

# Statický výpočet

## Obsah:

<b>1.</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>2</b>
1.1.	VŠEOBECNĚ .....	2
1.2.	POPIS KONSTRUKCE.....	2
1.3.	PŘEDPOKLADY VÝPOČTU .....	2
1.4.	LITERATURA .....	3
<b>2.</b>	<b>STATICKÝ VÝPOČET .....</b>	<b>3</b>
2.1.	GEOMETRIE.....	3
2.1.1.	Tvar konstrukce .....	4
2.1.2.	Model konstrukce.....	7
2.2.	ZATÍŽENÍ.....	10
2.2.1.	Stálé zatížení.....	10
2.2.2.	Nahodilé zatížení .....	10
2.2.3.	Vedlejší zatížení.....	11
2.2.4.	Sestavené zatěžovací stavy.....	12
2.3.	VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL .....	14
2.3.1.	Namáhání od vlastní tíhy.....	14
2.3.2.	Dvounápravové vozidlo 32t.....	15
2.3.3.	Třínápravové vozidlo 32t.....	16
2.3.4.	šestinápravové vozidlo 120t.....	17
2.4.	ZATÍŽITELNOST STÁVAJÍCÍ KLENBY .....	18
2.4.1.	Výhradní dvounáprava .....	19
2.4.2.	Výhradní třínáprava .....	19
2.4.3.	Výhradní šestináprava .....	20
2.5.	NÁVRH VÝZTUŽE RUBOVÉ OBETONÁVKY .....	20
2.5.1.	Návrh na mezní stav únosnosti .....	20
2.5.2.	Omezení trhlin a napětí .....	21
2.5.3.	Posouzení na únavu .....	22
2.6.	NÁVRH VÝZTUŽE ČELNÍ ZDI .....	23
<b>3.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>24</b>

# 1. Úvod

## 1.1. Všeobecně

Jedná se o most ev.č.M-25 v České Kamenici v obci Líska u č.p.110. Most převádí místní komunikaci přes Lísecký potok.

Klenbová konstrukce je ve špatném stavu. Především jsou vyboulená a utržená čela, na podhledu jsou patrné trhliny pod čelními zdi. Návrh rekonstrukce spočívá v provedení spřažené rubové obetonávky s vytažením na čelní zdi. Stávající šikmá polokruhová kamenná klenba o jednom poli bude zesílena a čelní zdi stabilizovány. Takto provedené zesílení vanového typu bude stabilizovat klenbu a utržené čelní zdi.

## 1.2. Popis konstrukce

Stávající klenba má šikmou světlost 2.7m a vzepětí podhledu 1.35m. Tloušťka klenby je cca 50cm. Rozpětí je tedy 3.2m a vzepětí osy 1.6m. Kolmá šířky klenby je 4.4m, šikmost pravá 55°. Výška nadnásypu činí 1.1m ve vrcholu klenby. Navržená spřažená rubová obetonávka má ve vrcholu tloušťku 20cm, směrem k patě klenby se s ohledem na konzistenci čerstvého betonu tloušťka zvětšuje. Spodní stavba je sanována.

## 1.3. Předpoklady výpočtu

Předpokládá se betonáž rubového oblouku symetricky nebo na provizorně podepřenou klenbu. Rovněž odtěžování nadnásypu a zpětné é zásypy budou prováděny symetricky.

Nesymetrické zatížení odlehčené klenby ji může zdestabilizovat a může dojít ke zřícení.

Zásyp se předpokládá z vhodné hutnitelné zeminy.

Výpočet je proveden pro zatížení výhradním dvou, tří a šestinápravovým vozidlem hmotností 32, 32 a 120t. Z toho je v poměru určena zatížitelnost stávající klenby a navržena výztuž rubové obetonávky tak, aby tomuto zatížení most vyhověl.

## 1.4. Literatura

### Normy:

- ČSN 73 6203/1986 Zatížení mostů
- ČSN 73 6222/2013 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací

### Programy:

- Autoca pro přípravu geometrie
- FEAT'2000 pro řešení konstrukcí metodou konečných prvků

### Podklady:

- Zaměření stávajícího stavu
- Hlavní mostní prohlídka
- Rekognoskace objektu
- Fotodokumentace
- Rozpracovaný projekt

### Literatura

- Statické tabulky TP-51

## 2. Statický výpočet

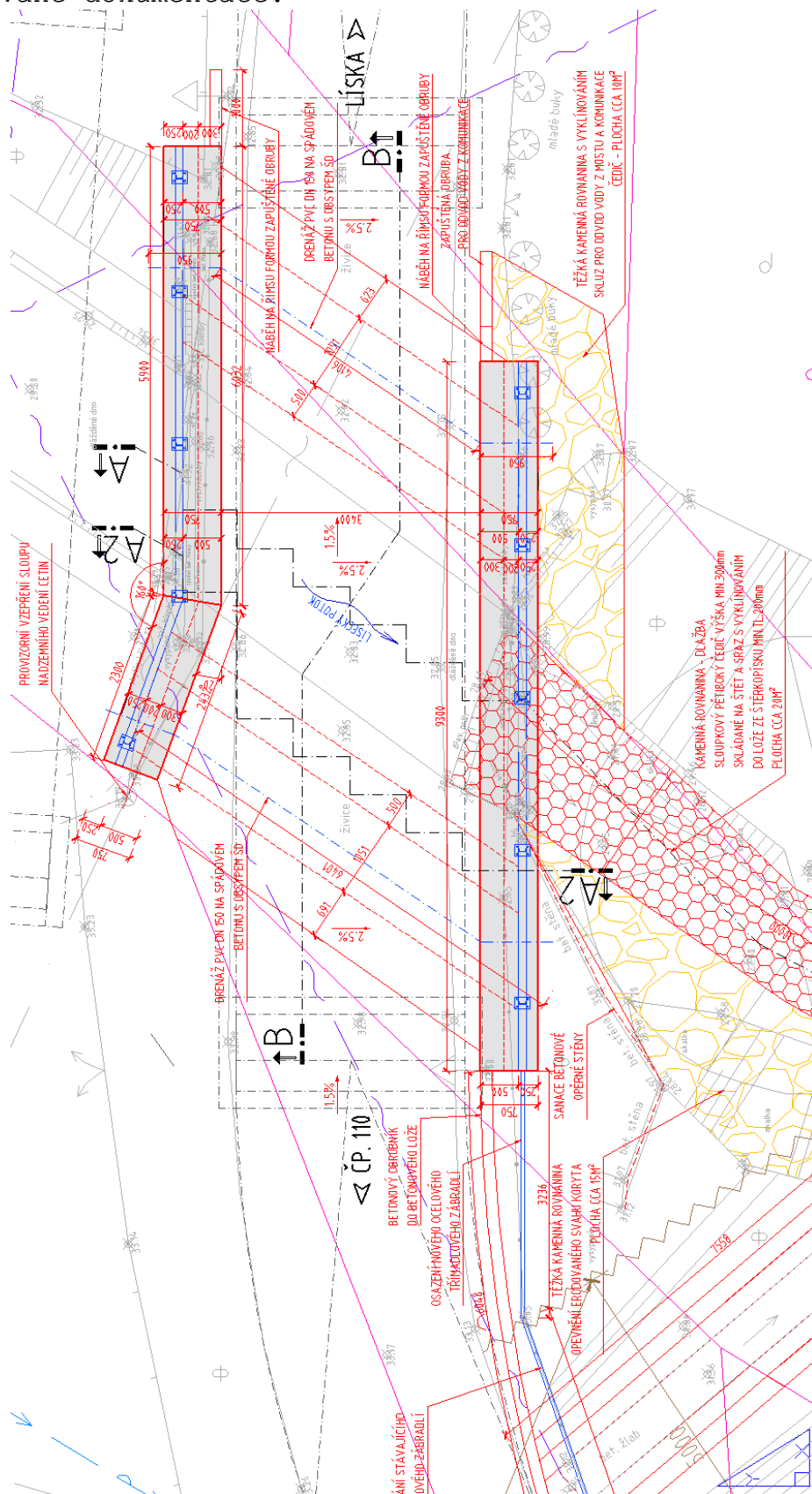
### 2.1. Geometrie

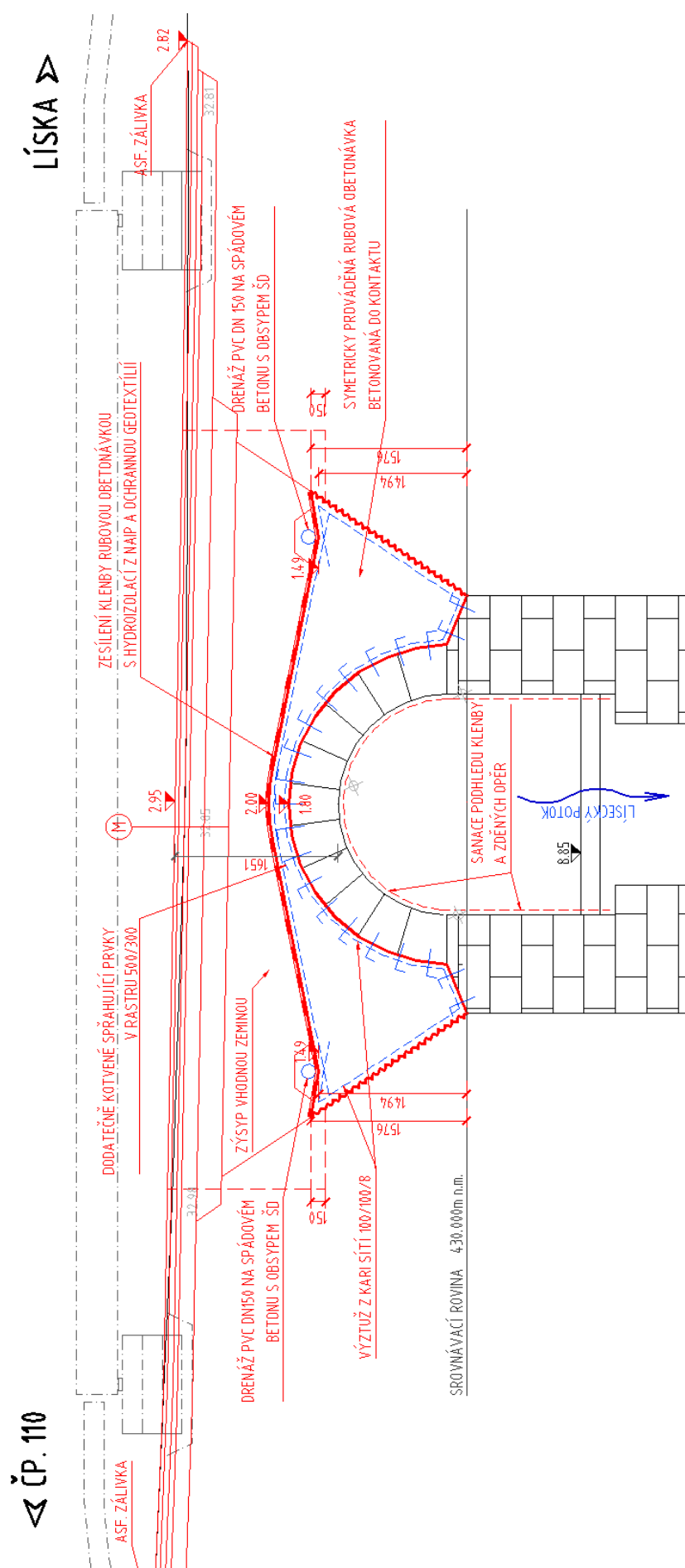
Tvar a základní rozměry konstrukce jsou patrné z přiložených schémat. Vstupní údaje a údaje o modelu jsou s ohledem na množství dat uvedeny pouze základní, kompletní vstupy jsou archivovány u projektanta.

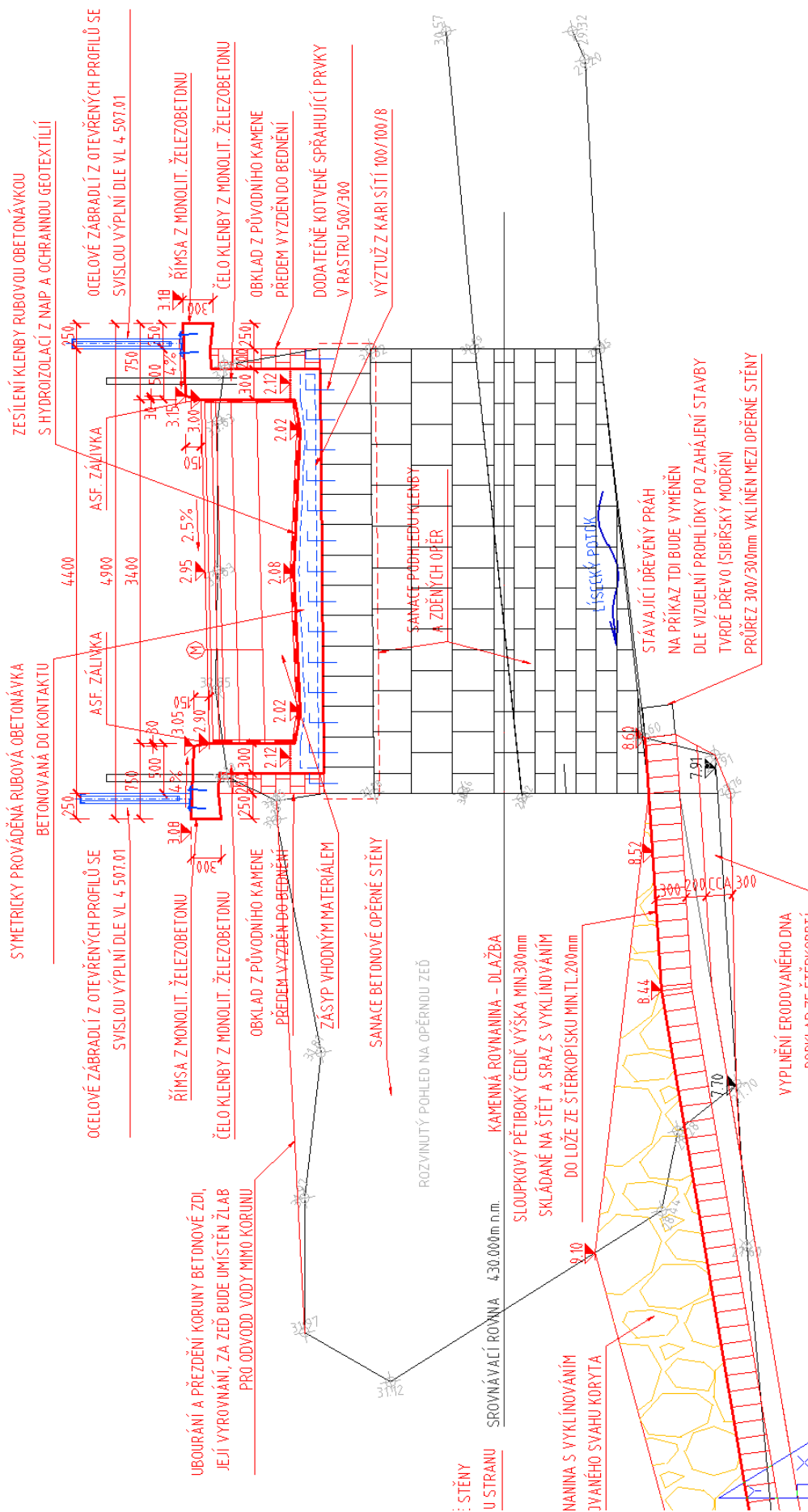
Model nosné konstrukce je zvolen jako rovinný jednotkové šířky. Model je tvořen prutovými obloukovými prvky doplněnými stěnodeskovými prvky zajišťujícími roznos v podélném směru. Roznos v příčném směru je proveden přes vrstvy nadnásypu ve vrcholu klenby. Modelována je původní kamenná klenba a zásyp.

### 2.1.1. Tvar konstrukce

Tvar konstrukce stávající i po rekonstrukci je převzatý z rozpracované dokumentace.



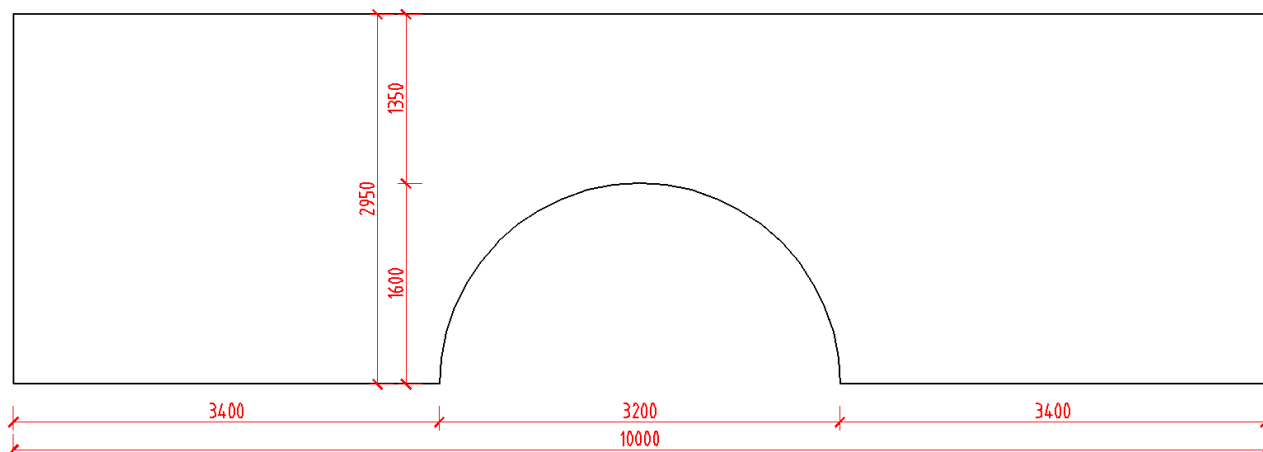




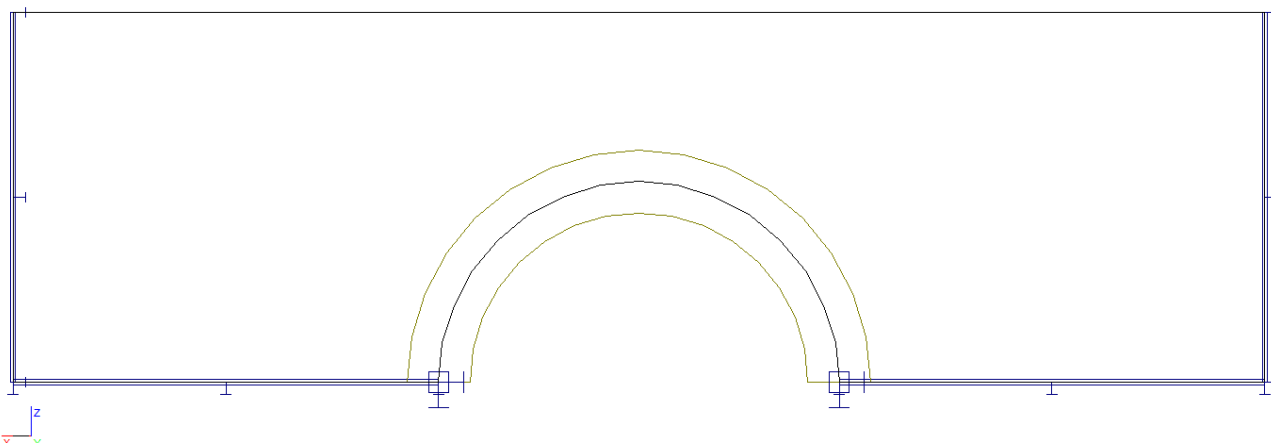
### 2.1.2. Model konstrukce

Model je uvažován jako oblouk s nadnásypem modelovaný jako prut se stěnodeskou jednotkové šířky.

Tvar modelu se základními rozměry



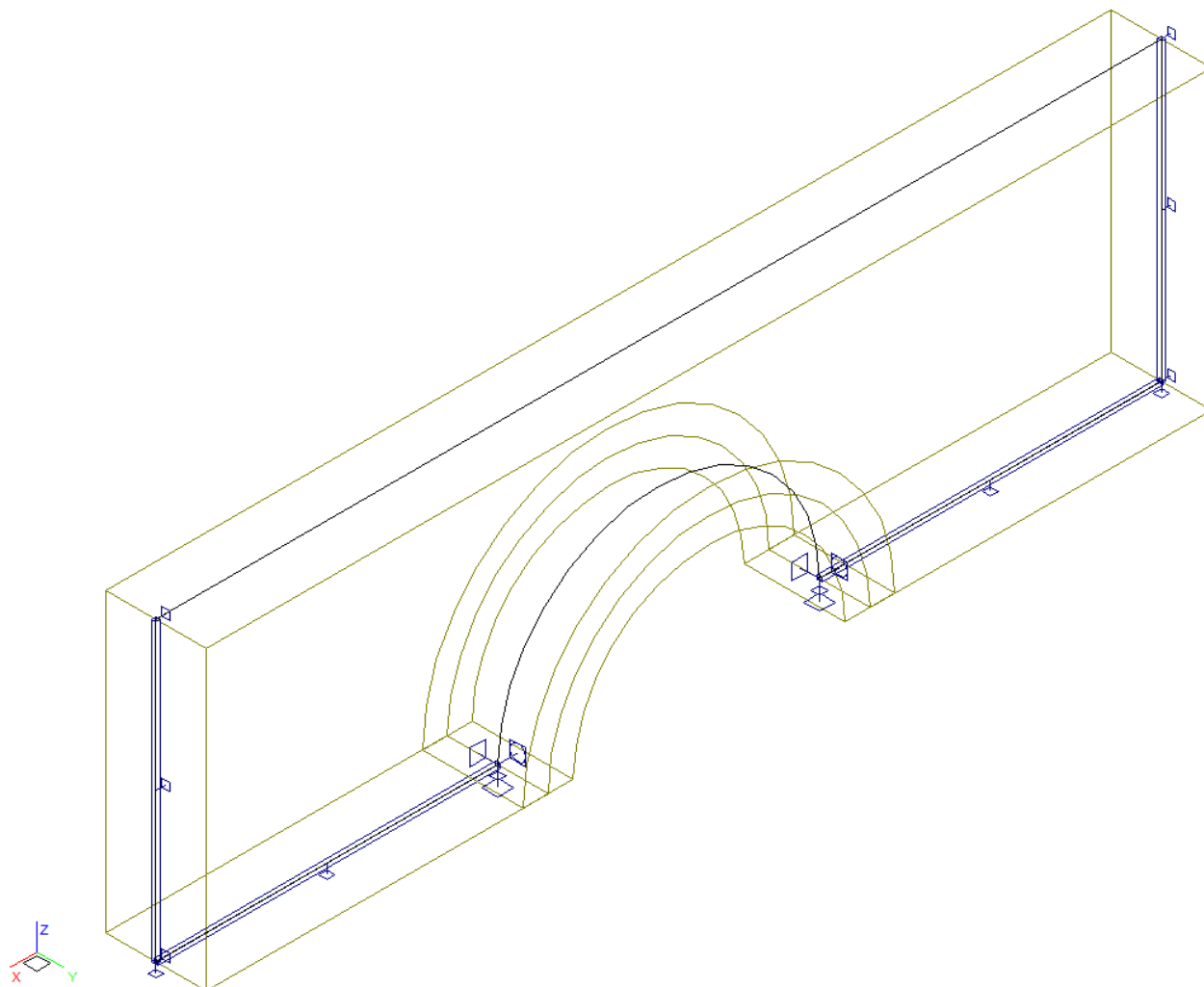
Pohled na model s obrysem prvků



### Údaje o konstrukci

Jméno projektu	nk	Prutů	1	Geometrie - délky	m
Autor projektu	Ing.T.Humpal	Ploch	1	Geometrie - úhly	deg
Popis projektu	klenba	Zatížení	113	Průřezy - délky	m
Rozměr projektu	Prostor	Podpor	6	Zatížení, výsledky - síly	kN
Datum	21.2.2019	Bodů	0	Zatížení, výsledky - napětí	kPa
Čas	14:22	Linií	6	Zatížení, výsledky - délky	m
		Ploch	0	Deformace - posuny	m
		Kontaktů	1	Deformace - natočení	deg
		Materiálů	2	Čas	sec
		Průřezů	1	Teplota	°C
		Tloušťek	1	Hmota	t
		Podloží	0		
		Skupin	3		
		Zat. stavů	98		

Model v axonometrii

**Výpis zadanych materiálů:**

E1, E2 [kPa] moduly pružnosti (E2 pouze pro ortotropní materiál)  
 ni Poissonův součinitel  
 gama [t/m3] objemová hmotnost  
 K1, K2 [kN/m3] koeficienty tepelné roztažnosti  
 útlum dekrement útlumu

Materiál	Typ	E 1 [kPa]	ni	gama [t/m3]	K 1 [kN/m3]	E 2 [kPa]	K 2 [kN/m3]	útlum
ZDIVO	ZDIVO	7.000e+06	0.150	2.600	5.000e-06			
ZEMINA	ZEMINA	1.000e+05	0.150	2.000	3.000e-06			



**Výpis zadáných průřezů:****Průřez : klenba**

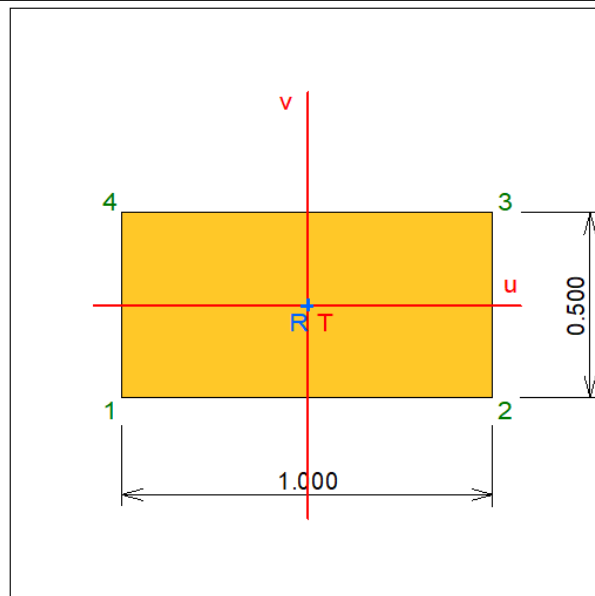
Rozměry :

výška :  $h = 0.5$  mšířka :  $b = 1$  m

Průřezové charakteristiky :

průřezová plocha :  $A = 0.5$  m<sup>2</sup>první hlavní moment setrvačnosti :  $I_u = 0.0104167$  m<sup>4</sup>druhý hlavní moment setrvačnosti :  $I_v = 0.0416667$  m<sup>4</sup>moment setrvačnosti k ose Y :  $I_y = 0.0104167$  m<sup>4</sup>moment setrvačnosti k ose Z :  $I_z = 0.0416667$  m<sup>4</sup>

odklon hlavních os momentu setrvačnosti : 0 deg

"teplotní koeficient" Temp Y : TempY = 0.0208333 m<sup>3</sup>"teplotní koeficient" Temp Z : TempZ = 0.0416667 m<sup>3</sup>koeficient smykové poddajnosti Y :  $A_y/A = 0.833333$ koeficient smykové poddajnosti Z :  $A_z/A = 0.833333$ poloha těžiště vztažená k zadávacím souř. osám :  $e_y = 0$  m :  $e_z = 0$  mpoloha těžiště vztažená k prvnímu vrcholu prvního průřezu :  $e_y = 0.5$  m :  $e_z = 0.25$  mmoment tuhosti v prostém kroucení :  $I_k = 0.03$  m<sup>4</sup>modul průřezu :  $W_y = 0.0416667$  m<sup>3</sup> :  $W_z = 0.0833333$  m<sup>3</sup>poloměr setrvačnosti :  $i_y = 0.144338$  m :  $i_z = 0.288675$  mplastický průřezový modul :  $W_{pl.y} = 0.0625$  m<sup>3</sup> :  $W_{pl.z} = 0.125$  m<sup>3</sup>

Další údaje o průřezu :

natočení průřezu :  $\alpha = 0$  degpoloha referenčního bodu :  $y = 0$  m :  $z = 0$  m

přiřazený materiál : ZDIVO

objem 1 metru průřezu : 0.5 m<sup>3</sup>plocha 1 metru průřezu - vnější : 3 m<sup>2</sup>

hmotnost 1 metru pro přiřazený materiál : 1.3 t

Souřadnice vrcholů průřezu:

Vrchol č. 1 :  $y = -0.5$  m :  $z = -0.25$  mVrchol č. 2 :  $y = 0.5$  m :  $z = -0.25$  mVrchol č. 3 :  $y = 0.5$  m :  $z = 0.25$  mVrchol č. 4 :  $y = -0.5$  m :  $z = 0.25$  m**Výpis zadáných tloušťek:**

Označení Materiál Tloušťka

[m]

zásyp -ZEMINA 1.000

**Výpis prutových dílců - parametry prutů:**

Prut	Typ prutu	Průřez	Působení	Délka	Objem	Skupina
				[m]	[m <sup>3</sup> ]	
1	Kruhový oblouk	klenba	Běžný	5.027	2.513	model_nk

**Výpis prutových dílců - souřadnice vrcholů:**

Prut	Počátek	Konec
	[m]	[m]
1	1.600,0.000,-2.950	-1.600,0.000,-2.950

**Výpis plošných dílců - parametry ploch:**

Plocha	Typ plochy	Deska	Tloušťka	Objem	Skupina
			[m]	[m <sup>3</sup> ]	
1	Rovinná deska	Tenká deska	1.000	25.479	model_nk

**Výpis plošných dílců - souřadnice vrcholů ploch:**

Plocha	Hrana	Počátek	Konec
		[m]	[m]
Polygon1	1	1.600,0.000,-2.950	-1.600,0.000,-2.950
	2	-1.600,0.000,-2.950	-5.000,0.000,-2.950
	3	-5.000,0.000,-2.950	-5.000,0.000,0.000
	4	-5.000,0.000,0.000	5.000,0.000,0.000
	5	5.000,0.000,0.000	5.000,0.000,-2.950
	6	5.000,0.000,-2.950	1.600,0.000,-2.950

## 2.2. Zatížení

### 2.2.1. Stálé zatížení

Zatížení stálé je v programu vygenerováno ze zadaných průřezových a materiálových charakteristik zadáním gravitačního zrychlení.

Smršťování konstrukce není s ohledem na poměr tuhostí původní klenby a rubového oblouku uvažováno. Jeho vliv je zanedbatelný.

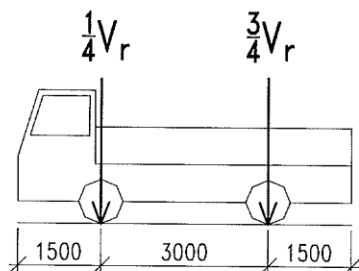
### 2.2.2. Nahodilé zatížení

Nahodilé zatížení je sestaveno podle ČSN 73 6222 z roku 2013 s přihlédnutím k ČSN 73 6203 z roku 1986 a ČSN EN 1991-2. Uvažují zatížení výhradním dvounápravovým vozidlem hmotnosti 32t (rozvor 3.0m, rozchod 2.0m, poměr zatížení na zadní nápravu 0.75), výhradním třínápravovým vozidlem hmotnosti 32t (zadní dvounáprava s rozvorem 1.2m a přední náprava 2.4m, rozchod 2.0m, poměr zatížení na zadní dvounápravu 0.75) a výhradním šestinápravovým vozidlem hmotnosti 120t (6 náprav po 20t a 1.5m). Normální ani výjimečné zatížení není s ohledem na prostorové uspořádání komunikace uvažováno.

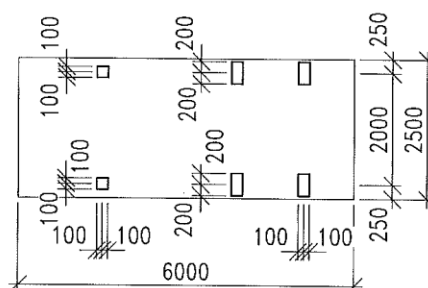
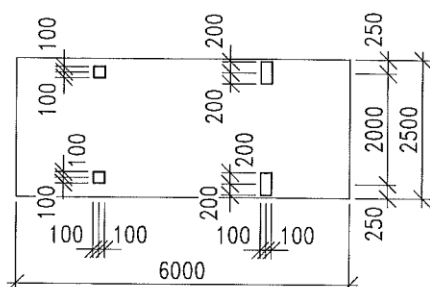
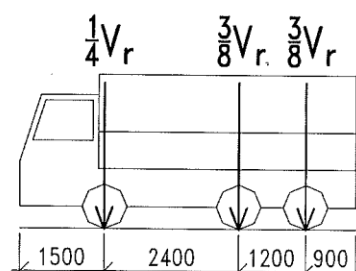
ČSN 73 6222

Rozměry v mm

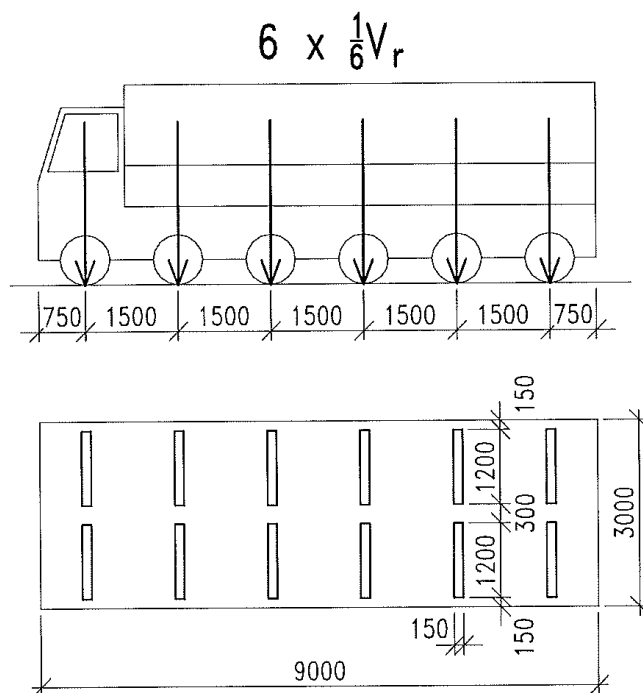
a) dvounápravové vozidlo  $V_r = \frac{1}{10} V_{rw} < 16t$



b) třínápravové vozidlo  $V_r = \frac{1}{10} V_{rw} \geq 16t$



Obrázek 7.4 – Schéma dvounápravového a třínápravového vozidla pro stanovení výhradní zatížitelnosti  $V_r$



**Obrázek 7.3 – Schéma šestinápravového vozidla pro stanovení výhradní zatížitelnosti  $V_r$**

Nápravové tlaky jsou rozneseny přes vrstvu nadnásypu ve vrcholu klenby s umístěním vozidla 30cm od kraje klenby.

$$p_{vyhr2n\text{ zadní}} = \frac{120}{0.3 + 0.6 + 1.1} = 60 \text{ kN/m}$$

$$p_{vyhr2n\text{ přední}} = \frac{40}{0.3 + 0.6 + 1.1} = 20 \text{ kN/m}$$

$$p_{vyhr3n\text{ zadní}} = \frac{2 \cdot 60}{0.3 + 0.6 + 1.1} = 2 \cdot 30 \text{ kN/m}$$

$$p_{vyhr3n\text{ přední}} = \frac{40}{0.3 + 0.6 + 1.1} = 20 \text{ kN/m}$$

$$p_{vyhr6n} = \frac{200}{0.3 + 1.2 + 0.3 + 1.2 + 1.1} = 48078 \text{ kN/m}$$

Pro vystižení extrémů je simulován pojezd vozidel po 0.75m.

Základní dynamický součinitel pro normální a výhradní zatížení je uvažován pro dané rozpětí hodnotou 1.4. Redukce dynamického součinitele o vliv nadnásypu je zanedbána.

Brzdné síly nejsou pro stanovení zatížitelnosti rozhodující, nejsou uvažovány.

### 2.2.3. Vedlejší zatížení

Účinky rovnoměrného i nerovnoměrného oteplení resp. ochlazení nosné konstrukce nejsou uvažovány, vzhledem k poměru tuhostí a charakteru konstrukce jsou zanedbatelné.

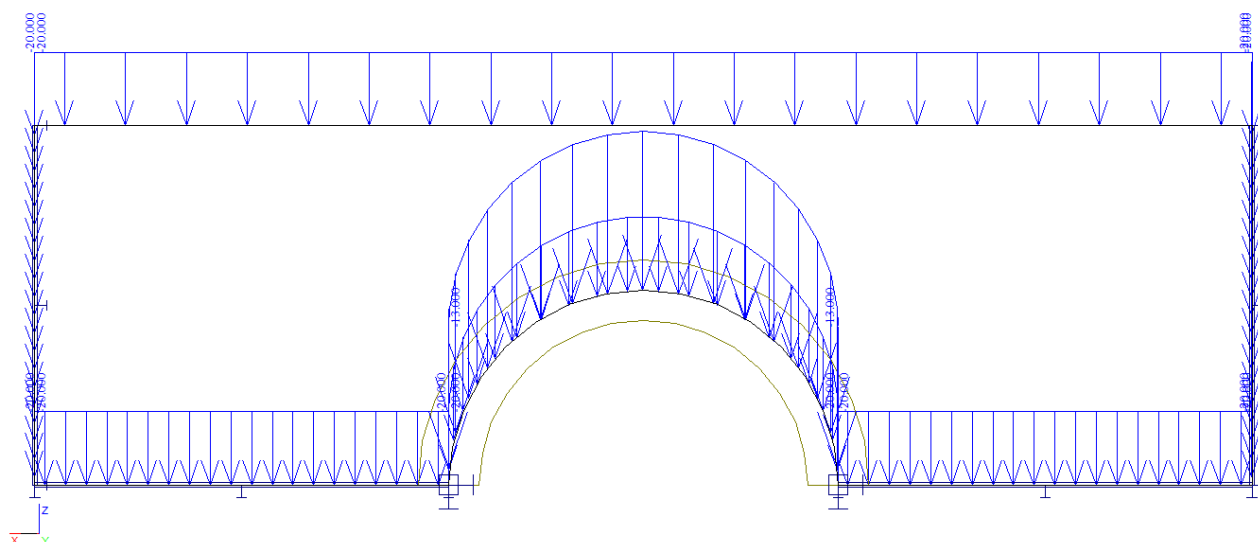
**2.2.4. Sestavené zatěžovací stavy**

Rekapitulace zatěžovacích stavů na model nosné konstrukce mostu je provedena výpisem z použitého výpočetního programu. Vybrané zatěžovací stavy jsou zobrazeny dále. U nahodilého zatížení se jedná o začátky simulace pojezdů.

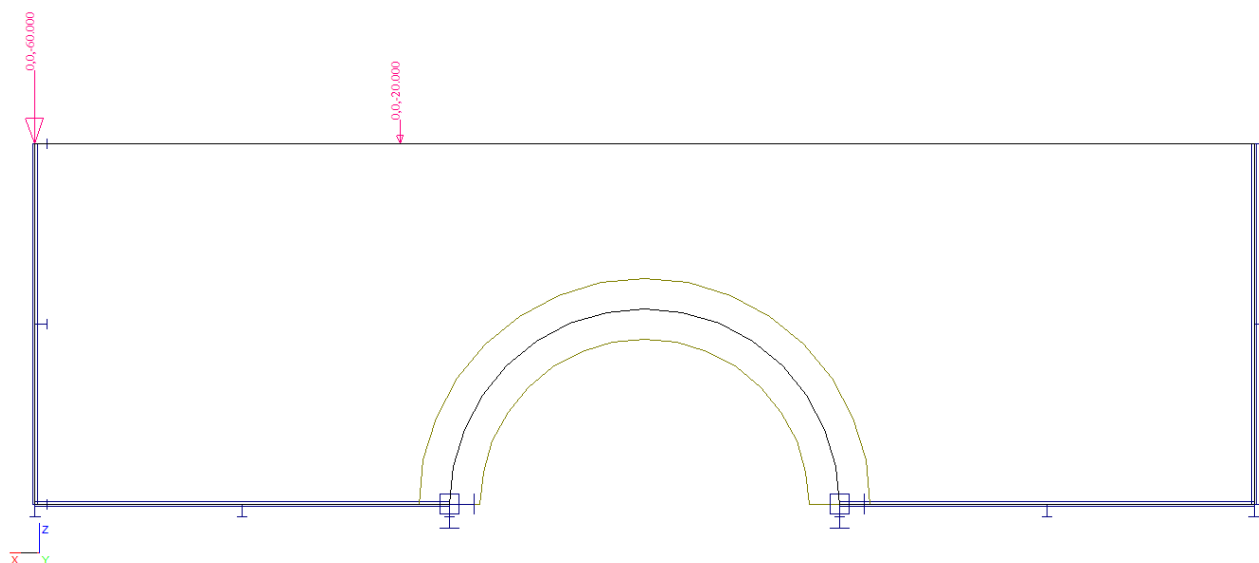
**Výpis zatěžovacích stavů :**

Jméno	Koeficient	Komentář	Typ zatížení	Skupina	Parametry	Výběrový
G		stálé zatížení	Perm - stálé	0	Perm	Ne
vyhr2N	1.000	výhradní dvounáprava 32t	Short - krátkodobé	2	Short !	Ano
vyhr2N1	1.000	výhradní dvounáprava 32t	Short - krátkodobé	2	Short !	Ano
až						
vyhr2N13	1.000	výhradní dvounáprava 32t	Short - krátkodobé	2	Short !	Ano
vyhr3N	1.000	výhradní třináprava 32t	Short - krátkodobé	3	Short !	Ano
vyhr3N1	1.000	výhradní třináprava 32t	Short - krátkodobé	3	Short !	Ano
až						
vyhr3N11	1.000	výhradní třináprava 32t	Short - krátkodobé	3	Short !	Ano
vyhr6N	1.000	výhradní šestináprava 120t	Short - krátkodobé	6	Short !	Ano
vyhr6N1	1.000	výhradní šestináprava 120t	Short - krátkodobé	6	Short !	Ano
až						
vyhr6N13	1.000	výhradní šestináprava 120t	Short - krátkodobé	6	Short !	Ano

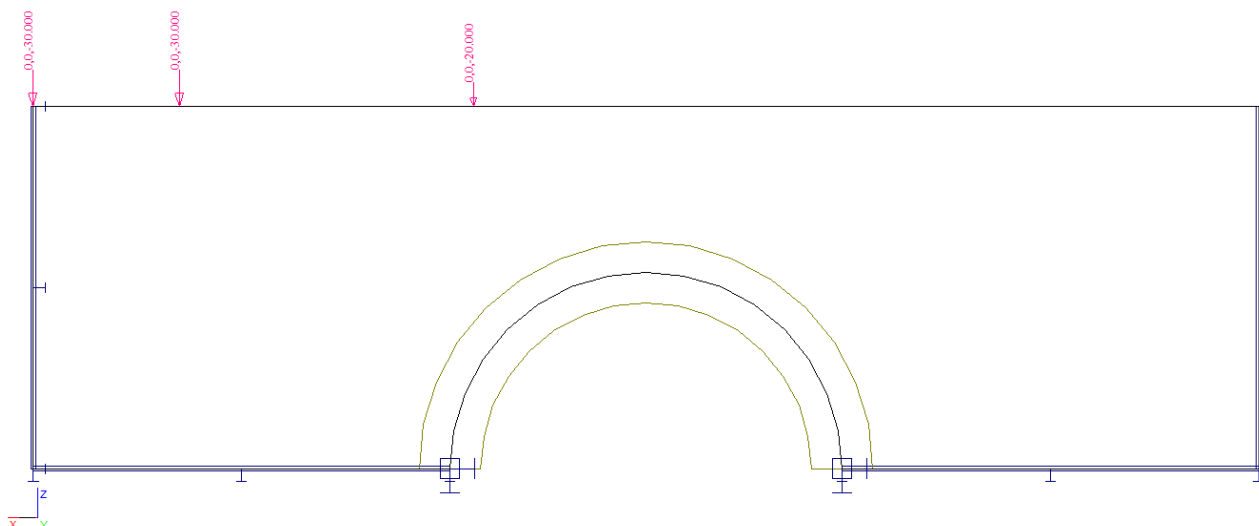
**G**                      stálé zatížení                      Perm - stálé                      0                      Perm                      Ne



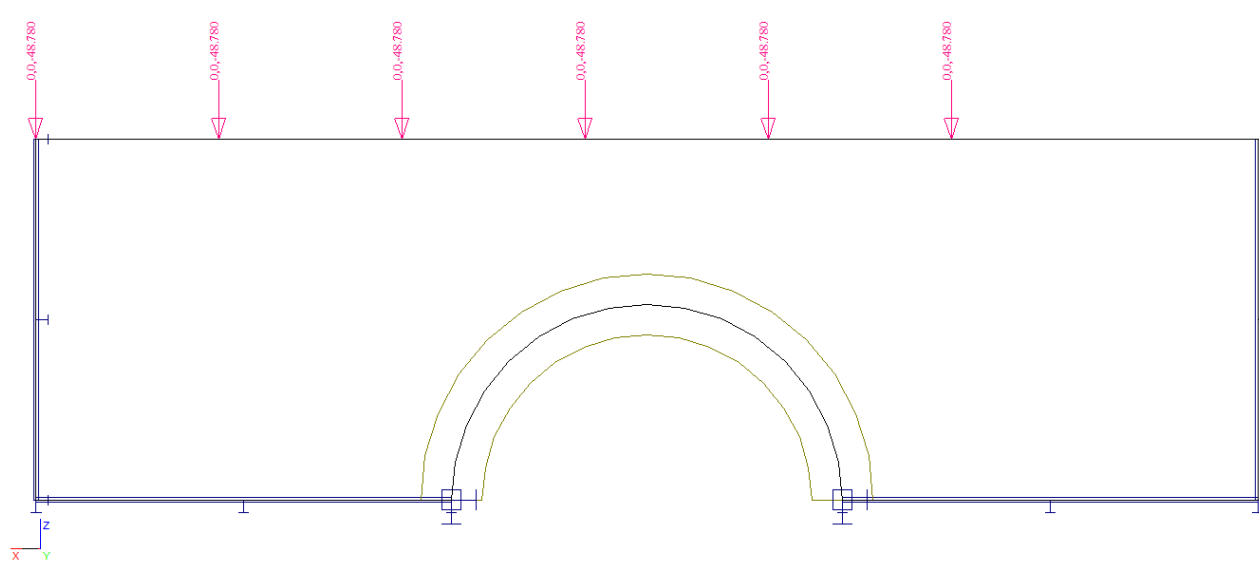
**vyhr2N 1.000 výhradní dvounáprava 32t Short - krátkodobé 2 Short ! Ano**



**vyhr3N 1.000 výhradní třínáprava 32t Short - krátkodobé 3 Short ! Ano**



**vyhr6N 1.000 výhradní šestináprava 120t Short - krátkodobé 6 Short ! Ano**



## 2.3. Výpočet vnitřních sil

Výpočet je proveden pomocí programu FEAT'2000 pro řešení konstrukcí metodou konečných prvků. Kompletní výstupní data jsou archivována u projektanta, s ohledem na množství výstupních údajů jsou přiloženy pouze vybrané údaje, grafy a schémata. Pro výběr extrémů je provedena strojová superpozice jednotlivých typů vozidle ze simulace přejezdu.

Přiloženy jsou pouze průběhy vybraných vnitřních sil ve vybraných zatěžovacích stavech.

### 2.3.1. Namáhání od vlastní tíhy

Výpis namáhání je proveden z použitého výpočetního programu:

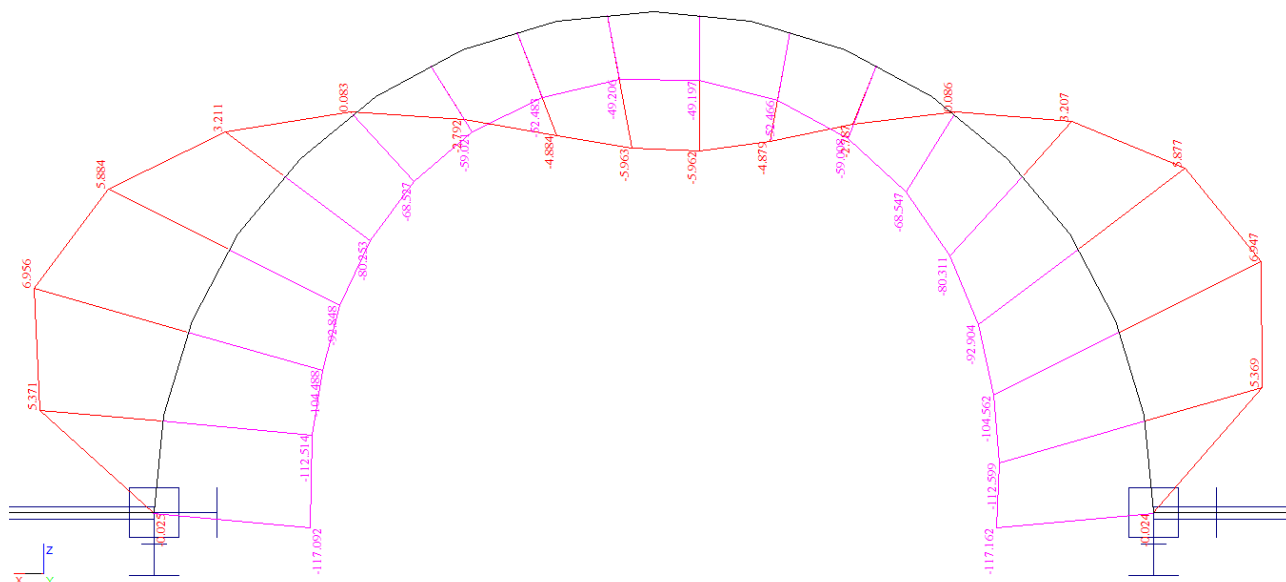
#### Výpis pro výsledek : 1 - G ZS - Statika

stálé zatížení

ID prutu	Poloha [m]	My [kNm]	Nx [kN]
1	0.000	-0.025	-117.092
	0.295	5.371	-112.514
	0.295	5.371	-112.514
	0.590	6.956	-104.488
	0.590	6.956	-104.488
	0.886	5.884	-92.848
	0.886	5.884	-92.848
	1.181	3.211	-80.253
	1.181	3.211	-80.253
	1.476	0.083	-68.527
	1.476	0.083	-68.527
	1.771	-2.792	-59.021
	1.771	-2.792	-59.021
	2.067	-4.884	-52.483
	2.067	-4.884	-52.483
	2.362	-5.963	-49.206
	2.362	-5.963	-49.206

ID prutu	Poloha [m]	My [kNm]	Nx [kN]
1	2.657	-5.962	-49.197
	2.657	-5.962	-49.197
	2.953	-4.879	-52.466
	2.953	-4.879	-52.466
	3.248	-2.787	-59.008
	3.248	-2.787	-59.008
	3.543	0.086	-68.547
	3.543	0.086	-68.547
	3.838	3.207	-80.311
	3.838	3.207	-80.311
	4.134	5.877	-92.904
	4.134	5.877	-92.904
	4.429	6.947	-104.562
	4.429	6.947	-104.562
	4.725	5.369	-112.599
	4.725	5.369	-112.599
	5.019	-0.024	-117.162

#### Průběh My a Nx



**2.3.2. Dvounápravové vozidlo 32t**

Výpis extrémů namáhání je proveden ze strojové superpozice provedené použitým výpočetním programem podle schématu:

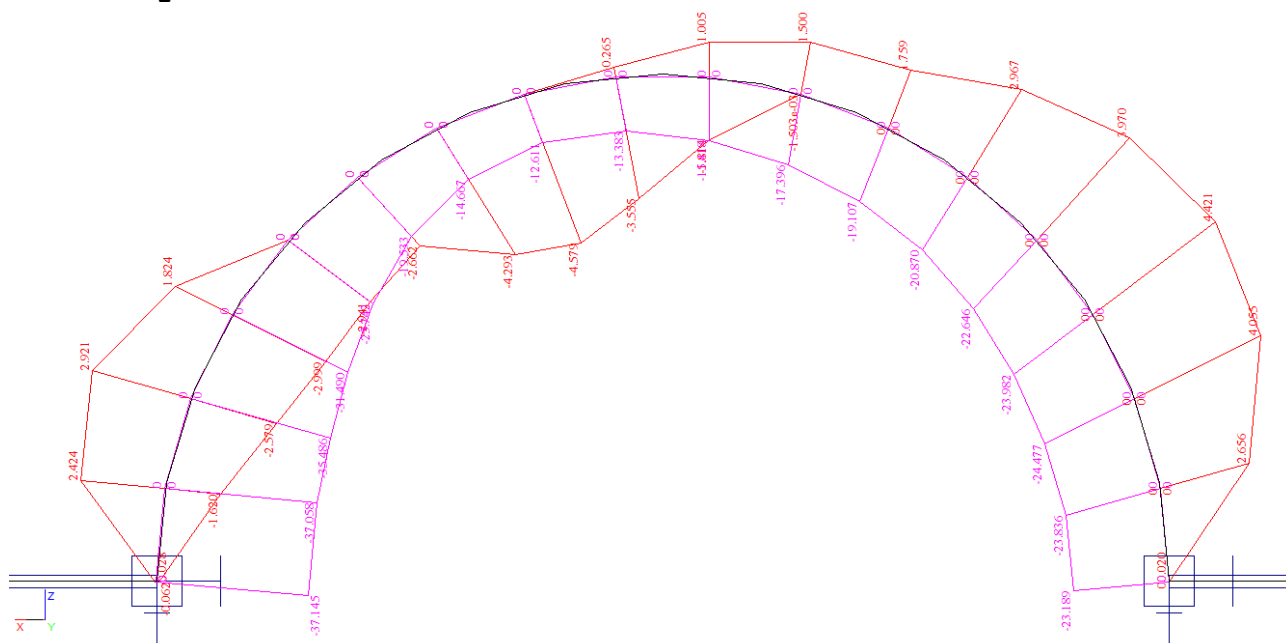
**Výpis obalových křivek :**

Jméno	ZS	Komentář
Vr2N	min/max	Vr2N0001, Vr2N0002, Vr2N0003
	Vr2N0001	0.00*G
	Vr2N0002	0.00*G+1.00*vyhr2N
	Vr2N0003	0.00*G+1.00*vyhr2N5

**Extrémy pro výsledek : 45 - Vr2N Obal. křivka stand.**

Typ obalové křivky : min/max

ID prutu	Poloha [m]	My [kNm]	Nx [kN]	
1	2.067	<b>-4.579</b>	-12.611	Vr2N0003
	4.134	<b>4.421</b>	-23.982	Vr2N0003
	0.000	0.028	<b>-37.145</b>	Vr2N0003
	0.000	0	<b>0</b>	Vr2N0001

**Průběh My a Nx**

**2.3.3. Třínápravové vozidlo 32t**

Výpis extrémů namáhání je proveden ze strojové superpozice provedené použitým výpočetním programem podle schématu:

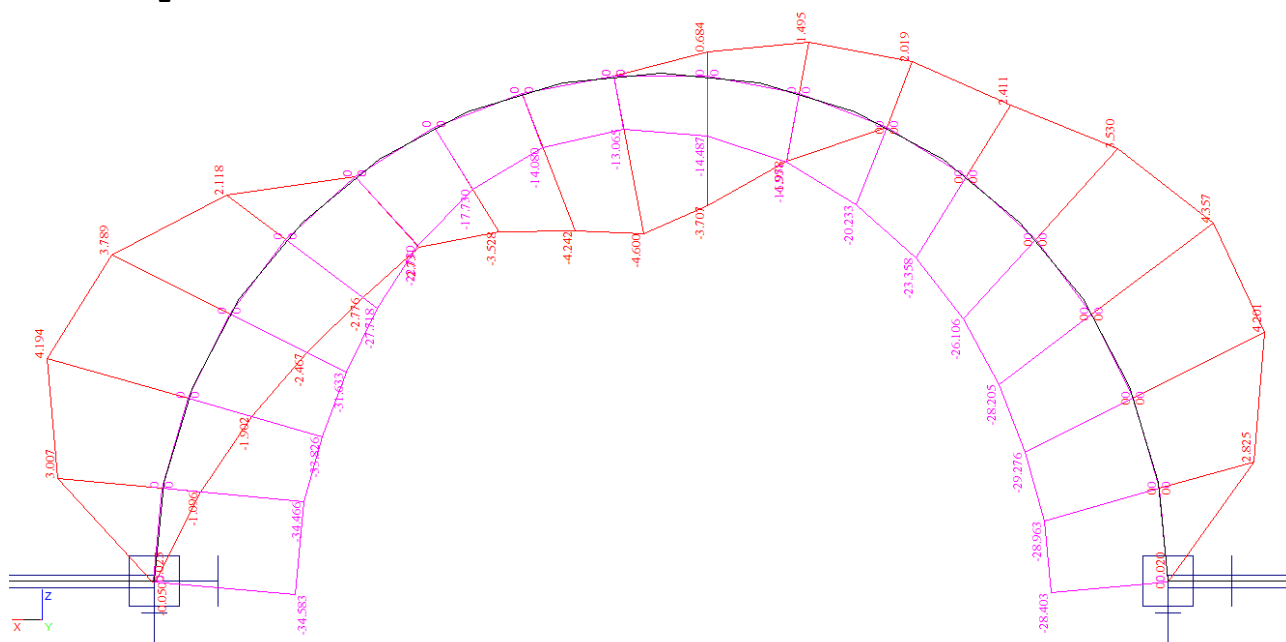
**Výpis obalových křivek :**

Jméno	ZS	Komentář
Vr3N	min/max	Vr3N0001, Vr3N0002, Vr3N0003, Vr3N0004
	Vr3N0001	0.00*G
	Vr3N0002	0.00*G+1.00*vyhr3N
	Vr3N0003	0.00*G+1.00*vyhr3N5
	Vr3N0004	0.00*G+1.00*vyhr3N4

**Extrémy pro výsledek : 50 - Vr3N Obal. křivka stand.**

Typ obalové křivky : min/max

ID prutu	Poloha [m]	My [kNm]	Nx [kN]	
1	2.362	<b>-4.600</b>	-12.952	Vr3N0003
	4.134	<b>4.357</b>	-28.205	Vr3N0003
	0.000	0.023	<b>-34.583</b>	Vr3N0004
	0.000	0	<b>0</b>	Vr3N0001

**Průběh My a Nx**



**2.3.4. šestinápravové vozidlo 120t**

Výpis extrémů namáhání je proveden ze strojové superpozice provedené použitým výpočetním programem podle schématu:

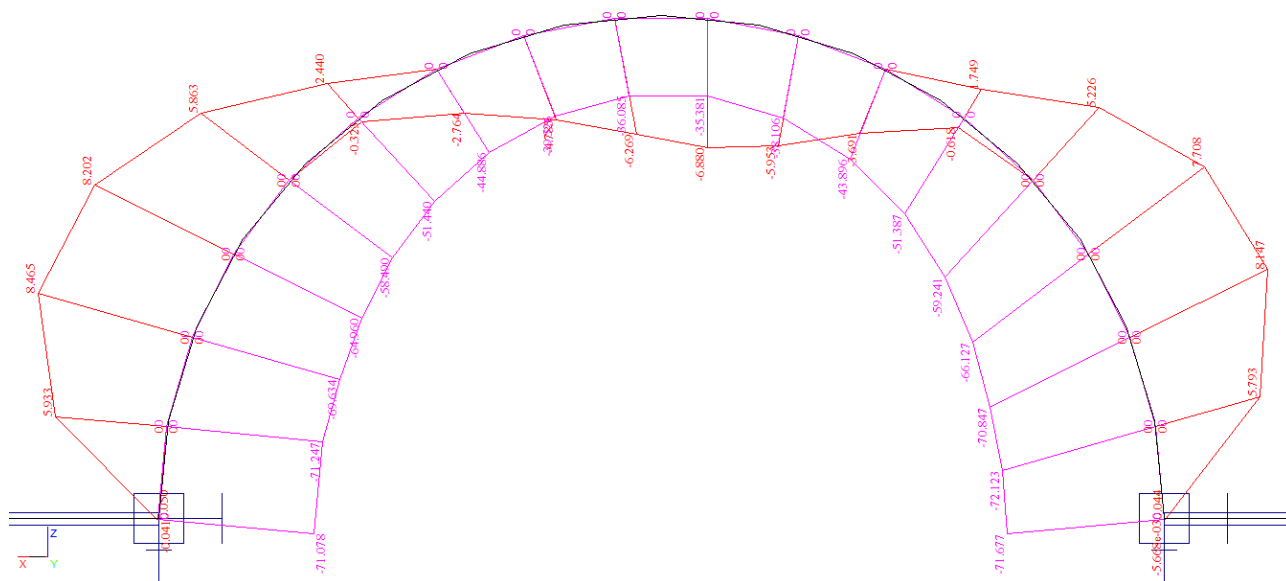
**Výpis obalových křivek :**

Jméno	ZS	Komentář
Vr6N	min/max	Vr6N0001, Vr6N0002, Vr6N0003, Vr6N0004
	Vr6N0001	0.00*G
	Vr6N0002	0.00*G+1.00*vyhr6N
	Vr6N0003	0.00*G+1.00*vyhr6N4
	Vr6N0004	0.00*G+1.00*vyhr6N1

**Extrémy pro výsledek : 55 - Vr6N Obal. křivka stand.**

Typ obalové křivky : min/max

ID prutu	Poloha [m]	My [kNm]	Nx [kN]	
1	2.657	<b>-6.880</b>	-33.066	Vr6N0003
	0.590	<b>8.465</b>	-66.137	Vr6N0003
	4.725	5.149	<b>-72.123</b>	Vr6N0004
	0.000	0	<b>0</b>	Vr6N0001

**Průběh My a Nx**

## 2.4. Zatížitelnost stávající klenby

Únosnost původní klenby je posouzena metodou výpočtu za vyloučeného tahu.

Výpočet napětí je proveden za podmínky vyloučeného tahu, tedy připouští se rozevírání spar klenby. Zatížitelnost je vypočtena iterací variováním koeficientu „k“, který je násobkem účinků normového nahodilého zatížení. Výpočet je proveden podle následujících vztahů:

Výpočet namáhání:

$$M = M_q + k \cdot \delta \cdot M_p \quad N = N_q + k \cdot \delta \cdot N_p$$

Výpočet za vyloučeného tahu:

$$x = \frac{3 \cdot h}{2} + \frac{3 \cdot M}{N} \quad \sigma = \frac{2 \cdot N}{x}$$

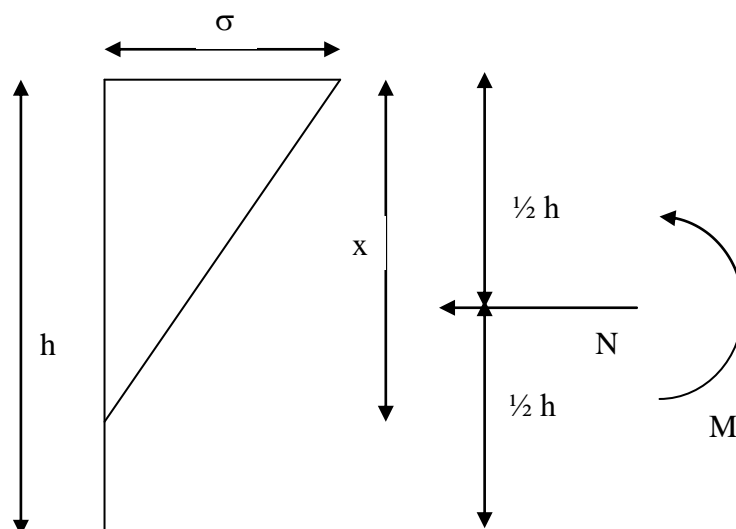
Podmínky platnosti:

$$0 < x \leq h$$

$$M \geq 0$$

Výpočet bez vyloučení tahu:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$



Zatížitelnost je určena jako „k“ násobek normového zatížení včetně dynamického součinitele. S ohledem na neznámou kvalitu zdiva se podle odborného vizuálního posouzení předpokládá poměrně nízká třída zdiva a to pro:

- lomové a kyklopské **zdivo** pevnostní značky **II (80)**
- **malta** pevnostní třídy **0.4**
- výpočtová pevnost zdiva jako celku **0.4MPa**
- **tloušťka klenby** podle tloušťky viditelných čel **50cm**

V následujících tabulkách je nahodilé zatížení (obálky nahodilého zatížení) včetně dynamického součinitele.

Posouzení je provedeno pro maximální a minimální moment ze simulace přejezdu vozidel s odpovídajícími normálovými silami a stálým zatížením ve stejném profilu. Je přitom uvažován plný dynamický součinitel 1.4 společně se součinitelem zatížení 1.5 (1.4x1.5=2.1). V případě pojezdu pomalou rychlostí je zatížitelnost vyšší o vliv sníženého dynamického součinitele (1.05x1.5=1.575) a to v poměru 2.1:1.575=1.3333, tedy o cca 33%.

### 2.4.1. Výhradní dvounáprava

#### Max M:

Vstupní údaje	normální			
k= 0.4470	$\delta$ = 2.10	h= 0.50	b= 1.00	
$M_g$ = 4.884	$M_p$ = 4.579	M= 9.182	W= 0.04	
$N_g$ = -52.483	$N_p$ = -12.611	N= -64.321	A= 0.50	
Výpočet za vyloučeného tahu pro $x < h$				
x= 0.322	$\sigma$ = -400			
Výpočet za předpokladu homogenního průřezu				
	$\sigma_d$ = 92	$V_n$ = 32		
	$\sigma_h$ = -349		<b>Z= 14.304</b>	

#### Min M:

Vstupní údaje	normální			
k= 0.2250	$\delta$ = 2.10	h= 0.50	b= 1.00	
$M_g$ = 5.877	$M_p$ = 4.421	M= 7.966	W= 0.04	
$N_g$ = -92.904	$N_p$ = -23.982	N= -104.235	A= 0.50	
Výpočet za vyloučeného tahu pro $x < h$				
x= 0.521	$\sigma$ = -400			
Výpočet za předpokladu homogenního průřezu				
	$\sigma_d$ = -17	$V_n$ = 32		
	$\sigma_h$ = -400		<b>Z= 7.200</b>	

### 2.4.2. Výhradní třínáprava

#### Max M:

Vstupní údaje	výhradní			
k= 0.3000	$\delta$ = 2.10	h= 0.50	b= 1.00	
$M_g$ = 5.963	$M_p$ = 4.600	M= 8.861	W= 0.04	
$N_g$ = -49.209	$N_p$ = -12.952	N= -57.369	A= 0.50	
Výpočet za vyloučeného tahu pro $x < h$				
x= 0.287	$\sigma$ = -400			
Výpočet za předpokladu homogenního průřezu				
	$\sigma_d$ = 98	$V_n$ = 32		
	$\sigma_h$ = -327		<b>Z= 9.600</b>	

#### Min M:

Vstupní údaje	výhradní			
k= 0.2130	$\delta$ = 2.10	h= 0.50	b= 1.00	
$M_g$ = 5.877	$M_p$ = 4.357	M= 7.826	W= 0.04	
$N_g$ = -92.904	$N_p$ = -28.205	N= -105.520	A= 0.50	
Výpočet za vyloučeného tahu pro $x < h$				
x= 0.528	$\sigma$ = -400			
Výpočet za předpokladu homogenního průřezu				
	$\sigma_d$ = -23	$V_n$ = 32		
	$\sigma_h$ = -399		<b>Z= 6.816</b>	

## 2.4.3. Výhradní šestináprava

## Max M:

Vstupní údaje		výjimečná	
k= 0.2240	δ= 2.10	h= 0.50	b= 1.00
M <sub>g</sub> = 5.963	M <sub>p</sub> = 6.880	M= 9.199	W= 0.04
N <sub>g</sub> = -49.197	N <sub>p</sub> = -33.066	N= -64.751	A= 0.50
Výpočet za vyloučeného tahu pro x<h			
x= 0.324	σ= -400		
Výpočet za předpokladu homogenního průřezu			
σ <sub>d</sub> = 91		V <sub>n</sub> = 120	
σ <sub>h</sub> = -350		Z= 26.880	

## Min M:

Vstupní údaje		výjimečná	
k= 0.0300	δ= 2.10	h= 0.50	b= 1.00
M <sub>g</sub> = 6.956	M <sub>p</sub> = 8.465	M= 7.489	W= 0.04
N <sub>g</sub> = -104.488	N <sub>p</sub> = -66.137	N= -108.655	A= 0.50
Výpočet za vyloučeného tahu pro x<h			
x= 0.543	σ= -400		
Výpočet za předpokladu homogenního průřezu			
	σ <sub>d</sub> = -38	V <sub>n</sub> = 120	
	σ <sub>h</sub> = -397	Z= 3.600	

## 2.5. Návrh výztuže rubové obetonávky

Návrh je proveden na ohybový moment od plného normového zatížení (maxima z přejezdu všech uvažovaných vozidel plné hmotnosti), normálové síly jsou přitom zanedbány na straně bezpečnosti.

## 2.5.1. Návrh na mezní stav únosnosti

Výpočet mezního momentu únosnosti železobetonového průřezu je proveden v následující tabulce podle teorie mezních stavů:

Návrh plochy výztuže:  $\lambda = 0.8$   $\eta = 1.0$

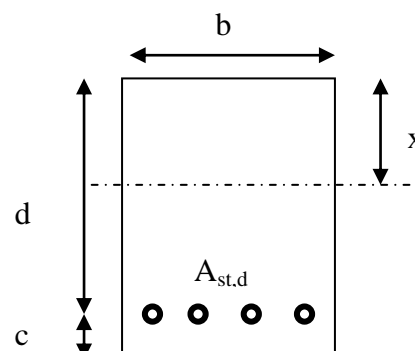
$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left( -1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right) < x_{bal} = d \cdot \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \frac{f_{yd}}{E_s}}$$

$$A_{st,req} = \frac{b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}}{f_{yd} \cdot r} \cdot \left( -1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$A_{x,min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \cdot b \cdot d \quad A_{x,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d$$

Posouzení únosnosti:

$$x = \frac{A_{st,d} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} \quad M_{Rd} = A_{st,d} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.5 \cdot \lambda \cdot x)$$



## Profil nad vrcholem klenby:

Namáhání		Návrh výztuže					
$M_{ed}[\text{MNm}] =$	0.009199	$A_{st,d}$	6.66	$\phi$	10		
Beton-průřez		Materiálové charakteristiky betonu a oceli					
$b[\text{m}] =$	1.000	$f_{ctm}[\text{MPa}] =$	2.9	$f_{yk}[\text{MPa}] =$	500	$\varepsilon_{cu} =$	0.0035
$h[\text{m}] =$	0.200	$f_{ck}[\text{MPa}] =$	30.0	$f_{yd}[\text{MPa}] =$	435	$\lambda =$	0.800
$c[\text{m}] =$	0.060	$f_{cd}[\text{MPa}] =$	17.0	$E_s[\text{Mpa}] =$	200000	$\eta =$	1.000
$d[\text{m}] =$	0.140						
Přímý návrh požadované plochy výztuže a posudky							
$A_{xmin-l}[\text{m}^2] =$	0.000211		$A_{xmin-l}[\text{m}^2] =$	0.000182	mimimální plocha výztuže		
$x_{bal}[\text{m}] =$	0.086360	>	$x[\text{m}] =$	0.004900	omezení výšky tláčené oblasti		
$A_{st,req}[\text{m}^2] =$	0.000153	<	$A_{st,d}[\text{m}^2] =$	0.000523	ověření návrhové plochy výztuže		
$\mu_{minl}[\%] =$	0.15	<	$\mu[\%] =$	0.37	<	$\mu_{max}[\%] =$	1.60
Moment únosnosti							
$x[\text{m}] =$	0.016722		$M_{Rd}[\text{MNm}] =$	0.030	>	$M_{ed}[\text{MNm}] =$	0.009

## 2.5.2. Omezení trhlin a napětí

Výpočet trhlin je proveden podle ČSN EN 1992-1-1 kap.7.3.4. str.112. Výpočet omezení napětí je proveden dle ČSN EN 1992-2 EC2 část 2

$$\sigma_{c, char} = \frac{M_{char}}{A_c \cdot z} \leq k_c \cdot f_{ck} \quad \sigma_{s, char} = \frac{M_{char}}{A_{s1} \cdot z} \leq k_y \cdot f_{yk} \quad z = d - 0.4 \cdot x$$

$$w_k = s_{r, max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad \alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} \quad \rho_{p, eff} = \frac{A_s + \xi_1^2 \cdot A_p}{A_{c, eff}}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct, eff}}{\rho_{p, eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p, eff})}{E_s} \quad s_{r, max} = k_3 \cdot c + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi}{\rho_{p, eff}}$$

## Profil nad vrcholem klenby:

$M_{char}[\text{MNm}] =$	0.009199	$A_s[\text{m}^2] =$	6.66	$\phi$	10	$A_s[\text{m}^2] =$	0.000523	$\sigma_{sl}[\text{Mpa}] =$	132
$b[\text{m}] =$	1.000	$f_{ct, eff}[\text{MPa}] =$	2.9	$f_{yk}[\text{MPa}] =$	500	$x[\text{m}] =$	0.016722	$k_t =$	0.600
$h[\text{m}] =$	0.200	$f_{ck}[\text{MPa}] =$	30.0	$f_{yd}[\text{MPa}] =$	435	$\lambda =$	0.800	$k_1 =$	0.800
$c[\text{m}] =$	0.060	$f_{cd}[\text{MPa}] =$	17.0	$\varepsilon_{cu} =$	0.0035	$\eta =$	1.000	$k_2 =$	0.500
$d[\text{m}] =$	0.140	$E_{cm}[\text{Mpa}] =$	36000	$E_s[\text{Mpa}] =$	200000	$\alpha_e =$	5.556	$k_3 =$	3.400
$h_{c, eff}[\text{m}] =$	0.061	$A_p[\text{m}^2] =$	0	$\phi$	15.5	$A_p[\text{m}^2] =$	0.000000	$k_4 =$	0.425
$A_{c, eff}[\text{m}^2] =$	0.061	$\xi =$	0.500	$\xi_1 =$	0.568	$\rho_{p, eff} =$	0.008562	$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} =$	0.000
$s_{r, max}[\text{mm}] =$	199	$w_k[\text{mm}] =$	-0.08	<	$w_{lim}[\text{mm}] =$	0.3			
$k_c =$	0.600	$k_y =$	0.800						
$\sigma_{sl}[\text{Mpa}] =$	132	<	400		$\sigma_c[\text{Mpa}] =$	5.1581	<	18	

**2.5.3. Posouzení na únavu**

Posudek je proveden na namáhání od zatížení bez součinitele zatížení. To je v daném případě určeno pouze pro podélné momenty z extrémů strojové superpozice následovně:

Únava betonu:

$$x = \frac{A_{st,d} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} \quad \sigma_c = \frac{M}{b \cdot \lambda \cdot x \cdot (d - 0.4x)} \quad \beta_{cc} = \exp \left[ s \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right) \right]$$

$$t = \text{čas poč.cyklického zatížení} \quad k_1 = 0.85 (\text{pro } N = 10^6 \text{ cyklů})$$

$$s_{\text{cement}_{tř.R}} = 0.2 \quad s_{\text{cement}_{tř.N}} = 0.25 \quad s_{\text{cement}_{tř.N}} = 0.38$$

$$f_{cd,fat} = k_1 \cdot \beta_{cc} \cdot f_{cd} \cdot \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

$$\text{metoda 1: } \sigma_{cd,max} + 0.43 \cdot \sqrt{1 - \frac{\sigma_{cd,min}}{\sigma_{cd,max}}} \leq 1$$

$$\text{metoda 2: } \frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd,fat}} \leq 0.5 + 0.45 \cdot \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} \leq 0.9 \text{ pro } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa } (\leq 0.8 \text{ pro } f_{ck} > 50 \text{ MPa})$$

Únava betonářské oceli

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta \sigma_{s,eq} (N^*) \leq \frac{\Delta \sigma_{RSK} (N^*)}{\gamma_{s,fat}} \quad \sigma_{s,eq} = \frac{M_{equ}}{A_s \cdot (d - 0.4 \cdot x)}$$

$$\gamma_{F,fat} = 1.0 \quad \gamma_{s,fat} = 1.0 \quad \Delta \sigma_{RSK} (N^*) = 162.5 \text{ MPa}$$

**Profil nad vrcholem klenby:**

$M_{\text{equ,max}}[\text{MNm}] =$	0.009199	$M_{\text{equ,min}}[\text{MNm}] =$	0.000		6.66	$\phi$	10
Materiálové a průřezové charakteristiky betonu a oceli						$A_{\text{st,d}}[\text{m}^2] =$	0.000523
$b[\text{m}] =$	1.000	$f_{\text{ctm}}[\text{MPa}] =$	2.9	$f_{\text{yk}}[\text{MPa}] =$	500	$\lambda =$	0.800
$h[\text{m}] =$	0.200	$f_{\text{ck}}[\text{MPa}] =$	30.0	$f_{\text{yd}}[\text{MPa}] =$	435	$\eta =$	1.000
$c[\text{m}] =$	0.060	$f_{\text{cd}}[\text{MPa}] =$	17.0				
$d[\text{m}] =$	0.140					$x[\text{m}] =$	0.017
Beton:		$\sigma_{\text{cd,max}}[\text{MPa}] =$	5.2	$\sigma_{\text{cd,min}}[\text{MPa}] =$	0.0	$\beta_{\text{cc}} =$	1.099
$s =$	0.20	$t[\text{dni}] =$	100	$k_1 =$	0.85	$f_{\text{cd,fat}}[\text{Mpa}] =$	14.0
podmínka 1	0.80	<	1.00			vyhovuje	
podmínka 2	0.37	<	0.50	<	0.8	vyhovuje	
Ocel:		$\sigma_{\text{s,max}}[\text{MPa}] =$	132	$\sigma_{\text{s,min}}[\text{MPa}] =$	0		
$\gamma_{\text{F,fat}} =$	1.00	$\gamma_{\text{s,fat}} =$	1.00	$\Delta \sigma_{\text{RSKL}}[\text{Mpa}] =$	162.5		
podmínka:	132	<	163			vyhovuje	

## 2.6. Návrh výztuže čelní zdi

Výztuž zesílení čelní zdi (rubová stěna, železobeton s obkladem) je navržena na sílu nárazu vozidla 100kN v úrovni obruby s roznosem pod úhlem 45° na výšku zdi v patě obetonávky a boční zemní tlak od vlastní tíhy i rozneseného pohyblivého zatížení.

$$p_{\text{boční zemní tlak v dolní úrovni v patě obetonávky}} = \left( 20 \cdot 1.55 + \frac{320}{2.5 \cdot 3.65} \right) \cdot 0.5 = 66 \text{ kPa}$$

$$M_{\text{boční zemní tlak}} = \frac{1}{2} \cdot 66 \cdot 1.55^2 = 79 \text{ kNm/m}$$

$$M_{\text{náraz vozidla do obruby}} = \frac{100 \cdot 1.55}{1.55 + 1.55} = 50 \text{ kNm/m}$$

Výpočet mezního momentu únosnosti železobetonového průřezu je proveden v následující tabulce podle teorie mezních stavů:

Návrh plochy výztuže:  $\lambda = 0.8$   $\eta = 1.0$

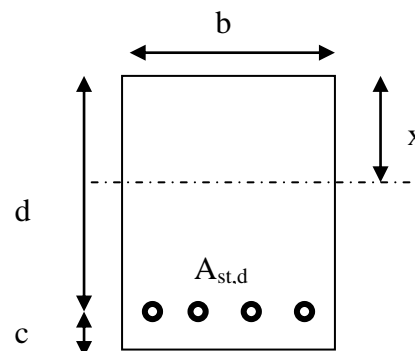
$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left( -1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right) < x_{bal} = d \cdot \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \frac{f_{yd}}{E_s}}$$

$$A_{st, req} = \frac{b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}}{f_{yd} \cdot r} \cdot \left( -1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$A_{x, min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \cdot b \cdot d \quad A_{x, min} = 0.0013 \cdot b \cdot d$$

Posouzení únosnosti:

$$x = \frac{A_{st, d} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} \quad M_{Rd} = A_{st, d} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.5 \cdot \lambda \cdot x)$$



### Profil v patě obetonávky:

Namáhání		Návrh výztuže					
$M_{ed}[\text{MNm}] =$	0.129000	$A_{st, d}$	10	$\phi$	14		
Beton-průřez		Materiálové charakteristiky betonu a oceli					
$b[\text{m}] =$	1.000	$f_{ctm}[\text{MPa}] =$	2.9	$f_{yk}[\text{MPa}] =$	500	$\varepsilon_{cu} =$	0.0035
$h[\text{m}] =$	0.300	$f_{ck}[\text{MPa}] =$	30.0	$f_{yd}[\text{MPa}] =$	435	$\lambda =$	0.800
$c[\text{m}] =$	0.060	$f_{cd}[\text{MPa}] =$	17.0	$E_s[\text{Mpa}] =$	200000	$\eta =$	1.000
$d[\text{m}] =$	0.240						
Přímý návrh požadované plochy výztuže a posudky							
$A_{x, min-rl}[\text{m}^2] =$	0.000362		$A_{x, min-rl}[\text{m}^2] =$	0.000312		mimimální plocha výztuže	
$x_{bal}[\text{m}] =$	0.148046	>	$x[\text{m}] =$	0.042538		omezení výšky tláčené oblasti	
$A_{st, req}[\text{m}^2] =$	0.001331	<	$A_{st, d}[\text{m}^2] =$	0.001539		ověření návrhové plochy výztuže	
$\mu_{minx}[\%] =$	0.15	<	$\mu[\%] =$	0.64	<	$\mu_{max}[\%] =$	1.60
Moment únosnosti							
$x[\text{m}] =$	0.049213		$M_{Rd}[\text{MNm}] =$	0.147	>	$M_{ed}[\text{MNm}] =$	0.129

### 3. Závěr

**Zatížitelnost stávající klenby** byla stanovena dle ČSN 73 6222 za předpokladu přejezdu neomezenou rychlostí s plným dynamickým součinitelem. Kvalita zdiva klenby byla přitom stanovena odborným vizuálním posouzením.

Zatížitelnosti původní klenby jsou následující:

- Výhradní zatížitelnost dvounápravovým vozidlem 7.2t
- Výhradní zatížitelnost dvounápravovým vozidlem 6.8t
- Výhradní zatížitelnost šestinápravovým vozidlem 3.6t

Zatížitelnost normální ani výjimečná není s ohledem na prostorové uspořádání stanovena, lze ale stanovit z vypočtených hodnot na:

- Normální zatížitelnost dvounápravovými vozidly 7.2t
- Výjimečná zatížitelnost devitinápravovým vozidlem 5.4t

Zatížení na nápravu je dáno zatížitelností dvounápravovým vozidlem stanovením zatížení zadní těžší nápravy:

- Zatížení na nápravu 5.4t

V případě přejezdu omezenou rychlostí do 5km/h je zatížitelnost vyšší o 33%.

Hodnoty zatížitelnosti by měly být dále redukovány součinitelem stavebního stavu dle ČSN 73 6221 na základě zhodnocení stavu hlavní mostní prohlídkou. Vzhledem k navrhované rekonstrukci součinitel není aplikován a nejsou stanovena ani dopravní opatření.

**Zatížitelnost mostu po rekonstrukci** odpovídá návrhovému zatížení, na které byla navržena výztuž rubové zesilující obetonávky:

- Normální zatížitelnost dvounápravovými vozidly 32t
- Výhradní zatížitelnost šestinápravovým vozidlem 120t

V tomto případě není nutno most osazovat dopravními omezeními. Podmínkou je ale spřažená rubová **obetonávka v tloušťce min. 20cm** nad vrcholem klenby vyztužená v podélném směru min.  $\varnothing R10$  po max. 15cm u obou povrchů a v příčném směru stejně (z konstruktivních důvodů navrhuji **KARI síť 100/100/10 u obou povrchů**, spřažení **trny min.  $\varnothing R12$  v rastru max. 40/40cm**). Smykovou obetonávky zajišťují spřahující trny, konstruktivně navrhuji **doplnit sponami** do počtu **min.  $9\varnothing R6/m^2$** .

**Čelní zdi v tloušťce min. 30cm** přitom budou vyztuženy na ohyb **min.  $\varnothing R14$  po max. 10cm**. Smykovou **výztuž** navrhuji konstruktivně **sponami z min.  $9\varnothing R6/m^2$** .

V Liberci, dne 25.2.2019  
Vypracoval ing. T. Humpal