

# Lávka pre peších a cyklistov ponad Trnávku

## Obsah

1	Technická správa k statickému výpočtu .....	3
1.1	Identifikačné údaje .....	3
1.2	Základné údaje o objekte .....	3
1.3	Východzie technické podklady .....	4
1.4	Použité materiály.....	4
1.5	Použitá literatúra.....	5
2	Výpočet vnútorných síl.....	6
2.1	Úvod .....	6
2.2	Výpočet zaťaženia.....	7
2.3	Materiály .....	8
2.4	Zaťažovacie skupiny.....	8
2.5	Zaťažovacie stavy.....	8
2.6	Rozhodujúce vnútorné sily .....	10
2.6.1	Vnútorné sily pre prierez v strede rozpätia.....	10
2.6.2	Vnútorné sily v mieste zmeny prierezu .....	10
2.6.3	Vnútorné sily nosnej konštrukcie pri opore .....	11
2.6.4	Vnútorné sily - opora drierk.....	12
2.6.5	Vnútorné sily - opora päta drierku.....	12
2.6.6	Vnútorné sily - krídla.....	12
3	Návrh a posúdenie lávky .....	13
3.1	Návrh a posúdenie prierezu v strede rozpätia .....	13
3.1.1	Maximálny moment + prislúchajúca normálová sila.....	13
3.1.2	Maximálna normálová sila + prislúchajúci moment.....	14
3.2	Overenie prierezu v mieste zmeny prierezu .....	15
3.2.1	Maximálny moment + prislúchajúca normálová sila.....	15
3.2.2	Maximálna normálová sila + prislúchajúci moment.....	16
3.2.3	Overenie šmykovej odolnosti v mieste zmeny prierezu.....	17
3.3	Návrh a posúdenie prierezu pri opore .....	18
3.3.1	Maximálny moment + prislúchajúca normálová sila (tlak) .....	18
3.3.2	Maximálna normálová sila (ťah) + prislúchajúci ohybový moment .....	20

3.3.3	Overenie šmykovej odolnosti prierezu pri opore.....	21
4	Návrh a výpočet spodnej stavby .....	22
4.1	Návrh a posúdenie opôr .....	22
4.1.1	Návrh a posúdenie drieku opory (rozhoduje ťah + ohyb) .....	22
4.1.2	Posúdenie opôr v päte (rozhoduje ťah+ohyb) .....	23
4.1.3	Posúdenie šmykovej odolnosti opory .....	24
4.2	Návrh a posúdenie krídiel.....	25
5	Záver .....	26

# 1 Technická správa k statickému výpočtu

## 1.1 Identifikačné údaje

**Stavba:** Rekonštrukcia miestnej komunikácie Zelený Krížok  
**Stavebný objekt:** Lávka pre peších a cyklistov ponad Trnávku  
**Druh stavby:** Novostavba

Katastrálne územie Trnava  
Okres Trnava  
Kraj Trnavský  
Parcely 9084/1, 8795/2, 8808/3

**Investor** Mesto Trnava  
Hlavná ulica 1  
917 71 Trnava

**Správca mosta** Mesto Trnava  
Hlavná ulica 1  
917 71 Trnava

**Projektant** DAQE Slovakia, s.r.o.  
Univerzitná 8498/25, 010 08 Žilina

Zodpovedný projektant: Ing. Lukáš Rolko  
kontakt na ZoP: 0908 939 806, l.rolko@gmail.com

## 1.2 Základné údaje o objekte

Druh prevádzanej komunikácie	chodník pre peších a chodník pre cyklistov
Prekážka	vodný tok, rieka Trnávka
Počet mostovkových podlaží	jednopodlažný most
Výšková poloha mostovky	horná mostovka
Meniteľnosť základnej polohy	nepohyblivý most
Doba trvania objektu	trvalý
Priebeh trasy na moste	v priamej
Situatívne usporiadanie	kolmý most
Hmotná podstata	masívny
Členitosť hlavnej nosnej konštrukcie	rámová konštrukcia
Východzia charakteristika	železobetón
Konštrukčné usporiadanie prieč. rezu kom.	otvorene usporiadaný
Obmedzenie voľnej výšky na moste	voľná výška neobmedzená
Počet dilatačných celkov	1
Dĺžka premostenia	14,75 m
Rozpätie	16,250 m
Dĺžka mosta	22,25 m
Šikmosť mosta	90 °

Šírka spevnenej časti vozovky	4,65 m
Šírka medzi zábradliami	4,65 m
Šírka ríms na moste	bez ríms a odrazných pruhov
Šírka chodníka	peší chodník šírky 1,5 m, cyklochodník šírky 2,50 m
Celková šírka	5,05 m
Výška mosta nad terénom	cca 5,50 m
Stavebná výška mosta	0,85 m
Plocha NK mosta	89 m <sup>2</sup>
Zaťaženie	normové
Dôležité upozornenia	nie sú

### 1.3 Východzie technické podklady

Ako východzie technické podklady boli uvažované:

- Obhliadka a zameranie terénu v mieste navrhovaného mosta
- Vstupné podklady a požiadavky prezentované objednávateľom
- Literatúra a výpočtové programy

### 1.4 Použité materiály

#### - nosná konštrukcia

betón C30/37: podľa STN EN 1990

$f_{ck} =$	30,0 MPa	pevnosť betónu v tlaku ( $t > 28$ dní)
$f_{ctm} =$	2,9 MPa	pevnosť betónu v ťahu
$E_{cm} =$	33000 MPa	modul pružnosti betónu
$\sigma_{cu1} =$	3,500	medzné pretvorenie betónu v tlaku
$\sigma_c =$	1,50	parciálny súčiniteľ spoľahlivosti betónu
$\sigma_{cc} =$	0,85	súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky na pevnosť betónu v tlaku
$f_{cd} =$	17,00 MPa	návrhová pevnosť betónu v tlaku

betonárska výstuž B 500 B

$f_{yk} =$	500,0 MPa	charakteristická medza klzu ocele
$E_s =$	200000 MPa	modul pružnosti ocele
$\sigma_s =$	1,15	parciálny súčiniteľ spoľahlivosti betonárskej výstuže
$f_{yd} =$	435,0 MPa	návrhová pevnosť betonárskej výstuže v ťahu aj tlaku

## 1.5 Použitá literatúra

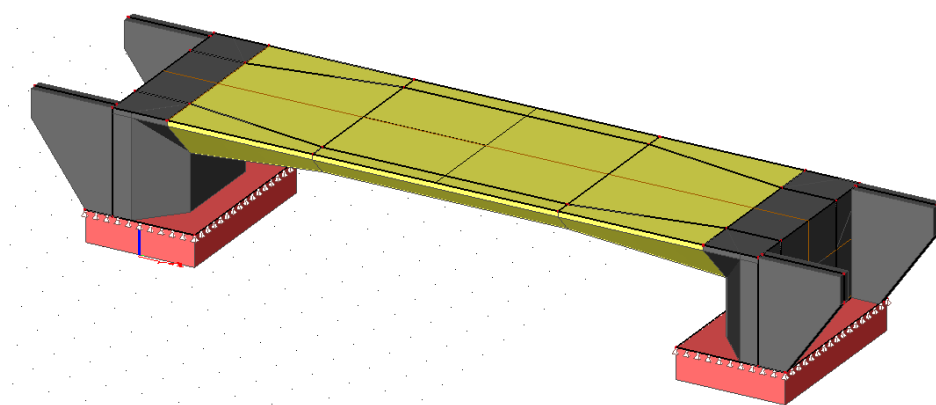
STN EN 1990 Eurokód 0: Základy navrhovania  
STN EN 1991 Eurokód 1: Zaťaženie konštrukcií  
STN EN 1992 Eurokód 2: Navrhovanie betónových konštrukcií  
STN EN 1997 Eurokód 7: Navrhovanie geotechnických konštrukcií  
TP 02/2016 ZAŤAŽITELNOSTĚ CESTNÝCH MOSTOV A LÁVOK

## 2 Výpočet vnútorných síl

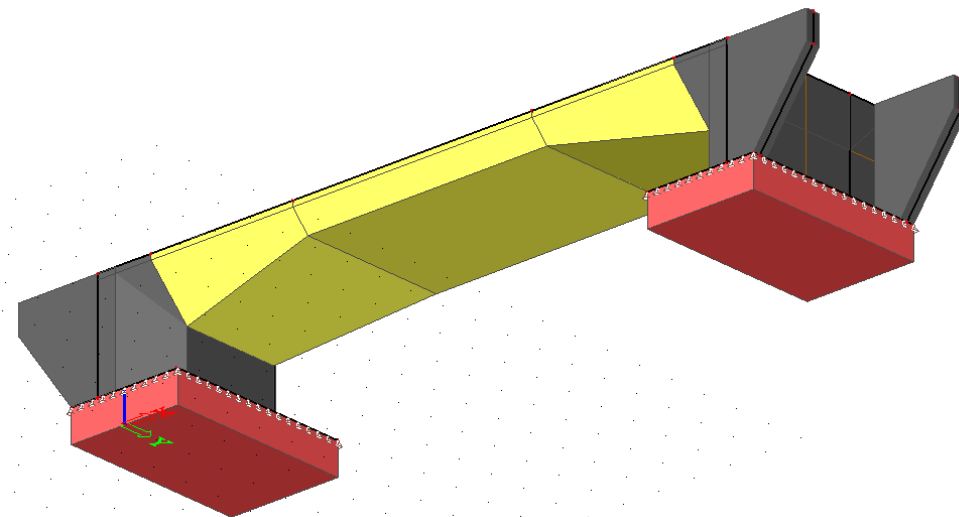
### 2.1 Úvod

Na určenie vnútorných síl bol využitý doskový výpočtový model, ktorý bol vytvorený v prostredí výpočtového programu Scia Enginner. Nosná rámová konštrukcia bola vyskladaná z viacerých doskových prvkov premennej hrúbky tak, aby čo najvernejšie vystihla skutočný tvar nosnej konštrukcie. V priečnom reze je nosná konštrukcia i opory tvorené vždy trojicou doskových prvkov. Opory sú uložené na základových blokoch ktoré sú po okrajoch podoprené klbovými líniovými podperami. Na zadných stranách opôr sú modelované votknuté krídla.

Vo výpočtovom modeli bolo uvažované so zaťažením podľa STN-EN 1991-2, a to konkrétne zaťaženie lávok pre chodcov a cyklistov. Na lávke bolo uvažované i s výskytom náhodného vozidla.



Obr. – Výpočtový doskový model - pohľad zhora



Obr. – Výpočtový doskový model - pohľad zdola

## 2.2 Výpočet zat'azenia

### Stále zat'azenie

► Predpoklady výpočtu: Zat'azenie tiahou vozovky (betónová časť a dlždená časť) uvažujem ako plošné rovnomerné vždy s intenzitou vyplivajúcou z priemernej hrúbky daného prvku.

#### Výpočet hodnoty spojitých plošných zat'azeni:

Objemové tiaže jednotlivých materiálov:

- betón  $\gamma_b := 26 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$
- vozovka  $\gamma_{voz} := 25 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$  dlaždená
- izolácia  $\gamma_{izol} := 14 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$

Dimenzie jednotlivých prvkov konštrukcie:

- Hrúbka:
- |            |   |
|------------|---|
| Vozovka    | $h_{voz} := 150 \text{ mm}$                           |
| ŽB. rímasy | $h_{rím.L} := 150 \text{ mm}$                         |
|            | $h_{rím.P} := 150 \text{ mm}$                         |
|            | $b_{voz} := 1 \text{ m} \quad s_{voz} := 1 \text{ m}$ |

Hodnoty plošných zat'azeni:

$$g_{voz} := \frac{h_{voz} \cdot b_{voz} \cdot \gamma_{voz}}{s_{voz}} = 3.75 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Zábradlie:

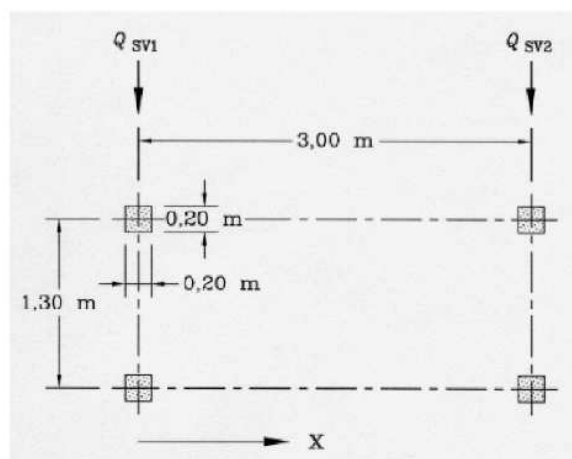
$$g_z := 0.6 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

### Premenné zat'azenie

-Predpoklad výpočtu: Na lávku budú mať prístup iba chodci.

Plošné zat'azenie chodníka (pre posúdenie konzoly):  $q_{ch} := 5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} \quad a_{q.ch} := 1.0$

Mimoriadny výskyt vozidiel na lávke pre chodcov:



$$Q_{sv.1} := 40 \text{ kN}$$

$$Q_{sv.2} := 80 \text{ kN}$$

Sily použité vo výpočtovom modeli:  $F_{sv.1} := \frac{Q_{sv.1}}{2} = 20 \text{ kN} \quad F_{sv.2} := \frac{Q_{sv.2}}{2} = 40 \text{ kN}$

$$q_{sv.1} := \frac{F_{sv.1}}{0.2 \text{ m} \cdot 0.2 \text{ m}} = 500 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} \quad q_{sv.2} := \frac{F_{sv.2}}{0.2 \text{ m} \cdot 0.2 \text{ m}} = 1000 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

## 2.3 Materiály

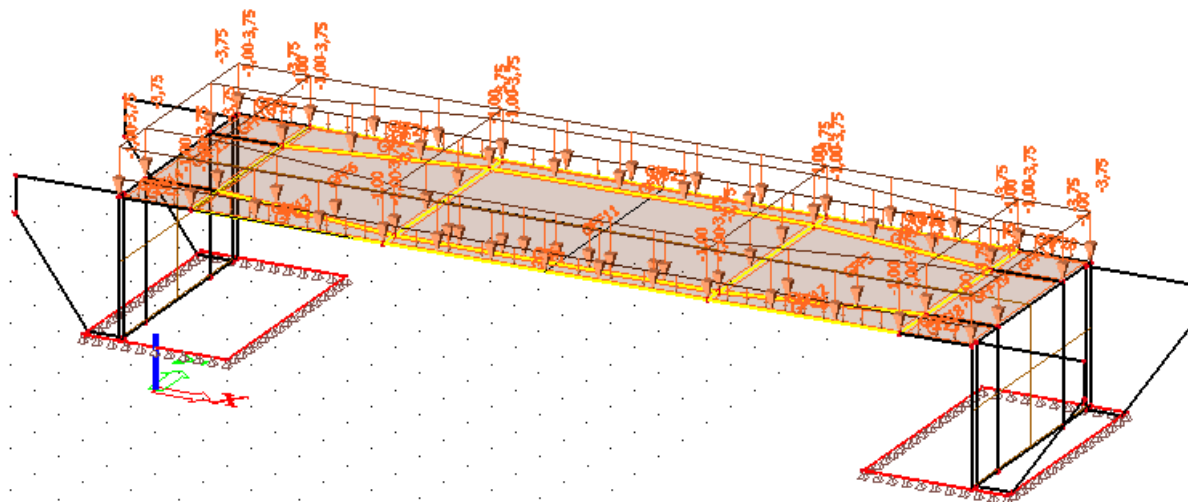
Názov	Typ	Merná hmotnosť [kg/m <sup>3</sup> ]	E modul [MPa]	Poisson - nu	G modul [MPa]	Tepel. rozťažnosť [m/mK]	Charakteristická valcová pevnosť v tlaku f <sub>ck</sub> (28) [MPa]
C30/37	Betón	2500,0	3,2800e+04	0,2	1,3667e+04	0,00	30,00

## 2.4 Zaťažovacie skupiny

Názov	Zaťaženie	Špecifikácia	Typ
LG1	Stále		
LG2	Premenné	Výberová	Zaťaženie dopravou - grl
LG3	Premenné	Výberová	Zaťaženie dopravou - Q <sub>fvk</sub>
LG4	Premenné	Výberová	Účinky teploty - Tk

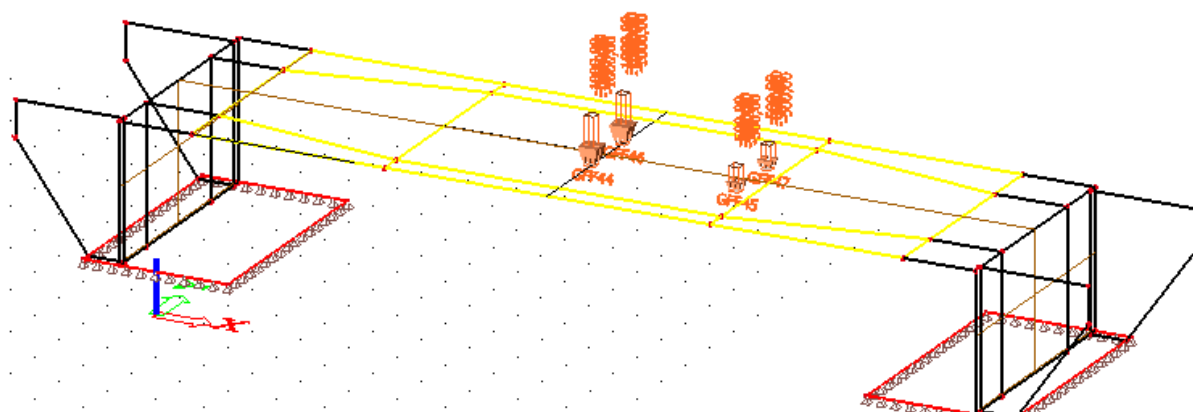
## 2.5 Zaťažovacie stavy

Názov	Typ pôsobenia	Zaťažovacia skupina	Typ zaťaženia	Spec	Smer	Dĺžka trvania	Vzorový zaťažovací stav
VLASTNÁ TIAŽ	Stále	LG1	Vlastná tiaž		-Z		
VLASTNÁ TIAŽ - NEMODELOVANE CASTI	Stále	LG1	Štandard				
CHODCI	Premenné	LG2	Statické	Štandard		Krátkodobé	Žiadny
SLUŽOBNE VOZIDLO-MAX M	Premenné	LG3	Statické	Štandard		Krátkodobé	Žiadny
SLUŽOBNE VOZIDLO-MAX V	Premenné	LG3	Statické	Štandard		Krátkodobé	Žiadny
SLUŽOBNE VOZIDLO-MAX V-PODPERA	Premenné	LG3	Statické	Štandard		Krátkodobé	Žiadny
TEPLOTA-OTEPLENIE	Premenné	LG4	Statické	Teplota			Žiadny
TEPLOTA-OCHLADENIE	Premenné	LG4	Statické	Teplota			Žiadny
TEPLOTA-NEROVNOMERNE OTEPLENIE	Premenné	LG4	Statické	Teplota			Žiadny
TEPLOTA-NEROVNOMERNE OCHLADENIE	Premenné	LG4	Statické	Teplota			Žiadny
POKLES PODPERY	Premenné	LG2	Statické	Štandard		Krátkodobé	Žiadny

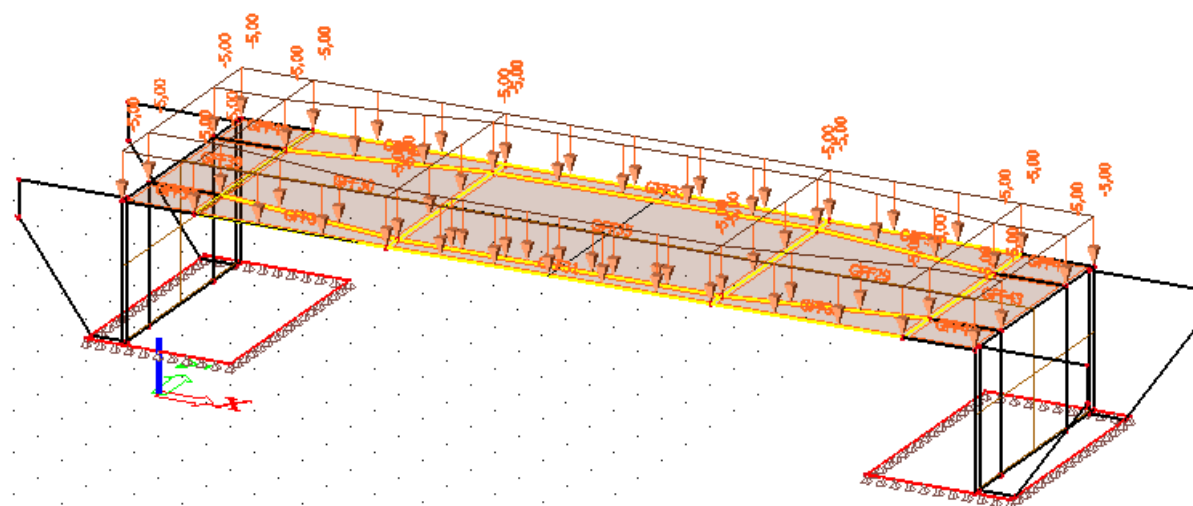


Obr. Poloha zaťaženia vlastnou tiažou vozovky, ríms a zábradlia

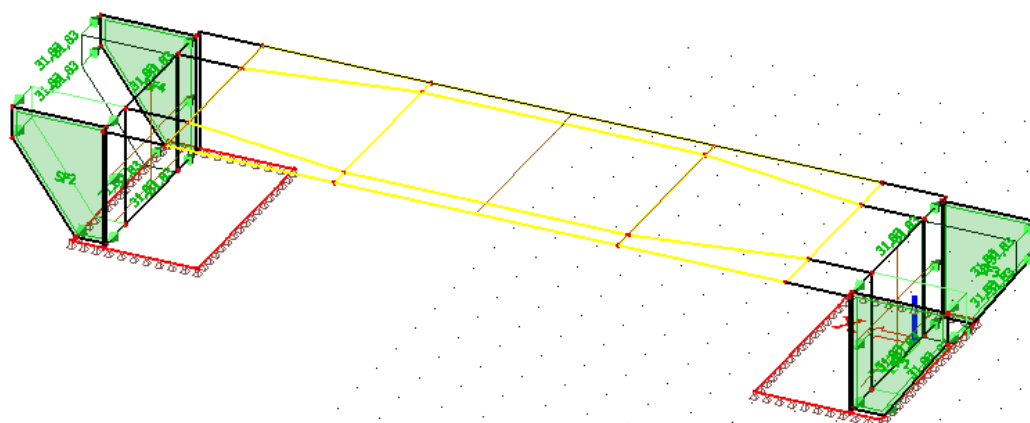




Obr. Jedna z polôh zaťažovacieho vozidla



Obr. Zaťaženie davom ľudí

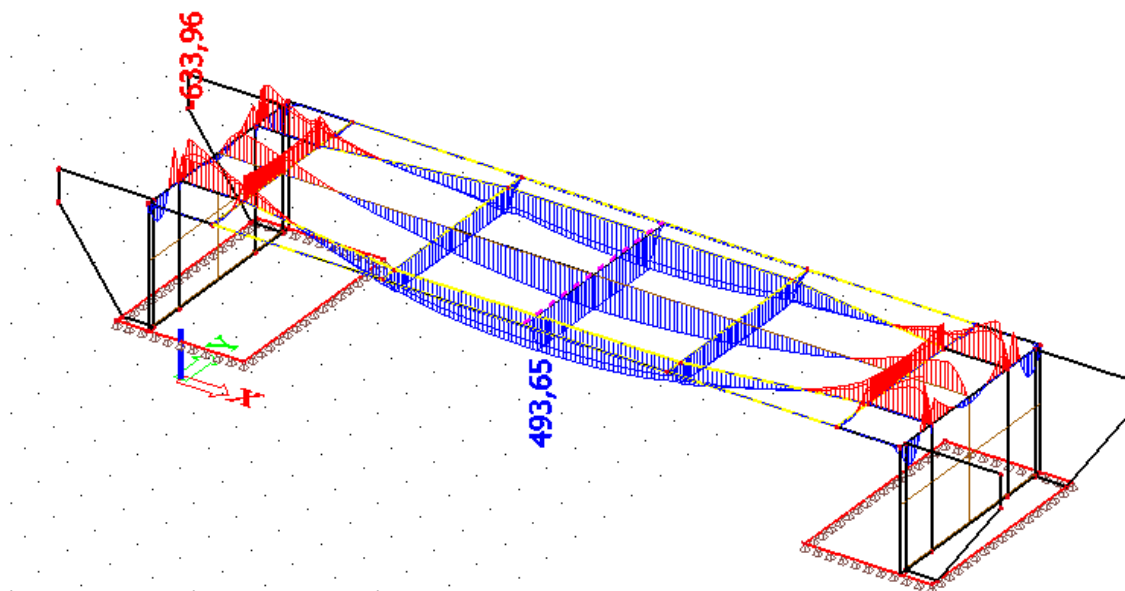


Obr. Zaťaženie krídiel (tlak zeminy + zvýšenie tlaku vplyvom pritaženia povrchu v prechodovej oblasti.

## 2.6 Rozhodujúce vnútorné sily

### 2.6.1 Vnútorné sily pre prierez v strede rozpätia

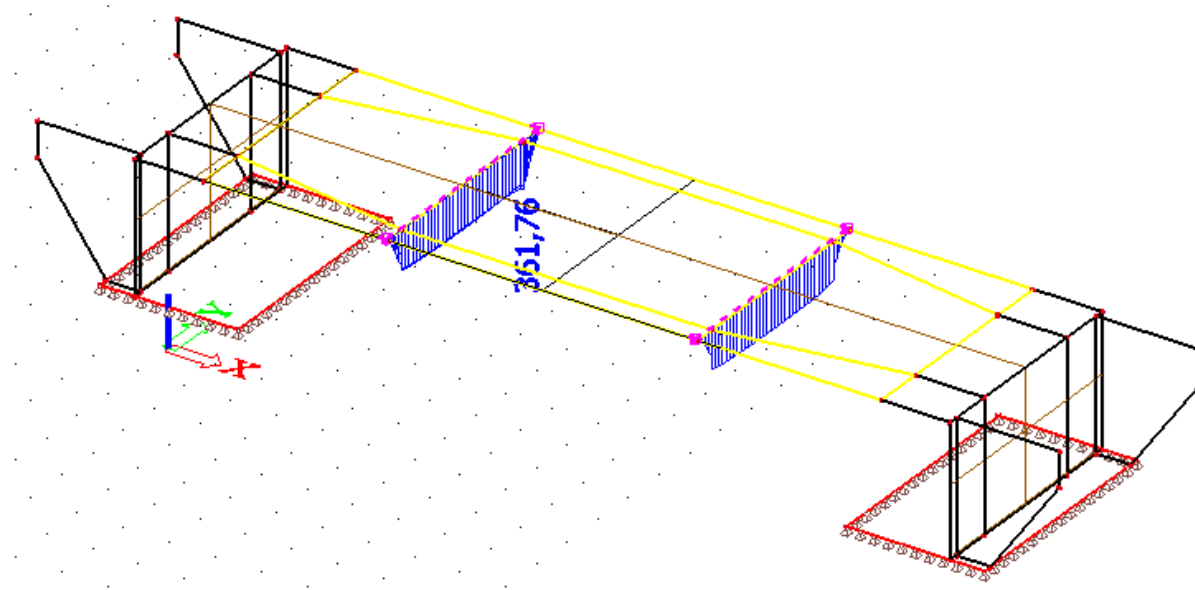
Stav	Rez	prvok	X [m]	Y [m]	Z [m]	mx [kNm/m]	vx [kN/m]	nx [kN/m]
MSU	REZ - STRED ROZPÄTIA	30949	8,125	3,670	3,700	<b>-97,03</b>	-9,15	-1063,24
MSU	REZ - STRED ROZPÄTIA	30896	8,125	0,467	3,700	<b>491,49</b>	3,68	442,40
MSU	REZ - STRED ROZPÄTIA	30919	8,125	1,857	3,700	-96,41	<b>-23,07</b>	-1062,15
MSU	REZ - STRED ROZPÄTIA	30940	8,125	3,126	3,700	483,88	<b>11,16</b>	455,30
MSU	REZ - STRED ROZPÄTIA	35987	8,125	0,467	3,700	-83,88	-9,90	<b>-1460,70</b>
MSU	REZ - STRED ROZPÄTIA	30961	8,125	4,456	3,700	491,06	7,17	<b>499,58</b>



Obáľkový priebeh ohybových momentov – obálka maximum

### 2.6.2 Vnútorné sily v mieste zmeny prierezu

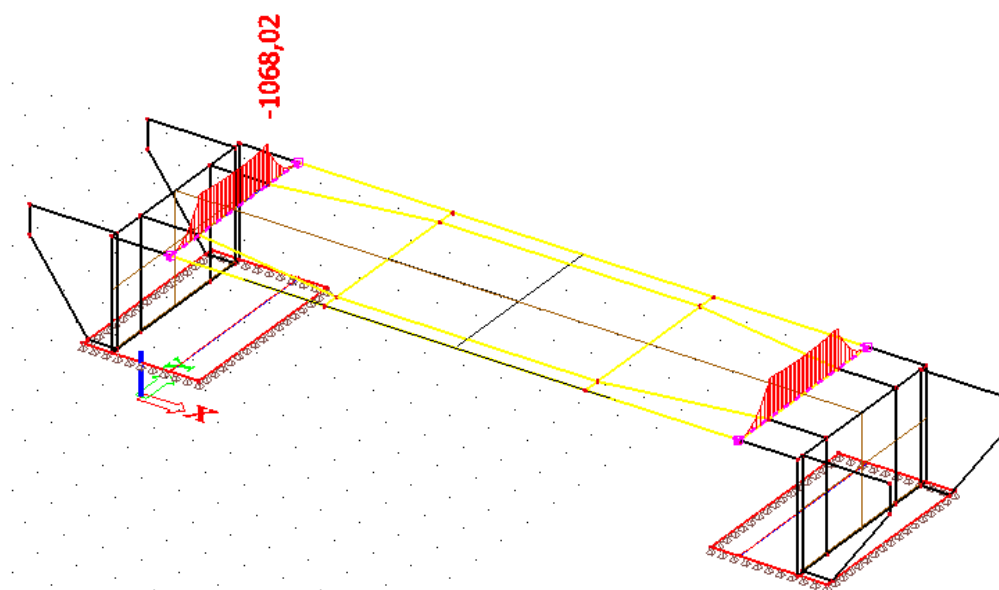
Stav	Rez	prvok	X [m]	Y [m]	Z [m]	mx [kNm/m]	vx [kN/m]	nx [kN/m]
MSU	REZ-ZMENA PRIEREZU 1	26539	4,750	4,456	3,700	<b>-276,84</b>	94,89	<b>-1512,72</b>
MSU	REZ-ZMENA PRIEREZU 1	26539	4,750	4,456	3,700	<b>358,69</b>	199,38	<b>492,16</b>
MSU	REZ-ZMENA PRIEREZU 2	36590	11,490	0,415	3,700	-124,97	<b>-244,27</b>	-799,88
MSU	REZ-ZMENA PRIEREZU 1	35384	4,750	0,415	3,700	181,59	<b>245,34</b>	-405,35



Obáľkový priebeh ohybových momentov – obálka maximum

### 2.6.3 Vnútorne sily nosnej konštrukcie pri opore

Stav	Rez	prvok	X [m]	Y [m]	Z [m]	mx [kNm/m]	vx [kN/m]	nx [kN/m]
MSU	REZ- N.K. PRI OPORE	11962	0,760	3,770	3,700	<b>-1098,39</b>	182,37	-1781,74
MSU	REZ- N.K. PRI OPORE	25238	15,490	4,509	3,700	<b>38,84</b>	52,74	92,34
MSU	REZ- N.K. PRI OPORE	18360	15,490	3,280	3,700	-1007,53	<b>-435,53</b>	-1673,47
MSU	REZ- N.K. PRI OPORE	12772	0,760	3,362	3,700	-294,66	<b>440,71</b>	425,61
MSU	REZ- N.K. PRI OPORE	17146	0,760	1,115	3,700	-1049,53	188,13	<b>-2225,07</b>
MSU	REZ- N.K. PRI OPORE	11881	0,760	3,811	3,700	-459,09	402,81	<b>1137,14</b>



Obáľkový priebeh ohybových momentov – obálka minimum

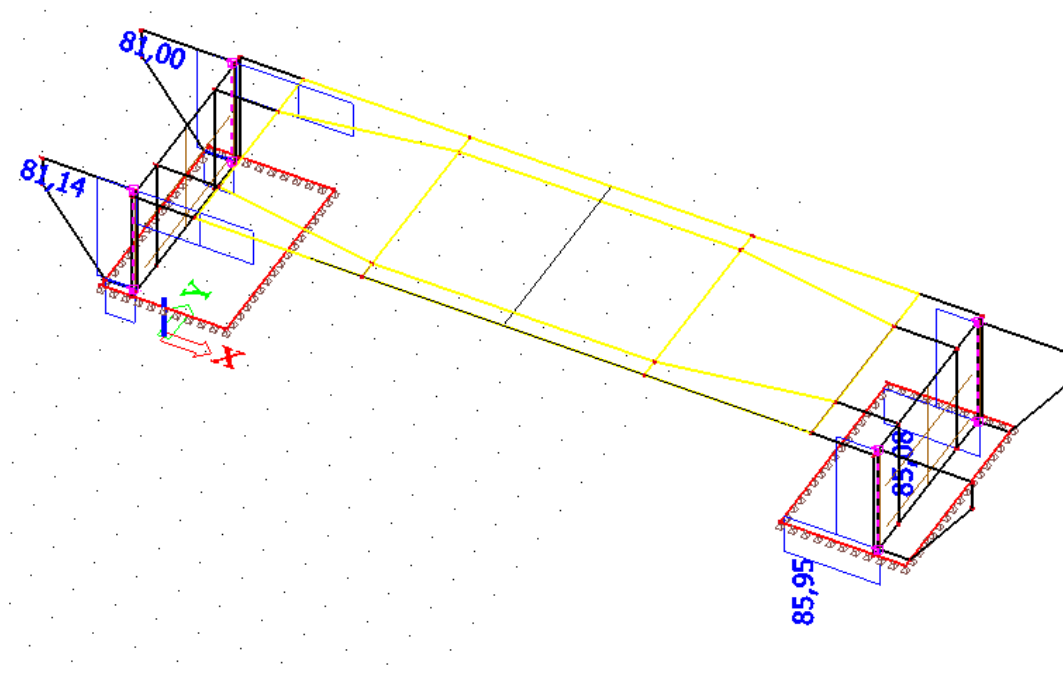
## 2.6.4 Vnútorne sily - opora driek

Stav	Rez	prvok	X [m]	Y [m]	Z [m]	mx [kNm/m]	vx [kN/m]	nx [kN/m]
MSU	REZ - DRIEK OPORY 2	51411	17,000	4,500	2,400	<b>-573,37</b>	-151,36	-1464,98
MSU	REZ - DRIEK OPORY 1	44162	-0,750	0,500	2,400	<b>805,99</b>	149,74	989,25
MSU	REZ - DRIEK OPORY 1	44162	-0,750	0,500	2,400	-335,14	<b>-153,02</b>	<b>-1465,71</b>
MSU	REZ - DRIEK OPORY 2	51411	17,000	4,500	2,400	570,08	<b>152,08</b>	<b>991,99</b>

## 2.6.5 Vnútorne sily - opora päta drieku

Stav	Rez	prvok	X [m]	Y [m]	Z [m]	mx [kNm/m]	vx [kN/m]	nx [kN/m]
MSU	REZ-PÁTA OPORY 1	55239	17,000	0,600	1,200	<b>-877,45</b>	-229,65	<b>-530,37</b>
MSU	REZ-PÁTA OPORY	43632	-0,750	0,600	1,200	<b>876,43</b>	225,75	<b>1421,15</b>
MSU	REZ-PÁTA OPORY	43632	-0,750	0,600	1,200	-101,25	<b>-244,38</b>	-523,94
MSU	REZ-PÁTA OPORY 1	55239	17,000	0,600	1,200	100,72	<b>239,00</b>	1418,68

## 2.6.6 Vnútorne sily - krídla



Obáľkový priebeh ohybových momentov na krídlach

### 3 Návrh a posúdenie lávky

#### 3.1 Návrh a posúdenie prierezu v strede rozpätia

##### 3.1.1 Maximálny moment + prislúchajúca normálová sila

Zadané veličiny							
betón	C 30/37	c (mm)	63	$\Delta c_{dev}$ (mm)	10	$n_{11} = n_{21}$ (ks)	6,67
oceľ	Bst 500B	$c_{min,b}$ (mm)	20	$\emptyset$ (mm)	25	$n_{12} = n_{22}$ (ks)	0,00
$g_c$	1,50	$c_{min,dur}$ (mm)	20	$\emptyset_{st}$ (mm)	10	a (mm)	100
$g_s$	1,15	$\Delta c_{dur,g}$ (mm)	10	b (m)	1,000		
$N_{Ed}$ (kN)	500,000	$\Delta c_{dur,st}$ (mm)	0	h (m)	0,650		
$M_{Ed}$ (kNm)	492,000	$\Delta c_{dur,add}$ (mm)	0	h	1,00		

##### Krytie výstuže a plocha hlavnej výstuže

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10)$$

$$c_{min} = 30 \text{ mm}$$



$$c_{st} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{st} = 40 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{st} + \emptyset_{st}$$

$$c_{nom} = 50 \text{ mm}$$

$$c \geq c_{nom}$$

$$c \geq 50 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

$$d_1 = 0,076 \text{ m}$$

$$d_2 = 0,076 \text{ m}$$

$$d = h - d_1$$

$$d = 0,575 \text{ m}$$

$$A_{s1} = (n_{11} + n_{12}) \cdot \pi \cdot \emptyset^2/4$$

$$A_{s1} = 3,27E-03 \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = (n_{21} + n_{22}) \cdot \pi \cdot \emptyset^2/4$$

$$A_{s2} = 3,27E-03 \text{ m}^2$$



$$f_{cd} = f_{ck}/g_c$$

$$f_{cd} = 20,000 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/g_s$$

$$f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$$



$$N_{Rdt,lim} = A_{s1} \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rdt,lim} = 1394,365 \text{ kN}$$



$$N_{Ed} \geq N_{Rdt,lim}$$

$$N_{Ed} \geq 1394,365 \text{ kN}$$

NEVYHOVUJE



$$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,003 \cdot b \cdot h$$

$$A_{s1} + A_{s2} \geq 1,95E-03$$

VYHOVUJE

$$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,075 \cdot N_{Ed}/f_{yk}$$

$$A_{s1} + A_{s2} \geq 7,65E-05$$

VYHOVUJE

$$A_{s1} + A_{s2} \leq 0,06 \cdot b \cdot h$$

$$A_{s1} + A_{s2} \leq 3,90E-02$$

VYHOVUJE



$$N_{Rdt,0} = (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rdt,0} = 2788,730 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt,lim} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1$$

$$M_{Rdt,lim} = 347,894 \text{ kNm}$$

##### Moment únosnosti

$$M_{Rd} = M_{Rdt,lim}/(N_{Rdt,0} - N_{Rdt,lim}) \cdot (N_{Rdt,0} - N_{Ed})$$

$$M_{Rd} = 571,038 \text{ kNm}$$



$$N_{Ed} \leq N_{Rdt,0}$$

$$N_{Ed} \leq 2788,730 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$M_{Ed} \leq 571,038 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

Percentuálne využitie prierezu 86,16 %

### 3.1.2 Maximálna normálová sila + prislúchajúci moment

Zadané veličiny							
betón	C 30/37	c (mm)	63	$\Delta c_{dev}$ (mm)	5	$n_{11} = n_{21}$ (ks)	6,67
oceľ	B 500B	$c_{min,b}$ (mm)	22	$\emptyset$ (mm)	25	$n_{12} = n_{22}$ (ks)	0,00
$g_c$	1,50	$c_{min,dur}$ (mm)	20	$\emptyset_{st}$ (mm)	12	a (mm)	150
$g_s$	1,15	$\Delta c_{dur,g}$ (mm)	0	b (m)	1,000		
$N_{Ed}$ (kN)	1461,000	$\Delta c_{dur,st}$ (mm)	0	h (m)	0,650		
$M_{Ed}$ (kNm)	84	$\Delta c_{dur,add}$ (mm)	0	h	1,00		

#### Krytie výstuže a plocha hlavnej výstuže

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10)$$

$$c_{min} = 22 \text{ mm}$$



$c_{st} = c_{min} + \Delta c_{dev}$	$c_{st} = 27$	mm	
$c_{nom} = c_{st} + \emptyset_{st}$	$c_{nom} = 39$	mm	
$c \geq c_{nom}$	$c \geq 39$	mm	VYHOVUJE
	$d_1 = 0,076$	m	
	$d_2 = 0,076$	m	
$d = h - d_1$	$d = 0,575$	m	
$A_{s1} = (n_{11} + n_{12}) \cdot \pi \cdot \emptyset^2/4$	$A_{s1} = 3,27E-03$	m <sup>2</sup>	
$A_{s2} = (n_{21} + n_{22}) \cdot \pi \cdot \emptyset^2/4$	$A_{s2} = 3,27E-03$	m <sup>2</sup>	



$f_{cd} = f_{ck}/g_c$	$f_{cd} = 20,000$	MPa
$f_{yd} = f_{yk}/g_s$	$f_{yd} = 426,087$	MPa



$x_{lim,1} = 700/(700 + f_{yd})$	$x_{lim,1} = 0,6216$
$x_{lim,2} = 700/(700 - f_{yd})$	$x_{lim,2} = 2,5556$



$x_{lim,1} \geq x_{lim,2} \cdot d_2/d \rightarrow$	$s_{s2} = 426,087$	MPa
--	--------------------	-----



$N_{Rd,lim} = l \cdot x_{lim,1} \cdot b \cdot d \cdot h \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot s_{s2} - A_{s1} \cdot f_{yd}$
$N_{Rd,lim} = 5713,946 \text{ kN}$



$N_{Ed} > N_{Rd,lim}$	$N_{Ed} > 5713,946$	kN	NEVYHOVUJE
-----------------------	---------------------	----	------------



$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,003 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \geq 1,95E-03$	VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,075 \cdot N_{Ed}/f_{yk}$	$A_{s1} + A_{s2} \geq 2,24E-04$	VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \leq 0,06 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \leq 3,90E-02$	VYHOVUJE



$N_{Rd,0} = l \cdot b \cdot h \cdot h \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd}$
$N_{Rd,0} = 13188,705 \text{ kN}$

$$M_{Rd,lim} = l \cdot x_{lim,1} \cdot b \cdot d \cdot h \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - l \cdot x_{lim,1} \cdot d) + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2$$

$$M_{Rd,lim} = 1736,585 \quad \text{kNm}$$

### Moment únosnosti

$$M_{Rd} = M_{Rd,lim} / (N_{Rd,0} - N_{Rd,lim}) \cdot (N_{Rd,0} - N_{Ed})$$

$$M_{Rd} = 2724,657 \quad \text{kNm}$$



$N_{Ed} \leq N_{Rd,0}$	$N_{Ed} \leq$	13188,705	kN	VYHOVUJE
$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	$M_{Ed} \leq$	2724,657	kNm	VYHOVUJE

Percentuálne využitie prierezu	11,08	%
--------------------------------	-------	---

## 3.2 Overenie prierezu v mieste zmeny prierezu

### 3.2.1 Maximálny moment + prislúchajúca normálová sila

Zadané veličiny							
betón	C 25/30	c (mm)	63	$\Delta c_{dev}$ (mm)	10	$n_{11} = n_{21}$ (ks)	6,67
oceľ	Bst 500B	$c_{min,b}$ (mm)	20	$\emptyset$ (mm)	25	$n_{12} = n_{22}$ (ks)	0,00
$g_c$	1,50	$c_{min,dur}$ (mm)	20	$\emptyset_{st}$ (mm)	10	a (mm)	100
$g_s$	1,15	$\Delta c_{dur,g}$ (mm)	10	b (m)	1,000		
$N_{Ed}$ (kN)	492,000	$\Delta c_{dur,st}$ (mm)	0	h (m)	0,650		
$M_{Ed}$ (kNm)	359,000	$\Delta c_{dur,add}$ (mm)	0	h	1,00		

### Krytie výstuže a plocha hlavnej výstuže

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10)$$

$$c_{min} = 30 \quad \text{mm}$$



$c_{st} = c_{min} + \Delta c_{dev}$	$c_{st} =$	40	mm	
$c_{nom} = c_{st} + \emptyset_{st}$	$c_{nom} =$	50	mm	
$c \geq c_{nom}$	$c \geq$	50	mm	VYHOVUJE
	$d_1 =$	0,076	m	
	$d_2 =$	0,076	m	
$d = h - d_1$	$d =$	0,575	m	
$A_{s1} = (n_{11} + n_{12}) \cdot \pi \cdot \emptyset^2 / 4$	$A_{s1} =$	3,27E-03	m <sup>2</sup>	
$A_{s2} = (n_{21} + n_{22}) \cdot \pi \cdot \emptyset^2 / 4$	$A_{s2} =$	3,27E-03	m <sup>2</sup>	



$f_{cd} = f_{ck} / g_c$	$f_{cd} =$	16,667	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / g_s$	$f_{yd} =$	426,087	MPa



$N_{Rdt,lim} = A_{s1} \cdot f_{yd}$	$N_{Rdt,lim} =$	1394,365	kN
-------------------------------------	-----------------	----------	----



$N_{Ed} \geq N_{Rdt,lim}$	$N_{Ed} \geq$	1394,365	kN	NEVYHOVUJE
---------------------------	---------------	----------	----	------------



$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,003 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \geq$	1,95E-03	VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,075 \cdot N_{Ed} / f_{yk}$	$A_{s1} + A_{s2} \geq$	7,53E-05	VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \leq 0,06 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \leq$	3,90E-02	VYHOVUJE

$N_{Rdt,0} = (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd}$	$N_{Rdt,0} =$	2788,730	kN
$M_{Rdt,lim} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1$	$M_{Rdt,lim} =$	347,894	kNm

#### Moment únosnosti

$M_{Rd} = M_{Rdt,lim}/(N_{Rdt,0} - N_{Rdt,lim}).(N_{Rdt,0} - N_{Ed})$		
$M_{Rd} =$	573,034	kNm

$N_{Ed} \leq N_{Rdt,0}$	$N_{Ed} \leq$	2788,730	kN	VYHOVUJE
$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	$M_{Ed} \leq$	573,034	kNm	VYHOVUJE

Percentuálne využitie prierezu	62,65	%
--------------------------------	-------	---

### 3.2.2 Maximálna normálová sila + prislúchajúci moment

Zadané veličiny							
betón	C 30/37	c (mm)	63	$\Delta c_{dev}$ (mm)	5	$n_{11} = n_{21}$ (ks)	6,67
ocel	B 500B	$c_{min,b}$ (mm)	22	$\emptyset$ (mm)	25	$n_{12} = n_{22}$ (ks)	0,00
$g_c$	1,50	$c_{min,dur}$ (mm)	20	$\emptyset_{st}$ (mm)	12	a (mm)	150
$g_s$	1,15	$\Delta c_{dur,g}$ (mm)	0	b (m)	1,000		
$N_{Ed}$ (kN)	1513,000	$\Delta c_{dur,st}$ (mm)	0	h (m)	0,650		
$M_{Ed}$ (kNm)	277	$\Delta c_{dur,add}$ (mm)	0	h	1,00		

#### Krytie výstuže a plocha hlavnej výstuže

$c_{\min} = \max (c_{\min,b}; c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10)$		
$c_{\min} =$	22	mm

$c_{st} = c_{min} + \Delta c_{dev}$	$c_{st} =$	27	mm	VYHOVUJE
$c_{nom} = c_{st} + \varnothing_{st}$	$c_{nom} =$	39	mm	
$c \geq c_{nom}$	$c \geq$	39	mm	
	$d_1 =$	0,076	m	
	$d_2 =$	0,076	m	
$d = h - d_1$	$d =$	0,575	m	
$A_{s1} = (n_{11} + n_{12}) \cdot \pi \cdot \varnothing^2/4$	$A_{s1} =$	3,27E-03	m <sup>2</sup>	
$A_{s2} = (n_{21} + n_{22}) \cdot \pi \cdot \varnothing^2/4$	$A_{s2} =$	3,27E-03	m <sup>2</sup>	

$f_{cd} = f_{ck}/g_c$	$f_{cd} =$	20,000	MPa
$f_{yd} = f_{yk}/g_s$	$f_{yd} =$	426,087	MPa

$x_{lim,1} = 700/(700 + f_{yd})$	$x_{lim,1} =$	0,6216
$x_{lim,2} = 700/(700 - f_{yd})$	$x_{lim,2} =$	2,5556

$x_{lim,1} \geq x_{lim,2} \cdot d_2/d \rightarrow$	$s_{s2} =$	426,087	MPa
--	------------	---------	-----

$N_{Rd,lim} = l \cdot x_{lim,1} \cdot b \cdot d \cdot h \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot s_{s2} - A_{s1} \cdot f_{yd}$		
$N_{Rd,lim} =$	5713,946	kN



$N_{Ed} > N_{Rd,lim}$	$N_{Ed} >$	5713,946	kN	NEVYHOVUJE
▼				
$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,003 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \geq$	1,95E-03		VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,075 \cdot N_{Ed}/f_{yk}$	$A_{s1} + A_{s2} \geq$	2,32E-04		VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \leq 0,06 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \leq$	3,90E-02		VYHOVUJE
▼				
$N_{Rd,0} = l \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd}$				
$N_{Rd,0} =$ 13188,705 kN				
$M_{Rd,lim} = l \cdot x_{lim,l} \cdot b \cdot d \cdot h \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - l \cdot x_{lim,l} \cdot d) + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2$				
$M_{Rd,lim} =$ 1736,585 kNm				
<b>Moment únosnosti</b>				
$M_{Rd} = M_{Rd,lim}/(N_{Rd,0} - N_{Rd,lim}) \cdot (N_{Rd,0} - N_{Ed})$				
$M_{Rd} =$ 2712,576 kNm				
▼				
$N_{Ed} \leq N_{Rd,0}$	$N_{Ed} \leq$	13188,705	kN	VYHOVUJE
$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	$M_{Ed} \leq$	2712,576	kNm	VYHOVUJE
Percentuálne využitie prierezu				
11,47 %				

### 3.2.3 Overenie šmykovej odolnosti v mieste zmeny prierezu

Zadané veličiny							
betón	C 30/37	$\gamma_c$	1,50	b (m)	1,000	$V_{Ed}$ (kN)	246,000
hl.výstuž	B 500B	$\gamma_s$	1,15	h (m)	0,650	$N_{Ed}$ (kN)	0,000
š. výstuž	B 500B	$s_{st}$ (mm)	400	d (m)	0,550	$\theta$ (°)	38
$\emptyset_{st}$ (mm)	10	s (mm)	300	$n_s$	4,0	$\alpha$ (°)	90

$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$	$f_{cd} =$	20,000	MPa
$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$	$f_{yd} =$	426,087	MPa
$f_{ywd} = f_{ywk}/\gamma_s$	$f_{ywd} =$	426,087	MPa

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/(b \cdot h)$	$\sigma_{cp} =$	0,000	MPa
------------------------------------	-----------------	-------	-----

#### Súčiniteľ zohľadňujúci napätostný stav v tlačnom páse

$\sigma_{cp} \leq 0$	$\rightarrow \alpha_{cw} = 1,00$
$0 < \sigma_{cp} \leq 0,25 \cdot f_{cd}$	$\rightarrow \alpha_{cw} = 1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$
$0,25 \cdot f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0,5 \cdot f_{cd}$	$\rightarrow \alpha_{cw} = 1,25$
$0,5 \cdot f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 1,0 \cdot f_{cd}$	$\rightarrow \alpha_{cw} = 2,5 \cdot (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$

$\alpha_{cw} =$	1,00
$z = 0,9 \cdot d$	$z =$ 0,495 m

#### Súčiniteľ redukcie pevnosti betónu s trhlinami v šmyku

Ak $f_{ywd} \leq 0,8 \cdot f_{yd}$ a zároveň $f_{ck} \leq 60,0$ Mpa	$\rightarrow v = 0,6$
Ak $f_{ywd} > 0,8 \cdot f_{yd}$ a zároveň $f_{ck} \leq 60,0$ Mpa	$\rightarrow v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck}/250)$
Ak $f_{ck} > 60,0$ MPa	$\rightarrow v = 0,9 - f_{ck}/200 \geq 0,5$

#### Šmyková odolnosť tlačného betónu

		$v =$	0,53		
Ak $\alpha = 90^\circ$		$\rightarrow V_{Rd,max} =$	$\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}/(\cotg\theta + \tan\theta)$		
Ak $\alpha \neq 90^\circ$		$\rightarrow V_{Rd,max} =$	$\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}((\cotg\theta + \cotg\alpha)/(1+\cotg^2\theta))$		
▼					
		$V_{Rd,max} =$	2535,965	kN	
$V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$		$V_{Rd,max} \geq$	246,000	kN	VYHOVUJE
<b><u>Plocha šmykovej výstuže</u></b>					
$A_{sw} = n_s \cdot \pi \cdot \varnothing_{st}^2/4$		$A_{sw} =$	3,14E-04	m <sup>2</sup>	
▼					
$s \leq 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg\alpha)$		$s \leq$	413	mm	VYHOVUJE
		$s \leq$	400	mm	VYHOVUJE
$s_{st} \leq 0,75 \cdot d$		$s_{st} \leq$	413	mm	VYHOVUJE
		$s_{st} \leq$	600	mm	VYHOVUJE
<b><u>Únosnosť šmykovej výstuže</u></b>					
Ak $\alpha = 90^\circ$		$\rightarrow V_{Rd,s} =$	$A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg\theta$		
Ak $\alpha \neq 90^\circ$		$\rightarrow V_{Rd,s} =$	$A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cotg\theta + \cotg\alpha) \cdot \sin\alpha$		
<b><u>Stupeň šmykového vystuženia</u></b>					
$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot (f_{ck})^{0,5}/f_{ywk}$		$\rho_{w,min} =$	0,0009		
$\rho_w = A_{sw}/(b \cdot s \cdot \sin\alpha)$		$\rho_w =$	0,0010		
$\rho_w \geq \rho_{w,min}$		$\rho_w \geq$	0,0009	VYHOVUJE	
<b><u>Posudok únosnosti</u></b>					
		$V_{Rd,s} =$	282,698	kN	
$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$		$V_{Ed} \leq$	282,698	kN	VYHOVUJE
$V_{Rd,s} \leq V_{Rd,max}$		$V_{Rd,s} \leq$	2535,965	kN	VYHOVUJE
Percentuálne využitie prierezu			87,02	%	

### 3.3 Návrh a posúdenie prierezu pri opore

#### 3.3.1 Maximálny moment + prislúchajúca normálová sila (tlak)

Zadané veličiny							
betón	C 30/37	c (mm)	55	$\Delta c_{dev}$ (mm)	10	n <sub>11</sub> (ks)	6,67
oceľ	Bst 500B	c <sub>min,b</sub> (mm)	25	$\varnothing_1$ (mm)	25	n <sub>21</sub> (ks)	6,67
$g_c$	1,50	c <sub>min,dur</sub> (mm)	20	$\varnothing_2$ (mm)	16	n <sub>12</sub> (ks)	0,00
$g_s$	1,15	$\Delta c_{dur,g}$ (mm)	0	$\varnothing_{st}$ (mm)	12	n <sub>22</sub> (ks)	0,00
N <sub>Ed</sub> (kN)	1782,000	$\Delta c_{dur,st}$ (mm)	0	b (m)	1,000	a (mm)	150
M <sub>Ed</sub> (kNm)	1099,000	$\Delta c_{dur,add}$ (mm)	0	h (m)	1,300	h	1,00

#### Krytie výstuže a plocha hlavnej výstuže

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10)$$

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

$c_{st} = c_{min} + \Delta c_{dev}$	$c_{st} =$	35	mm	
$c_{nom} = c_{st} + \varnothing_{st}$	$c_{nom} =$	47	mm	
$c \geq c_{nom}$	$c \geq$	47	mm	VYHOVUJE
	$d_1 =$	0,068	m	
	$d_2 =$	0,063	m	
$d = h - d_1$	$d =$	1,233	m	
$A_{s1} = (n_{11} + n_{12}) \cdot \pi \cdot \varnothing^2/4$	$A_{s1} =$	3,27E-03	m <sup>2</sup>	
$A_{s2} = (n_{21} + n_{22}) \cdot \pi \cdot \varnothing^2/4$	$A_{s2} =$	1,34E-03	m <sup>2</sup>	
▼				
$f_{cd} = f_{ck}/g_c$	$f_{cd} =$	20,000	MPa	
$f_{yd} = f_{yk}/g_s$	$f_{yd} =$	426,087	MPa	
▼				
$x_{lim,1} = 700/(700 + f_{yd})$	$x_{lim,1} =$	0,6216		
$x_{lim,2} = 700/(700 - f_{yd})$	$x_{lim,2} =$	2,5556		
▼				
$x_{lim,1} \geq x_{lim,2} \cdot d_2/d \rightarrow$	$s_{s2} =$	426,087	MPa	
▼				
$N_{Rd,lim} = l \cdot x_{lim,1} \cdot b \cdot d \cdot h \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot s_{s2} - A_{s1} \cdot f_{yd}$				
$N_{Rd,lim} =$	11435,153	kN		
▼				
$N_{Ed} \leq N_{Rd,lim}$	$N_{Ed} \leq$	11435,153	kN	VYHOVUJE
<b><u>Výška tlačenej vrstvy</u></b>				
	$s_{s2} =$	426,087	MPa	ITERÁCIA
▼				
$x = (N_{Ed} - A_{s2} \cdot s_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd})/(l \cdot b \cdot h \cdot f_{cd})$				
$x =$	0,163	m		
<b><u>Konstruktívne zásady</u></b>				
$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,003 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \geq$	3,90E-03		VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,075 \cdot N_{Ed}/f_{yk}$	$A_{s1} + A_{s2} \geq$	2,73E-04		VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \leq 0,06 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \leq$	7,80E-02		VYHOVUJE
$A_{s1} > A_{s2}$	$A_{s1} >$	1,34E-03		VYHOVUJE
<b><u>Moment únosnosti</u></b>				
$M_{Rd} = l \cdot b \cdot x \cdot h \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - l \cdot x) + A_{s2} \cdot s_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1$				
$M_{Rd} =$	2671,178	kNm		
▼				
$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	$M_{Ed} \leq$	2671,178	kNm	VYHOVUJE
Percentuálne využitie prierezu			41,14	%

### 3.3.2 Maximálna normálová sila (t'ah) + prislúchajúci ohybový moment

Zadané veličiny							
betón	C 30/37	c (mm)	63	$\Delta c_{dev}$ (mm)	10	$n_{11}$ (ks)	6,67
oceľ	Bst 500B	$c_{min,b}$ (mm)	20	$\emptyset_1$ (mm)	25	$n_{21}$ (ks)	6,67
$g_c$	1,50	$c_{min,dur}$ (mm)	20	$\emptyset_2$ (mm)	16	$n_{12}$ (ks)	0,00
$g_s$	1,15	$\Delta c_{dur,g}$ (mm)	0	$\emptyset_{st}$ (mm)	12	$n_{22}$ (ks)	0,00
$N_{Ed}$ (kN)	1137,000	$\Delta c_{dur,st}$ (mm)	0	b (m)	1,000	a (mm)	150
$M_{Ed}$ (kNm)	459,000	$\Delta c_{dur,add}$ (mm)	0	h (m)	1,300	<b>h</b>	1,00

#### Krytie výstuže a plocha hlavnej výstuže

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10)$$

$$c_{min} = 20 \text{ mm}$$



$$c_{st} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{st} = 30 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{st} + \emptyset_{st}$$

$$c_{nom} = 42 \text{ mm}$$

$$c \geq c_{nom}$$

$$c \geq 42 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$d_1 = 0,076 \text{ m}$$

$$d_2 = 0,071 \text{ m}$$

$$d = h - d_1$$

$$d = 1,225 \text{ m}$$

$$A_{s1} = (n_{11} + n_{12}) \cdot \pi \cdot \emptyset^2/4$$

$$A_{s1} = 3,27E-03 \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = (n_{21} + n_{22}) \cdot \pi \cdot \emptyset^2/4$$

$$A_{s2} = 1,34E-03 \text{ m}^2$$



$$f_{cd} = f_{ck}/g_c$$

$$f_{cd} = 20,000 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/g_s$$

$$f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$$



$$N_{Rdt,lim} = A_{s1} \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rdt,lim} = 1394,365 \text{ kN}$$



$$N_{Ed} < N_{Rdt,lim}$$

$$N_{Ed} < 1394,365 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

#### Výška tlačenej vrstvy

$$s_{s2} = 192,006 \text{ MPa} \quad \text{ITERÁCIA}$$



$$x = (-N_{Ed} - A_{s2} \cdot s_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd}) / (l \cdot b \cdot h \cdot f_{cd})$$

$$x = 0,000 \text{ m}$$

#### Konstruktívne zásady

$$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,003 \cdot b \cdot h$$

$$A_{s1} + A_{s2} \geq 3,90E-03 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,075 \cdot N_{Ed}/f_{yk}$$

$$A_{s1} + A_{s2} \geq 1,74E-04 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s1} + A_{s2} \leq 0,06 \cdot b \cdot h$$

$$A_{s1} + A_{s2} \leq 7,80E-02 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s1} > A_{s2}$$

$$A_{s1} > 1,34E-03 \quad \text{VYHOVUJE}$$

#### Moment únosnosti

$$M_{Rd} = l \cdot b \cdot x \cdot h \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - l \cdot x) + A_{s2} \cdot s_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1$$

$$M_{Rd} = 950,077 \text{ kNm}$$



$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$M_{Ed} \leq 950,077 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Percentuálne využitie prierezu 48,31 %

### 3.3.3 Overenie šmykovej odolnosti prierezu pri opore

Zadané veličiny							
betón	C 30/37	$\gamma_c$	1,50	b (m)	1,000	$V_{Ed}$ (kN)	441,000
hl.výstuž	B 500B	$\gamma_s$	1,15	h (m)	1,300	$N_{Ed}$ (kN)	500,000
š. výstuž	B 500B	$s_{st}$ (mm)	150	d (m)	1,200	$\theta$ (°)	38
$\varnothing_{st}$ (mm)	16	s (mm)	300	$n_s$	3,0	$\alpha$ (°)	90

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c \quad f_{cd} = 20,000 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s \quad f_{yd} = 426,087 \text{ MPa}$$

$$f_{ywd} = f_{ywk}/\gamma_s \quad f_{ywd} = 426,087 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/(b \cdot h) \quad \sigma_{cp} = 0,385 \text{ MPa}$$

#### Súčiniteľ zohľadňujúci napätostný stav v tlačnom páse

$$\sigma_{cp} \leq 0 \quad \rightarrow \alpha_{cw} = 1,00$$

$$0 < \sigma_{cp} \leq 0,25 \cdot f_{cd} \quad \rightarrow \alpha_{cw} = 1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$$

$$0,25 \cdot f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0,5 \cdot f_{cd} \quad \rightarrow \alpha_{cw} = 1,25$$

$$0,5 \cdot f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 1,0 \cdot f_{cd} \quad \rightarrow \alpha_{cw} = 2,5 \cdot (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$$



$$z = 0,9 \cdot d \quad \alpha_{cw} = 1,02$$

$$z = 1,080 \text{ m}$$

#### Súčiniteľ redukcie pevnosti betónu s trhlinami v šmyku

$$\text{Ak } f_{ywd} \leq 0,8 \cdot f_{yd} \text{ a zároveň } f_{ck} \leq 60,0 \text{ Mpa} \quad \rightarrow v = 0,6$$

$$\text{Ak } f_{ywd} > 0,8 \cdot f_{yd} \text{ a zároveň } f_{ck} \leq 60,0 \text{ Mpa} \quad \rightarrow v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck}/250)$$

$$\text{Ak } f_{ck} > 60,0 \text{ MPa} \quad \rightarrow v = 0,9 - f_{ck}/200 \geq 0,5$$

#### Šmyková odolnosť tlačného betónu

$$v = 0,53$$

$$\text{Ak } \alpha = 90^\circ \quad \rightarrow V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}/(\cot\theta + \tan\theta)$$

$$\text{Ak } \alpha \neq 90^\circ \quad \rightarrow V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}((\cot\theta + \cot\alpha)/(1 + \cot^2\theta))$$



$$V_{Rd,max} = 5639,418 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq 441,000 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

#### Plocha šmykovej výstuže

$$A_{sw} = n_s \cdot \pi \cdot \varnothing_{st}^2/4 \quad A_{sw} = 6,03E-04 \text{ m}^2$$



$$s \leq 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot\alpha) \quad s \leq 900 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$s \leq 400 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{st} \leq 0,75 \cdot d \quad s_{st} \leq 900 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{st} \leq 600 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

#### Únosnosť šmykovej výstuže

$$\text{Ak } \alpha = 90^\circ \quad \rightarrow V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

$$\text{Ak } \alpha \neq 90^\circ \quad \rightarrow V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha$$

#### Stupeň šmykového vystuženia

$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot (f_{ck})^{0,5} / f_{yk}$	$\rho_{w,min} =$	0,0009	
$\rho_w = A_{sw} / (b \cdot s \cdot \sin \alpha)$	$\rho_w =$	0,0020	
$\rho_w \geq \rho_{w,min}$	$\rho_w \geq$	0,0009	VYHOVUJE

#### Posudok únosnosti

	$V_{Rd,s} =$	1184,246	kN	
$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$	$V_{Ed} \leq$	1184,246	kN	VYHOVUJE
$V_{Rd,s} \leq V_{Rd,max}$	$V_{Rd,s} \leq$	5639,418	kN	VYHOVUJE

Percentuálne využitie prierezu	37,24	%
--------------------------------	-------	---

## 4 Návrh a výpočet spodnej stavby

### 4.1 Návrh a posúdenie opôr

#### 4.1.1 Návrh a posúdenie drieku opory (rozhoduje ťah + ohyb)

Zadané veličiny							
betón	C 30/37	c (mm)	63	$\Delta c_{dev}$ (mm)	10	$n_{11}$ (ks)	6,67
oceľ	Bst 500B	$c_{min,b}$ (mm)	20	$\varnothing_1$ (mm)	25	$n_{21}$ (ks)	6,67
$g_c$	1,50	$c_{min,dur}$ (mm)	20	$\varnothing_2$ (mm)	16	$n_{12}$ (ks)	0,00
$g_s$	1,15	$\Delta c_{dur,g}$ (mm)	0	$\varnothing_{st}$ (mm)	10	$n_{22}$ (ks)	0,00
$N_{Ed}$ (kN)	990,000	$\Delta c_{dur,st}$ (mm)	0	b (m)	1,000	a (mm)	25
$M_{Ed}$ (kNm)	806,000	$\Delta c_{dur,add}$ (mm)	0	h (m)	1,500	h	1,00

#### Krytie výstuže a plocha hlavnej výstuže

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10)$$

$$c_{min} = 20 \text{ mm}$$



$c_{st} = c_{min} + \Delta c_{dev}$	$c_{st} =$	30	mm	
$c_{nom} = c_{st} + \varnothing_{st}$	$c_{nom} =$	40	mm	
$c \geq c_{nom}$	$c \geq$	40	mm	VYHOVUJE
	$d_1 =$	0,076	m	
	$d_2 =$	0,071	m	
$d = h - d_1$	$d =$	1,425	m	
$A_{s1} = (n_{11} + n_{12}) \cdot \pi \cdot \varnothing^2 / 4$	$A_{s1} =$	3,27E-03	m <sup>2</sup>	
$A_{s2} = (n_{21} + n_{22}) \cdot \pi \cdot \varnothing^2 / 4$	$A_{s2} =$	1,34E-03	m <sup>2</sup>	



$f_{cd} = f_{ck} / g_c$	$f_{cd} =$	20,000	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / g_s$	$f_{yd} =$	426,087	MPa



$N_{Rdt,lim} = A_{s1} \cdot f_{yd}$	$N_{Rdt,lim} =$	1394,227	kN
-------------------------------------	-----------------	----------	----



$N_{Ed} < N_{Rdt,lim}$	$N_{Ed} <$	1394,227	kN	VYHOVUJE
------------------------	------------	----------	----	----------

#### Výška tlačenej vrstvy

$s_{s2} =$	301,599	MPa	ITERÁCIA
------------	---------	-----	----------

$$x = (-N_{Ed} - A_{s2} \cdot s_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd}) / (l \cdot b \cdot h \cdot f_{cd})$$

$$x = 0,000 \quad m$$

#### Konstrukčné zásady

$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,003 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \geq$	4,50E-03	VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,075 \cdot N_{Ed}/f_{yk}$	$A_{s1} + A_{s2} \geq$	1,52E-04	VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \leq 0,06 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \leq$	9,00E-02	VYHOVUJE
$A_{s1} > A_{s2}$	$A_{s1} >$	1,34E-03	VYHOVUJE

#### Moment únosnosti

$$M_{Rd} = l \cdot b \cdot x \cdot h \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - l \cdot x) + A_{s2} \cdot s_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1$$

$$M_{Rd} = 1214,876 \quad kNm$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad M_{Ed} \leq 1214,876 \quad kNm \quad VYHOVUJE$$

$$\text{Percentuálne využitie prierezu} \quad 66,34 \quad \%$$

### 4.1.2 Posúdenie opôr v päte (rozhoduje ťah+ohyb)

Zadané veličiny							
betón	C 30/37	c (mm)	62	$\Delta c_{dev}$ (mm)	10	$n_{11} = n_{21}$ (ks)	6,67
oceľ	Bst 500B	$c_{min,b}$ (mm)	20	$\emptyset$ (mm)	25	$n_{12} = n_{22}$ (ks)	0,00
$g_c$	1,50	$c_{min,dur}$ (mm)	20	$\emptyset_{st}$ (mm)	10	a (mm)	150
$g_s$	1,15	$\Delta c_{dur,g}$ (mm)	10	b (m)	1,000		
$N_{Ed}$ (kN)	1422,000	$\Delta c_{dur,st}$ (mm)	0	h (m)	1,500		
$M_{Ed}$ (kNm)	877,000	$\Delta c_{dur,add}$ (mm)	0	h	1,00		

#### Krytie výstuže a plocha hlavnej výstuže

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10)$$

$$c_{min} = 30 \quad mm$$

$c_{st} = c_{min} + \Delta c_{dev}$	$c_{st} =$	40	mm	
$c_{nom} = c_{st} + \emptyset_{st}$	$c_{nom} =$	50	mm	
$c \geq c_{nom}$	$c \geq$	50	mm	VYHOVUJE
	$d_1 =$	0,075	m	
	$d_2 =$	0,075	m	
$d = h - d_1$	$d =$	1,426	m	
$A_{s1} = (n_{11} + n_{12}) \cdot \pi \cdot \emptyset^2/4$	$A_{s1} =$	3,27E-03	m <sup>2</sup>	
$A_{s2} = (n_{21} + n_{22}) \cdot \pi \cdot \emptyset^2/4$	$A_{s2} =$	3,27E-03	m <sup>2</sup>	

$f_{cd} = f_{ck}/g_c$	$f_{cd} =$	20,000	MPa
$f_{yd} = f_{yk}/g_s$	$f_{yd} =$	426,087	MPa

$$N_{Rdt,lim} = A_{s1} \cdot f_{yd} \quad N_{Rdt,lim} = 1394,365 \quad kN$$

$$N_{Ed} \geq N_{Rdt,lim} \quad N_{Ed} \geq 1394,365 \quad kN \quad VYHOVUJE$$

$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,003 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \geq$	4,50E-03	VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \geq 0,075 \cdot N_{Ed}/f_{yk}$	$A_{s1} + A_{s2} \geq$	2,18E-04	VYHOVUJE
$A_{s1} + A_{s2} \leq 0,06 \cdot b \cdot h$	$A_{s1} + A_{s2} \leq$	9,00E-02	VYHOVUJE



$N_{Rdt,0} = (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd}$	$N_{Rdt,0} =$	2788,730	kN
$M_{Rdt,lim} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1$	$M_{Rdt,lim} =$	941,893	kNm

#### Moment únosnosti

$M_{Rd} = M_{Rdt,lim} / (N_{Rdt,0} - N_{Rdt,lim}) \cdot (N_{Rdt,0} - N_{Ed})$
$M_{Rd} =$ 923,226 kNm



$N_{Ed} \leq N_{Rdt,0}$	$N_{Ed} \leq$	2788,730	kN	VYHOVUJE
$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	$M_{Ed} \leq$	923,226	kNm	VYHOVUJE

Percentuálne využitie prierezu	94,99	%
--------------------------------	-------	---

### 4.1.3 Posúdenie šmykovej odolnosti opory

Zadané veličiny							
betón	C 30/37	$\gamma_c$	1,50	b (m)	1,000	$V_{Ed}$ (kN)	245,000
hl.výstuž	B 500B	$\gamma_s$	1,15	h (m)	1,500	$N_{Ed}$ (kN)	530,000
š. výstuž	B 500B	$s_{st}$ (mm)	300	d (m)	1,400	$\theta$ (°)	38
$\emptyset_{st}$ (mm)	10	s (mm)	400	$n_s$	4,0	$\alpha$ (°)	90

$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$	$f_{cd} =$	20,000	MPa
$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$	$f_{yd} =$	426,087	MPa
$f_{ywd} = f_{ywk}/\gamma_s$	$f_{ywd} =$	426,087	MPa



$\sigma_{cp} = N_{Ed}/(b \cdot h)$	$\sigma_{cp} =$	0,353	MPa
------------------------------------	-----------------	-------	-----

#### Súčiniteľ zohľadňujúci napätostný stav v tlačennom páse

$\sigma_{cp} \leq 0$	$\rightarrow \alpha_{cw} = 1,00$
$0 < \sigma_{cp} \leq 0,25 \cdot f_{cd}$	$\rightarrow \alpha_{cw} = 1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$
$0,25 \cdot f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0,5 \cdot f_{cd}$	$\rightarrow \alpha_{cw} = 1,25$
$0,5 \cdot f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 1,0 \cdot f_{cd}$	$\rightarrow \alpha_{cw} = 2,5 \cdot (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$



$\alpha_{cw} =$	1,02
$z = 0,9 \cdot d$	$z =$ 1,260 m

#### Súčiniteľ redukcie pevnosti betónu s trhlinami v šmyku

Ak $f_{ywd} \leq 0,8 \cdot f_{yd}$ a zároveň $f_{ck} \leq 60,0$ Mpa	$\rightarrow v = 0,6$
Ak $f_{ywd} > 0,8 \cdot f_{yd}$ a zároveň $f_{ck} \leq 60,0$ Mpa	$\rightarrow v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck}/250)$
Ak $f_{ck} > 60,0$ MPa	$\rightarrow v = 0,9 - f_{ck}/200 \geq 0,5$

#### Šmyková odolnosť tlačeneho betónu

$v =$	0,53
Ak $\alpha = 90^\circ$	$\rightarrow V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$
Ak $\alpha \neq 90^\circ$	$\rightarrow V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / ((\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta))$





$V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$	$V_{Rd,max} = 6569,225$ kN	
	$V_{Rd,max} \geq 245,000$ kN	<b>VYHOVUJE</b>

#### Plocha šmykovej výstuže

$A_{sw} = n_s \cdot \pi \cdot \varnothing_{st}^2 / 4$	$A_{sw} = 3,14E-04$ m <sup>2</sup>	
---	------------------------------------	--



$s \leq 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$	$s \leq 1050$ mm	<b>VYHOVUJE</b>
	$s \leq 400$ mm	<b>VYHOVUJE</b>
$s_{st} \leq 0,75 \cdot d$	$s_{st} \leq 1050$ mm	<b>VYHOVUJE</b>
	$s_{st} \leq 600$ mm	<b>VYHOVUJE</b>

#### Únosnosť šmykovej výstuže

Ak  $\alpha = 90^\circ$

$$\rightarrow V_{Rd,s} = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

Ak  $\alpha \neq 90^\circ$

$$\rightarrow V_{Rd,s} = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$$

#### Stupeň šmykového vystuženia

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot (f_{ck})^{0,5} / f_{yk}$$

$$\rho_{w,min} = 0,0009$$

$$\rho_w = A_{sw} / (b \cdot s \cdot \sin \alpha)$$

$$\rho_w = 0,0008$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$\rho_w \geq 0,0009$$

**NEVYHOVUJE**

#### Posudok únosnosti

$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$	$V_{Rd,s} = 539,696$ kN	
	$V_{Ed} \leq 539,696$ kN	<b>VYHOVUJE</b>
$V_{Rd,s} \leq V_{Rd,max}$	$V_{Rd,s} \leq 6569,225$ kN	<b>VYHOVUJE</b>

Percentuálne využitie prierezu	45,40	%
--------------------------------	-------	---

## 4.2 Návrh a posúdenie krídiel

Zadané veličiny							
betón	C 30/37	$c_{min,b}$ (mm)	20	$\Delta c_{dev}$ (mm)	5	$n_1$ (ks)	5,00
$\gamma_c$	1,50	$c_{min,dur}$ (mm)	20	$\varnothing$ (mm)	16	$n_2$ (ks)	0,00
výstuž	B 500B	$\Delta c_{dur,\gamma}$ (mm)	0	$\varnothing_{st}$ (mm)	10	$n_3$ (ks)	0,00
$\gamma_s$	1,15	$\Delta c_{dur,st}$ (mm)	0	b (m)	1,000	$\eta$	1,00
c (mm)	58	$\Delta c_{dur,add}$ (mm)	0	h (m)	0,400	$M_{Ed}$ (kNm)	86,00
a (mm)	70						

#### Krytie výstuže a plocha hlavnej ťahovej výstuže

$$c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10)$$

$$c_{min} = 20 \text{ mm}$$



$c_{st} = c_{min} + \Delta c_{dev}$	$c_{st} = 25$ mm	
$c_{nom} = c_{st} + \varnothing_{st}$	$c_{nom} = 35$ mm	
$c \geq c_{nom}$	$c \geq 35$ mm	<b>VYHOVUJE</b>
	$d_1 = 0,066$ m	
$d = h - d_1$	$d = 0,334$ m	
$A_{s1} = (n_1 + n_2 + n_3) \cdot \pi \cdot \varnothing^2 / 4$	$A_{s1} = 1,01E-03$ m <sup>2</sup>	
$A_{s,min} = \max [(0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d) / f_{yk}; 0,0013 \cdot b \cdot d]$		
$A_{s,min} = 5,14E-04$ m <sup>2</sup>		

▼				
$A_{s1} \geq A_{s,min}$	$A_{s1} \geq$	5,14E-04	m <sup>2</sup>	VYHOVUJE
<b><u>Stupeň vystuženia</u></b>				
$\rho_1 = A_{s1}/(b \cdot d)$	$\rho_1 =$	3,01E-03		
$\rho_{min} = 0,26 \cdot f_{ctm}/f_{yk}$	$\rho_{min} =$	1,54E-03		
▼				
$\rho_1 \geq \rho_{min}$	$\rho_1 \geq$	1,54E-03		VYHOVUJE
$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$	$f_{cd} =$	20,000	MPa	
$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$	$f_{yd} =$	426,087	MPa	
predpoklad $f_{yd} = \sigma_{s1}$				
<b><u>Výška tlačenej vrstvy betónu</u></b>				
$x = (A_{s1} \cdot f_{yd})/(l \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd})$	$x =$	0,027	m	
$\xi_{lim} = 700/(700 + f_{yd})$	$\xi_{lim} =$	0,6216		
$\xi_{lim} \geq \xi$	$\xi_{lim} \geq$	0,0802		VYHOVUJE
$\xi \leq \xi_{max}$	$\xi \leq$	0,4500		VYHOVUJE
<b><u>Moment únosnosti</u></b>				
$M_{Rd} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,4x)$		$M_{Rd} =$	138,482	kNm
▼				
$M_{Rd}$	$\geq$	$M_{Ed}$		
138,482	$\geq$	86,00	kNm	VYHOVUJE
Percentuálne využitie prierezu		62,10	%	
Rovnomerné rozdelenie napätia, neobmedzené pretvorenie výstuže				

## 5 Záver

Pri statickom výpočte bol použitý priestorový výpočtový model pre zistenie čo najpresnejšej odozvy konštrukcie na jednotlivé druhy zaťaženia. Konštrukcia bola zaťažená podľa normy STN EN 1991 – Zaťaženie konštrukcií. Pri výpočte sa ukázal ako rozhodujúci vplyv zmeny teploty, keďže sa jedná o rámovú konštrukciu. Vplyv zaťaženia vetrom a snehom bol vzhľadom na ostatné zaťaženia minimálny a bol zanedbaný. Konštrukcia bola posúdená vo všetkých rozhodujúcich rezoch a všetky rezy a teda i konštrukcia ako celok vyhovujú.

V Žiline, apríl 2018

Ing. Peter Litvik