temeljem in pregrado d_0 (m):	0,25
V polju B47 razberi ceno na tekoči meter (najcenejšo) temelja (euri):	232,1

V polju B48 razberi dodatno varnost na zdrs (drenirano):	2,08
V polju B49 razberi dodatno varnost na zdrs (nedrenirano):	90,92
V polju B50 razberi dodatno varnost na nosilnost tal (drenirano):	2,00
V polju B51 razberi dodatno varnost na nosilnost tal (nedrenirano):	76,97
V polju B52 razberi dodatno varnost na zasuk:	13,15
V polju B53 razberi dodatno varnost na posedek:	33,92
V polju B54 razberi dodatno varnost na pogoj deleža tlačnosti temelja:	0,77

gumb za izračun najcenejšega ustreznega temelja po projektne pristopu 2:

IZRAČUNAJ

REZULTATI:

V polju B58 razberi debelino temelja B (m):	2,60
V polju B59 razberi višino temelja D (m):	0,30
V polju B60 razberi poglobitev temelja H (m):	0,40
V polju B61 razberi debelino betonskega podaljška med temeljem in pregrado d ₀ (m):	0,25
	249,2
V polju B62 razberi ceno na tekoči meter (najcenejšo) temelja (euri):	9
V polju B63 razberi dodatno varnost na zdrs (drenirano):	1,99
	107,7
V polju B64 razberi dodatno varnost na zdrs (nedrenirano):	5
V polju B65 razberi dodatno varnost na nosilnost tal (drenirano):	2,87
V polju B66 razberi dodatno varnost na nosilnost tal (nedrenirano):	78,43
V polju B67 razberi dodatno varnost na zasuk:	18,01
V polju B68 razberi dodatno varnost na posedek:	38,40
V polju B69 razberi dodatno varnost na pogoj deleža tlačnosti temelja:	1,00

gumb za izračun najcenejšega ustreznega temelja po projektne pristopu 3:

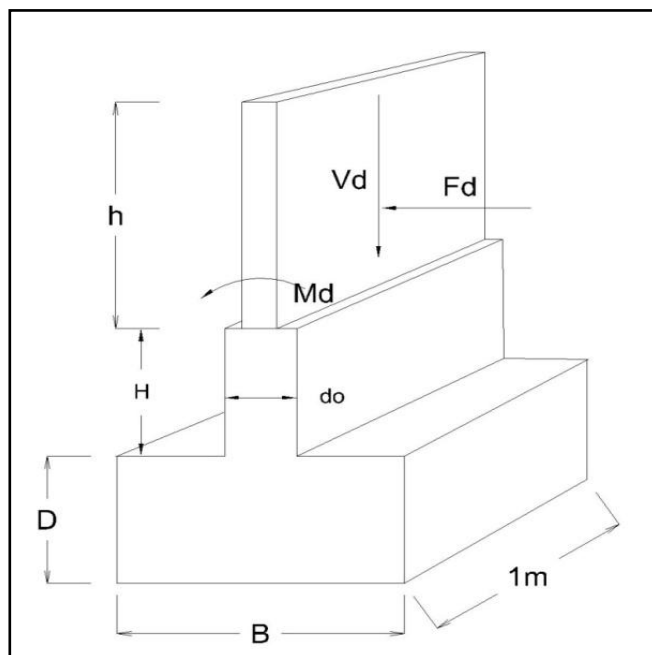
IZRAČUNAJ

REZULTATI:

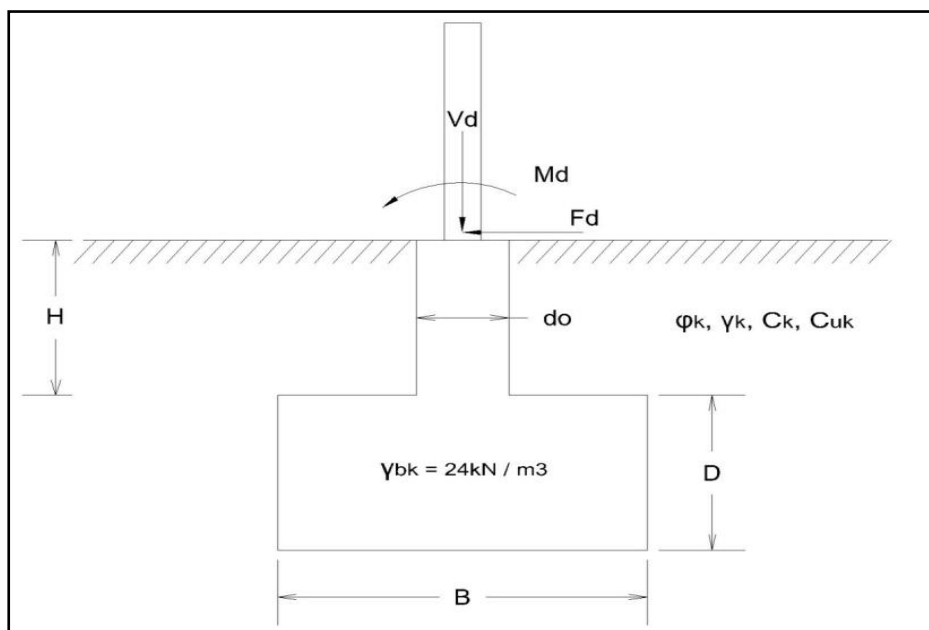
V polju B73 razberi debelino temelja B (m):	2,60
V polju B74 razberi višino temelja D (m):	0,30
V polju B75 razberi poglobitev temelja H (m):	0,40
V polju B76 razberi debelino betonskega podaljška med temeljem in pregrado d ₀ (m):	0,25
	249,2
V polju B77 razberi ceno na tekoči meter (najcenejšo) temelja (euri):	9
V polju B78 razberi dodatno varnost na zdrs (drenirano):	1,92
V polju B79 razberi dodatno varnost na zdrs (nedrenirano):	86,86
V polju B80 razberi dodatno varnost na nosilnost tal (drenirano):	1,88
V polju B81 razberi dodatno varnost na nosilnost tal (nedrenirano):	78,38
V polju B82 razberi dodatno varnost na zasuk:	18,01
V polju B83 razberi dodatno varnost na posedek:	38,40
V polju B84 razberi dodatno varnost na pogoj deleža tlačnosti temelja:	1,00

– Excelov zavihek »izpis rezultatov.....«:

OBTEŽBA :	V_d(N)	M_d(Nm)	F_d(N)	
	8000	37982	18991	
višina pregrade (h):	4			
	φ_k(°)	c_k(kPa)	c_{uk}(kPa)	γ_k(kN/m²)
KARAKTERISTIKE TAL:	36	0	1000	21
REŠITVE:	H(m)	D(m)	B(m)	d₀(m)
PROJ.PRISTOP 1A:	0,4	0,3	2,6	0,25
PROJ.PRISTOP 1B:	0,4	0,3	2,4	0,25
PROJ.PRISTOP 2:	0,4	0,3	2,6	0,25
PROJ.PRISTOP 3:	0,4	0,3	2,6	0,25
REŠITVE:	cena/m(euri)			
PROJ.PRISTOP 1A:	249,29			
PROJ.PRISTOP 1B:	232,19			
PROJ.PRISTOP 2:	249,29			
PROJ.PRISTOP 3:	249,29			



Slika 21: 3D linijski temelj



Slika 22: Prerez linijskega temelja

7.5 Način izračuna cene temelja

Cena temelja je stroškovna cena, torej vsota stroškov, ki jih ima podjetje z izdelavo temelja.

Sestavljena je iz cene izkopa zemljine (predpostavka je, da je pobočje gradbene jame nagnjeno za 60 stopinj, cene podložnega betona (predpostavljeno je, da je le-ta debeline 5 cm in sega 5 cm preko roba temelja), cene komprimacije tal pod temeljem ter cene armiranega betona temelja.

Cene na enoto se določi kot vhodni podatek.

7.6 Glavne ugotovitve pri simulaciji optimalnih temeljev

Glede na dejstvo, da je največji strošek temelja sam armiran beton, je glavna ugotovitev, da je najcenejši ustrezen temelj precej širok (velik B), kak meter pogobljen v tla in dokaj tanek (majhen D). Ugotovil sem tudi, da zasuk pri mejnem stanju uporabnosti predstavlja, če velja priporočilo evrokoda, da sme biti relativni zasuk le 1/300, kritično količino, torej tisto količino, ki določa, kako velik mora biti temelj. Nosilnost temeljnih tal ostane tako dokaj neizkoriščena. Ker priporočilo evrokoda velja za stavbe itd., sem dopustil relativni zasuk temelja 1/100 (pri 4 metre visoki protihrupni ograji bi se vrh protihrupne ograje (v kolikor bi bila protihrupna ograja toga) premaknil za 4 cm horizontalno ob najmočnejšem vetru, kar po vsej verjetnosti ni pretirano). Tako sem dosegel, da se spodobno izkoristi nosilnost temeljnih tal.

Ugotovil sem tudi, da je pri glinastih temeljnih tleh kritična zahteva maksimalni relativni zasuk 1/100 ter nosilnost tal v dreniranih pogojih, pri gramoznih temeljnih tleh pa predstavlja kritično zahtevo 60% delež tlačnosti temelja in ne nosilnost temeljnih tal.

7.7 Primer izračuna temelja na glinenih in gramoznih tleh

Izračunal bom točkovne temelje za protihrupne ograje višine 4 metrov, medsebojne razdalje 4 metrov na vetrovnem območju za dve različni vrsti temeljnih tal in primerjal rezultate.

7.7.1 Gramozna tla

	$V_d(N)$	$M_d(Nm)$	$F_d(N)$
OBTEŽBA :	32000	151929	75964
višina pregrade (m):	4		

razdalja med temelji(m):	4				
	$\varphi_k(^{\circ})$	$c_k(\text{kPa})$	$c_{uk}(\text{kPa})$	$\gamma_k(\text{kN/m}^2)$	
KARAKTERISTIKE TAL:	36	0	/	21	
REŠITVE:	H(m)	D(m)	B(m)	L(m)	$d_0(\text{m})$
PROJ.PRISTOP 1A:	1,5	0,5	4,3	0,5	0,42
PROJ.PRISTOP 1B:	1,5	0,5	4,3	0,5	0,42
PROJ.PRISTOP 2:	1,5	0,5	4,3	0,5	0,42
PROJ.PRISTOP 3:	1,5	0,5	4,3	0,5	0,42
REŠITVE:	cena(euri)				
PROJ.PRISTOP 1A:	344,69				
PROJ.PRISTOP 1B:	344,69				
PROJ.PRISTOP 2:	344,69				
PROJ.PRISTOP 3:	344,69				

7.7.2 Glinena tla

	$V_d(\text{N})$	$M_d(\text{Nm})$	$F_d(\text{N})$		
OBTEŽBA :	32000	151929	75965		
višina pregrade (m):	4				
razdalja med temelji(m):	4				
	$\varphi_k(^{\circ})$	$c_k(\text{kPa})$	$c_{uk}(\text{kPa})$	$\gamma_k(\text{kN/m}^2)$	
KARAKTERISTIKE TAL:	22	5	35	18	
REŠITVE:	H(m)	D(m)	B(m)	L(m)	$d_0(\text{m})$
PROJ.PRISTOP 1A:	1,5	0,5	4,3	0,7	0,42
PROJ.PRISTOP 1B:	1,5	0,5	3,5	0,9	0,42
PROJ.PRISTOP 2:	1,5	0,5	3,3	1,1	0,42
PROJ.PRISTOP 3:	1,5	0,5	3,5	1,1	0,42
REŠITVE:	cena(euri)				
PROJ.PRISTOP 1A:	451,97				
PROJ.PRISTOP 1B:	467,53				
PROJ.PRISTOP 2:	527,07				
PROJ.PRISTOP 3:	554,97				

7.8 Primerjave cene temelja v odvisnosti od trdnosti tal ter projektnega pristopa

7.8.1 Gramozna tla

Za točkovni temelj protihrupne ograje, visoke 4 metre in temeljene vsake 4 metre bom analiziral in grafično predstavil ceno temelja v odvisnosti od karakterističnega strižnega kota zemljine ter v odvisnosti od projektnega pristopa. Prostorninska teža gramoza je 21 kN/m^3 , kohezija zemljine pa je enaka nič.

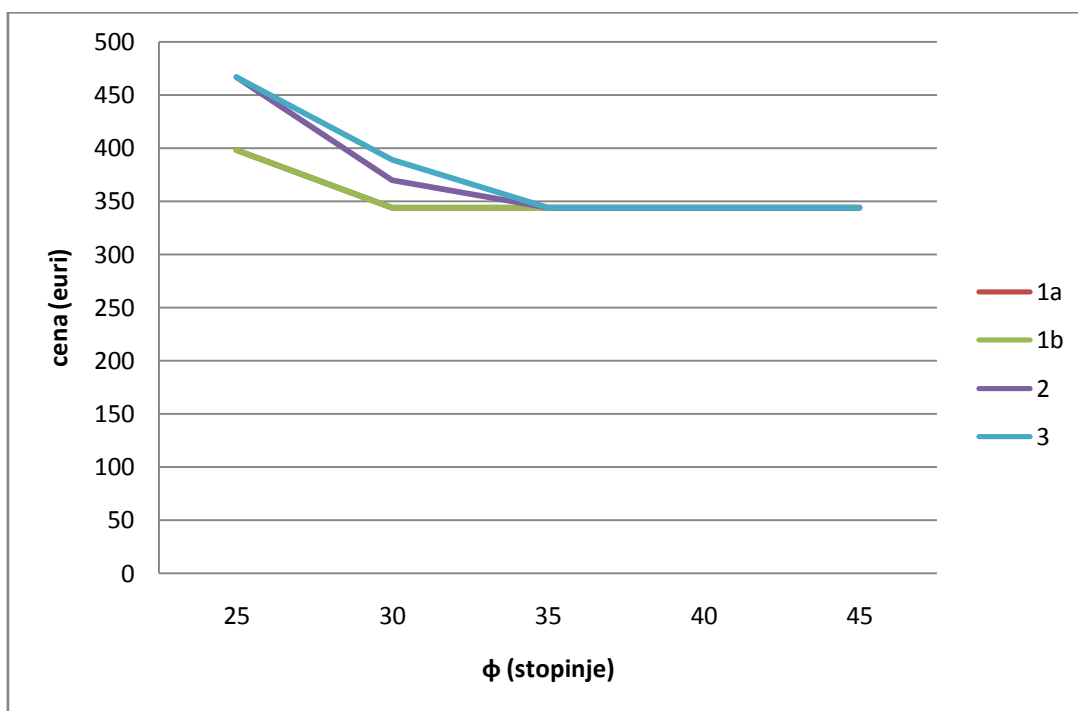


Diagram 1: Cena temelja na gramoznih tleh

Iz diagrama je razvidno, da cena temeljenja narašča po projektnih pristopih od projektnega pristopa 1, ki je najcenejši pa tja do projektnega pristopa 3, ki je najdražji. Cena tudi pada z višanjem strižne trdnosti zemljine, vse do strižne trdnosti približno 35 stopinj. Nato se padanje cene v odvisnosti od strižnega kota zemljine preneha. (Rezultati za projektna pristopa 1a in 1b so identični)

7.8.2 Glinena tla

Za točkovni temelj protihrupne ograje, visoke 4 metre in temeljene vsake 4 metre bom analiziral in grafično predstavil ceno temelja v odvisnosti od karakterističnega strižnega kota

zemljine ter v odvisnosti od projektnega pristopa. Prostorninska teža gline je 18 kN/m^3 , kohezija zemljine pa je enaka 5 kPa . Na rezultat, to je dimenzije temelja in s tem ceno le tega ne vpljiva nedrenirana strižna trdnost zemljine, v kolikor se le ta giblje med 35 kPa in 100 kPa .

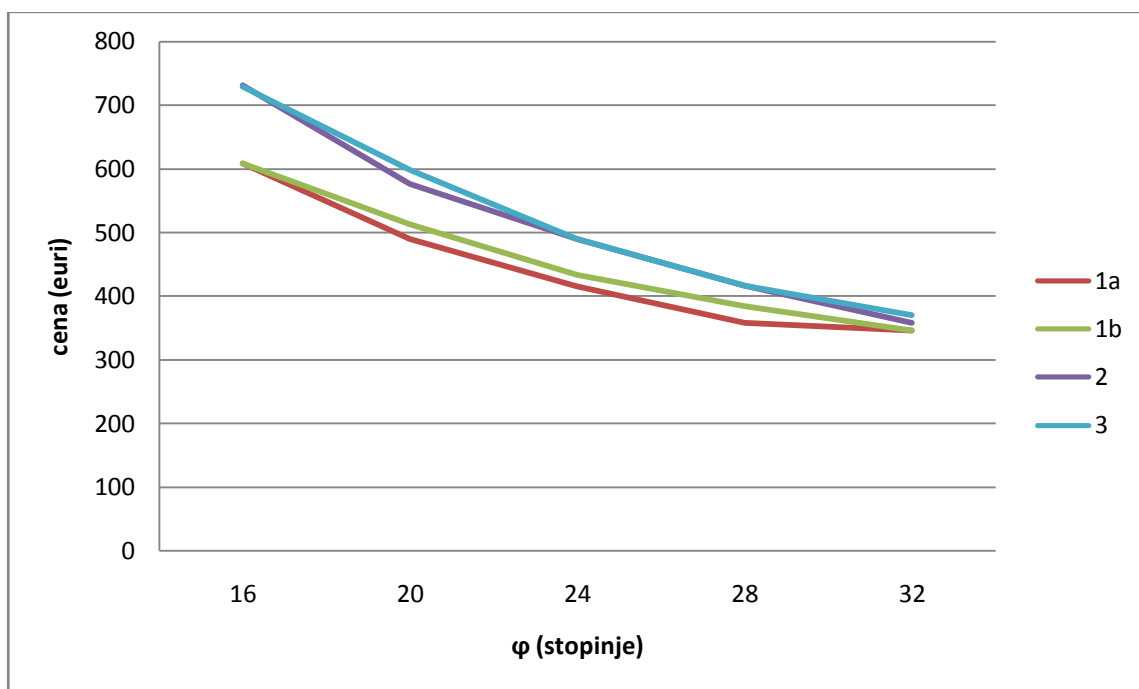


Diagram 2: Cena temelja na glinenih tleh

Iz diagrama je razvidno, da cena temeljenja narašča po projektnih pristopih od projektnega pristopa 1a, ki je najcenejši pa tja do projektnega pristopa 3, ki je najdražji. Cena tudi pada z višanjem strižne trdnosti zemljin.

8 ZAKLJUČEK

Glede na to da se družba vedno bolj zaveda pomena življenja v mirnem, manj hrupnem okolju se povečujejo tudi potrebe po imetju protihrupne zaščite ob prometnicah, od katerih so verjetno najcenejše protihrupne ograje.

V moji diplomski nalogi sem tako predstavil zunanje obremenitve protihrupnih ograj in predstavil mejna stanja nosilnosti in uporabnosti, ki jih predvideva Evrokod. Nato sem predstavil izračune, potrebne za kontrolo zdrsa temelja, nosilnosti temeljnih tal ter delež tlačenosti tal pod temeljem. Nato sem predstavil izračune, potrebne za kontrolo mejnega stanja uporabnosti. Kot zadnje sem izdelal računalniški program za izračun najcenejšega temelja protihrupnih ograj.

Bistvene ugotovitve v diplomski so, da cena temeljenja narašča po projektnih pristopih od projektnega pristopa 1a, ki je najcenejši pa tja do projektnega pristopa 3, ki je najdražji.

V diplomski nalogi se tudi pokaže, da so cenovno optimalni temelji dokaj široki (velik B) in obenem manj visoki (majhen D). Optimalni temelj je tudi dokaj poglobljen v zemljino (v kolikor seveda kubični meter izkopa za temeljenje ni drag v primerjavi s ceno kubičnega metra armiranega betona).

LITERATURA

Evropski standard EN 1794-1 : Road traffic reducing devices – Non acoustic performance.

Slovenski standard SIST EN 1997-1 : Geotehnično projektiranje - 1. del : Splošna pravila.

Beg, D., Pogačnik, A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica slovenije : 1077 str.