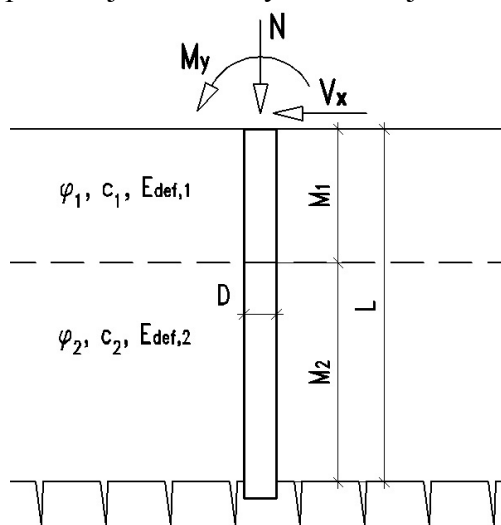


NÁVRH A OVĚŘENÍ BETONOVÉ OPŘENÉ PILOTY ZATÍŽENÉ V HLAVĚ KOMBINACÍ SIL

1. ZADÁNÍ

Navrhněte průměr a výztuž vrtané piloty délky L neposuvně opřené o skalní podloží zatížené v hlavě zadanými vnitřními silami (viz obrázek 1). Geologický profil je tvořen dvěma vrstvami usazenin (U1, U2) a následně skalním podložím. Objemová tíha zemin je konstantní 19 kN/m^3 . Ostatní parametry podloží jsou uvedeny v následující tabulce:

φ_1	27.00	[°]
c_1	15.00	[kPa]
$E_{\text{def},1}$	40	[MPa]
M_1	7	[m]
φ_2	23	[°]
c_2	5	[kPa]
$E_{\text{def},2}$	30	[MPa]
M_2	7	[m]
N	1900	[kN]
V_x	130	[kN]
M_y	500	[kNm]



Obr. 1 – Schéma konstrukce

2. PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH KONSTRUKCE

Předběžný návrh konstrukce se provede na síly pod hlavou piloty. Z působící normálové síly N se stanoví minimální plocha piloty za předpokladu použití betonu C30/37:

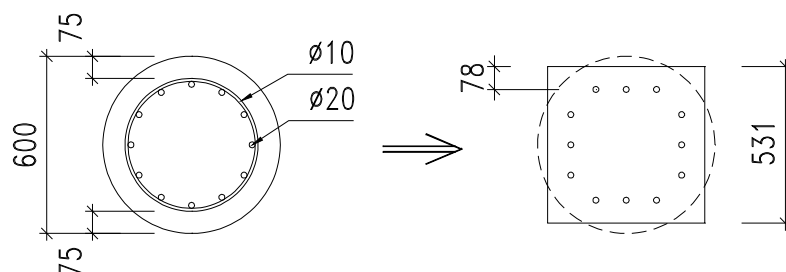
$$A_{\min} = \frac{N_{\text{Max}}}{f_{\text{cd}}} = \frac{1,9 \text{ MN}}{0,90 \cdot \frac{30 \text{ MPa}}{1,5}} = \frac{1,9}{18,0} = 0,105 \text{ m}^2 \Rightarrow D_{\min} = 0,370 \text{ m}$$

Protože průměry vrtaných pilot se obvykle provádějí 600; 900; 1200 a 1500 mm, bude zvolen průměr 600 mm. Následně je prověřena odolnost průřezu v ohybu a posouzena minimální nutná výztuž.

Protože se jedná o kruhový profil, je pro návrh výztuže tento profil nahrazen náhradním čtvercovým profilem o stejné ploše.

$$a_{\min} = \sqrt{\pi \cdot r^2} = \sqrt{\pi \cdot 0,3^2} = 0,532 \text{ m}$$

Schéma náhrady je uvedeno na obrázku 2. Výztuž je v průřezu umístěna tak, aby její osová vzdálenost byla cca 100 mm. Do náhradního průřezu je umístěna pouze část výztuže (viz obrázek 2). Pro stanovení vyztužení se použije krytí 75 mm, průměr spirály 10 mm a předpokládaný průměr výztuže 20 mm.



Obr. 2 – Náhrada kruhového průřezu a výztuže čtvercem

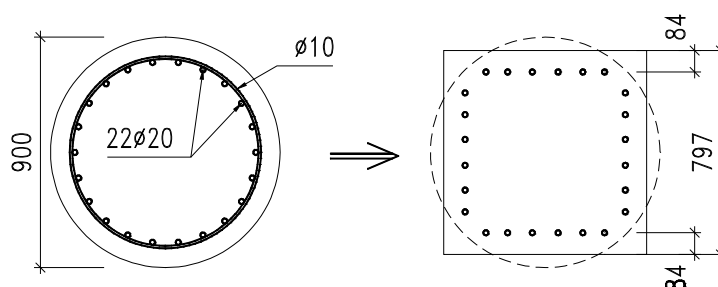
Odhad momentové odolnosti se provede klasickým způsobem (metodou mezních přetvoření) podle ČSN EN 1992-1-1 za zjednodušených předpokladů o průběhu napětí v průřezu (obdélníkové rozdělení).

Průřez	M_{max}		A_s	942	mm ²
Profilů	3	ks	f_{yd}	434.8	MPa
Průměr výztuže	20.0	mm	f_{cd}	18.0	MPa
f_{yk}	500.0	MPa	d	453	mm
f_{ck}	30.0	MPa			
Šířka b	531	mm	x	53.6	mm
Výška h	531	mm	z	431.6	mm
Krytí výztuže c	78	mm	ξ	0.118	OK
			$M_{Rd} = 176.8 \text{ kNm}$		

Jak je vidět pro zvolené vyztužení průřez hrubě nevyhovuje, proto je vyztužení zvětšeno na profil 32 mm.

Průřez	M_{max}		A_s	2413	mm ²
Profilů	3	ks	f_{yd}	434.8	MPa
Průměr výztuže	32.0	mm	f_{cd}	18.0	MPa
f_{yk}	500.0	MPa	d	453	mm
f_{ck}	30.0	MPa			
Šířka b	531	mm	x	137.2	mm
Výška h	531	mm	z	398.1	mm
Krytí výztuže c	78	mm	ξ	0.303	OK
			$M_{Rd} = 417.6 \text{ kNm}$		

Protože ani v tomto případě vyztužení nevyhovuje, je přistoupeno ke zvětšení průměru piloty na 900 mm a návrhu prutů profilu 20 mm.



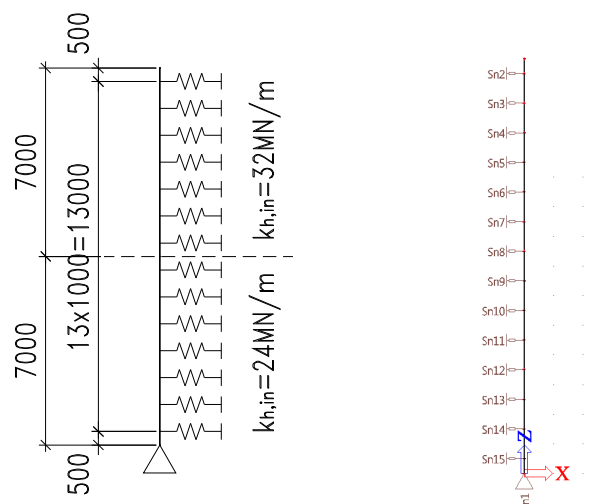
Obr. 3 – Náhrada kruhového průřezu a výztuže čtvercem - Úprava průměru piloty

Průřez	M_{max}		A_s	1885	mm ²
Profilů	6	ks	f_{yd}	434.8	MPa
Průměr výztuže	20.0	mm	f_{cd}	18.0	MPa
f_{yk}	500.0	MPa	d	713	mm
f_{ck}	30.0	MPa			
Šířka b	797	mm	x	71.4	mm
Výška h	797	mm	z	684.4	mm
Krytí výztuže c	84	mm	ξ	0.100	OK
			$M_{Rd} = 560.9 \text{ kNm}$		

Návrh vyhovuje s dostatečnou rezervou i v možnosti návrhu větších profilů.

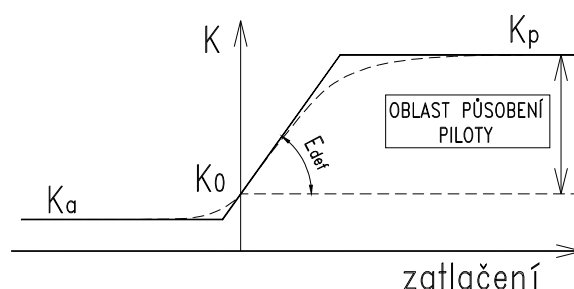
3. VÝPOČTOVÝ MODEL KONSTRUKCE

Konstrukce bude analyzována na prutovém modelu podepřeném pružnými podporami představujícími zeminu. V patě bude model podepřen pevným kloubem.



Obr. 4 – Model konstrukce (schéma vlevo a model vpravo)

S ohledem na způsob modelování je nutno zavést předpoklad o chování zeminy při zatížení deformací piloty (zatlačování piloty do zeminy). Odpor zeminy je přibližně dán velikostí aktivované části pasivního tlaku (nahrazeného zjednodušenou závislostí podle obrázku 5). Maximální hodnota odporu je dána maximální velikostí pasivního tlaku.



Obr. 5 – Idealizované chování piloty při deformaci (velikost aktivovaného odporu)

Tuhost pružné podpory je na začátku působení dána tuhostí prostředí a geometrií konstrukce:

$$k_{h,in} = E_{def} \cdot D \text{ (MN/m/m)}$$

$$k_{h,in,1} = 40 \cdot 0,8 = 32 \text{ MN/m/m}$$

$$k_{h,in,2} = 30 \cdot 0,8 = 24 \text{ MN/m/m}$$

Po provedení výpočtu je ale nutno vždy vyšetřit velikost zatlačení, resp. splnění podmínky, že maximální tlak je menší než pasivní odpor zeminy, tedy že reakce R_i v místě i -té podpory v hloubce z je menší než maximální odpor zeminy:

$$R_i < \sigma_p \cdot D \cdot L_i,$$

kde D je průměr piloty,

L_i je délka i -tého úseku piloty odpovídajícího modelované podpoře,

σ_p je maximální pasivní tlak odpovídající podmínkám v místě podpory, tj.

$$\sigma_p = \sigma_z \cdot K_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}$$

σ_z je svislé napětí v zemině úrovni modelované podpory, když

$$\sigma_z = z \cdot \gamma_z = z \cdot 19,0$$

K_p je součinitel pasivního zemního tlaku, který se zjednodušeně uvažuje podle

Rankineho vztahu (předpoklady: vodorovný povrch, svislé prvky, zanedbáno tření mezi zemínou a prvkem):

$$K_p = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Pokud předepsaná podmínka není splněna, upraví se velikost tuhosti podloží, resp. Modelované pružné podpory tak, aby byla splněna podmínka:

$$R_i = k_{h,(i+1)} \cdot w_i < \sigma_p \cdot D \cdot L_i$$

kde $k_{h,(i+1)}$ je hledaná tuhost podpory v dalším kroku iterace,
 w_i je deformace v místě podpory v i-té iteraci (předchozí).

4. VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

Model konstrukce se sestaví ve vhodném výpočetním programu (geometrie viz obrázek 4). Základní parametry v místě jednotlivých podpor jsou uvedeny v následující tabulce:

Podpora	Hloubka	sig_z	E_def	kh,in	fi	c	Kp	sig_p	Rmax
	[m]	[kPa]	[MPa]	[MN/m]	[°]	[kPa]	[-]	[kPa]	[kN]
1	0.5	9.5	40.0	32.0	27.0	15.0	2.663	74.3	59.4
2	1.5	28.5	40.0	32.0	27.0	15.0	2.663	124.8	99.9
3	2.5	47.5	40.0	32.0	27.0	15.0	2.663	175.4	140.4
4	3.5	66.5	40.0	32.0	27.0	15.0	2.663	226.0	180.8
5	4.5	85.5	40.0	32.0	27.0	15.0	2.663	276.6	221.3
6	5.5	104.5	40.0	32.0	27.0	15.0	2.663	327.2	261.8
7	6.5	123.5	40.0	32.0	27.0	15.0	2.663	377.8	302.3
8	7.5	142.5	30.0	24.0	23.0	5.0	2.283	340.4	272.3
9	8.5	161.5	30.0	24.0	23.0	5.0	2.283	383.8	307.0
10	9.5	180.5	30.0	24.0	23.0	5.0	2.283	427.1	341.7
11	10.5	199.5	30.0	24.0	23.0	5.0	2.283	470.5	376.4
12	11.5	218.5	30.0	24.0	23.0	5.0	2.283	513.9	411.1
13	12.5	237.5	30.0	24.0	23.0	5.0	2.283	557.2	445.8
14	13.5	256.5	30.0	24.0	23.0	5.0	2.283	600.6	480.5

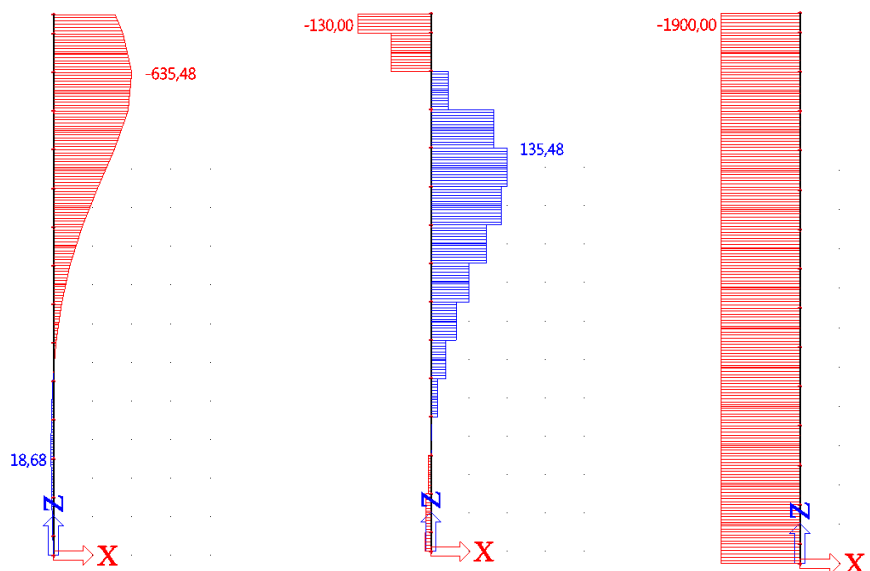
Tab. 1 – Základní vlastnosti podpor modelu konstrukce a jejich stanovení

Provedení jednotlivých iterací je provedeno postupnými změnami tuhosti a zpětným stanovením tuhosti podepření. Jednotlivé kroky jsou zachyceny v tabulce 2.

w1	k_h,2	w2	k_h,3	w3	k_h,4	w4	k_h,5	w5	k_h,6	w6	k_h,7	w7	k_h,8
[mm]	[MN/m]	[mm]	[MN/m]	[mm]	[MN/m]	[mm]	[MN/m]	[mm]	[MN/m]	[mm]	[MN/m]	[mm]	[MN/m]
-4.8	12.376	-6.8	8.736	-7.8	7.616	-8.3	7.157	-8.6	6.907	-8.8	6.750	-8.9	6.674
-2.3	32.000	-3.7	26.994	-4.4	22.700	-4.8	20.808	-5.0	19.976	-5.2	19.208	-5.2	19.208
-0.7	32.000	-1.5	32.000	-2.0	32.000	-2.3	32.000	-2.4	32.000	-2.5	32.000	-2.5	32.000
0.2	32.000	-0.2	32.000	-0.4	32.000	-0.6	32.000	-0.7	32.000	-0.7	32.000	-0.7	32.000
0.7	32.000	0.6	32.000	0.5	32.000	0.4	32.000	0.4	32.000	0.3	32.000	0.3	32.000
0.8	32.000	0.9	32.000	0.9	32.000	0.8	32.000	0.8	32.000	0.8	32.000	0.8	32.000
0.8	32.000	0.9	32.000	1.0	32.000	1.0	32.000	1.0	32.000	1.0	32.000	1.0	32.000
0.7	24.000	0.8	24.000	0.9	24.000	0.9	24.000	0.9	24.000	0.9	24.000	0.9	24.000
0.5	24.000	0.6	24.000	0.7	24.000	0.7	24.000	0.8	24.000	0.8	24.000	0.8	24.000
0.4	24.000	0.5	24.000	0.5	24.000	0.6	24.000	0.6	24.000	0.6	24.000	0.6	24.000
0.2	24.000	0.3	24.000	0.4	24.000	0.4	24.000	0.4	24.000	0.4	24.000	0.4	24.000
0.1	24.000	0.2	24.000	0.2	24.000	0.3	24.000	0.3	24.000	0.3	24.000	0.3	24.000
0.1	24.000	0.1	24.000	0.1	24.000	0.1	24.000	0.1	24.000	0.1	24.000	0.2	24.000
0.0	24.000	0.0	24.000	0.0	24.000	0.0	24.000	0.0	24.000	0.0	24.000	0.0	24.000

Tab. 2 – Postupné změny deformací a tuhosti podpor během iterace

Iterace je ukončena, když změny v deformacích konstrukce mezi jednotlivými kroky klesnou pod zvolenou přesnost iterace (v tomto případě pod 0,1 mm). Následně jsou vykresleny odpovídající vnitřní síly na konstrukci.



Obr. 6 – Průběh vnitřních sil v pilotě (poslední iterace) - zleva - M, V, N (kNm,kN)

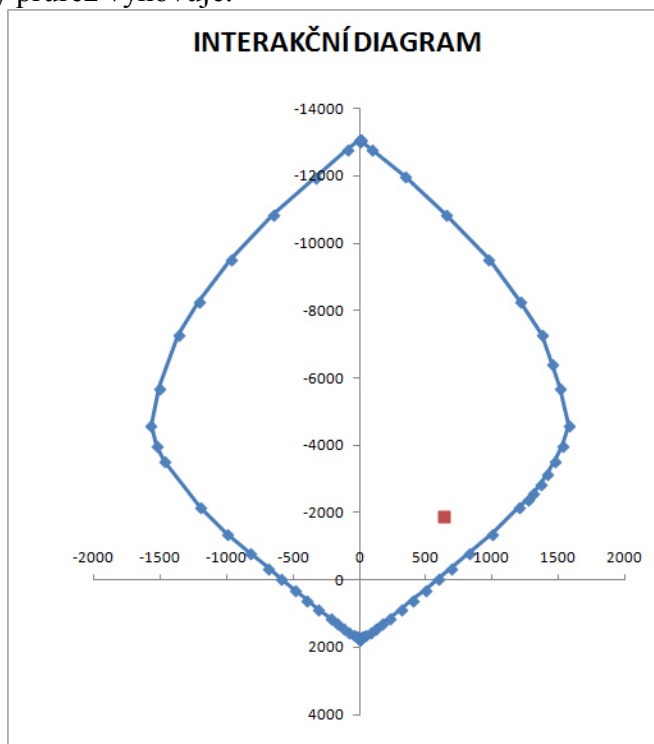
Iterace je ukončena, když změny v deformacích konstrukce mezi jednotlivými kroky klesnou pod zvolenou přesnost iterace (v tomto případě pod 0,1 mm). Následně jsou vykresleny odpovídající vnitřní síly na konstrukci.

5. NÁVR A OVĚŘENÍ VÝZTUŽE PILOTY

Výztuž piloty je navržena a ověřena pomocí interakčního diagramu na náhradním průřezu použitým pro předběžný návrh konstrukce (viz obrázek 3). V prvním kroku se vyjde výztuže navržené v předběžném návrhu (22 Ø 20 mm).

Interakční diagram je sestaven běžným způsobem (viz např. http://people.fsv.cvut.cz/www/bilypet1/vyuka/NNK/DCV3_interakcni_diagram.pdf nebo http://people.fsv.cvut.cz/www/dvorstom/v_bek2/zadani3/03_int_diagram.pdf).

Vykreslení interakčního diagramu je uvedeno na obrázku 7, kde je do grafu současně zanesen účinek rozhodujícího zatížení ($M = 635 \text{ kNm}$, $N = -1900 \text{ kN}$). Z obrázku je patrné, že navržený průřez vyhovuje.



Obr. 7 – Interakční diagram zjednodušeného průřezu piloty