

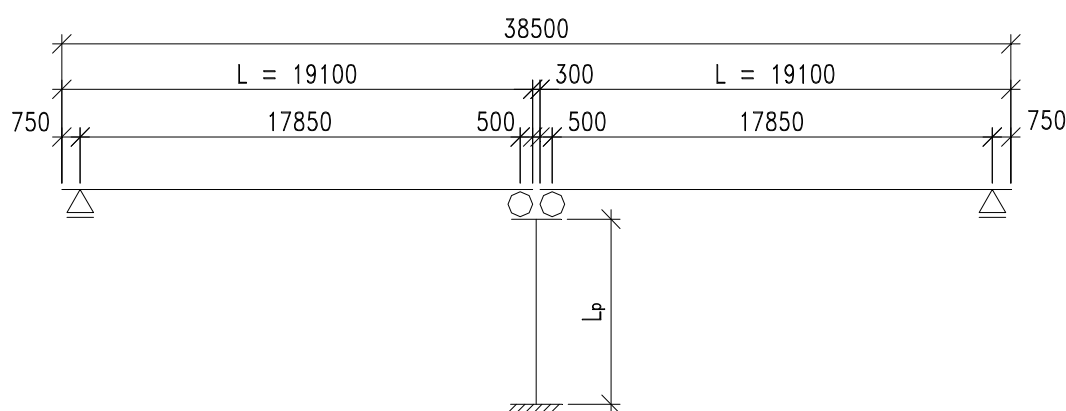
NÁVRH A OVĚŘENÍ MOSTNÍ OPĚRY

1. ZADÁNÍ

Navrhněte plošně založenou opěru železničního mostu z příkladu č. 3. Výšku opěry uvažujte rovnou 2/3 výšky pilíře L_p . Únosnost základové půdy uvažujte $R_d = 475$ kPa. Parametry zásypu za opěrou uvažujte $\varphi = 30^\circ$, $c = 0$ kPa a $\gamma = 20$ kN/m³.

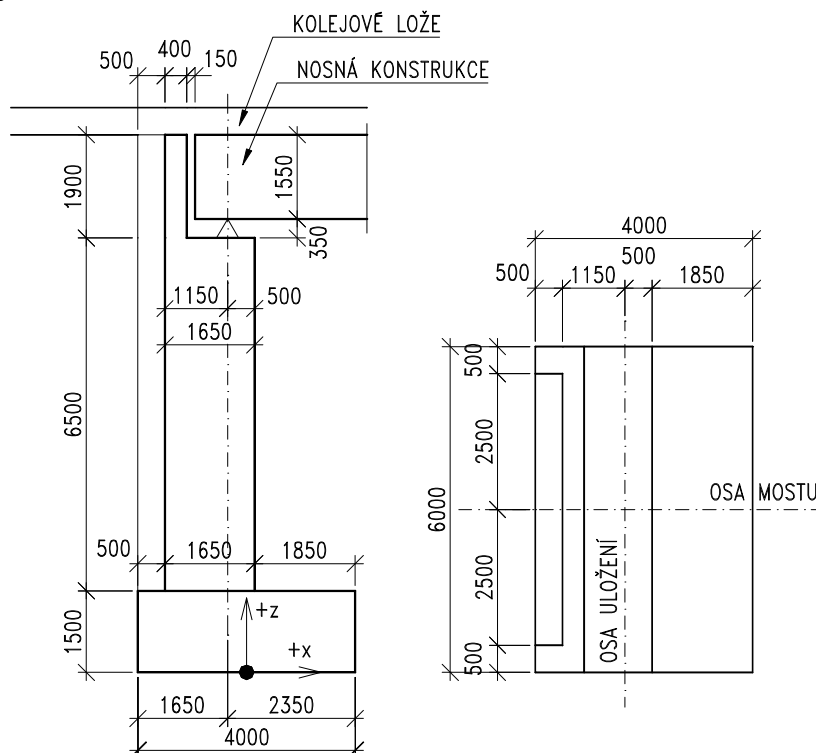
Schéma konstrukce (viz příklad č. 3) je uvedeno na obr. 1, reakce z nosné konstrukce na opěře jsou uvedeny v následující tabulce (viz příklad č.3) :

Vlastní tíha NK	$G_{0,k} = 1308$ kN
Ostatní stálé (max)	$G_{ost.st.,k} = 512,3$ kN
Proměnné dopravou (LM71 - síly + rovnoměrné)	$Q_{k, LM71} = 2025,5$ kN
Proměnné dopravou (LM71 - pouze rovnoměrné)	$Q_{k, rovn} = 1023,2$ kN



Obr. 1 – Statické schéma celého mostu (viz příklad č.3)

Předpokládaný tvar opěry je uveden na obrázku 2, konstrukce je navržena z betonu C30/37 a výztuže B500B.



Obr. 2 – Schéma tvaru opěry (řez a půdorys)

2. ZATÍŽENÍ OPĚRY

Vlastní tíha

Vlastní tíha opěry se stanoví z její geometrie. Současně s tíhou příslušné části konstrukce se stanoví i momentový účinek vůči těžišti základové spáry.

Závěrná zídka	$G_1 = 1,9 \cdot 0,4 \cdot 6,0 \cdot 25 = \underline{\underline{114 \text{ kN}}}$
Dřík opěry	$G_2 = 1,65 \cdot 6,5 \cdot 6,0 \cdot 25 = \underline{\underline{1608,8 \text{ kN}}}$
Základ	$G_3 = 4,0 \cdot 1,5 \cdot 6,0 \cdot 25 = \underline{\underline{900 \text{ kN}}}$
Křídla	$G_4 = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 8,4 \cdot 25 = \underline{\underline{105 \text{ kN}}}$

Excentricity zatížení plynou z geometrie konstrukce a jsou uvedeny ve výpočtu účinků zatížení.

Zemní tlak

Zemní tlak se stanoví ve dvou základních velikostech - aktivní a klidový. Aktivní zemní tlak se použije pro stanovení zatížení při posouzení stability opěry a napětí v základové spáře. Klidový zemní tlak se potom využije pro stanovení namáhání pro návrh výztuže závěrné zídky a dříku opěry.

Pro stanovení základních hodnot zatížení zemním tlakem se použijí klasické vztahy pro stanovení součinitele zemního tlaku, kterými se upraví svislé napětí v zemině. Součinitel aktivního zemního tlaku se stanoví podle Rankinova vztahu:

$$K_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 30^\circ/2) = \underline{\underline{0,333}}$$

Součinitel klidového zemního tlaku se stanoví podle Jákyho vztahu:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 30^\circ = \underline{\underline{0,500}}$$

Rozdělení zemního tlaku se předpokládá lineární, sledující průběh svislého napětí σ_z v zemině. Maximální hodnota zemního tlaku (aktivního a klidového) se vyskytuje v patě opěry a její velikost je:

$$\sigma_{xa,\max} = 10,4 \cdot 20 \cdot 0,333 = \underline{\underline{69,3 \text{ kPa}}}$$

$$\sigma_{x0,\max} = 10,4 \cdot 20 \cdot 0,500 = \underline{\underline{104 \text{ kPa}}}$$

Celkové hodnoty vodorovných sil od zemního tlaku se stanoví za předpokladu trojúhelníkového rozdělení zatížení (přibližný předpoklad při uvažování nulové hodnoty vodorovného tlaku na horní hraně závěrné zídky). Celkové vodorovné síly na celou šířku opěry jsou potom:

$$F_{xa} = 69,3 \cdot 10,4 \cdot 0,5 \cdot 6,0 = \underline{\underline{2161 \text{ kN}}}$$

$$F_{x0} = 104 \cdot 10,4 \cdot 0,5 \cdot 6,0 = \underline{\underline{3244,8 \text{ kN}}}$$

Excentricita zatížení (e_z) vůči základové spáře je:

$$e_z = 10,4 / 3 = \underline{\underline{3,467 \text{ m}}}$$

Proměnné zatížení

Proměnné zatížení je reprezentováno modelem LM71 stojícím buď na nosné konstrukci, nebo za opěrou. Maximální hodnoty reakcí z nosné konstrukce jsou uvedeny v části 1 tohoto příkladu (zadání - viz také příklad č. 3). Maximální účinek zatížení za opěrou je reprezentován svislým zatížením aplikovaným za rubem opěry, které současně vyvoluje v důsledku nenulového poissonova čísla také vodorovné zatížení na rubu opěry (ekvivalent klidového tlaku).

Pro stanovení maximálního vodorovného zatížení od dopravy se použije analogie s klidovým zemním tlakem, když pro zatížení dopravou se požaduje, aby se konstrukce opěry "nepohybovala". Pro stanovení vodorovného zatížení se stanoví náhradní svislé zatížení od dopravy, a to ve dvou variantách:

1) Osamělé síly jsou za rubem opěry

Účinek zatížení osamělými silami se převede na rovnoměrné zatížení ($4 \times 250 / 6,4$) = 156,25 kN/m a toto zatížení se povýší klasifikačním součinitelem α . Dynamický účinek se na násypu neuvažuje. Svislé přetížení na celou kolej (celou šířku opěry) je potom rovno:

$$f_z = 156,25 \cdot 1,33 = \underline{\underline{207,8 \text{ kN/m}}}$$

Vodorovné zatížení na opěru je za předpokladu konstantního přírůstku zatížení ve svislém směru rovno:

$$f_x = 207,8 \cdot 0,5 = \underline{\underline{103,9 \text{ kN/m}}}$$

Celková výslednice zatížení:

$$F_x = 103,9 \cdot 10,4 = \underline{\underline{1080,6 \text{ kN}}}$$

Excentricita vodorovné síly F_x vůči základové spáře:

$$e_z = 10,4 / 2 = \underline{\underline{5,2 \text{ m}}}$$

2) osamělé síly na nosné konstrukci

Účinek zatížení sestává z rovnoměrného zatížení na koleji (80 kN/m) povýšeného klasifikačním součinitelem α . Svislé přetížení na celou kolej (celou šířku opěry) je potom rovno:

$$f_z = 80 \cdot 1,33 = \underline{\underline{106,4 \text{ kN/m}}}$$

Vodorovné zatížení na opěru je za předpokladu konstantního přírůstku zatížení ve svislém směru rovno:

$$f_x = 106,4 \cdot 0,5 = \underline{\underline{53,2 \text{ kN/m}}}$$

Celková výslednice zatížení:

$$F_x = 53,2 \cdot 10,4 = \underline{\underline{553,3 \text{ kN}}}$$

Excentricita vodorovné síly F_x vůči základové spáře:

$$e_z = 10,4 / 2 = \underline{\underline{5,2 \text{ m}}}$$

3. KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Zjednodušeně se pro posouzení napětí v základové spáře a stability opěry uvažuje s kombinací zatížení odpovídající vztahu (6.10) z ČSN EN 1990. Přitom se jako základní podmínka uvažuje jednak maximální přípustné napětí v základové spáře R_d a jednak podmínka, že excentricita zatížení v MSÚ nemá překročit 1/3 šířky základu.

Součinitele zatížení γ_F jsou stanoveny podle ČSN EN 1990 následujícími hodnotami:

Stálé zatížení	$\gamma_{F,max} = 1,35$	$\gamma_{F,min} = 1,00$
Zemní tlak	$\gamma_{F,max} = 1,35$	$\gamma_{F,min} = 0,0$
Zatížení dopravou	$\gamma_{F,max} = 1,45$	$\gamma_{F,min} = 0,0$

Z geometrie konstrukce opěry (zejména poloha uložení nosné konstrukce vůči těžišti základové spáry) je patrné, že rozhodující vliv bude mít dopravní zatížení v pozici za rubem opěry. Základní kombinace zatížení je proto stanovena s ohledem na vyhodnocení rozhodujících zatížení společně s účinky jednotlivých zatížení.

4. NAMÁHÁNÍ A NÁVRH ZALOŽENÍ OPĚRY

Jednotlivá výše popsaná zatížení jsou shrnuta v níže uvedené tabulce. V Tabulce je současně provedeno vyhodnocení maximální excentricity zatížení a napětí v základové spáře.

Pro posudek excentricity se maximální excentricita e od zatížení stanoví jako podíl návrhového momentu a svislé síly, tj. $e = M_{Ed} / N_{Ed}$.

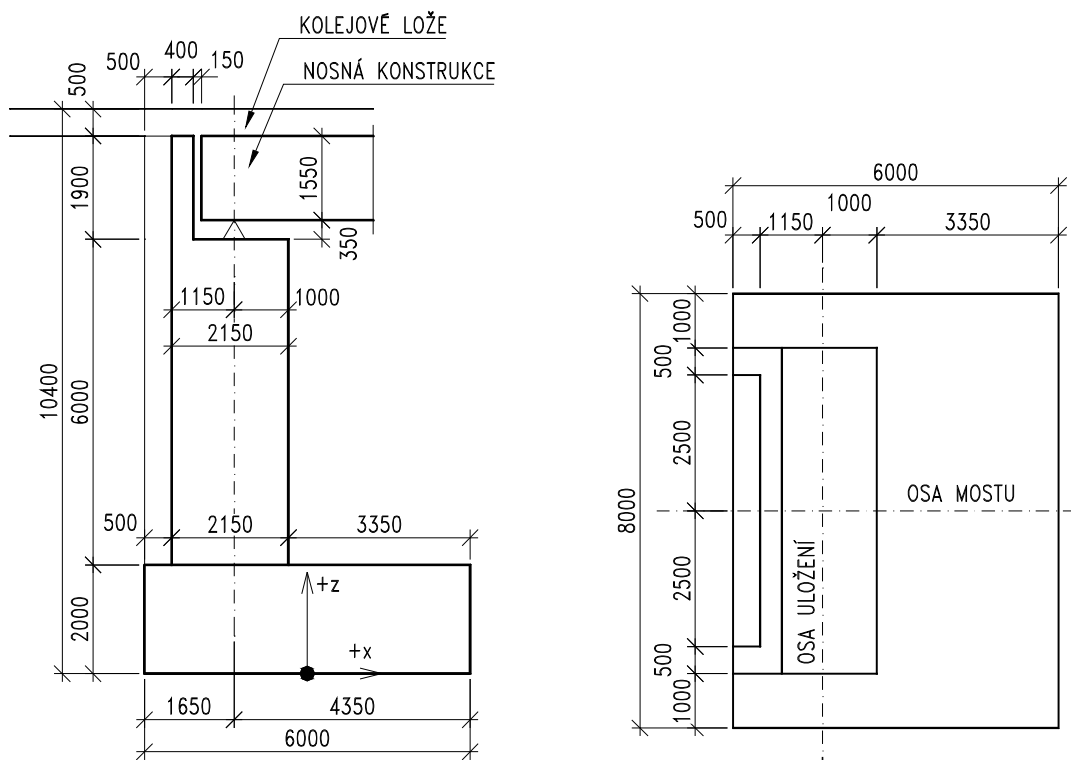
Pro účely stanovení maximálního napětí v základové spáře se nejprve vyčíslí redukovaná plocha základové spáry vycházející z excentricity zatížení (viz výše). Šířka tlačené plochy při vyloučeném tahu v základové spáře namáhané kombinací tlaku a ohybu se stanoví ze vztahu:

$$b_{red} = b - 2e$$

V následující tabulce jsou pro odlehčující účinky zatížení automaticky uvažovány hodnoty součinitele $\gamma_{f,min}$.

Řádek	Zatížení	Část	F _{z,k}	F _{y,k}	e _y	e _z	M _k	↓ _{f,max}	↓ _{f,min}
			[kN]	[kN]	[m]	[m]	[kNm]	[-]	[-]
1	Vlastní tíha	Závěrná zídka	-114.0	0.0	1.300	0.000	-148.2	1.35	1.00
2		Dřík opěry	-1608.8	0.0	0.675	0.000	-1085.9	1.35	1.00
3		Základ	-900.0	0.0	0.000	0.000	0.0	1.35	1.00
4		Křídla	-105.0	0.0	1.750	0.000	-183.8	1.35	1.00
5	Zemní tlak	Aktivní	0.0	2161.0	0.000	3.467	7491.6	1.35	0.00
6		V klidu	0.0	3244.8	0.000	3.467	11248.6	1.35	0.00
7	Reakce z NK	Vlastní tíha	-1308	0	0.350	0.000	-457.8	1.35	1.00
8		Ostatní stálé	-512.3	0	0.350	0.000	-179.3	1.35	1.00
9	Proměnné zatížení	NK - plné	-2025.5	0.0	0.350	0	-708.9	1.45	0.00
10		NK - rovnoměrné	-1023.2	0.0	0.350	0	-358.1	1.45	0.00
11		Opěra - plné	0.0	1080.6	0.000	5.2	5619.1	1.45	0.00
12		Opěra - rovnoměrné	0.0	553.3	0.000	5.2	2877.2	1.45	0.00
Kombinace				F _{z,k}	F _{y,k}	M _k	e	e _{max}	Posudek
				[kN]	[kN]	[kNm]	[m]	[m]	
1	Max NK	1+2+3+4+5+7+8+9+12	-9076.8	3719.7	10483.4	-1.155	1.333	OK	
2	Max opěra	1+2+3+4+5+7+8+11	-4548.1	4484.3	16206.4	-3.563	1.333	XXX	
Rozměry základu opěry			Posudek napětí						
	Šířka	4 m				b _{red}	Napětí	Rd	Posudek
	Délka	6 m			Kombi	[m]	[kPa]	[kPa]	
					1	1.690	-895	475	XXX
					2	-3.127	242	475	OK

Z výsledků uvedených v tabulce je patrné, že návrh opěry silně nevyhovuje, zejména z důvodu nedostatečné odolnosti proti překlolení (maximální excentricita pro kombinaci 2). Proto je provedena úprav a návrhu opěry spočívající v zesílení dříku na tloušťku 2,15 m a zvětšení základového bloku na 6,0 x 8,0 x 2,0 m. Schéma nového tvaru opěry je uvedeno na obrázku 3.



Obr. 3 – Upravená geometrie opěry

Vliv na posouzení základové spáry je ilustrován v následující tabulce:

Vliv na posouzení základové spáry je nastaven v následující tabulce:									
Řádek	Zatížení	Část	F _{z,k} [kN]	F _{y,k} [kN]	e _y [m]	e _z [m]	M _k [kNm]	f _{max} [-]	f _{min} [-]
1	Vlastní tíha	Závěrná zídka	-114.0	0.0	2.300	0.000	-262.2	1.35	1.00
2		Dřík opěry	-2096.3	0.0	1.425	0.000	-2987.2	1.35	1.00
3		Základ	-2200.0	0.0	0.000	0.000	0.0	1.35	1.00
4		Křídla	-105.0	0.0	2.750	0.000	-288.8	1.35	1.00
5	Zemní tlak	Aktivní	0.0	2161.0	0.000	3.467	7491.6	1.35	0.00
6		V klidu	0.0	3244.8	0.000	3.467	11248.6	1.35	0.00
7	Reakce z NK	Vlastní tíha	-1308	0	1.350	0.000	-1765.8	1.35	1.00
8		Ostatní stálé	-512.3	0	1.350	0.000	-691.6	1.35	1.00
9	Proměnné zatížení	NK - plné	-2025.5	0.0	1.350	0	-2734.4	1.45	0.00
10		NK - rovnoměrné	-1023.2	0.0	1.350	0	-1381.3	1.45	0.00
11		Opěra - plné	0.0	1080.6	0.000	5.2	5619.1	1.45	0.00
12		Opěra - rovnoměrné	0.0	553.3	0.000	5.2	2877.2	1.45	0.00
Kombinace				F _{z,k} [kN]	F _{y,k} [kN]	M _k [kNm]	e [m]	e _{max} [m]	Posudek
1	Max NK	1+2+3+4+5+7+8+9+12	-11490.0	3719.7	2226.7	-0.194	2.000	OK	
2	Max opěra	1+2+3+4+5+7+8+11	-6335.6	4484.3	12265.9	-1.936	2.000	OK	
Rozměry základu opěry				Posudek napětí					
	Šířka	6 m				b _{red}	Napětí	Rd	Posudek
	Délka	8 m			Kombi	[m]	[kPa]	[kPa]	
					1	5.612	-256	475	
					2	2.128	-372	475	OK

Konstrukce vyhovuje.

5. NAMÁHÁNÍ A NÁVRH KONSTRUKCE OPĚRY

Pro návrh konstrukce opěry se vychází ze zatížení zemním tlakem v klidu a proměnným dopravním zatížením za opěrou v plné hodnotě. Z hlediska návrhu jde o návrh výztuže v závěrné zídce (v patě) a v patě dříku opěry.

Materiál konstrukce je C30/37, výztuž je třídy B500B.

1) Návrh závěrné zídky

Pro návrh závěrné zídky (pata 2,4 m pod úrovní povrchu) se uvažuje ohybový moment o velikosti (účinek dopravy převeden na běžný metr šířky zídky):

$$M_{Ed, ZT} = 1,35 \cdot 2,4 \cdot 20 \cdot 0,5 \cdot 2,4 / 3 = \mathbf{25,9 \text{ kNm/m}}$$

$$M_{Ed, LM71} = 1,45 \cdot 2,4 \cdot 103,9 \cdot 2,4 / 2 / 6,0 = \mathbf{72,3 \text{ kNm/m}}$$

$$M_{Ed} = 25,9 + 72,3 = \mathbf{98,2 \text{ kNm/m}}$$

Pro šířku závěrné zídky 0,4 m a vyztužení 6Ø14/m:

Průřez	M_{min}		A_s	924	mm ²
Profilů	6	ks	f_{yd}	434.8	MPa
Průměr výztuže	14.0	mm	f_{cd}	17.0	MPa
f _{yk}	500.0	MPa	d	323	mm
f _{ck}	30.0	MPa			
Šířka b	1000	mm	x	29.5	mm
Výška h	400	mm	z	311.2	mm
Krytí výztuže c	70	mm		0.091	OK
			M_{Rd} =	125.0	kNm

Návrh výztuže vyhovuje.

2) Návrh paty dříku opěry

Pro návrh dříku opěry (pata 8,4 m pod úrovní povrchu) se uvažuje ohybový moment o velikosti (účinek dopravy převeden na běžný metr šířky zídky):

$$M_{Ed, ZT} = 1,35 \cdot 8,4 \cdot 20 \cdot 0,5 \cdot 8,4 / 3 = \mathbf{317,5 \text{ kNm/m}}$$

$$M_{Ed, LM71} = 1,45 \cdot 8,4 \cdot 103,9 \cdot 8,4 / 2 / 6,0 = \mathbf{885,9 \text{ kNm/m}}$$

$$M_{Ed} = 25,9 + 72,3 = \mathbf{1203,4 \text{ kNm/m}}$$

Pro šířku závěrné zídky 2,15 m a vyztužení 6Ø28/m (z důvodu minimálního stupně vyztužení $\rho_{l,min} = 0,0015bd$):

Průřez	M_{min}		A_s	3695	mm ²
Profilů	6	ks	f_{yd}	434.8	MPa
Průměr výztuže	28.0	mm	f_{cd}	17.0	MPa
f _{yk}	500.0	MPa	d	2066	mm
f _{ck}	30.0	MPa			
Šířka b	1000	mm	x	118.1	mm
Výška h	2150	mm	z	2018.8	mm
Krytí výztuže c	70	mm		0.057	OK
			M_{Rd} =	3242.7	kNm

Návrh výztuže vyhovuje.