

# Statický výpočet

## Obsah:

<b>1.</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1.	VŠEOBECNĚ .....	1
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.....	8
2.2.	ZATÍŽENÍ.....	15
2.2.1.	Stálé zatížení.....	15
2.2.2.	Nahodilé zatížení .....	15
2.2.3.	Vedlejší zatížení .....	18
2.2.4.	Sestavené zatěžovací stavy.....	19
2.3.	VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL .....	24
2.3.1.	Průběh vnitřních sil v trámech.....	24
2.3.2.	Rekapitulace vnitřních sil v trámech .....	26
2.4.	ZATÍŽITELNOST .....	27
2.4.1.	Moment únosnosti trámů .....	27
2.4.3.	Zatížitelnost jednotlivých typů vozidel a prvků.....	30
<b>3.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>31</b>

## 1. Úvod

### 1.1. Všeobecně

Jedná se o most v Rumburku v ulici Žitná. Most převádí místní komunikaci přes řeku Mandavu. V rámci opravy mostu dojde k realizaci spřažené desky s vykonzolováním pro kotvení rozšiřujících chodníkových říms. Výpočet zatížitelnosti vychází z již provedeného statického výpočtu se zahrnutím navrhovaných úprav.

## 1.2. Popis konstrukce

Jedná se o kolmý most o jednom prostě uloženém poli ze železobetonu. Nosná konstrukce je monolitická trémová, 6 trámů osově po 1.4m v příčném profilu spojených monolitickou železobetonovou deskou. Výška nosného profilu je 61cm, z toho deska 20cm. Na stávající konstrukci bude provedena spřažená deska, která svou tloušťkou odpovídá navýšenému vozovkovému souvrství. Deska bude vykonzolována kvůli zajištění prostoru pro kotvení rozšířené chodníkové římsy. Rozpětí mostu je 6.0m, původní šířka 7.8m bude deskou upravena na proměnných 8.6 v lici pravobřežní opěry až po 9.06m v lici levobřežní opěry (na konci doplňujících křídel levobřežní opěry je šířka desky až 9.4m).

Opěry jsou charakteru masivních tížných zdí z betonu s rovnoběžnými křídly na vtoku a kolmými křídly na výtoku.

Mostní svršek je opatřen železobetonovými vykonzolovanými chodníkovými římsami. Původně navýšené vozovky jsou nahrazeny spřaženou deskou s živičným krytem. Jako záchytné zařízení je osazeno ocelové zábradlí.

## 1.3. Předpoklady výpočtu

Předpokládá se provedení betonáže původní nosné konstrukce najednou na provizorní skruži. Betonáž zesilující spřažené desky se předpokládá bez provizorního podepření stávající konstrukce odlehčené o vozovku.

Pozitivní vliv spřažení desky s původními nosníky je na straně bezpečnosti zanedbán. Rovněž vliv postupu betonáže bez podepření je zanedbán a to rovněž na straně bezpečnosti uvažováním momentu únosnosti nespřaženého profilu.

Tento postup opravy byl zvolen s ohledem na skutečnost, že rozhodovala zatížitelnost desky mostovky, zatížitelnost nosných trámů je dostatečná (viz statický výpočet zatížitelnosti).

Pro omezení lokálních extrémů je ve výpočtu uvažováno s pružnými liniovými podporami. Předpokládá se pokles o 1mm při zatížení 300kN.

Model s centricky připojenou deskou mostovky dostatečně koresponduje se skutečným působením, vzniklá nepřesnost je zanedbatelná.

Pro potřeby výpočtu se předpokládá stejná výztuž všech trámů, vnitřních i krajních.

Výpočet je omezen pouze na rozhodující profil, tedy nosnou konstrukci uprostřed rozpětí namáhaná ohybem. Předpokládá se dostatečná únosnost smykem namáhaných prvků a dostatečná stabilita opěr. Předmětem posouzení jsou rozhodující trámy nosné konstrukce a deska mostovky.

Předpokládám, že výztuž desky u horního povrchu je stejná jako u dolního a byla navržena na momenty ve vetknutí. Únosnost původní desky mostovky ale v případě zesílení spřaženou deskou pozbývá smyslu.

## 1.4. Literatura

### Normy:

- ČSN 73 6220/2011 Evidence mostů pozemních komunikací
- ČSN 73 6221/2011 Prohlídky mostů pozemních komunikací
- ČSN 73 6222/2013 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací

### Programy:

- FEAT'2000 SCIA s.r.o., řešení konstrukcí metodou konečných prvků

### Podklady:

- Mostní list 2002
- Hlavní mostní prohlídka 2014
- Diagnostický průzkum 2015
- Rozpracovaný projekt rekonstrukce mostu

### Literatura:

- Statické tabulky

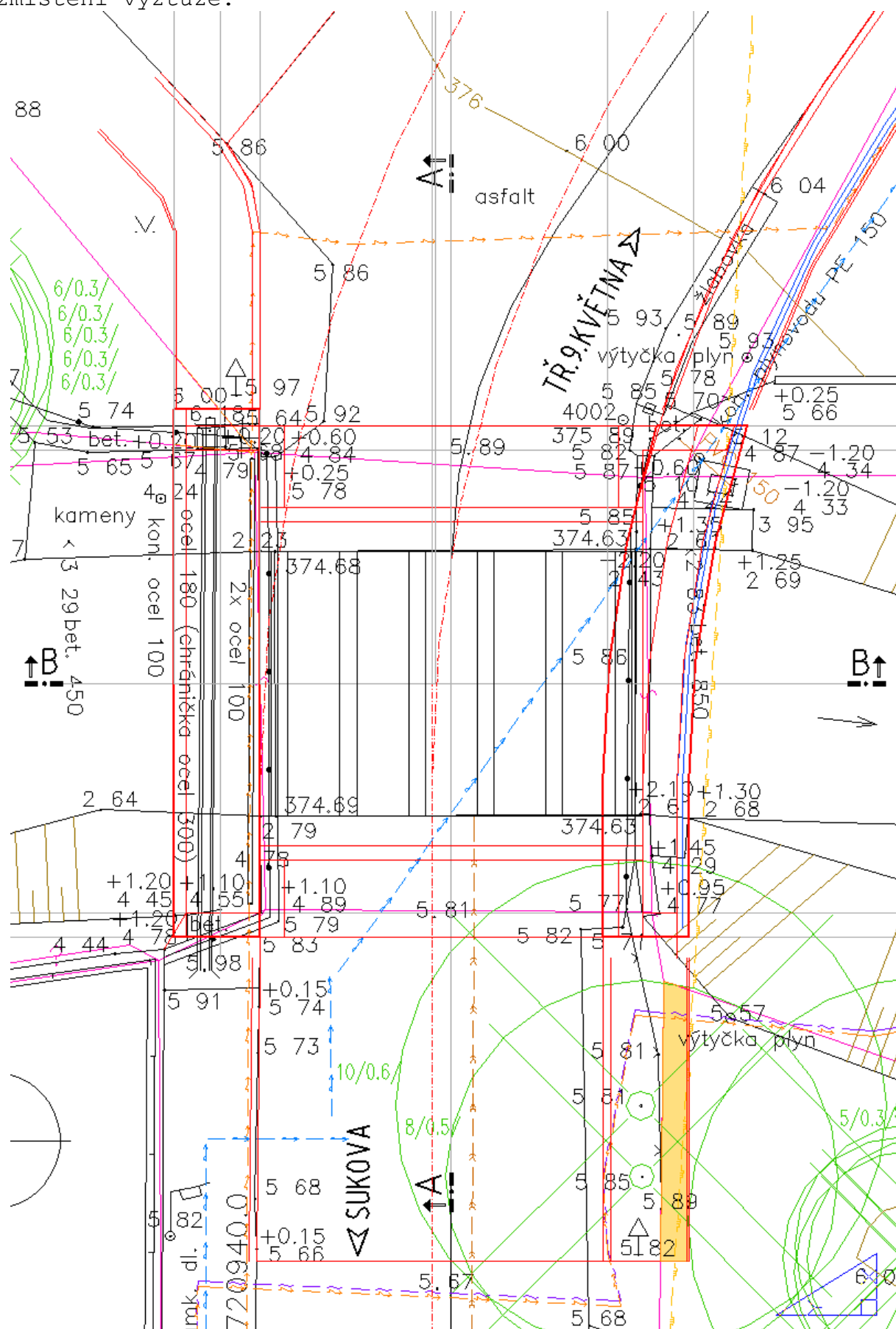
## 2. Statický výpočet

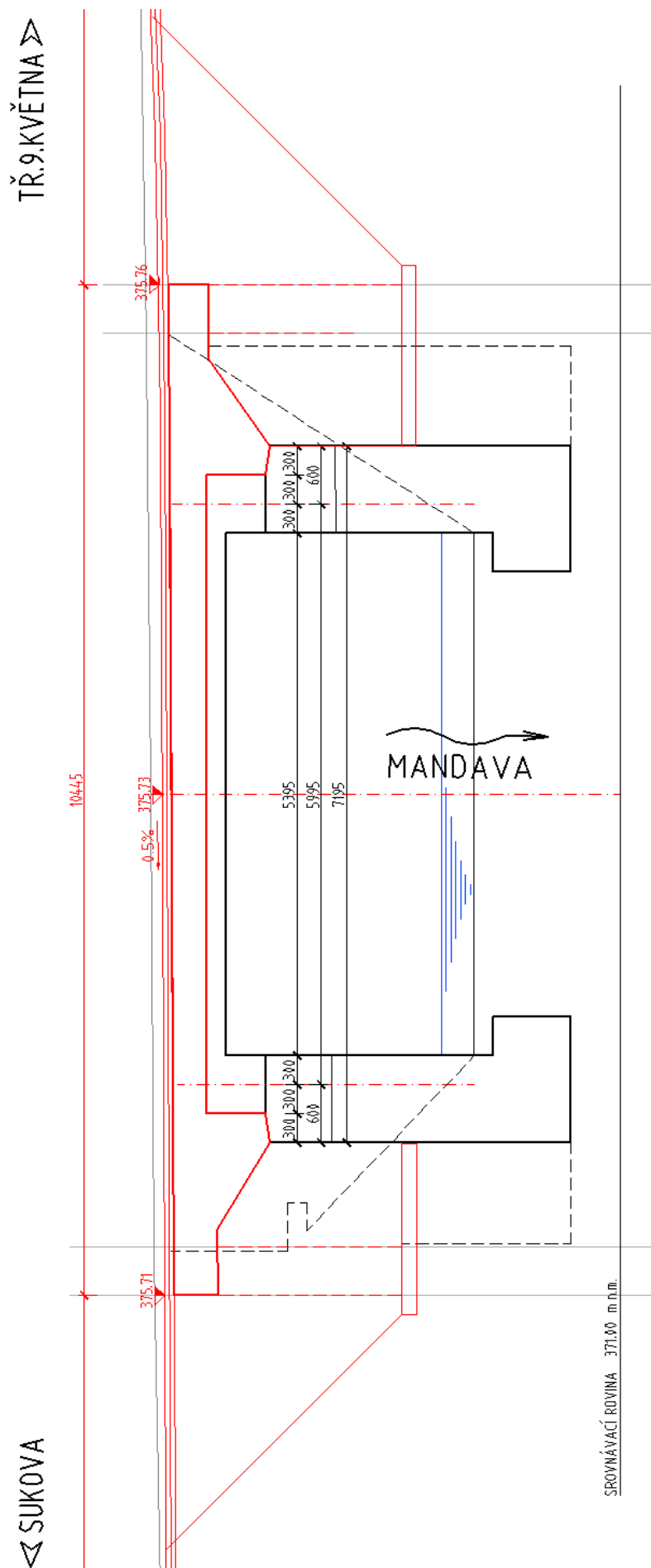
### 2.1. Geometrie

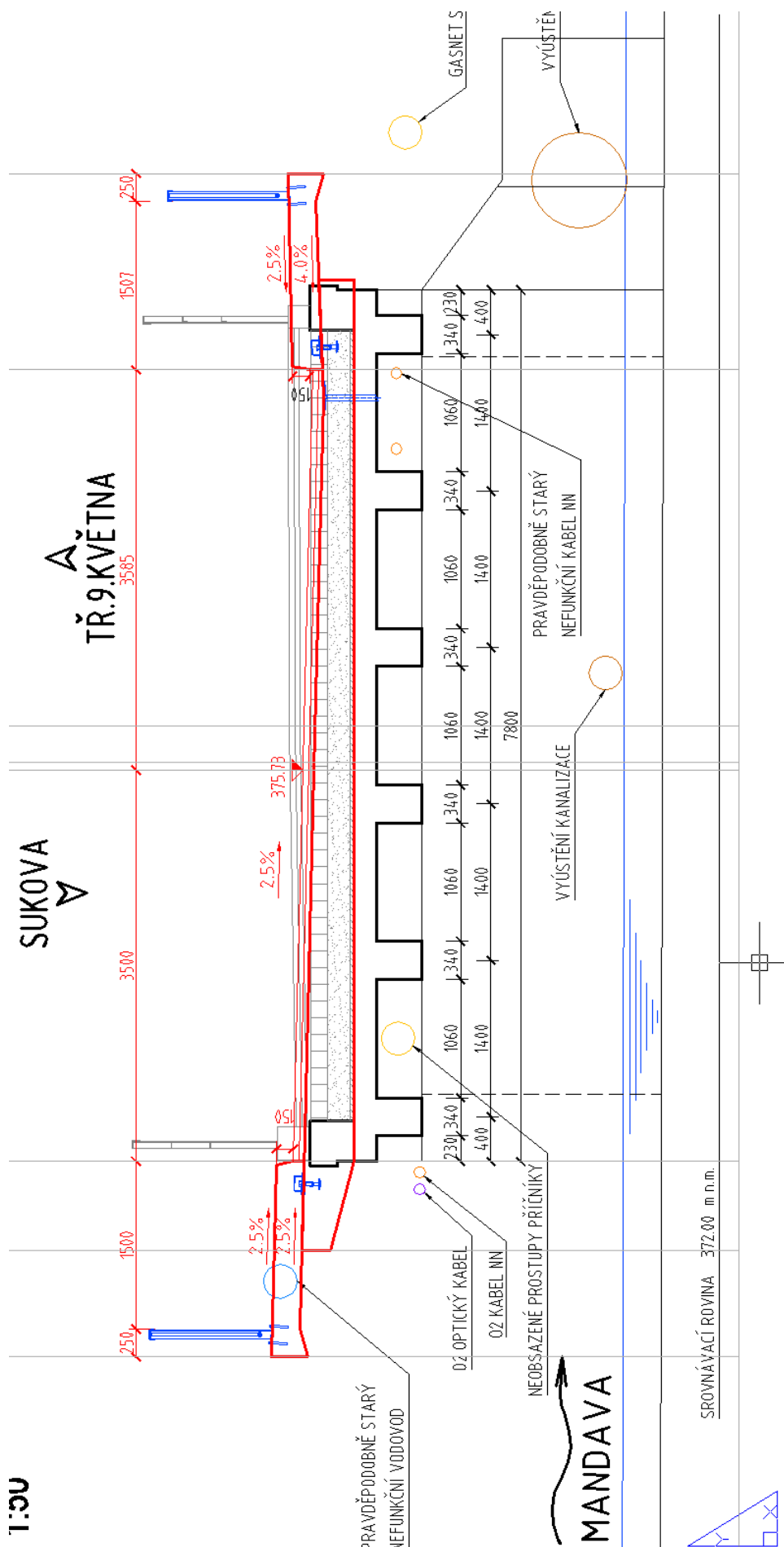
Tvar a základní rozměry mostu jsou patrné z příložených schémat. Vstupní údaje a údaje o výpočetním modelu jsou s ohledem na množství dat uvedeny pouze základní, kompletní vstupy jsou archivovány u projektanta.

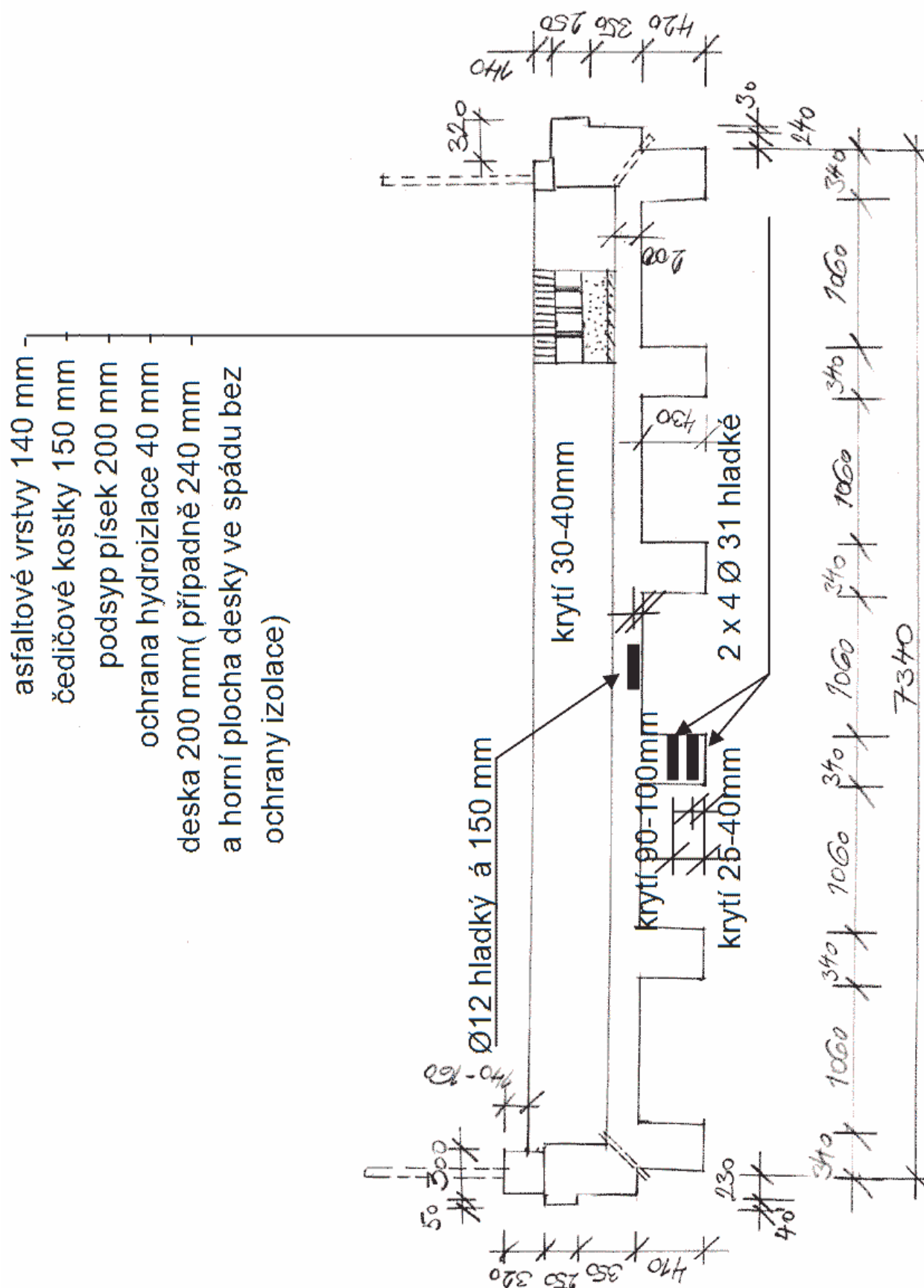
### 2.1.1. Tvar konstrukce

Tvar konstrukce je převzatý s původní dokumentace, včetně rozmístění výztuže.









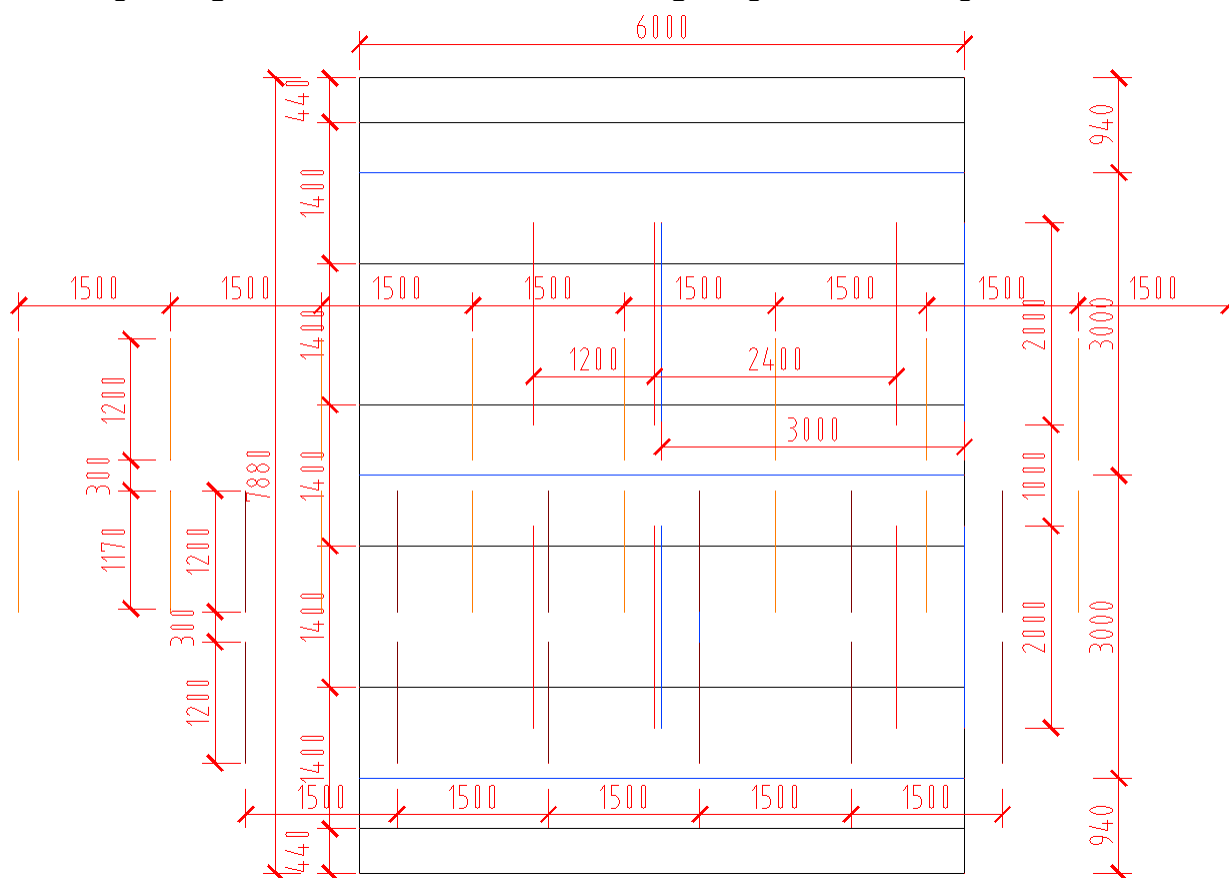
**2.1.2. Model konstrukce**

Model nosné konstrukce je vytvořen v programovém systému FEAT\_2000 za využití grafického systému ACAD\_2007 pro přípravu geometrie.

Model nosné konstrukce je zvolen jako kolmá trémová konstrukce s centricky připojenou deskou. Tuhost desky je zahrnuta v profilu trámů, modelové propojení deskou zajišťuje pouze příčný roznos.

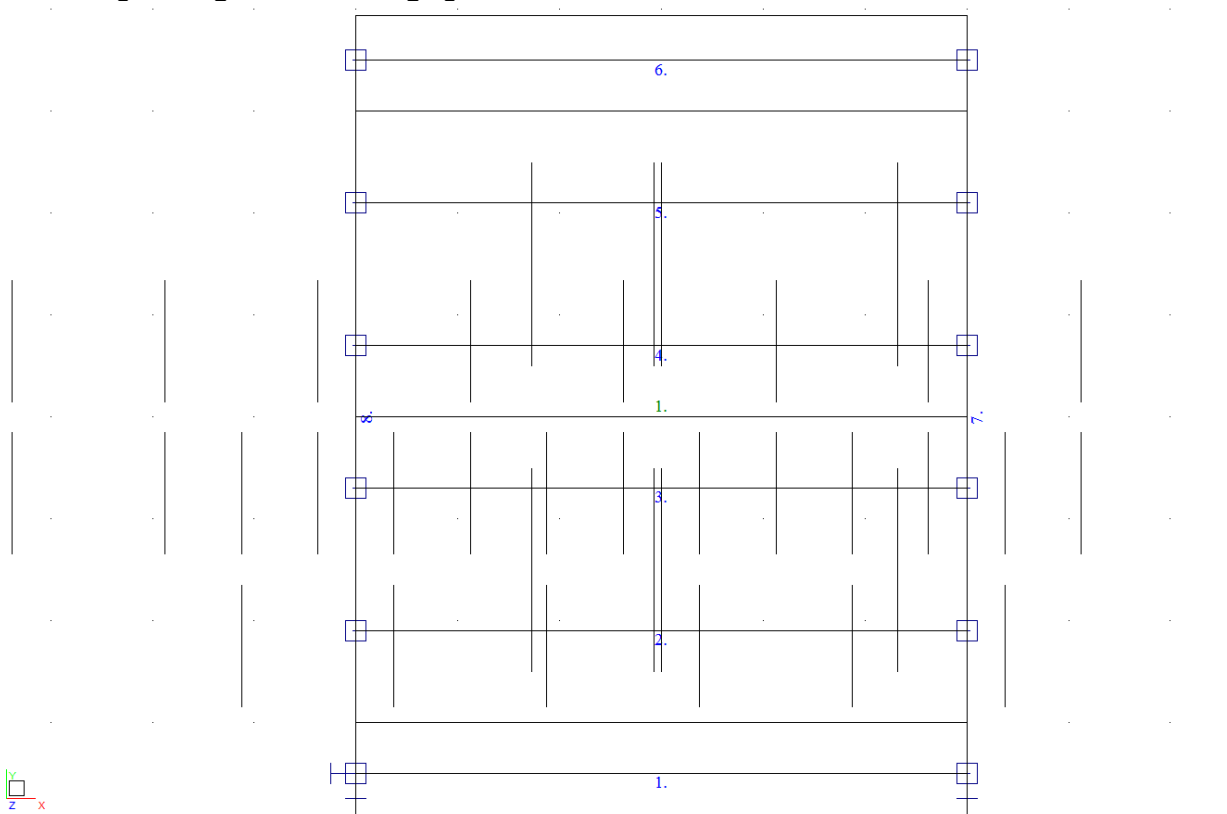
Pro snížení vlivu extrémních namáhání v rozích je uložení modelováno jako pružné. Tuhost uložení je stanovena z předpokládané deformace v uložení 1mm při zatížení 300kN/m, tedy  $k=300/0.001=300000\text{kN/m}^2$ .

**Model v půdorysu se základními rozměry a polohami náprav**

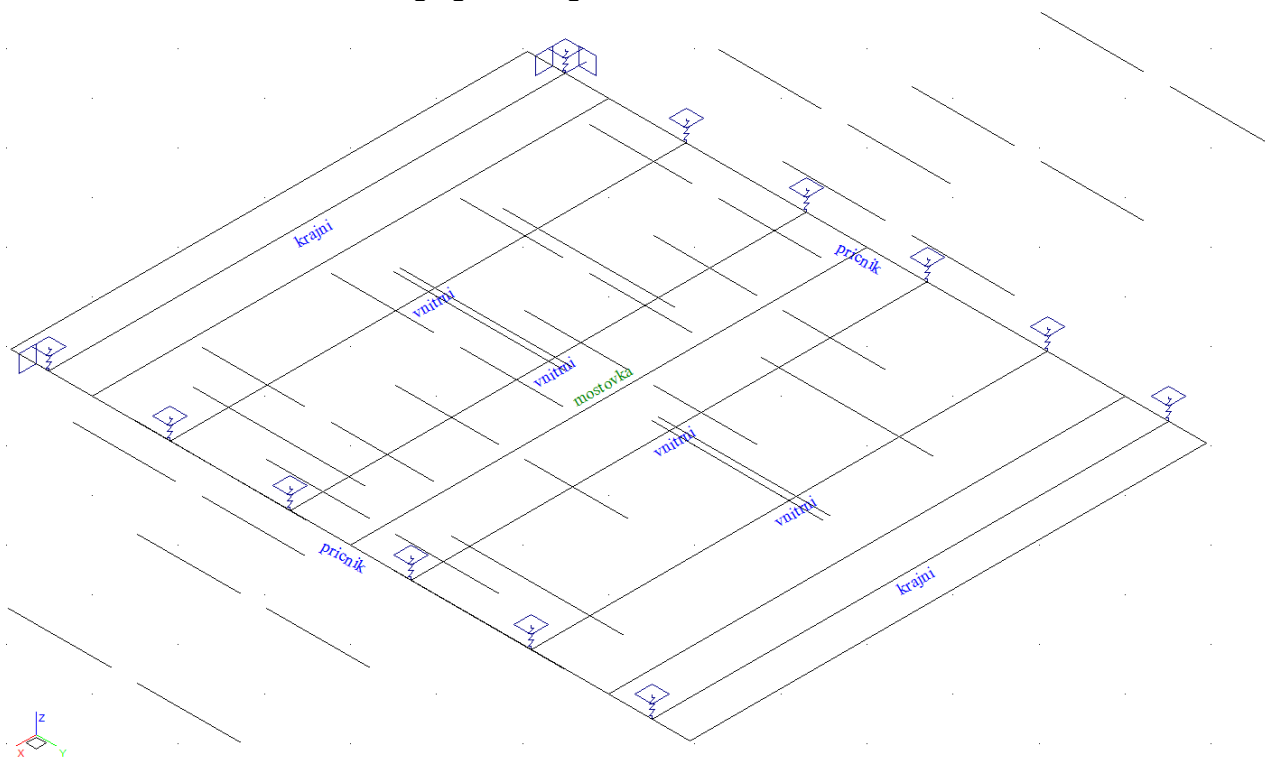




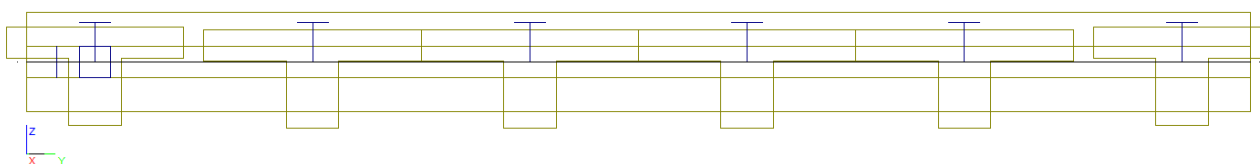
### Model v půdorysu s čísly prvků



### Model v axonometrii s popisem prvků



### Model v příčném řezu



**Údaje o konstrukci**

Jméno projektu	nk	Prutů	8	Geometrie - délky	m
Autor projektu	Ing.T.Humpal	Ploch	1	Geometrie - úhly	deg
Popis projektu	žlb.trám	Zatížení	57	Průřezy - délky	m
Rozměr projektu	Prostor	Podpor	12	Zatížení, výsledky - síly	kN
Datum	8.4.2015	Bodů	0	Zatížení, výsledky - napětí	kPa
Čas	7:18	Linii	54	Zatížení, výsledky - délky	m
		Ploch	0	Deformace - posuny	m
		Kontaktů	34	Deformace - natočení	deg
		Materiálů	1	Čas	sec
		Průřezů	3	Teplota	°C
		Tloušťek	1	Hmota	t
		Podloží	0		
		Skupin	4		
		Zat. stavů	8		

**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	ni	gama	K 1	E 2	K 2	útlum
		[kPa]		[t/m3]	[kN/m3]	[kPa]	[kN/m3]	
BETON	BETON	2.600e+07	0.200	2.500	1.000e-05			0.100

Materiál	Objem	Hmotnost
	[m3]	[t]
BETON	28.147	70.367
celkem		70.367

**Výpis zadanych tloušťek:**

Označení	Materiál	Tloušťka
		[m]
mostovka	*BETON	0.200

**Výpis plošných dílců - parametry ploch:**

Plocha	Typ plochy	Deska	Tloušťka	Objem	Skupina
			[m]	[m3]	
1	Rovinná deska	Tenká deska	0.200	9.456	Skupina č.1

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

Plocha	Hrana	Počátek	Konec
		[m]	[m]
Polygon1	1	-3.000,3.940,0.000	3.000,3.940,0.000
	2	3.000,3.940,0.000	3.000,-3.940,0.000
	3	3.000,-3.940,0.000	-3.000,-3.940,0.000
	4	-3.000,-3.940,0.000	-3.000,3.940,0.000

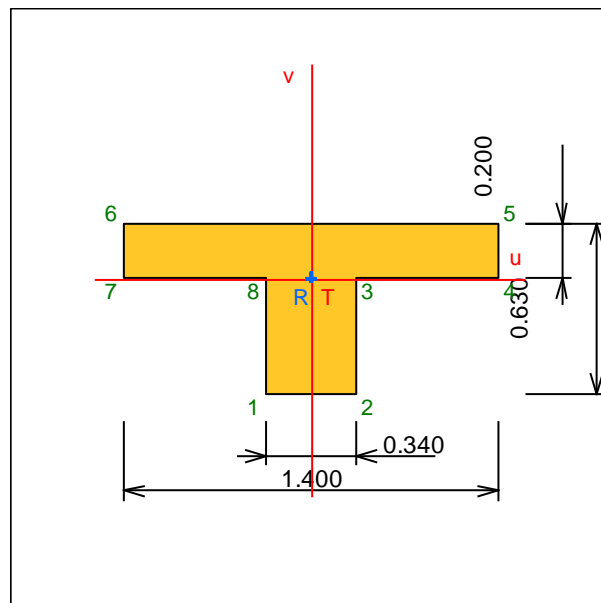
**Výpis zadanych průřezů:****Průřez : vnitřní**

Typ : monolitický

Rozměry :

výška :  $h = 0.63 \text{ m}$ šířka :  $b = 1.4 \text{ m}$ tloušťka stojiny :  $th = 0.34 \text{ m}$ tloušťka horní příruby :  $tb = 0.2 \text{ m}$ 

Průřezové charakteristiky :

průřezová plocha :  $A = 0.4262 \text{ m}^2$ první hlavní moment setrvačnosti :  $I_u = 0.0127165 \text{ m}^4$ druhý hlavní moment setrvačnosti :  $I_v = 0.0471417 \text{ m}^4$ moment setrvačnosti k ose Y :  $I_y = 0.0127165 \text{ m}^4$ moment setrvačnosti k ose Z :  $I_z = 0.0471417 \text{ m}^4$ odklon hlavních os momentu setrvačnosti :  $0 \text{ deg}$ "teplotní koeficient" Temp Y :  $\text{TempY} = 0.0201849 \text{ m}^3$ "teplotní koeficient" Temp Z :  $\text{TempZ} = 0.0336727 \text{ m}^3$ koeficient smykové poddajnosti Y :  $A_y/A = 0.800595$ koeficient smykové poddajnosti Z :  $A_z/A = 0.545532$ poloha těžiště vztažená k zadávacím souř. osám :  $e_y = 0 \text{ m}$  :  $e_z = 0.106945 \text{ m}$ poloha těžiště vztažená k prvnímu vrcholu prvního průřezu :  $e_y = 0.17 \text{ m}$  :  $e_z = 0.421945 \text{ m}$ moment tuhosti v prostém kroucení :  $I_k = 0.0119872 \text{ m}^4$ modul průřezu :  $W_{yh} = 0.0611208 \text{ m}^3$  :  $W_{yd} = 0.0301377 \text{ m}^3$  :  $W_z = 0.0673453 \text{ m}^3$ poloměr setrvačnosti :  $i_y = 0.172734 \text{ m}$  :  $i_z = 0.33258 \text{ m}$ plastický průřezový modul :  $W_{pl.y} = 0.0562236 \text{ m}^3$  :  $W_{pl.z} = 0.110398 \text{ m}^3$ 

Další údaje o průřezu :

natočení průřezu :  $\alpha = 0 \text{ deg}$ poloha referenčního bodu :  $y = 0 \text{ m}$  :  $z = 0 \text{ m}$ 

přiřazený materiál : BETON

objem 1 metru průřezu :  $0.4262 \text{ m}^3$ plocha 1 metru průřezu - vnější :  $4.06 \text{ m}^2$ hmotnost 1 metru pro přiřazený materiál :  $1.0655 \text{ t}$ 

Souřadnice vrcholů průřezu:

Vrchol č. 1 :  $y = -0.17 \text{ m}$  :  $z = -0.421945 \text{ m}$ Vrchol č. 2 :  $y = 0.17 \text{ m}$  :  $z = -0.421945 \text{ m}$ Vrchol č. 3 :  $y = 0.17 \text{ m}$  :  $z = 0.0080549 \text{ m}$ Vrchol č. 4 :  $y = 0.7 \text{ m}$  :  $z = 0.0080549 \text{ m}$ Vrchol č. 5 :  $y = 0.7 \text{ m}$  :  $z = 0.208055 \text{ m}$ Vrchol č. 6 :  $y = -0.7 \text{ m}$  :  $z = 0.208055 \text{ m}$ Vrchol č. 7 :  $y = -0.7 \text{ m}$  :  $z = 0.0080549 \text{ m}$ Vrchol č. 8 :  $y = -0.17 \text{ m}$  :  $z = 0.0080549 \text{ m}$

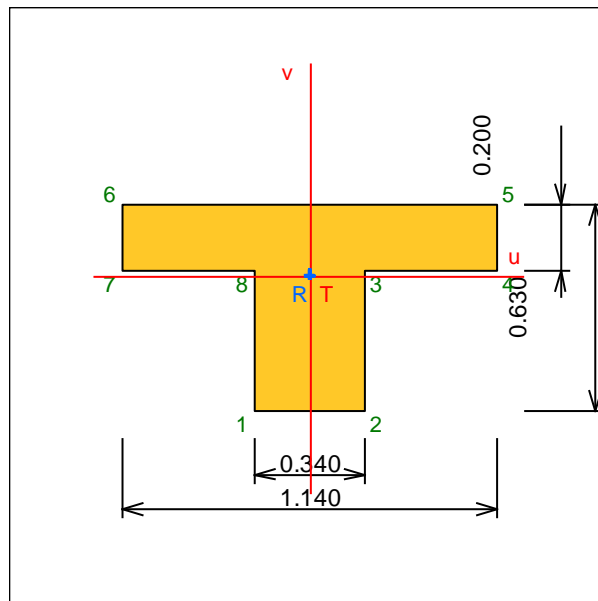
**Průřez : krajní**

Typ : monolitický

Rozměry :

výška :  $h = 0.63 \text{ m}$ šířka :  $b = 1.14 \text{ m}$ tloušťka stojiny :  $t_h = 0.34 \text{ m}$ tloušťka horní příruby :  $t_b = 0.2 \text{ m}$ 

Průřezové charakteristiky :

průřezová plocha :  $A = 0.3742 \text{ m}^2$ první hlavní moment setrvačnosti :  $I_u = 0.0118516 \text{ m}^4$ druhý hlavní moment setrvačnosti :  $I_v = 0.0261008 \text{ m}^4$ moment setrvačnosti k ose Y :  $I_y = 0.0118516 \text{ m}^4$ moment setrvačnosti k ose Z :  $I_z = 0.0261008 \text{ m}^4$ odklon hlavních os momentu setrvačnosti :  $0 \text{ deg}$ "teplotní koeficient" Temp Y :  $\text{TempY} = 0.0188121 \text{ m}^3$ "teplotní koeficient" Temp Z :  $\text{TempZ} = 0.0228954 \text{ m}^3$ koeficient smykové poddajnosti Y :  $A_y/A = 0.824275$ koeficient smykové poddajnosti Z :  $A_z/A = 0.598391$ poloha těžiště vztahená k zadávacím souř. osám :  $e_y = 0 \text{ m}$  :  $e_z = 0.0919294 \text{ m}$ poloha těžiště vztahená k prvnímu vrcholu prvního průřezu :  $e_y = 0.17 \text{ m}$  :  $e_z = 0.406929 \text{ m}$ moment tuhosti v prostém kroucení :  $I_k = 0.0112938 \text{ m}^4$ modul průřezu :  $W_{yh} = 0.0531295 \text{ m}^3$  :  $W_{yd} = 0.0291245 \text{ m}^3$  :  $W_z = 0.0457909 \text{ m}^3$ poloměr setrvačnosti :  $i_y = 0.177966 \text{ m}$  :  $i_z = 0.264104 \text{ m}$ plastický průřezový modul :  $W_{pl.y} = 0.0527571 \text{ m}^3$  :  $W_{pl.z} = 0.077407 \text{ m}^3$ 

Další údaje o průřezu :

natočení průřezu :  $\alpha = 0 \text{ deg}$ poloha referenčního bodu :  $y = 0 \text{ m}$  :  $z = 0 \text{ m}$ 

přiřazený materiál : BETON

objem 1 metru průřezu :  $0.3742 \text{ m}^3$ plocha 1 metru průřezu - vnější :  $3.54 \text{ m}^2$ hmotnost 1 metru pro přiřazený materiál :  $0.9355 \text{ t}$ 

Souřadnice vrcholů průřezu:

Vrchol č. 1 :  $y = -0.17 \text{ m}$  :  $z = -0.406929 \text{ m}$ Vrchol č. 2 :  $y = 0.17 \text{ m}$  :  $z = -0.406929 \text{ m}$ Vrchol č. 3 :  $y = 0.17 \text{ m}$  :  $z = 0.0230706 \text{ m}$ Vrchol č. 4 :  $y = 0.57 \text{ m}$  :  $z = 0.0230706 \text{ m}$ Vrchol č. 5 :  $y = 0.57 \text{ m}$  :  $z = 0.223071 \text{ m}$ Vrchol č. 6 :  $y = -0.57 \text{ m}$  :  $z = 0.223071 \text{ m}$ Vrchol č. 7 :  $y = -0.57 \text{ m}$  :  $z = 0.0230706 \text{ m}$ Vrchol č. 8 :  $y = -0.17 \text{ m}$  :  $z = 0.0230706 \text{ m}$

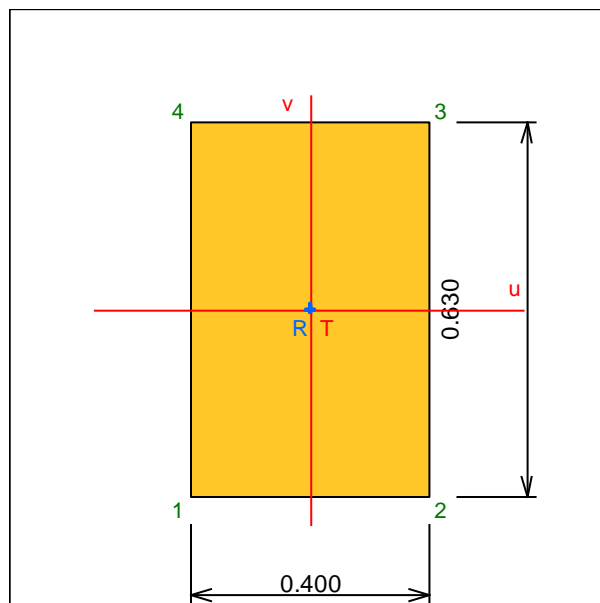
**Průřez : pricnik**

Typ : monolitický

Rozměry :

výška :  $h = 0.63 \text{ m}$ šířka :  $b = 0.4 \text{ m}$ 

Průřezové charakteristiky :

průřezová plocha :  $A = 0.252 \text{ m}^2$ první hlavní moment setrvačnosti :  $I_u = 0.0083349 \text{ m}^4$ druhý hlavní moment setrvačnosti :  $I_v = 0.00336 \text{ m}^4$ moment setrvačnosti k ose Y :  $I_y = 0.0083349 \text{ m}^4$ moment setrvačnosti k ose Z :  $I_z = 0.00336 \text{ m}^4$ odklon hlavních os momentu setrvačnosti :  $0 \text{ deg}$ "teplotní koeficient" Temp Y :  $\text{TempY} = 0.01323 \text{ m}^3$ "teplotní koeficient" Temp Z :  $\text{TempZ} = 0.0084 \text{ m}^3$ koeficient smykové poddajnosti Y :  $A_y/A = 0.833333$ koeficient smykové poddajnosti Z :  $A_z/A = 0.833333$ poloha těžiště vztahená k zadávacím souř. osám :  $e_y = 0 \text{ m}$  :  $e_z = 0 \text{ m}$ poloha těžiště vztahená k prvnímu vrcholu prvního průřezu :  $e_y = 0.2 \text{ m}$  :  $e_z = 0.315 \text{ m}$ moment tuhosti v prostém kroucení :  $I_k = 0.00862076 \text{ m}^4$ modul průřezu :  $W_y = 0.02646 \text{ m}^3$  :  $W_z = 0.0168 \text{ m}^3$ poloměr setrvačnosti :  $i_y = 0.181865 \text{ m}$  :  $i_z = 0.11547 \text{ m}$ plastický průřezový modul :  $W_{pl.y} = 0.03969 \text{ m}^3$  :  $W_{pl.z} = 0.0252 \text{ m}^3$ 

Další údaje o průřezu :

natočení průřezu :  $\alpha = 0 \text{ deg}$ poloha referenčního bodu :  $y = 0 \text{ m}$  :  $z = 0 \text{ m}$ 

přiřazený materiál : BETON

objem 1 metru průřezu :  $0.252 \text{ m}^3$ plocha 1 metru průřezu - vnější :  $2.06 \text{ m}^2$ hmotnost 1 metru pro přiřazený materiál :  $0.63 \text{ t}$ 

Souřadnice vrcholů průřezu:

Vrchol č. 1 :  $y = -0.2 \text{ m}$  :  $z = -0.315 \text{ m}$ Vrchol č. 2 :  $y = 0.2 \text{ m}$  :  $z = -0.315 \text{ m}$ Vrchol č. 3 :  $y = 0.2 \text{ m}$  :  $z = 0.315 \text{ m}$ Vrchol č. 4 :  $y = -0.2 \text{ m}$  :  $z = 0.315 \text{ m}$

### Výpis prutových dílců - parametry prutů:

Prut	Typ prutu	Průřez 1	Působení	Délka [m]	Objem [m3]	Skupina
1	Obecný	krajní	Běžný	6.000	2.245	DXFIMPORT
2	Obecný	vnitřní	Běžný	6.000	2.557	DXFIMPORT
3	Obecný	vnitřní	Běžný	6.000	2.557	DXFIMPORT
4	Obecný	vnitřní	Běžný	6.000	2.557	DXFIMPORT
5	Obecný	vnitřní	Běžný	6.000	2.557	DXFIMPORT
6	Obecný	krajní	Běžný	6.000	2.245	DXFIMPORT
7	Obecný	pricnik	Běžný	7.880	1.986	Skupina č.1
8	Obecný	pricnik	Běžný	7.880	1.986	Skupina č.1

### Výpis prutových dílců - souřadnice vrcholů:

Prut	Počátek [m]	Konec [m]
1	-3.000,-3.500,0.000	3.000,-3.500,0.000
2	-3.000,-2.100,0.000	3.000,-2.100,0.000
3	-3.000,-0.700,0.000	3.000,-0.700,0.000
4	-3.000,0.700,0.000	3.000,0.700,0.000
5	-3.000,2.100,0.000	3.000,2.100,0.000
6	-3.000,3.500,0.000	3.000,3.500,0.000
7	3.000,-3.940,0.000	3.000,3.940,0.000
8	-3.000,-3.940,0.000	-3.000,3.940,0.000

### Výpis zat. stavů, kombinací a obalových křivek:

#### Výpis zatěžovacích stavů :

Jméno	Koeficient	Komentář	Typ zatížení	Skupina	Parametry	Výběrový
G0	1.150	vlasní tíha	Perm - stálé	0	Perm	Ne
G1	1.150	Mostní svršek	Perm - stálé	0	Perm	Ne
norm2N	1.350	normální dvounápravy 32t	Short - krátkodobé	1	Short !	Ano
norm3N	1.350	normální třinápravy 32t	Short - krátkodobé	2	Short !	Ano
vyhr2N	1.350	výhradní dvounáprava 32t	Short - krátkodobé	3	Short !	Ano
vyhr3N	1.350	výhradní třináprava 32t	Short - krátkodobé	4	Short !	Ano
vyhr6N	1.350	výhradní šestnáprava 60t	Short - krátkodobé	5	Short !	Ano
vyjim9N	1.350	vyjímečná devítináprava 90t	Short - krátkodobé	6	Short !	Ano

## 2.2. Zatížení

### 2.2.1. Stálé zatížení

Zatížení vlastní tíhou nosné konstrukce je v programu vygenerováno ze zadaných geometrických a materiálových charakteristik aplikací gravitačního zrychlení  $10\text{m/s}^2$ . Aplikace gravitační konstanty je přitom provedena pouze na prutové prvky, deska je namodelována pouze pro příčný roznos a její tíha je zahrnuta v profilu T-trámu. Ostatní stálá zatížení jsou vypočtena následovně.

$$q_{\text{vozovky}} = 0.53 \cdot 25 = 13.25 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{zabradli}} = 1.0 \text{ kN/m}$$

Přetížení vykonzolovanou spřaženou částí spřažené desky mostovky a chodníkovými římsami je stanoven za předpokladu příčného roznosu na 2 krajní nosníky následovně.

$$q_{\text{konzola desky}} = \frac{1}{2} \cdot 0.35 \cdot 0.8 \cdot 25 = 3.5 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{chodníková římsa}} = \frac{1}{2} \cdot 0.25 \cdot 1.75 \cdot 25 = 5.5 \text{ kN/m}$$

$$M_{\text{přetížení krajního trámu}} = \frac{1}{8} \cdot 9.0 \cdot 6.0^2 = 40.5 \text{ kNm}$$

Smršťování ani dotvarování konstrukce nemá na stanovení zatížitelnosti zásadní vliv a je zanedbán.

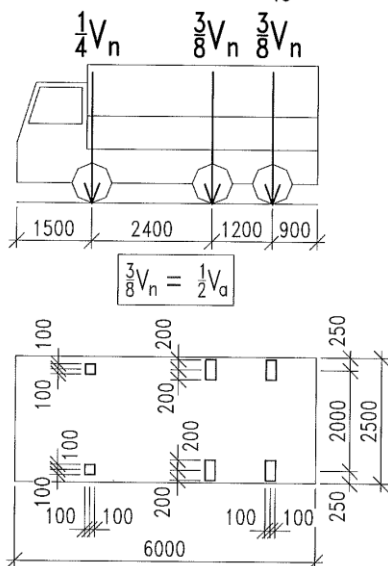
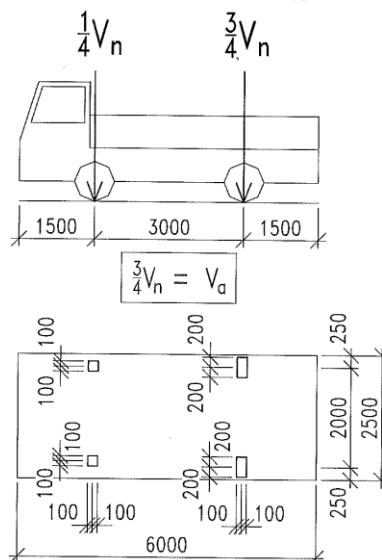
### 2.2.2. Nahodilé zatížení

Nahodilé zatížení je sestaveno podle ČSN 73 6222 pro zatížení normální a to jak dvounápravovými, tak třínápravovými vozidly 32t v každém jízdním pruhu, výhradní a to dvounápravovým vozidlem 32t, třínápravovým vozidlem 32t a šestinápravovým vozidlem 60t. Normální a výhradní zatížení je osazeno v jízdních pruzích šířky 3.0m umístěných symetricky k ose mostu. Dále je uvažováno vyjímecné zatížení devítinápravovým vozidlem 90t přejíždějící v ose mostu.

Vozidla jsou v podélném směru osazena podle Winklerova kritéria pro vystižení extrémů ohybových momentů jako rozhodujících vnitřních sil.

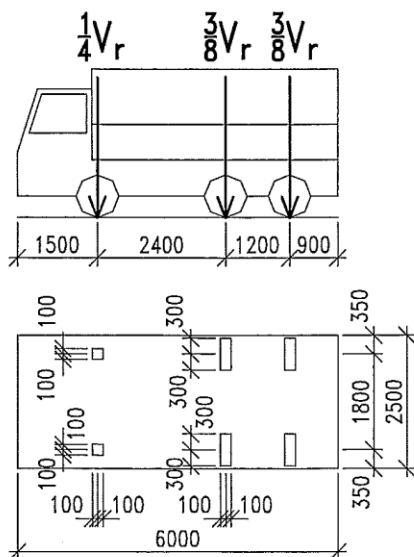
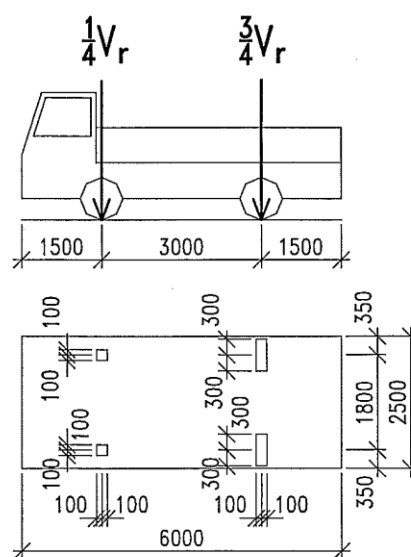
ČSN 73 6222

Rozměry v mm

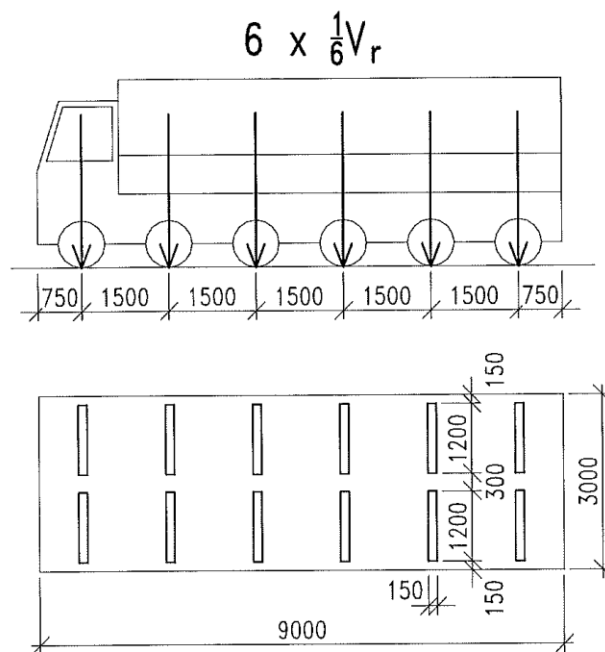
 a) třínápravové vozidlo  $V_n = \frac{1}{10} V_{nw} \geq 16 t$ 

 b) dvounápravové vozidlo  $V_n = \frac{1}{10} V_{nw} < 16 t$ 


POZNÁMKA Zatížení přední nápravy vozidla  $\frac{1}{4} V_{nw}$  je nahrazeno ekvivalentním rovnoměrným zatížením v příslušném zatěžovacím pruhu ( $2,5 v_n$  v zatěžovacím pruhu č. 1 a č. 2, resp.  $v_n$  v zatěžovacím pruhu č. 3 a č. 4)

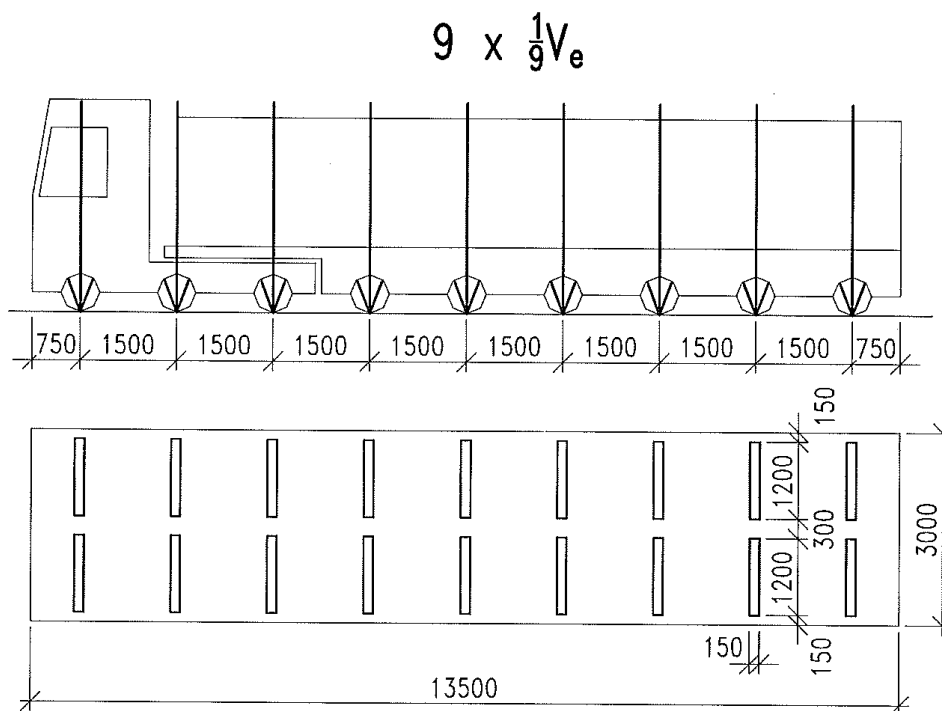
**Obrázek 7.2 – Schémata vozidel pro stanovení normální zatížitelnosti  $V_n$** 

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

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

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





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



**Obrázek 7.5 – Schéma zvláštní soupravy pro stanovení výjimečné zatížitelnosti  $V_e$**

Roznos sil na desku mostovky je proveden pro roznášecí úhel  $45^\circ$  přes vrstvy vozovky:

$$q_{stálé} = (0.2 + 0.53) \cdot 25 = 18.25 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{2N-32t} = \frac{120}{(0.53 + 0.4 + 0.53) \cdot (0.53 + 0.2 + 0.53)} = \frac{120}{1.46 \cdot 1.26} = 65.2 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{3N-32t} = \frac{60}{(0.53 + 0.4 + 0.53) \cdot (0.53 + 0.2 + 0.53)} = \frac{60}{1.46 \cdot 1.26} = 32.6 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{6N-60t} = \frac{100}{(0.53 + 1.2 + 0.3 + 1.2 + 0.53) \cdot (0.53 + 0.2 + 0.53)} = \frac{100}{3.76 \cdot 1.26} = 21.1 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$q_{9N-90t} = \frac{100}{(0.53 + 1.2 + 0.3 + 1.2 + 0.53) \cdot (0.53 + 0.2 + 0.53)} = \frac{100}{3.76 \cdot 1.26} = 21.1 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Dynamický součinitel je uvažován hodnotou  $\delta=1.25$ .

Brzdné síly nemají na stanovení zatížitelnosti vliv.

### 2.2.3. Vedlejší zatížení

Účinky rovnoměrného i nerovnoměrného oteplení resp. ochlazení nosné konstrukce nemají na tento typ konstrukce pro stanovení zatížitelnosti zásadní vliv a nejsou uvažovány.

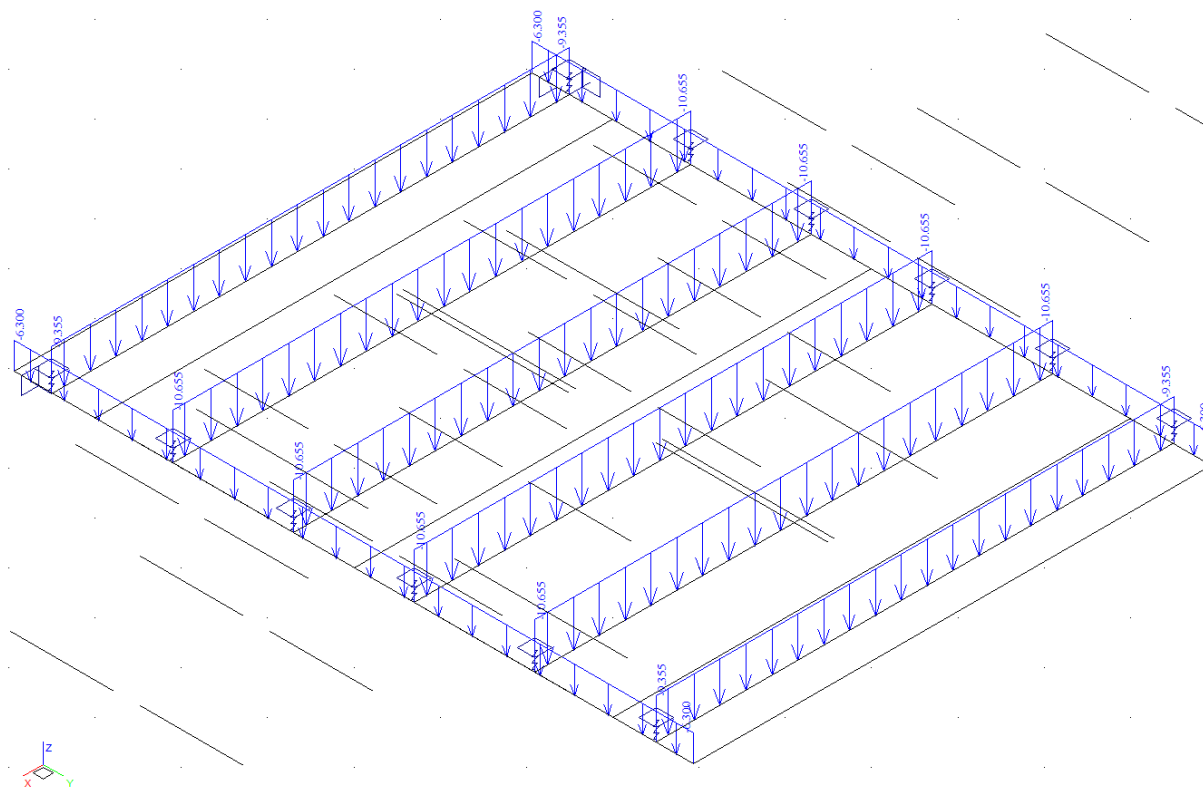
**2.2.4. Sestavené zatěžovací stavy**

Rekapitulace sestavených zatěžovacích stavů na výpočetním modelu nosné konstrukce mostu je provedena výpisem z použitého výpočetního programu. Vybrané zatěžovací stavy jsou zobrazeny dále.

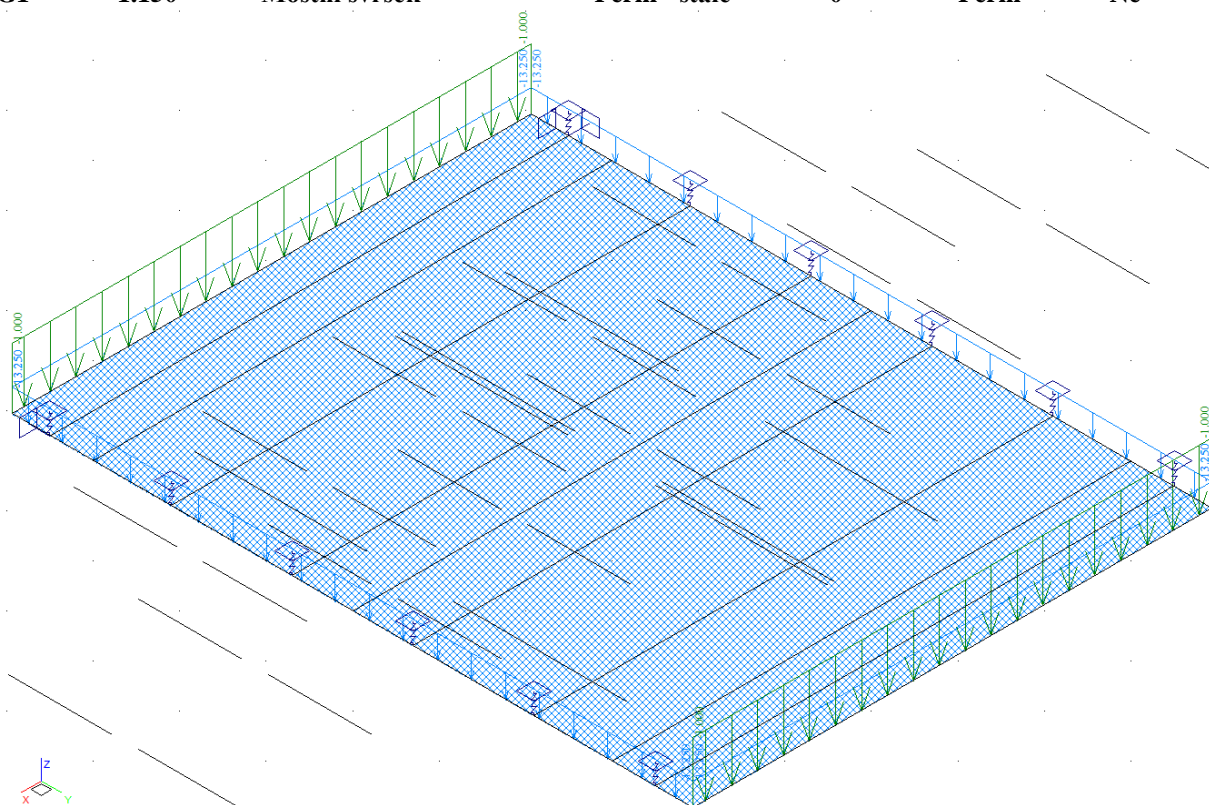
**Výpis zatěžovacích stavů :**

Jméno	Koeficient	Komentář	Typ zatížení	Skupina	Parametry	Výběrový
G0	1.150	vlasní tíha	Perm - stálé	0	Perm	Ne
G1	1.150	Mostní svršek	Perm - stálé	0	Perm	Ne
norm2N	1.350	normální dvounápravy 32t	Short - krátkodobé	1	Short !	Ano
norm3N	1.350	normální třínápravy 32t	Short - krátkodobé	2	Short !	Ano
vyhr2N	1.350	výhradní dvounáprava 32t	Short - krátkodobé	3	Short !	Ano
vyhr3N	1.350	výhradní třínáprava 32t	Short - krátkodobé	4	Short !	Ano
vyhr6N	1.350	výhradní šestnáprava 60t	Short - krátkodobé	5	Short !	Ano
vyjim9N	1.350	vyjímečná devitináprava 90t	Short - krátkodobé	6	Short !	Ano

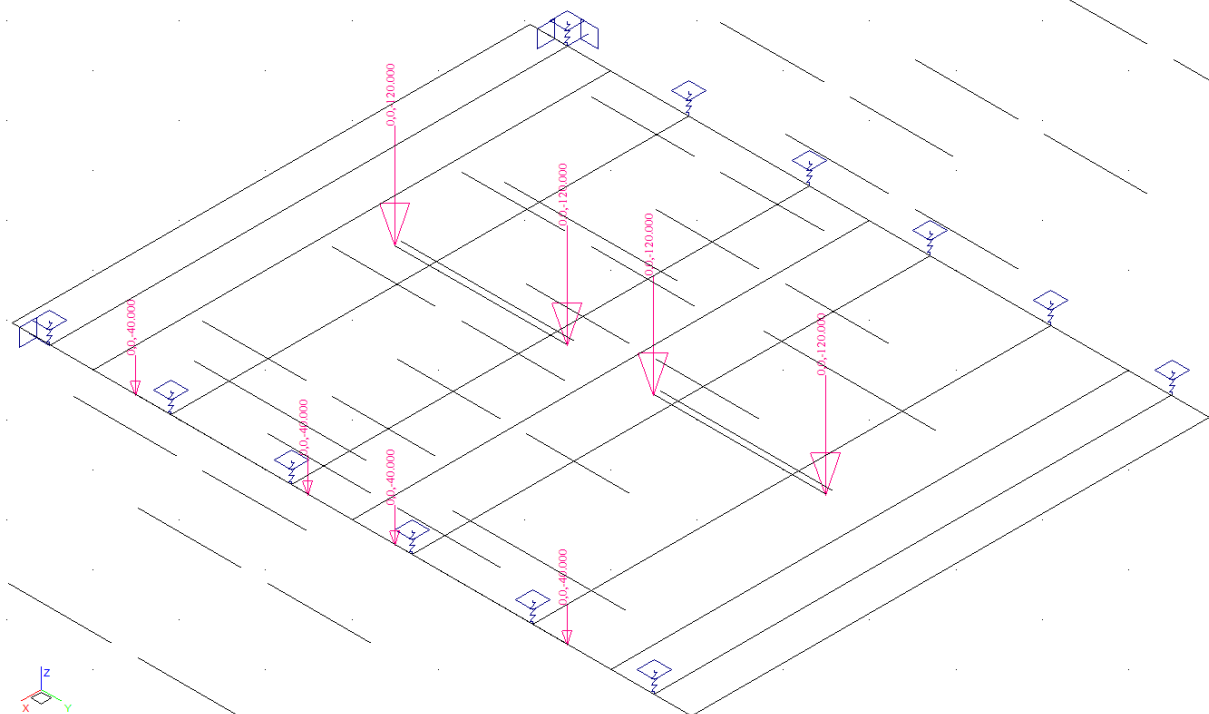
**G0      1.150      vlasní tíha      Perm - stálé      0      Perm      Ne**



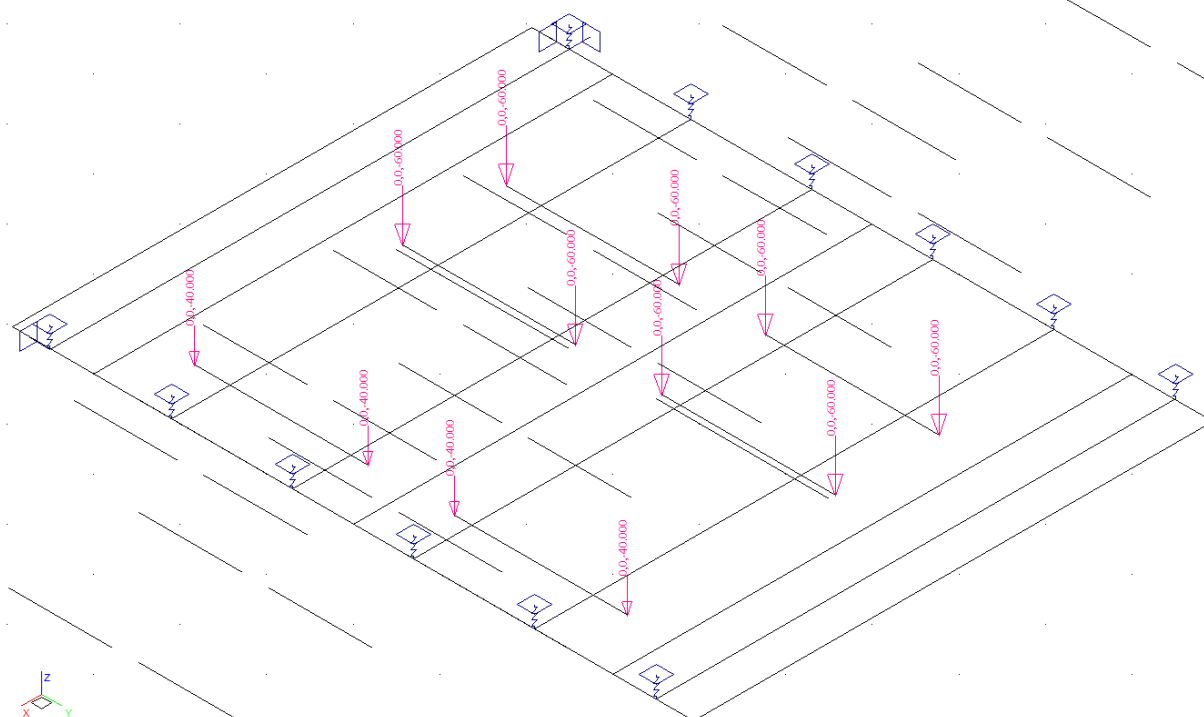
**G1 1.150 Mostní svršek Perm - stálé 0 Perm Ne**



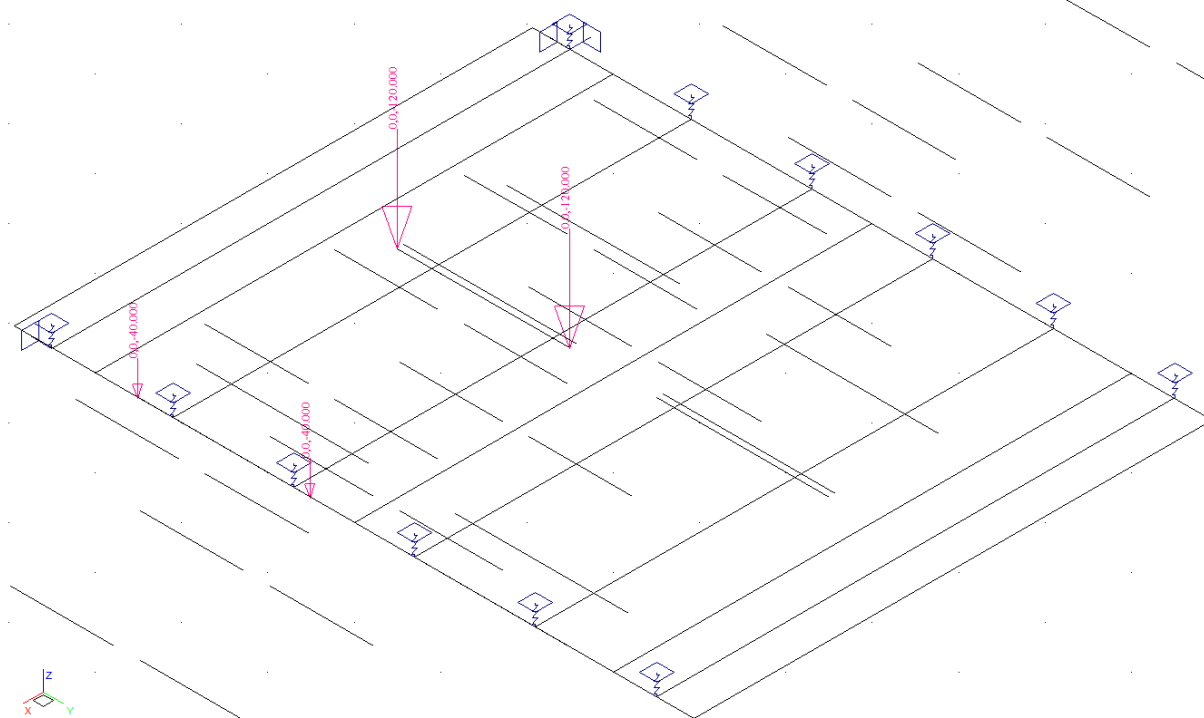
**norm2N 1.350 normální dvounápravy 32t Short - krátkodobé 1 Short! Ano**



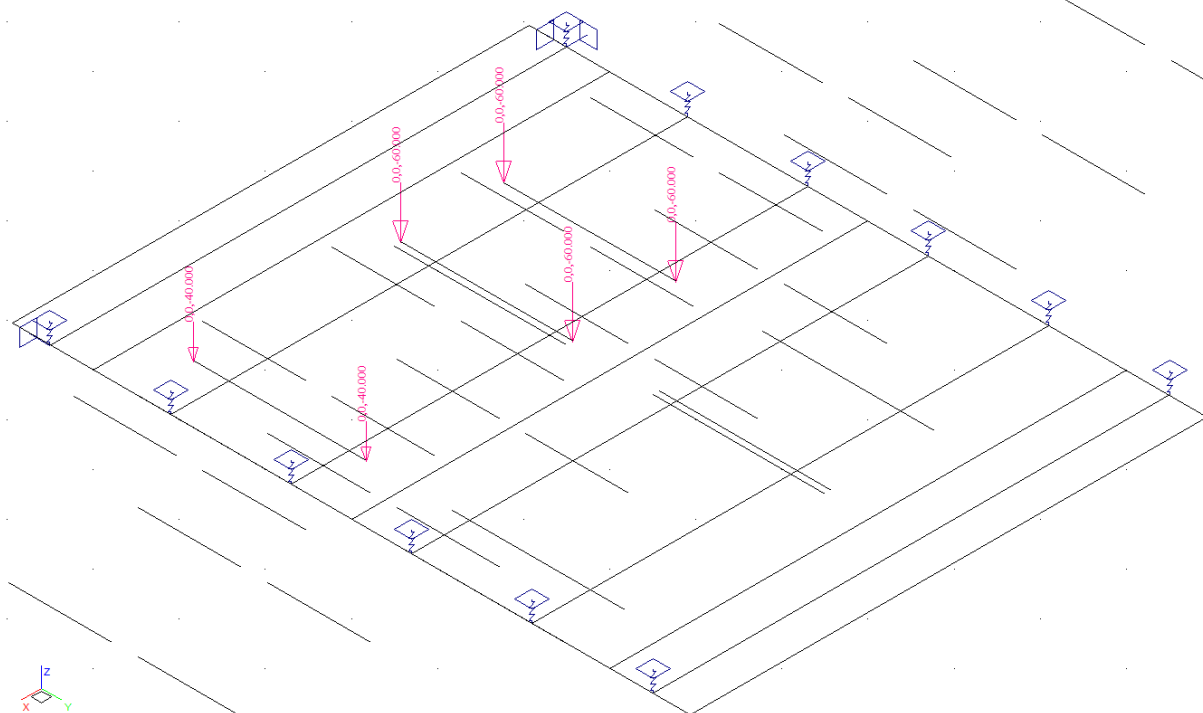
**Ano**



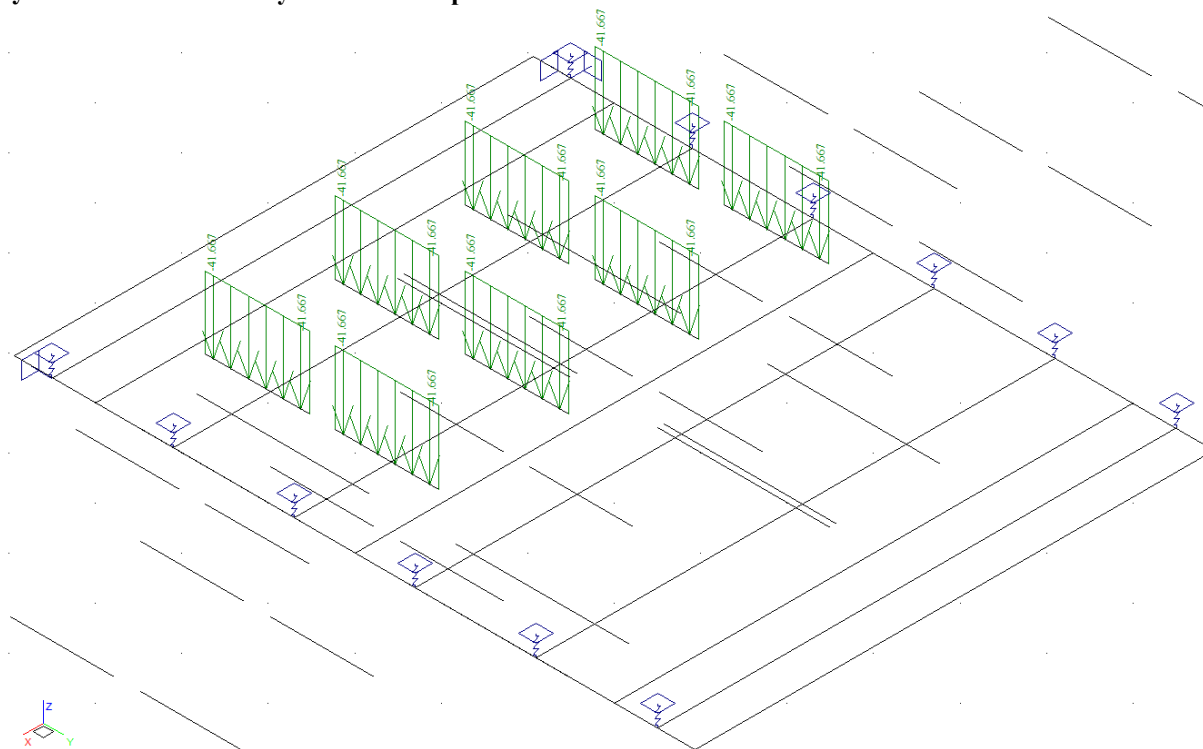
**Ano**



**vyhr3N 1.350 výhradní třínáprava 32t Short - krátkodobé 4 Short ! Ano**



**vyhr6N 1.350 výhradní šestináprava 60t Short - krátkodobé 5 Short ! Ano**

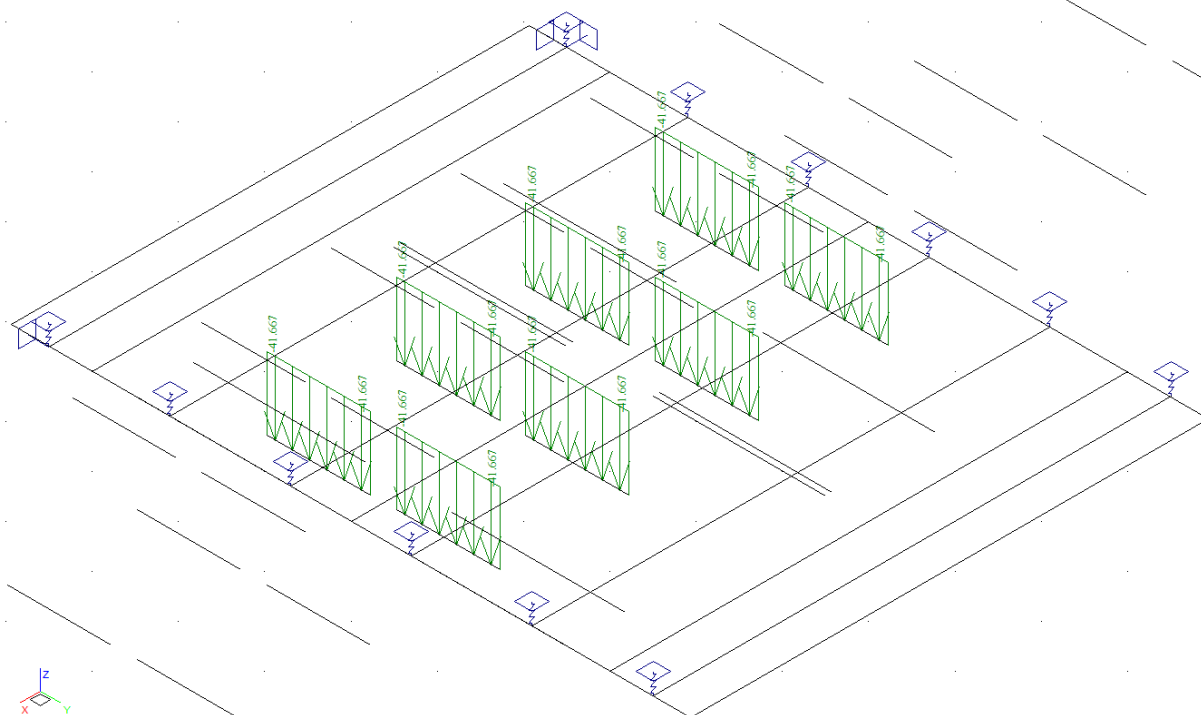


vyjim9N 1.350

vyjímečná devítinápřeva 90t Short - krátkodobé 6

Short !

Ano

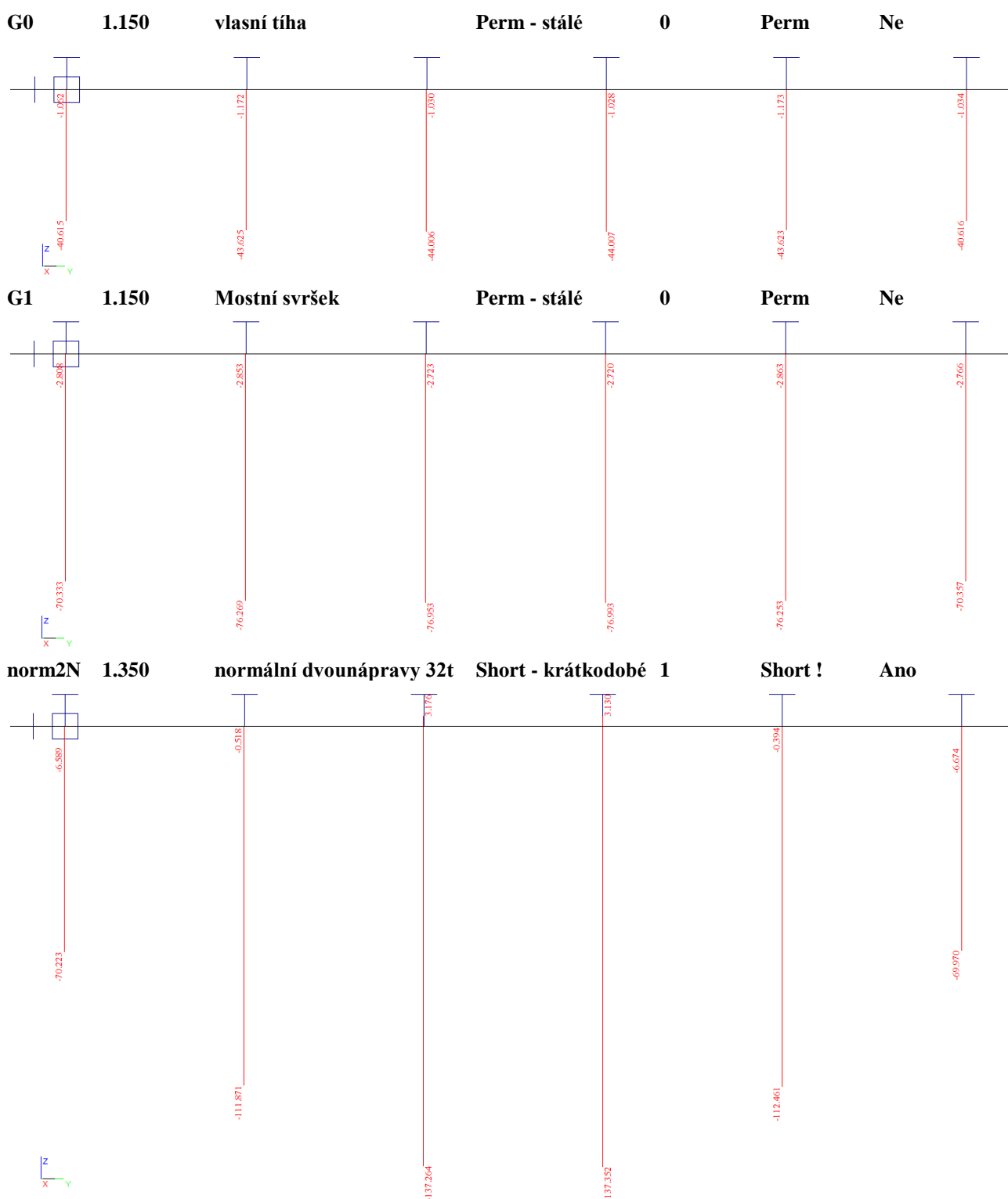


## 2.3. Výpočet vnitřních sil

### 2.3.1. Průběh vnitřních sil v trámech

Výpočet namáhání trámů je proveden pomocí programu FEAT'2000 pro řešení konstrukcí metodou konečných prvků. Kompletní vstupní a výstupní data jsou archivována u projektanta, s ohledem na množství údajů jsou přiloženy pouze vybrané údaje, grafy a schémata.

Přiloženy jsou pouze průběhy ohybových momentů v trámech.





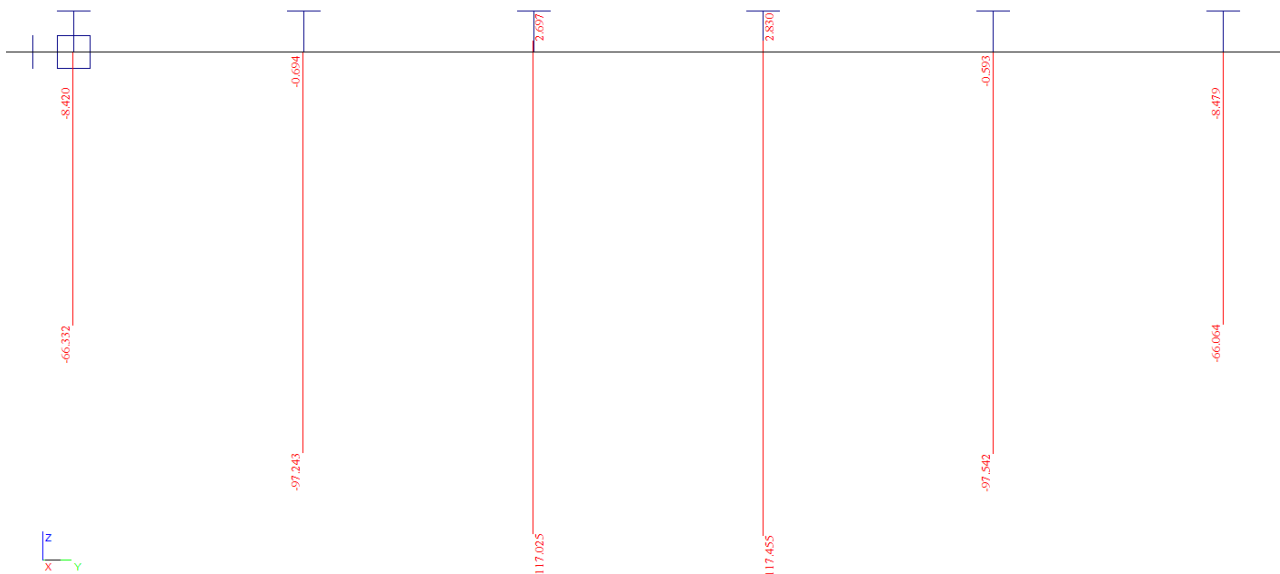
norm3N 1.350

normální třináprava 32t

Short - krátkodobé 2

Short !

Ano



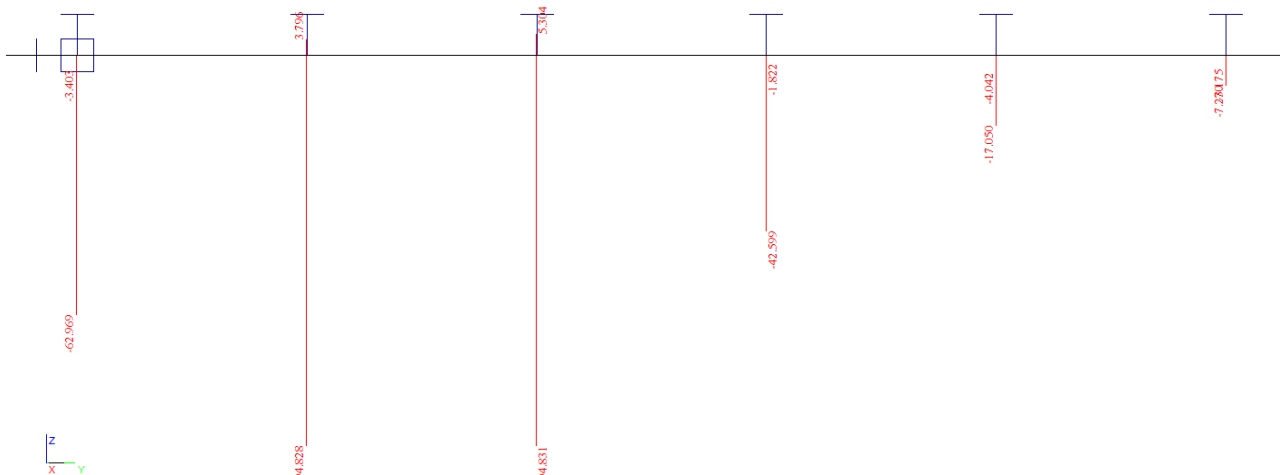
vyhr2N 1.350

výhradní dvounáprava 32t

Short - krátkodobé 3

Short !

Ano



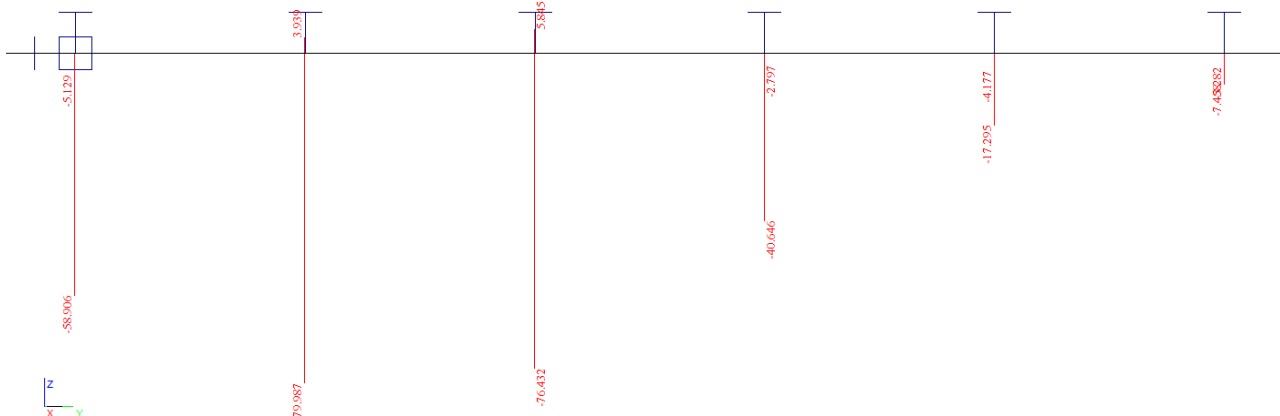
vyhr3N 1.350

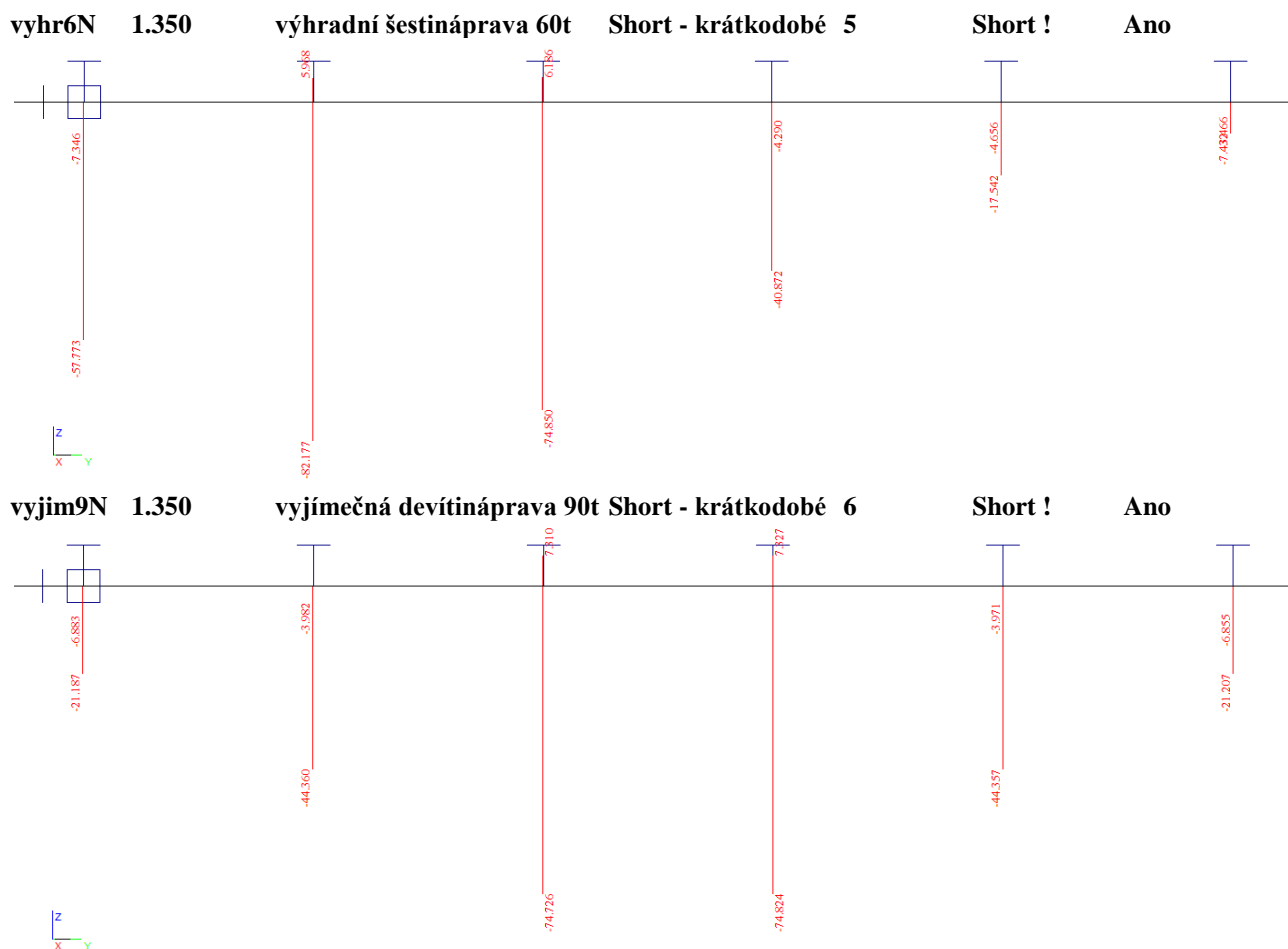
výhradní třináprava 32t

Short - krátkodobé 4

Short !

Ano





### 2.3.2. Rekapitulace vnitřních sil v trámech

Rekapitulace je provedena pouze pro rozhodující vnitřní síly a rozhodující prvek mostu tak, aby bylo možné stanovit zatížitelnost nejnamáhavějšího prvku v nejnamáhavějším profilu rozhodující vnitřní silou.

Průběh rozhodujících vnitřních sil v rozhodujících zatěžovacích stavech je přiložen dále.

V tabulce jsou uvedeny hodnoty ohybového momentu bez dynamického součinitele v kNm.

zatížení	$M_y$ [kNm]	$\gamma_f$	$M_{yd}$ [kNm]
G0 - vlastní tíha	40.6	1.35	54.8
G1 - mostní svršek	76.9	1.35	103.8
G2 - přetížení rekonstrukcí	40.5	1.35	54.7
Vn2N - normální dvounápravy 32t	137.3	1.35	185.4
Vn3N - normální třinápravy 32t	117.4	1.35	158.5
Vr2N - výhradní dvounáprava 32t	94.8	1.35	128.0
Vr3N - výhradní třináprava 32t	79.9	1.35	107.9
Vr6N - výhradní šestináprava 60t	82.1	1.35	110.8

## 2.4. Zatížitelnost

### 2.4.1. Moment únosnosti trámů

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

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

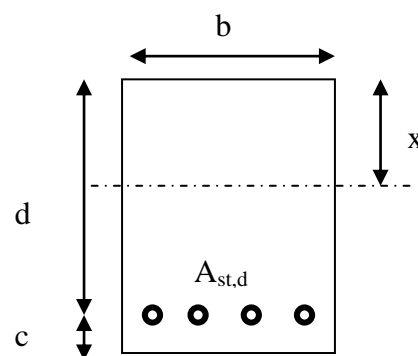
$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left( -1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right) < x_{bal} = d \cdot \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \frac{f_{yd}}{E_s}}$$

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

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

Posouzení únosnosti :

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



Vzhledem k překročení maximálního stupně vyztužení uvažuji pouze přípustnou výztuž

Namáhání			Výztuž				
$M_{ed}[\text{MNm}] = 0.595$			$A_{st,d}$	8	$\phi$	31	
Beton-průřez		Materiálové charakteristiky betonu a oceli					
$b[\text{m}] = 1.400$		$f_{ctm}[\text{MPa}] = 2.9$		$f_{yk}[\text{MPa}] = 210$		$\varepsilon_{cu} = 0.0035$	
$h[\text{m}] = 0.630$		$f_{ck}[\text{MPa}] = 25.0$		$f_{yd}[\text{MPa}] = 183$		$\lambda = 0.800$	
$c[\text{m}] = 0.063$		$f_{cd}[\text{MPa}] = 14.2$		$E_s[\text{MPa}] = 200000$		$\eta = 1.000$	
$d[\text{m}] = 0.568$							
Přímý návrh požadované plochy výztuže a posudky							
$A_{xmin-f}[\text{m}^2] = 0.002853$			$A_{xmin-\mu}[\text{m}^2] = 0.001033$		mimimální plocha výztuže		
$x_{bal}[\text{m}] = 0.450086$	>		$x[\text{m}] = 0.069482$		omezení výšky tlačené oblasti		
$A_{st,req}[\text{m}^2] = 0.006037$	<		$A_{st,d}[\text{m}^2] = 0.006038$		ověření návrhové plochy výztuže		
$\mu_{min}[\%] = 0.36$	<		$\mu[\%] = 0.76$	<	$\mu_{max}[\%] = 1.60$		
Moment únosnosti							
$x[\text{m}] = 0.069493$			$M_{Rd}[\text{MNm}] = 0.595$	>	$M_{ed}[\text{MNm}] = 0.595$		

Omezení trhlin a napětí je provedeno dle následujících vztahů.

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

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

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

<b>M<sub>char</sub>[MNm]=</b>	<b>0.547</b>	<b>A<sub>s</sub>[m<sup>2</sup>]=</b>	<b>8</b>	<b>φ</b>	<b>31</b>	<b>A<sub>s</sub>[m<sup>2</sup>]=</b>	0.006038	<b>σ<sub>s</sub>[Mpa]=</b>	168
<b>b[m]=</b>	<b>1.400</b>	<b>f<sub>ct, eff</sub>[MPa]=</b>	2.9	<b>f<sub>yk</sub>[MPa]=</b>	210	<b>x[m]=</b>	0.069493	<b>k<sub>t</sub>=</b>	<b>0.600</b>
<b>h[m]=</b>	<b>0.630</b>	<b>f<sub>ck</sub>[MPa]=</b>	25.0	<b>f<sub>yd</sub>[MPa]=</b>	183	<b>λ=</b>	<b>0.800</b>	<b>k<sub>1</sub>=</b>	<b>0.800</b>
<b>c[m]=</b>	<b>0.063</b>	<b>f<sub>cd</sub>[MPa]=</b>	14.2	<b>ε<sub>cu</sub>=</b>	0.0035	<b>η=</b>	<b>1.000</b>	<b>k<sub>2</sub>=</b>	<b>0.500</b>
<b>d[m]=</b>	0.568	<b>E<sub>cm</sub>[Mpa]=</b>	36000	<b>E<sub>s</sub>[Mpa]=</b>	200000	<b>α<sub>e</sub>=</b>	5.556	<b>k<sub>3</sub>=</b>	<b>3.400</b>
<b>h<sub>c, eff</sub>[m]=</b>	0.156	<b>A<sub>p</sub>[m<sup>2</sup>]=</b>	0	<b>φ</b>	<b>15.5</b>	<b>A<sub>p</sub>[m<sup>2</sup>]=</b>	0.000000	<b>k<sub>4</sub>=</b>	<b>0.425</b>
<b>A<sub>c, eff</sub>[m<sup>2</sup>]=</b>	0.219	<b>ξ=</b>	0.500	<b>ξ<sub>1</sub>=</b>	1.000	<b>ρ<sub>p, eff</sub>=</b>	0.027603	<b>ε<sub>sm</sub>-ε<sub>cm</sub>=</b>	0.000
<b>s<sub>r, max</sub>[mm]=</b>	191	<b>w<sub>kl</sub>[mm]=</b>	0.09	<b>&lt;</b>	<b>w<sub>lim</sub>[mm]=</b>	0.3			
<b>k<sub>c</sub>=</b>	0.600	<b>k<sub>y</sub>=</b>	0.800						
<b>σ<sub>s</sub>[Mpa]=</b>	168	<b>&lt;</b>	168		<b>σ<sub>c</sub>[Mpa]=</b>	13.022	<b>&lt;</b>	15	

Únava betonu je vypočtena podle následujících vztahů:

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

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

$$s_{\text{cement}_t \cdot R} = 0.2 \quad s_{\text{cement}_t \cdot N} = 0.25 \quad s_{\text{cement}_t \cdot N} = 0.38$$

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

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

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

Únava betonářské oceli je vypočtena podle následujících vztahů:

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

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

<b>M<sub>equ,max</sub>[MNm]=</b>	<b>0.303</b>	<b>M<sub>equ,min</sub>[MNm]=</b>	<b>0.117</b>		<b>8</b>	<b>φ</b>	<b>31</b>
<b>Materiálové a průřezové charakteristiky betonu a oceli</b>						<b>A<sub>st,d</sub>[m<sup>2</sup>]=</b>	<b>0.006038</b>
b[m]=	1.400	f <sub>ctm</sub> [MPa]=	2.9	f <sub>yk</sub> [MPa]=	210	λ=	0.800
h[m]=	0.630	f <sub>ck</sub> [MPa]=	25.0	f <sub>yd</sub> [MPa]=	183	η=	1.000
c[m]=	0.063	f <sub>cd</sub> [MPa]=	14.2				
d[m]=	0.568					<b>x[m]=</b>	<b>0.069</b>
<b>Beton:</b>		σ <sub>cd,max</sub> [MPa]=	7.2	σ <sub>cd,min</sub> [MPa]=	2.8	β <sub>cc</sub> =	1.099
s=	0.20	t[dni]=	100	k <sub>1</sub> =	0.85	f <sub>cd,fat</sub> [Mpa]=	11.9
podmínka 1	0.94	<	1.00			<b>vyhovuje</b>	
podmínka 2	0.61	<	0.61	<	0.8	<b>vyhovuje</b>	
<b>Ocel:</b>		σ <sub>s,max</sub> [MPa]=	93	σ <sub>s,min</sub> [MPa]=	36		
γ <sub>F,fat</sub> =	1.00	γ <sub>s,fat</sub> =	1.00	Δσ <sub>RSK</sub> [Mpa]=	162.5		
podmínka:	57	<	163			<b>vyhovuje</b>	

**2.4.3. Zatížitelnost jednotlivých typů vozidel a prvků**

Zatížitelnost je určena podle vztahu:

$$Z = \frac{M_s - M_g}{\delta \cdot M_p} \cdot V_n$$

Výpočet zatížitelnosti je proveden v následujících tabulkách pro jednotlivé posuzované prvky a typy zatížení. Únavové zatížení je přitom uvažováno jako 70% nahodilého charakteristického zatížení.

**Hlavní trám - mezní únosnost**

zatížitelnost	$M_u$ [kNm]	$M_g$ [kNm]	$\delta$	$M_p$ [kNm]	$V_n$ [t]	$Z$ [t]
normální dvounápravy	595	213	1.25	186	32	52.6
normální třínápravy	595	213	1.25	159	32	61.5
výhradní dvounáprava	595	213	1.25	128	32	76.4
výhradní třínáprava	595	213	1.25	108	32	90.5
výhradní šestnáprava	595	213	1.25	111	60	165.2
vyjímečná devítináprava	595	213	1.25	101	100	302.6

**Hlavní trám - omezení napětí**

zatížitelnost	$M_u$ [kNm]	$M_g$ [kNm]	$\delta$	$M_p$ [kNm]	$V_n$ [t]	$Z$ [t]
normální dvounápravy	547	158	1.25	138	32	72.2
normální třínápravy	547	158	1.25	118	32	84.4
výhradní dvounáprava	547	158	1.25	95	32	104.8
výhradní třínáprava	547	158	1.25	80	32	124.5
výhradní šestnáprava	547	158	1.25	82	60	227.7
vyjímečná devítináprava	547	158	1.25	75	100	414.9

**Hlavní trám - únava**

zatížitelnost	$M_u$ [kNm]	$M_g$ [kNm]	$\delta$	$M_p$ [kNm]	$V_n$ [t]	$Z$ [t]
normální dvounápravy	303	158	1.25	97	32	38.4
normální třínápravy	303	158	1.25	83	32	44.9
výhradní dvounáprava	303	158	1.25	67	32	55.8
výhradní třínáprava	303	158	1.25	56	32	66.3
výhradní šestnáprava	303	158	1.25	57	60	121.3
vyjímečná devítináprava	303	158	1.25	53	100	221.0

### 3. Závěr

Zatížitelnost stávajícího mostu po rekonstrukci se započtením přetížení hlavních trámů je stanovena dle ČSN 73 6222. Hodnoty zatížitelnosti jednotlivých typů vozidel jsou dále redukovány součinitelem stavebního stavu dle ČSN 73 6221. Stavební stav po rekonstrukci se předpokládá nejhůře do stupně III jako Dobrý se součinitelem stavebního stavu  $\alpha=1.0$ . Vzhledem k zesílení mostu, resp. desky mostovky, již nerozhoduje zatížitelnost desky, ale hlavních trámů. Rozhoduje přitom únavové zatížení hlavních nosných trámů.

typ zatížení	bez redukce	$\alpha$	po redukci
normální dvounápravová vozidla	38.4	1.0	38.4
normální třínápravová vozidla	44.9	1.0	44.9
výhradní dvounápravové vozidlo	55.8	1.0	55.8
výhradní třínápravové vozidlo	66.3	1.0	66.3
výhradní šestinápravové vozidlo	121.3	1.0	121.3
vyjímecné devítinápravové vozidlo	221.0	1.0	221.0

Ve výpočtu není na straně bezpečnosti uvažováno se spřažením a tedy ani se změnou nosného profilu po spřažení s novou deskou mostovky. Skutečné zatížitelnosti budou ještě o něco vyšší, nicméně budou mírně sníženy vlivem dotvarování nového betonu.

Zatížitelnost dle kritérií ČSN 73 6222:

- normální zatížitelnost 38t dvounápravová vozidla
- výhradní zatížitelnost 121t šestinápravové vozidlo
- vyjímecná zatížitelnost 221t devítinápravové vozidlo
- zatížení na nápravu 28.8t dvounáprava

Po rekonstrukci se zesílením spřaženou deskou není nutno osazovat žádná dopravní opatření, zatížitelnosti jsou nad limitními hodnotami pro omezení tonáže.

Výztuž ve spřažené desce bude min. prům R14 resp. R16 v příčném směru u horního povrchu, v římse pak min. R10 podélná a R14 třmínků viz výkresy schéma výztuže.

V Liberci, dne 15.5.2019  
Vypracoval Ing.T.Humpal