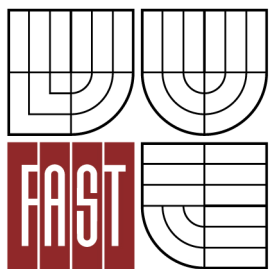




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

# **VÝPOČET PŮVODNÍHO DESKOVÉHO MOSTU**

THE CALCULATION OF EXISTING SLAB BRIDGE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Ondřej Luliak

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV KLUSÁČEK, CSc.

BRNO 2012



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Bakalářský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby  
**Pracoviště** Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Ondřej Luliak

**Název** Výpočet původního deskového mostu

**Vedoucí bakalářské práce** doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

**Datum zadání bakalářské práce** 30. 11. 2011

**Datum odevzdání bakalářské práce** 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

.....  
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

- 1) ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí
- 2) ČSN EN 1992-2 Navrhování betonových konstrukcí - Betonové mosty
- 3) ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí -Zatížení mostů dopravou

## **Zásady pro vypracování**

- 1) vytvoření deskového modelu konstrukce
- 2) výpočet vnitřních sil na modelu deskovém s kontrolou metodou spolupůsobící šířky
- 3) výpočet únosnosti pro zadané zatížení podle EN

Bakalářská práce bude odevzdána 1 x v listinné podobě a 2 x v elektronické podobě na CD s formální úpravou podle směrnice rektora č. 9/2007 (včetně dodatku č.1 ) a 2/2009 a směrnice děkana č. 12/2009.

## **Předepsané přílohy**

- A) Textová část
    - A1) Technická zpráva
    - A2) Průvodní zpráva statickým výpočtem
  - B) Netextová část (resp. Přílohy textové části)
    - B1) Použité podklady,
    - B2) Statický výpočet,
    - B3) Přehledná grafická dokumentace získaných výsledků
    - B4) Výkresová dokumentace řešeného mostu v rozsahu dle vedoucího práce
- Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací  
- Popisný soubor závěrečné práce

.....  
doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.  
Vedoucí bakalářské práce

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá únosností prostě uložených deskových mostů. Hlavním obsahem je srovnání rozdílů únosností počítaných dle ČSN, platných mezi lety 1915 a 1935, s výpočtem únosností dle ČSN EN, které platí v současné době. Další část se zabývá mezním stavem použitelnosti.

## **Klíčová slova**

Deskový most, zatížení dopravou, únosnost průřezu, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti

## **Abstract**

Bachelor's thesis is concerned with resistance simple bearing slab bridges. The main focus is comparison of differences in resistance calculated according to ČSN valid between 1915 and 1935 compared with calculated resistance according to ČSN EN which is valid now. Next part is concerned with serviceability limit state.

## **Keywords**

Slab bridge, traffic load, carrying capacity of the section, resistance limit state, serviceability limit state

## **Bibliografická citace VŠKP**

LULIAK, Ondřej. *Výpočet původního deskového mostu*. Brno, 2011. 49 s., 21 s. příl.  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a  
zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 25.5.2012

.....  
podpis autora

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Ladislavovi Klusáčkovi, CSc, za jeho nemalý podíl při psaní bakalářské práce. Vážím si cenných rad, připomínek a času při vypracování práce.

## Obsah:

1 - Úvod.....	8
2 - Rozbor zadání pro výpočet dle ČSN norem.....	9
3 - Průvodní zpráva statickým výpočtem dle ČSN norem.....	10
4 - Statický výpočet dle ČSN norem.....	11
4.1 – Geometrie.....	11
4.2 - Zatížení.....	11
4.2.1 – 1. Zatěžovací stav – Vlastní tíha.....	11
4.2.2 – 2. Zatěžovací stav – Ostatní stálé zatížení.....	11
4.2.3 – 3. Zatěžovací stav – Nahodilé rovnoměrné obtížení.....	11
4.2.4 – 4. Zatěžovací stav – Mostní řád – Vozidlo 14 t.....	12
4.3 - Kombinace.....	12
4.4 – Použitý materiál.....	13
4.5 - Dimenzování.....	13
4.6 - Posudek.....	14
4.7 – Konstrukční pokyny.....	14
5 - Průvodní zpráva statickým výpočtem dle ČSN EN norem.....	16
6 - Statický výpočet dle ČSN EN norem.....	18
6.1 – Geometrie.....	18
6.2 - Zatížení.....	18
6.2.1 – 1. Zatěžovací stav – Vlastní tíha.....	18
6.2.2 – 2. Zatěžovací stav – Ostatní stálé zatížení.....	18
6.2.3 – 3. Zatěžovací stav – Nahodilé zatížení vyvolané dopravou.....	19
6.2.3.1 – Model LM1.....	19
6.2.3.2 – Model LM2.....	23
6.2.3.3 – Model LM3 – 900/150.....	24
6.2.3.4 – Model LM3 – 1800/200.....	28
6.2.3.5 – Model LM3 – 3000/240.....	32
6.3 - Kombinace.....	33
6.4 – Posouzení – Mezní stav únosnosti.....	35
6.4.1 – Posouzení na ohyb.....	35
6.4.2 – Posouzení na smyk.....	37
6.5 – Posouzení – Mezní stav použitelnosti.....	39
6.5.1 – Přehled vstupních hodnot.....	39
6.5.2 – Mezní stav omezení napětí.....	39
6.5.3 – Mezní stav trhlin.....	41
6.5.4 – Mezní stav omezení přetvoření.....	42
7 – Závěr.....	46
8 – Seznam použitých zdrojů.....	48
9 – Seznam příloh.....	49
10 – Přílohy.....	50

## **1 - Úvod:**

Předmětem mé bakalářské práce bude srovnání únosností mostů dimenzovaných podle norem a předpisů platných v první polovině 20. století, kde spadají počátky výstavby železobetonových mostů, s únosností mostů počítanou dle současných eurocodů, tzn. ČSN EN. Mám zadána tři různá rozpětí a mým úkolem je sledovat, jak se vypočtené únosnosti budou měnit.

Celý most navrhnu a zatížím dle teorie pružnosti. Následně pak posoudím dle ČSN 73 62 06, tedy normou o navrhování betonových a železobetonových mostních konstrukcí. Zjistím tak maximální možné reálné zatížení dle této normy, závislé na daném rozpětí.

Pro relevantní srovnání použiji získanou geometrii a dimenze a celou tuto konstrukci zatížím dle normy o Zatížení konstrukcí – Zatížení mostů dopravou, tedy ČSN EN 1991-2. Vzniklou nejnepříznivější kombinací opět dostanu maximální možné teoretické zatížení, které most přenese.

Vypočítaná zatížení pak dám do poměru. Tímto dostanu konstantu, která je přímo úměrná reálnému zatížení dle ČSN a nepřímo úměrná teoretickému zatížení počítanou dle ČSN EN norem. Protože mám zadána 3 různá rozpětí, sestavím z nich graf v závislosti změně konstanty na daném rozpětí. Výsledný graf poté budu komentovat v závěru této studie.

## **2 - Rozbor zadání:**

Mezi lety 1915 a 1935 se začalo na našem území s projektováním železobetonových mostů. Pro tehdejší návrh a posuzování se vycházelo z teorií pružnosti z ČSN platných v tehdejší době, kde jsme mohli najít spoustu konstrukčních zásad a dále se opíralo do značné míry i o empirické znalosti tehdejších inženýrů.

Ze zadání budeme posuzovat 3 mosty. Geometrie mostů se liší rozpětím a tím i konstrukční výškou. Jsou zadány délky rozpětí mostů o 6 m, 9 m a 12 m. Šířka mostu je 7,5 m. Most je o jednom poli a je prostě uložen. Most budeme idealizovat jako prut o šířce 1 m.

Zatížení působící na konstrukci, se skládá v první řadě z vlastní tíhy nosné konstrukce, v našem případě je to železobetonová deska konstantní šířky. Délka je stanovena délkou rozpětí mostu, výška pak závisí přímo úměrně na délce. Objemová tíha železobetonu je  $25 \text{ kN/m}^3$ .

Druhý zatěžovací stav je tvořen ostatním stálým zatížením. Tedy skladbou vozovky. Ta je tvořena vrstvou žulových kostek tloušťky 100 mm, které jsou kladeny na 100 mm vrstvě písku. Pod pískem se nachází ochranný beton tloušťky 50 mm a hydroizolace o síle 5 mm. Pro vhodný sklon vozovky, pro odvodnění se dále uvažuje betonový střešovitý tvar, po celé šířce mostu a sklonu 2,0 %, který je přímo umístěn na železobetonovou mostní konstrukci. Dalším stálým zatížením jsou římsy, které jsou uloženy po obou obvodových stranách mostu vodorovných s osou mostu. Římsy jsou z železobetonu o objemové tíze  $25 \text{ kN/m}^3$ . V poslední řadě je na mostě umístěno ocelové mostní zábradlí, také na obou stranách, které zasahuje 250 mm od líců mostu. Toto zábradlí je opatřeno ochranným nátěrem proti korozi. Zábradlí bude vážit 100 kg na každý metr jeho délky.

Užitným zatížením, které uvažujeme je rovnoměrné obtížení. Hodnota zatížení se řídila dle „Nového mostního řádu“ a uvažovala se o velikosti  $4 \text{ kN/m}^2$ . Zatížení působilo na celé ploše mostu.

Posledním zatěžovacím stavem je vozidlo. Dle „Nového mostního řádu“ je to mlátička o tíze 14 t. Toto zatížení je nerovnoměrné, budeme uvažovat že na přední nápravu působí 4 t a na zadní zbývajících 10 t. Nápravy jsou od sebe vzdáleny 2,5 m. Rozteč os kol je 2,0 m.

Použitými materiály jsou beton 170 (dle ČSN 73 62 06), což odpovídá betonu C12/15 dle ČSN EN 1992-1-1. Výztuž hladká E 10 216, kterou v eurocodech najdeme pod označením B 206A.

### **3 - Průvodní zpráva statickým výpočtem dle ČSN norem:**

Nosná konstrukce mostu je navržena jako prostě podepřená deska o jednom poli. Rozpětí mostu je 6 m, šířka nosné konstrukce je 7,5 m. Tloušťka desky se navrhuje s ohledem na rozpětí, zatěžovací třídu, statickou určitost a na způsobu vyztužení. U železobetonové prostě podepřené desky se volí v mezích od 1/15 do 1/12 z rozpětí mostu. Desky z železobetonu není vhodné vylehčovat (např. dutinami, či kanálky vedoucí rovnoběžně k ose mostu).

Zatěžovacích stavy jsou 4 a to vlastní tíha nosné konstrukce, ostatní stálé zatížení, nahodilé rovnoměrné obtížení a vozidlo 14 t „Nového mostního řádu“. Zjednodušíme si výpočet tím, že zatížení přepočítáme na zatěžovací šířku mostu o rozměru 1m běžný.

4. Zatěžovací stav je tvořen pohyblivým zatížením tvořeným 2 dvounápravami o různých tlacích na nápravu. Pro vyvození maximálního účinku tohoto nesymetrického zatížení použijeme winklerova kritéria, ze kterého zjistíme která náprava vyvolá větší účinek zatížení. Dále použijeme břemenné kritérium, pro zjištění polohy nápravy na nosníku. Ke zjištění vnitřních sil na nosníku od tohoto pohyblivého zatížení použijeme příčinkové čáry. Zatížení nebudeme roznášet. tzn. Bude působit jako spojitě v příčném směru na délce rozteče os kol. V podélném směru budou dvě síly o nápravových zatíženích dělené rozteče os kol.

Do kombinace použijeme hodnoty zatížení v normovém tvaru a nebudeme uvažovat žádné zvětšující součinitele zatížení. Vliv dynamických účinků od pohyblivých zatížení zanedbáme.

Pracovní diagram betonu uvažujeme jako dvouvětвовý graf s lineární částí a částí konstantní, vedoucí v úrovni maximální dovolené pevnosti betonu v tlaku. Maximální dovolená hodnota je 6,3 MPa. Velikost modulu pružnosti v ohybu dle ČSN 73 62 06 je 18,4 GPa.

Pracovní diagram oceli zjednodušíme na jeho lineární větev a konstantní větev vedoucí v úrovni dovoleného namáhání oceli v tahu. Dovolená pevnost oceli v tahu je 120 MPa. Modul pružnosti dosahuje 200 GPa.

Desku budeme idealizovat jako prostě podepřený prut, působící v jednom směru. Ve druhém směru poté navrhujeme výztuž dle konstrukčních zásad.

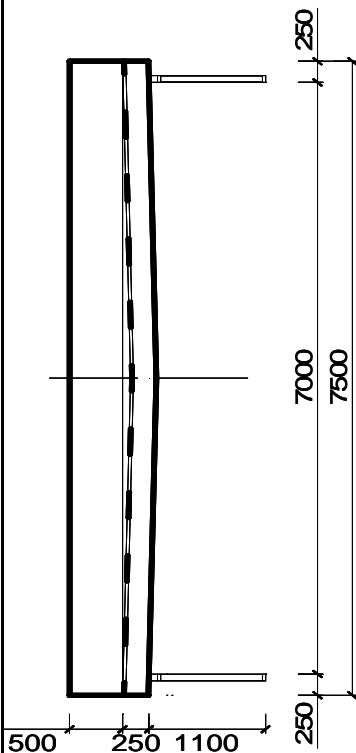
Krytí si zvolím 25 mm a celý průřez dimenzuji na dovolená namáhání v tlačené části betonu a v tažené ploše výztuže. Přičemž předpokládám, že porušení nastane v tažené části průřezu, tzn. v tažené výztuži.

Pro výpočet ramene vnitřních sil použijeme pružnost a předpoklad lineárně narůstajícího napětí v betonu. Těžiště působí síly je v 1/3 od krajních vláken. Pomocí podmínek rovnováhy, kde platí, že síla v tlačené oblasti je stejně velká jako síla v tažené poté dostaneme kvadratickou rovnici, ze které nám vyjde minimální plocha tažené výztuže. Ze známé plochy navrhujeme průměr a vzdálenost prutů betonářské výztuže.

Posudek provedeme porovnáním maximálního napětí v materiálech od zatížení s dovoleným namáháním. Tímto a iteračním způsobem získáme profil vložek a zároveň počet profilů na běžný metr.

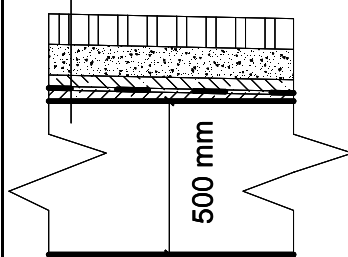
Nakonec vypočteme další konstrukční výztuž a to dle konstrukčních zásad daných normou.

## PŘÍČNÝ ŘEZ MOSTEM

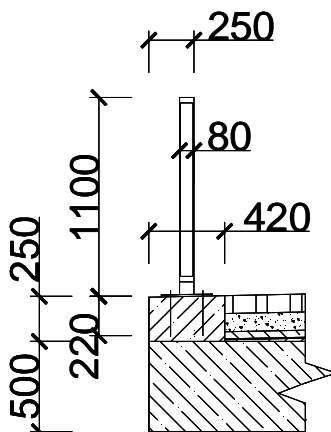


## SKLADBA VOZOVKY

- Žulové kostky - 100 mm
- Písek - 100 mm
- Ochranný beton - 40 mm
- Izolace - 5 mm
- Střešovitý tvar - 0 - 95 mm



## ZÁBRADLÍ



## 4 - Statický výpočet dle ČSN norem:

### 4.1 - GEOMETRIE

Šířka mostu daná šířkovým uspořádáním vozovky

$$b_d = 7,5 \text{ m}$$

Uvažovaná zatěžovací šířka mostu

$$b = 1 \text{ m}$$

Zadané rozpětí mostu

$$L = 6 \text{ m}$$

Tloušťka desky závislá na rozpětí mostu

$$d = (1/12 \sim 1/15) \quad 0,4 \quad 0,5 \quad \text{Volím: } d = \underline{0,5 \text{ m}}$$

### 4.2 - ZATÍŽENÍ

Zatížení vypočítáme dle tehdejších norem. Všechny zatěžovací stavy počítáme na 1 běžný metr desky. Součinitel zatížení bude pro všechny zatěžovací stavy stejný a bude se rovnat jedné.  $\gamma_{g0} = \gamma_{g1} = \gamma_{qi} = 1$

#### 4.2.1 - 1. Zatěžovací stav - Vlastní tíha

	tloušťka [mm]	$\gamma_{mat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$g_{k0}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1.	500	25	12,5

$$V_{k0} = 1/2 \cdot g_{k0} \cdot L = 1/2 \cdot 12,5 \cdot 6 =$$

$$37,5 \text{ kN/m'}$$

$$M_{k0} = 1/8 \cdot g_{k0} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 12,5 \cdot 6^2 =$$

$$56,25 \text{ kNm/m'}$$

#### 4.2.2 - 2. Zatěžovací stav - Ostatní stálé zatížení

Mostní zábradlí je ocelové, tvořené profily I,U.

	tloušťka [mm]	$\gamma_{mat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1.	100	26	2,323
2.	100	21	1,876
3.	40	25	0,893
4.	5	1	0,004
5.	47,5	25	1,061
Římsy	250	25	0,667
Zábradlí	100 [kg/m]	1	0,267
$\Sigma$			7,091

$$V_k = 1/2 \cdot g_k \cdot L = 1/2 \cdot 7,091 \cdot 6 =$$

$$21,272 \text{ kN/m'}$$

$$M_k = 1/8 \cdot g_k \cdot L^2 = 1/8 \cdot 7,091 \cdot 6^2 =$$

$$31,908 \text{ kNm/m'}$$

#### 4.2.3 - 3. Zatěžovací stav - Nahodilé rovnoměrné obtížení

$$q_k = 4 \text{ kN/m}^2$$

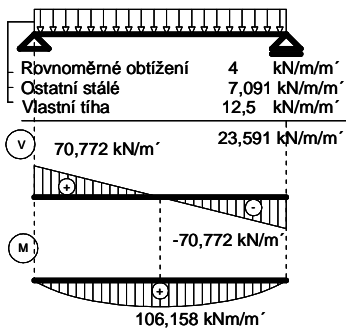
$$V_q = 1/2 \cdot q \cdot L = 1/2 \cdot 4 \cdot 6 =$$

$$12 \text{ kN/m'}$$

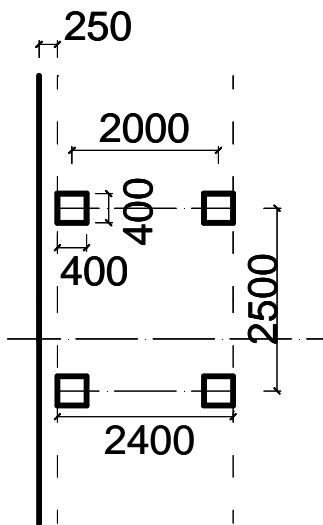
$$M_q = 1/8 \cdot q \cdot L^2 = 1/8 \cdot 4 \cdot 6^2 =$$

$$18 \text{ kNm/m'}$$

### SCHÉMA STÁLÝCH SLOŽEK ZATÍŽENÍ

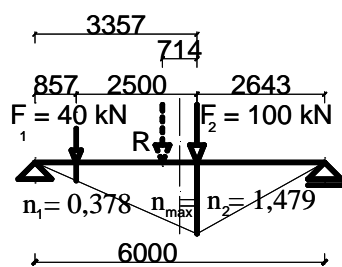


### PŮDORYS VOZIDLA NA MOSTĚ

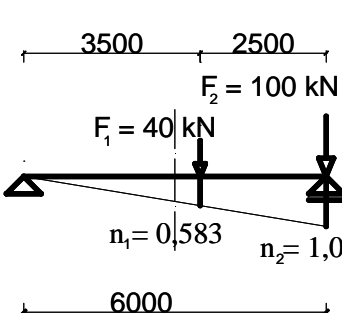


### SCHÉMA UMÍSTĚNÍ VOZIDLA NA MOSTĚ

#### VYVOZENÍ $M_{MAX}$



#### VYVOZENÍ $V_{MAX}$



### 4.2.4 - 4. Zatěžovací stav - Mostní řád - Vozidlo 14 t

#### Zatěžování

Vozovku zatížíme vozidlem o celkové váze 14 t. Přední náprava přitom přeneše 4 t a zadní 10 t. Vzdálenost náprav je 2,5 m a rozteč os kol je 2,0 m. Most zatížíme ve vnějším pruhu. Umístění vozidla ve směru osy mostu zjistíme užitím Winklerova kritéria a břemenového kritéria. Zatížení po výšce průřezu budeme roznášet pod úhlem 90°.

#### Nápravové síly

$$F_1 = 40 \text{ kN}$$

$$F_2 = 100 \text{ kN}$$

#### Určení polohy soustavy

- Poloha soustavy musí vyvodit maximální moment.

$$F_k = F_2 = 100 \text{ kN}$$

$$R = \sum_{i=1}^n F_i = 40 + 100 = 140 \text{ kN} \quad r = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^{k-1} l_i F_i = \frac{1}{140} 2,5 \cdot 40 = 0,714 \text{ m}$$

#### Roznášecí šířka

$$b = 2 \text{ m}$$

#### Určení momentu

$$\eta_{max} = \eta_2 = x_1 \cdot x_1' / L = 3,357 \cdot 2,643 / 6 = 1,479$$

$$\eta_1 = 2 \cdot x_1 / L = 2 \cdot 0,857 / 6 = 0,378$$

$$M_{max} = \sum F_i \cdot \eta_i = 40 \cdot 0,378 + 100 \cdot 1,479 = 162,979 \text{ kNm}$$

$$M = M_{max} / b = 162,979 / 2,0 = \boxed{81,489 \text{ kNm/m}'}$$

$$\eta_1 = x_1 / L = 3,5 / 6 = 0,583$$

$$\eta_{max} = \eta_2 = 1,000$$

$$V_{max} = 123,333 \text{ kN}$$

$$V = V_{max} / b = 123,333 / 2,0 = \boxed{61,667 \text{ kN/m}'}$$

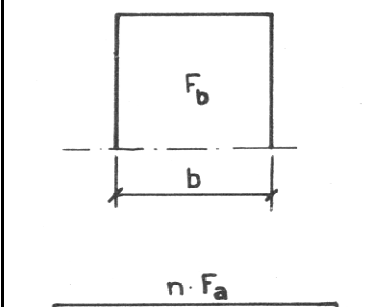
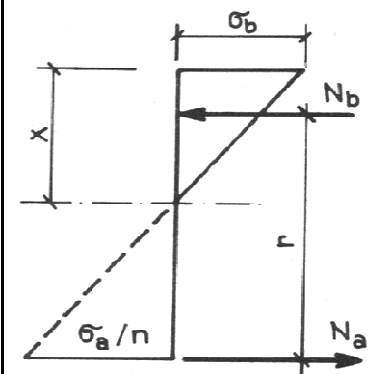
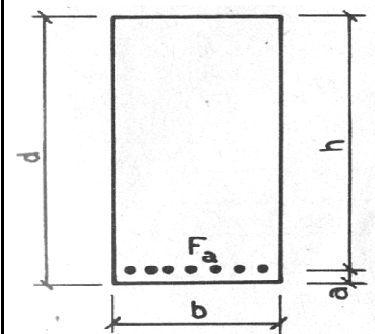
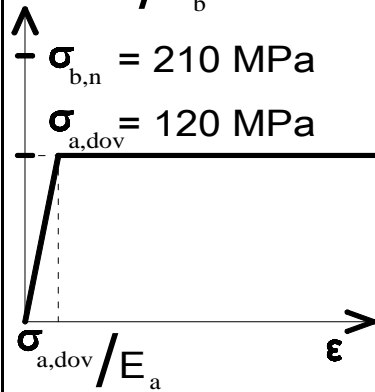
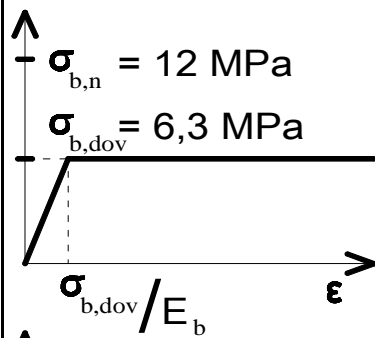
### 4.3 - KOMBINACE

#### Kombinace skutečných zatížení dle ČSN

$Q_{\text{ČSN,SKUTEČNÉ}} =$	1. ZS	+	2. ZS	+	3. ZS	+	4. ZS
$Q_{\text{ČSN,SKUTEČNÉ}} =$	12,5	+	7,091	+	4	+	18,109
$Q_{\text{ČSN,SKUTEČNÉ}} =$							<b>41,699 kN/m/m'</b>

#### Statické veličiny vzniklé působením zatížení z kombinace

$N =$	0	+	0	+	0	+	0,000
$N =$							<b>0,000 kN/m'</b>
$V =$	37,5	+	21,272	+	12	+	61,667
$V =$							<b>132,439 kN/m'</b>
$M =$	56,25	+	31,908	+	18	+	81,489
$M =$							<b>187,647 kNm/m'</b>


**4.4 - POUŽITÝ MATERIÁL**
**Beton: B 170**

$\sigma_{b,n} =$	12 MPa	$\sigma_{b,dov} =$	<b>6,3 MPa</b>
$\sigma_{b,t,n} =$	1,1 MPa	$\sigma_{b,t,dov} =$	<b>0,9 MPa</b>
Modul pružnosti v ohybu: $E_b =$		<b>18,4 GPa</b>	

**Ocel: E 10 216**

$\sigma_{a,n} =$	210 MPa	$\sigma_{a,dov} =$	<b>120 MPa</b>
$E_a =$	<b>200 GPa</b>	$\Phi =$	<b>25 mm</b>

**4.5 - DIMENZOVÁNÍ**

*Jde o prvek namáhaný ohybem, kde výslednice vnějšího zatížení působí v rovině symetrie prvku. Průřez prvku je obdélníkový vyztužen pouze na jedné straně.*

**4.5.1 - Krytí**

*Krytí si zvolím na základě zkušeností z předchozích konstrukcí:*

$$k = \underline{\underline{25 \text{ mm}}}$$

**4.5.1 - Geometrie průřezu**

Od kraje k výztuži:  $a = k + \Phi/2 = 25 + 25/2 =$  **0,0375 m**

Působící průřez:  $h = d - a = 0,5 - 0,0375 =$  **0,4625 m**

**4.5.2 - Vypočet ramena vnitřních sil:**

$r = d - a - x_1$  *Za předpokladu lineárně narůstajícího napětí betonu směrem ke krajním vláknům. Působí výsledné síly v betonu bereme v těžišti trojúhelníkového napětí.*  
 $x_1 = x / 3$   
 $x = F_b / b = F_b / 1$   
 $x = F_b$  *Působící šířka průřezu je 1 m.*

$$r = d - a - F_b/3$$

**4.5.3 - Podmínky rovnováhy:**

$N_a = N_b$  kde:  $N_a = F_a \cdot \sigma_a$   
 $M = N_b \cdot r$   $N_b = 1/2 \cdot b_x \cdot \sigma_b$

$$M = F_b \cdot \sigma_b \cdot r$$

$$r = d - a - F_b/3$$

$$M = F_b \cdot \sigma_b \cdot (d - a - F_b/3)$$

$$\sigma_b/3 \cdot F_{b,min}^2 + (\sigma_b \cdot a - \sigma_b \cdot d) \cdot F_{b,min} + M = 0$$

$$F_{b,min} = \frac{-\sigma_b(a-d) - \sqrt{[\sigma_b(a-d)]^2 - 4 \frac{\sigma_b}{3} M}}{\frac{2}{3} \sigma_b}$$

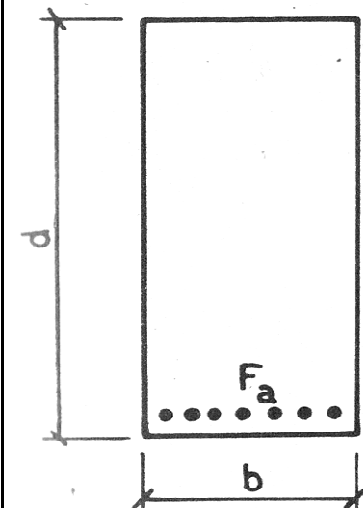
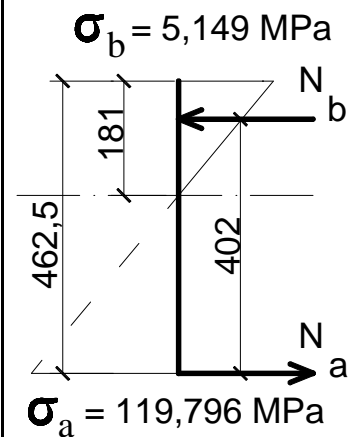
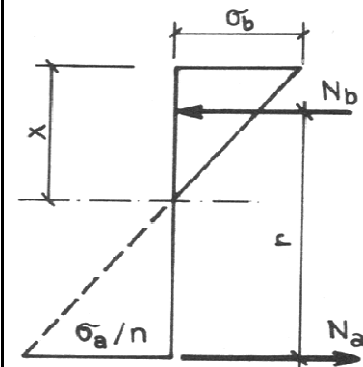
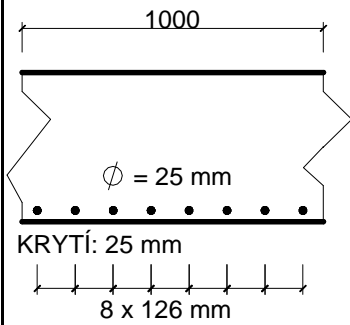
$$F_{b,min} = \frac{-6,3 \cdot (0,0375 - 0,5) - \sqrt{[6,3(0,0375 - 0,5)]^2 - 4 \frac{6,3}{3} 187,647}}{\frac{2}{3} 6,3}$$

**4.5.4 - Minimální tlačená plocha betonu:**

$$F_{b,min} = \underline{\underline{6,770E-02 \text{ m}^2}}$$

**4.5.5 - Minimální potřebná plocha výztuže:**

$$F_{a,min} = \underline{\underline{3,554E-03 \text{ m}^2}}$$



#### 4.5.6 - Navrhnutá výztuž

$$\Phi = 25 \text{ mm}$$

$$a = 126 \text{ mm}$$

$$F_a = 3,896E-03 \text{ m}^2$$

#### 4.6 - POSUDEK

##### 4.6.1 - Poloha neutrálné osy

Pro výpočet polohy neutrálné osy vycházíme z předpokladu rovnosti ploch statických momentů průřezu.

$$U_b = n \cdot U_a$$

$$\int_0^x z \cdot dF_b = n F_a (h - x)$$

Pro obdélníkový průřez je řešení integrálu toto:

$$1/2 \cdot b \cdot x^2 = n \cdot F_a \cdot (h - x)$$

Vzdálenost Neutrálné osy od krajních tlačených vláken jednostraně vyztuženého průřezu je:

$$x = \frac{15 F_a}{b} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2bh}{15 F_a}} \right)$$

$$x = \frac{15 \cdot 3,896E-03}{1,0} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 0,4625}{15 \cdot 3,896E-03}} \right)$$

$$x = 0,1813 \text{ m}$$

##### 4.6.2 - Rameno vnitřních sil:

$$r = h - x/3 = 0,4625 - 0,181/3 = 0,402 \text{ m}$$

##### 4.6.3 - Napětí ve výztuži

$$\sigma_a = M / (F_a \cdot r) = 187,647 / (3,896E-03 \cdot 0,402) = 119,796 \text{ MPa}$$

##### 4.6.4 - Napětí v betonu

$$\sigma_b = 2 \cdot M / (b \cdot x \cdot r) = 2 \cdot 187,647 / (1,0 \cdot 0,181 \cdot 0,402) = 5,149 \text{ MPa}$$

##### 4.6.5 - Posouzení napětí v materiálech s dovoleným namáháním

$$\sigma_a = 119,796 \text{ MPa} < \sigma_{a,dov} = 120 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 5,149 \text{ MPa} < \sigma_{b,dov} = 6,3 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

#### 4.7 - Konstrukční pokyny

##### 4.7.1 - Stupeň vyztužení

$$\rho = F_a / (b \cdot h) = 3,896E-03 / (1,0 \cdot 0,4625) = 0,842 \%$$

Pro ocel E 10 216 platí:

$$\rho_{min} = 0,3 \% < \rho = 0,842 \%$$

$$\rho_{max} = 3,0 \% > \rho = 0,842 \%$$

**VYHOVUJE**

**4.7.2 - Rozdělovací výztuž**

Na 1 m šířky desky musí být v nebezpečném průřezu nejméně 6 vložek tažených. Při každém povrchu desky je nutné navrhnout nejméně 4 rozdělovací vložky na 1 m délky. Počítá-li se s roznášecí šířkou desky, musí být deska opatřena u obou povrchů příčnou výztuží s průřezovou plochou při tlačeném povrchu alespoň 13% a při taženém povrchu aspoň 25% průřezové plochy výztuže hlavní.

Desky tlustší než 0,40 m se musí v celém svém rozsahu opatřit třmínky nebo svislými sponami dostatečně hustými. Minimálně 9 kusů na 1 m<sup>2</sup> desky.

**Horní tlačená podélná výztuž**

$$F_{a2} = 0,13 \cdot F_a = 0,13 \cdot 3,896E-03 = 5,065E-04 \text{ m}^2$$

Návrh výztuže:

$\Phi =$	<b>10</b>	mm
$\acute{a} =$	<b>126</b>	mm
$F_{a2} =$	<b>6,233E-04</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

**Horní tlačená příčná výztuž**

$$F_{a3} = 0,13 \cdot F_a = 0,13 \cdot 3,896E-03 = 5,065E-04 \text{ m}^2$$

Návrh výztuže:

$\Phi =$	<b>10</b>	mm
$\acute{a} =$	<b>140</b>	mm
$F_{a3} =$	<b>5,610E-04</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

**Dolní tažená příčná výztuž**

$$F_{a4} = 0,25 \cdot F_a = 0,25 \cdot 3,896E-03 = 9,740E-04 \text{ m}^2$$

Návrh výztuže:

$\Phi =$	<b>14</b>	mm
$\acute{a} =$	<b>140</b>	mm
$F_{a4} =$	<b>1,100E-03</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

**4.7.3 - Kotevní délka**

V deskách namáhaných ohybem musí být dovedena za podporu nejméně polovina všech podélných vložek, jestliže je prvek v podpoře volně končící.

Do počtu vložek dovedených za podporu se zahrnují jen vložky rovné, nepřevedené do protilehlé poloviny železobetonového průřezu.

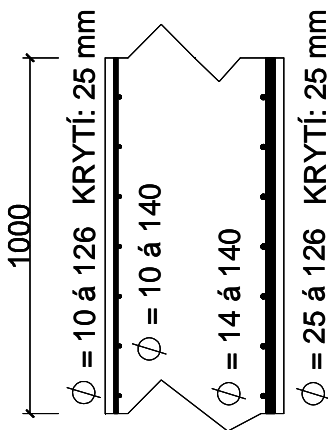
Tahové vložky nosné výztuže, dovedené do koncové podpory nosníku, musí přesahovat teoretickou podporu nejméně o délku 10 x  $\Phi$ , případně 15 x  $\Phi$ . Vně krajní teoretické podpory je nutno navrhnout aspoň 2 třmínky.

Končí-li betonová část namáhaná na ohyb blízko za svou podporou nebo v blízkosti velkého osamělého břemene, na ni působícího, musí se tažená výztuž opatřit háky. V těchto případech je nutno navrhnout v kotevní oblasti svislé, či vodorovné třmínky.

$$\text{Minimální kotevní délka: } 10 \cdot \Phi = 10 \cdot 25 = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Kotevní délka: } 15 \cdot \Phi = 15 \cdot 25 = 375 \text{ mm}$$

$$\text{Navrhují kotevní délku: } \underline{\underline{450 \text{ mm}}}$$



## 5 - Průvodní zpráva statickým výpočtem dle ČSN EN norem:

Geometrii, známe ze statického výpočtu dle ČSN. Pro řešení statických účinků zatížení metodou spolupůsobící šířky, převedeme deskové působení konstrukce na prutové. Šířku pruhu si zvolíme 1 m. Určíme maximální namáhání a na toto namáhání dimenzujeme výztuž v podélném směru.

Zatěžovacích stavů dle ČSN EN 1991-2 sestavíme 7 dohromady. Ze stálých složek jde o vlastní tíhu. A ostatní stálé zatížení, které rozdělíme na zatížení od vozovky a ostatní stálé zatížení. Abychom zajistili únosnost i pozdějších oprav a změn skladby vozovky zavedeme součinitele suprema a minima zatížení.

3. zatěžovací stav je load model 1, reprezentovaná tandem systémem. Tandem je tvořen dvěma dvounápravami o rozteči os kol 2 m a vzdálenosti náprav 1,2 m. Rozměry roznášecích ploch kol jsou 0,4 x 0,4 m. Spolu s tandem systémem působí taky rovnoměrné zatížení. Vozovka je rozdělena do zatěžovacích pruhů. Na každý pruh působí jiná hodnota zatížení (viz tabulka), redukována regulačními součiniteli, jejichž velikost odpovídá skupině pozemních komunikací. V našem případě Skupina 1. Roznos zatížení je prováděn pod úhlem 45° tuhost desky je zohledněna zvětšením roznášecí plochy v souladu s normou. Dynamický součinitel je již v modelu zatížení zahrnut. Pro zjednodušení jsem roznos zatížení v příčném směru provedl pro všechny pruhy ve stejném řezu a to nejvíce nepříznivém.

Umístění	Dvojnáprava (TS)	Rovnoměrné zatížení (UDL)
	nápravové síly $Q_k$ [kN]	$q_k$ (nebo $q_{rk}$ ) [kN/m <sup>2</sup> ]
Pruh č. 1	300	9
Pruh č. 2	200	2,5
Pruh č. 3	100	2,5
Ostatní pruhy	0	2,5
Zbývající plocha ( $q_{rk}$ )	0	2,5

4. zatěžovací stav je load model 2. Reprezentován jednou nápravovou silou o velikosti 400 kN, redukována regulačním součinitelem shodným jako v LM1. Náprava působí v kterémkoliv místě na vozovce. Dotyková plocha kola má rozměry 0,35 x 0,6 m. Roznos zatížení do úrovně výztuže jsem provedl obdobně jako v předchozím případě.

Poslední tři zatěžovací stavy jsou reprezentovány zvláštními vozidly. Dle zatížení schválených k provozu na trasách evropské silniční sítě rozlišujeme 3 třídy zvláštních vozidel. Jsou to 6 náprav po 150 kN, 9 náprav po 20 kN a 12 náprav po 240 kN + 1 náprava po 120 kN. Do výpočtu jsem uvažoval, že se zvláštní vozidla budou pohybovat nízkou rychlostí, proto jsem nepočítal s dynamickým součinitelem. Spolu s prvními dvěma třídami zvláštních vozidel jsem uvažoval se zatížením od provozu ve 2. pruhu vozovky. Roznos zatížení jsem provedl obdobně jako v předchozích případech.

Protože se jedná o pohyblivá zatížení, pro výpočet statických veličin jsem použil pravidla pro vyvození maximálních účinků zatížení. Dále jsem si pomohl příčinkovými čáry pro výpočet momentu a posouvající síly.

Součet účinků dvou různých zatížení ve dvou vedlejších pružích jsem provedl podle známých vzorců:

$$M_{A,B} = M_A + M_B \frac{c}{2b_A - c} \quad , \quad M_{B,A} = M_B + M_A \frac{c}{2b_B - c}$$

Přičemž jsem vzal do dalších výpočtů tu statickou veličinu, která mi po kombinaci vyvodila větší účinek.

Pro mezní stav únosnosti uvažujeme charakteristickou kombinaci. V kombinaci zatěžovacích stavů tedy použijeme návrhové součinitele zatížení mostu dopravou ( $\gamma = 1,35$ ) a budeme kombinovat dle návrhových kombinací a to dle rovnic 6.10a) a 6.10b).

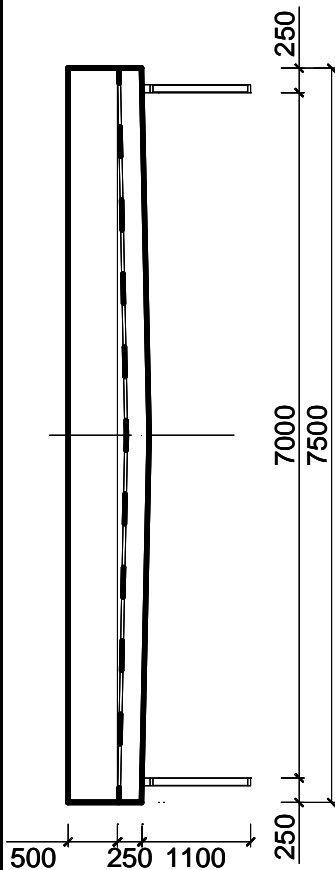
Našel jsem kombinaci s nejnepříznivějším účinkem na konstrukci a z ní jsem vzal maximální teoretické zatížení, které konstrukce přenese dle ČSN EN, ovšem nezvětšené o kombinační součinitele. Toto zatížení jsem dal do poměru se zjištěným zatížením dle ČSN a výsledným poměrem jsem vynásobil statické veličiny, se kterými jsem dál posuzoval.

V posuzování budeme brát návrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálů. Pro beton vydělíme materiálovým součinitelem  $\gamma_c$  a vynásobíme redukčním součinitelem platným pro zatěžování mostů  $\alpha_{cc}$ . Pevnost výztuže zredukujeme materiálovým součinitelem  $\gamma_s$ .

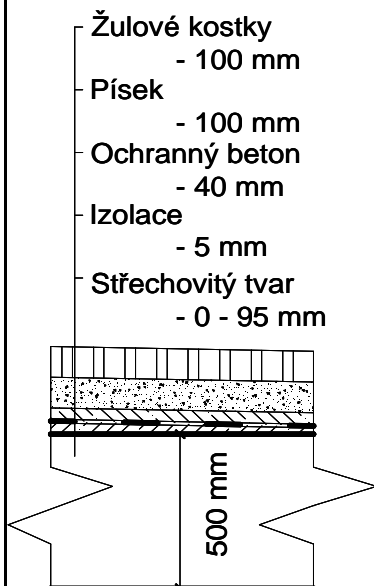
Protože umístění, počet a průměr výztuží máme již navržené z výpočtů dle ČSN, daný průřez posoudíme dle ČSN EN 1992-2. Posoudíme stupeň vyztužení, ověříme přetvoření a ověříme již navrhnutou konstrukční výztuž. Dále posoudíme na smyk. A zkontrolujeme kotevní délku.

Z mezního stavu použitelnosti jsem posuzoval omezení napětí, maximální šířku trhlin a maximální průhyb.

**PŘÍČNÝ ŘEZ MOSTEM**



**SKLADBA VOZOVKY**



**6 - Statický výpočet dle ČSN EN norem:**

**6.1 Geometrie**

*Veškeré rozměry mostu jsou známy z předchozího výpočtu dle ČSN.*

*Pro rekapitulaci:*

Rozpětí

$L = L_{\text{eff}} = 6,0 \text{ m}$

Šířka mostu

$b_d = 7,5 \text{ m}$

Zatěžovací šířka mostu

$b = 1,0 \text{ m}$

Výška hlavní nosné konstrukce

$h = 0,5 \text{ m}$

**6.2 Zatížení**

*Zatěžovací stavy tvoří vlastní tíhou konstrukce, ostatní stálé zatížení a proměnné zatížení zpracované podle ČSN EN 1991-2 "Zatížení mostů dopravou". Jako proměnná zatížení jsou z dané normy uvažovány modely LM1, LM2 a LM3. Model zatížení LM3 je pak reprezentován dle národního dodatku jako zvláštní vozidla 900/150, 1800/200 a 3000/240.*

**6.2.1 - 1.ZS - Vlastní tíha**

$g_{0k} = h \cdot \gamma_{\text{bet}} = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ kN/m}'$

$M_{0k} = 1 / 8 \cdot g_{0k} \cdot L_{\text{eff}}^2 = 1 / 8 \cdot 12,5 \cdot 6^2 = 56,25 \text{ kNm/m}'$

$V_{0k} = 1 / 2 \cdot g_{0k} \cdot L_{\text{eff}} = 1 / 2 \cdot 12,5 \cdot 6 = 37,5 \text{ kN/m}'$

**6.2.2 - 2.ZS - Ostatní stálé zatížení**

	tloušťka [mm]	$\gamma_{\text{mat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Žulové kostky	100	26	2,323
Písek	100	21	1,876
Ochranný beton	40	25	0,893
Izolace	5	1	0,004
Střešovitý tvar	47,5	25	1,061
Římsy	250	25	0,667
ŽB zábradlí	100 [kg/m]	1	0,267

VRSTVA VOZOVKY: 6,157 kN/m<sup>2</sup>

ZÁBRADLÍ A ŘÍMSY: 0,933 kN/m<sup>2</sup>

**SUMA 7,091 kN/m<sup>2</sup>**

### 6.2.3 - 3.ZS - Nahodilé zatížení vyvolané dopravou

Zatěžovací systém pro navrhovaný most budeme uvažovat jako GR1A. Pozemní komunikaci, kterou most převádí přes překážku zařadíme do Skupiny 1. Hodnoty regulačních součinitelů  $\alpha$  pro ČR jsou:  $\alpha_{Q1} = \alpha_{Q2} = \alpha_{q1} = 0,8$ .

Jako modely zatížení budeme uvažovat LM1, LM2 a LM3.

Šířka vozovky měřená mezi vnitřními líci záchytných systémů je 7 m. Počet zatěžovacích pruhů jsou 3. Šířka 1. je 3,0m, 2. činí také 3,0 m a 3. pruh je pak široký 1,0 m.

#### Rozdělení vozovky do pruhů

Počet a šířka zatěžovacích pruhů:

Šířka vozovky $w$	Počet zatěžovacích pruhů	Šířka zatěžovacího pruhu $w_1$	Šířka zbývající plochy
$w < 5,4$ m	$n_1 = 1$	3 m	$w - 3$ m
$5,4 \text{ m} \leq w < 6$ m	$n_1 = 2$	$w / 2$	0
$6 \text{ m} \leq w$	$n_1 = \text{Int} ( w / 3 )$	3 m	$w - 3 \times n_1$

Šířka vozovky:  $w = 7$  m

Počet pruhů:  $n_1 = 3$

Šířka pruhu:  $w/2 = 3$  m

Šířka zbylá: 1 m

#### 6.2.3.1 - Model LM1

#### Zatěžování

**Nápravové síly:**  $\alpha_{Q1} = \alpha_{Q2} = 0,8$

**PRUH 1:**  $Q_{k1} = 300$  kN

$Q_1 = \alpha_{Q1} \cdot Q_{k1} = 0,8 \cdot 300 = 240$  kN

**PRUH 2:**  $Q_{k2} = 200$  kN

$Q_2 = \alpha_{Q2} \cdot Q_{k2} = 0,8 \cdot 200 = 160$  kN

**Rovnoměrné zatížení UDL:**  $\alpha_{q1} = 0,8$

$\alpha_{q2} = \alpha_{qz} = 1,0$

**Pruh 1:**  $q_{k1} = 9,0$

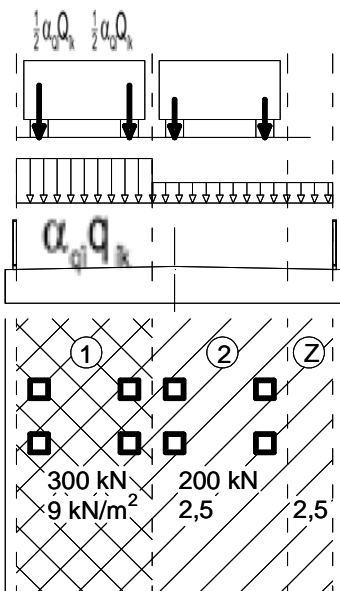
$q_1 = \alpha_{q1} \cdot q_{k1} = 0,8 \cdot 9 = 7,2$  kN/m<sup>2</sup>

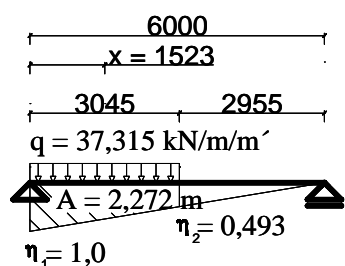
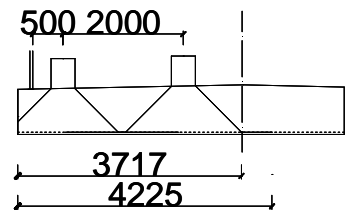
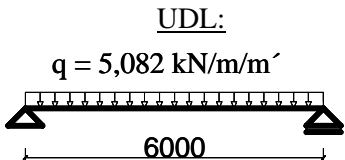
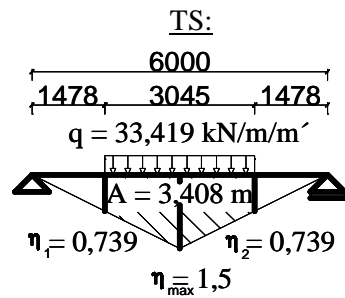
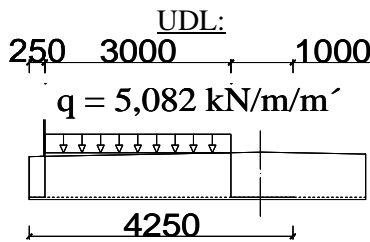
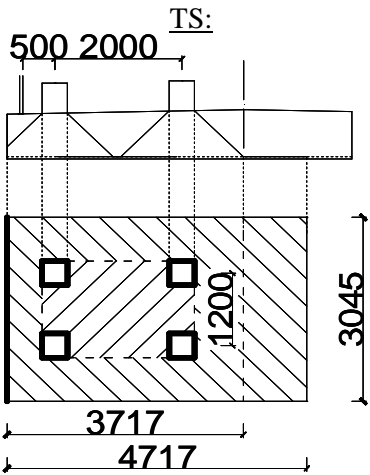
**Pruh 2:**  $q_{k2} = 2,5$

$q_2 = \alpha_{q2} \cdot q_{k2} = 1,0 \cdot 2,5 = 2,5$  kN/m<sup>2</sup>

**Pruh Z:**  $q_{kz} = 2,5$

$q_z = \alpha_{qz} \cdot q_{kz} = 1,0 \cdot 2,5 = 2,5$  kN/m<sup>2</sup>





**PRUH 1**

**Ohybové namáhání TS a UDL pro Pruh 1**

Roznášecí a vzdorující šířky

$b_{rTS1} =$	3,717 m	$k_1 =$	0 m
$b_{pod.TS1} =$	3,045 m	$k_2 = L/6 =$	1,0 m
$b_{sTS1} = b_{rTS1} + k_1 + k_2 =$	3,717 + 0 + 1,0 = 4,717 m		
$b_{rUDL1} =$	3,0 m	$k_1 =$	0,25 m
$b_{pod.UDL1} =$	1,0 m	$k_2 =$	1,0 m
$b_{sUDL1} = b_{rUDL1} + k_1 + k_2 =$	3,0 + 0,25 + 1,0 = 4,250 m		

Pořadnice příčinkové čáry pro TS

$$x_1 = x_2' = 1,478 \text{ m}$$

$$\eta_{max} = x_1 \cdot x_1' / L = 3 \cdot 3 / 6 = 1,5$$

$$\eta_1 = \eta_2 = x_1 \cdot \eta_{max} / L/2 = 1,478 \cdot 1,5 / 3 = 0,739$$

Roznesené zatížení

$$q_{TS1} = 2 \cdot Q_{TS} / (b_{pod.TS1} \cdot b_{sTS1}) = 2 \cdot 240 / (4,717 \cdot 3,045) = 33,419 \text{ kN/m/m'}$$

$$q_{UDL1} = q \cdot b_{rUDL1} / b_{sUDL1} = 7,2 \cdot 3,0 / 4,250 = 5,082 \text{ kN/m/m'}$$

Ohybové momenty

$$A = 3,408 \text{ m}$$

$$M_{TS1} = q_{TS1} \cdot A = 33,419 \cdot 3,408 = 113,907 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{UDL1} = 1/8 \cdot q_{UDL1} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 5,082 \cdot 6^2 = 22,871 \text{ kNm/m'}$$

**113,907 kNm/m'**  
**22,871 kNm/m'**

**Smykové namáhání TS pro Pruh 1**

Roznášecí a vzdorující šířky

$b_{rTS1} =$	3,717 m	$k = x / 3 = 1,523 / 3 =$	0,508 m
$x =$	1,523 m		
$b_{pod.TS1} =$	3,045 m		
$b_{sTS1} = 0 + b_{rTS1} + k =$	0 + 3,717 + 0,508 = 4,225 m		

Roznesené zatížení

$$q_{TS1} = 2 \cdot Q_{TS1} / b_{rTS1} / b_{sTS1} = 2 \cdot 240 / 3,717 / 4,225 = 37,315 \text{ kN/m/m'}$$

Pořadnice příčinkové čáry

$$x_1' = 6,0 \text{ m}$$

$$x_2' = 2,955 \text{ m}$$

$$\eta_1 = x_1' / L = 5,089 / 6 = 1,000$$

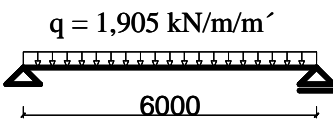
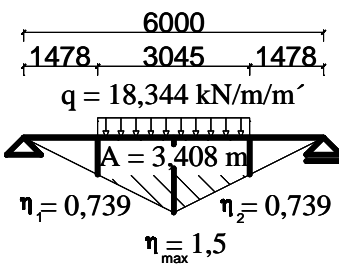
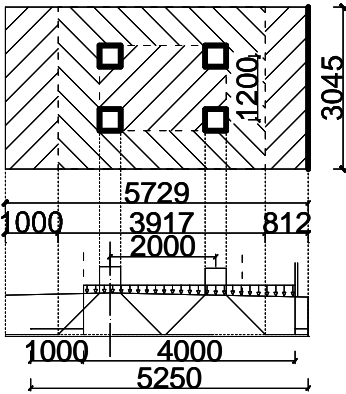
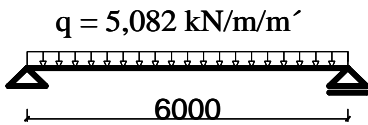
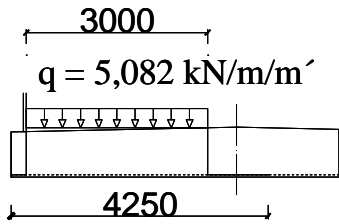
$$\eta_2 = x_2' / L = 3,890 / 6 = 0,493$$

Smyková síla

$$A = 2,272 \text{ m}$$

$$V_{TS1max} = Q_{TS1} \cdot A = 37,315 \cdot 2,272 = 84,791 \text{ kN/m'}$$

**84,791 kN/m'**



**Smykové namáhání UDL pro Pruh 1**

Roznášecí a vzdorující šířky

$$b_{rUDL1} = 3,0 \text{ m} \quad k_1 = 0,25 \text{ m}$$

$$x = L / 2 = 6 / 2 = 3,0 \text{ m} \quad k_2 = x / 3 = 3/3 = 1,0 \text{ m}$$

$$b_{sUDL1} = b_{rUDL1} + k_1 + k_2 = 3,0 + 0,25 + 1,0 = 4,250 \text{ m}$$

Roznesené zatížení

$$q_{UDL1} = q_k \cdot b_{rUDL1} / b_{sUDL1} = 7,2 \cdot 3,0 / 4,250 = 5,082 \text{ kN/m}'$$

Smyková síla

$$V_{UDL1max} = q_{UDL1} \cdot L / 2 = 5,082 \cdot 6/2 = \boxed{15,247 \text{ kN/m}'}$$

**PRUH 2 a Z**

Ohybové namáhání TS a UDL

Roznášecí a vzdorující šířky TS pro Pruh 2

$$b_{rTS2} = 3,917 \text{ m} \quad k_1 = L/6 = 1,0 \text{ m}$$

$$b_{pod.TS2} = \boxed{3,045 \text{ m}} \quad k_2 = 0,812 \text{ m}$$

$$b_{sTS2} = b_{rTS2} + k_1 + k_2 = 3,917 + 1,0 + 0,812 = \boxed{5,729 \text{ m}}$$

Roznášecí a vzdorující šířky UDL pro Pruh 2 a Z

$$b_{rUDL2,Z} = 4,0 \text{ m} \quad k_1 = L/6 = 1,0 \text{ m}$$

$$b_{pod.UDL2,Z} = \boxed{1,0 \text{ m}} \quad k_2 = 0,250 \text{ m}$$

$$b_{sUDL2,Z} = b_{rUDL2,Z} + k_1 + k_2 = 3,0 + 1,0 + 1,0 = \boxed{5,250 \text{ m}}$$

Pořadnice příčinkové čáry pro TS

$$x_1 = x_2' = 1,478 \text{ m}$$

$$\eta_{max} = x_1 \cdot x_1' / L = 3 \cdot 3 / 6 = 1,5$$

$$\eta_1 = \eta_2 = x_1 \cdot \eta_{max} / L/2 = 1,478 \cdot 1,5 / 3 = 0,739$$

Roznesené zatížení

$$q_{TS2} = 2 \cdot Q_{TS} / (b_{pod.TS2} \cdot b_{sTS2}) = 2 \cdot 160 / (5,729 \cdot 3,045) = 18,344 \text{ kN/m/m}'$$

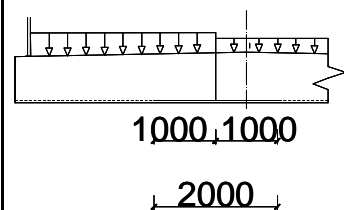
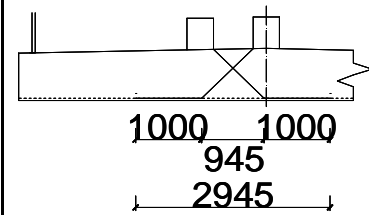
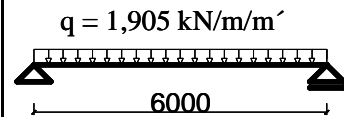
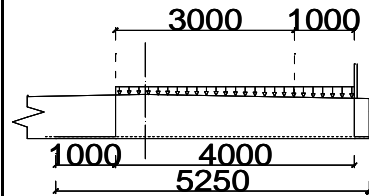
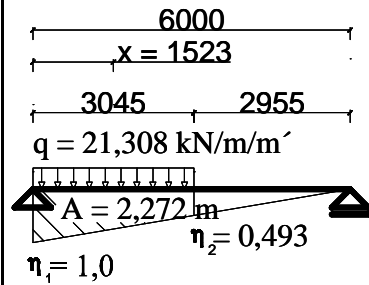
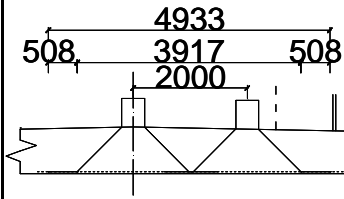
$$q_{UDL2,Z} = q_k \cdot b_{rUDL2,Z} / b_{sUDL2,Z} = 2,5 \cdot 4,0 / 5,250 = 1,905 \text{ kN/m/m}'$$

Ohybové momenty

$$A = 3,408 \text{ m}$$

$$M_{TS2} = q_{TS2} \cdot A = 18,344 \cdot 3,408 = \boxed{62,524 \text{ kNm/m}'}$$

$$M_{UDL2} = 1/8 \cdot q_{UDL2} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 1,905 \cdot 6^2 = \boxed{8,571 \text{ kNm/m}'}$$



**Smykové namáhání TS pro Pruh 2**

Roznášecí a vzdorující šířky

$$b_{rTS2} = 3,917 \text{ m}$$

$$x = 1,523 \text{ m} \quad k = x / 3 = 1,523 / 3 = 0,508 \text{ m}$$

$$b_{pod.TS2} = 3,045 \text{ m}$$

$$b_{sTS2} = k + b_{rTS2} + k = 0,508 + 3,917 + 0,508 = 4,932 \text{ m}$$

Roznesené zatížení

$$q_{TS2} = 2 \cdot Q_{TS2} / b_{rTS2} / b_{sTS2} = 2 \cdot 160 / 3,917 / 4,932 = 21,308 \text{ kN/m/m'}$$

Smyková síla

$$A = 2,272 \text{ m}$$

$$V_{TS2max} = q_{TS2} \cdot A = 21,308 \cdot 2,272 = 48,418 \text{ kN/m'}$$

**Smykové namáhání UDL pro Pruh 2 a Z**

Roznášecí a vzdorující šířky

$$b_{rUDL2,Z} = 4,0 \text{ m} \quad k_1 = L/6 = 1,0 \text{ m}$$

$$b_{pod.UDL2,Z} = 1,0 \text{ m} \quad k_2 = 0,250 \text{ m}$$

$$b_{sUDL2,Z} = b_{rUDL2,Z} + k_1 + k_2 = 3,0 + 1,0 + 0,25 = 5,250 \text{ m}$$

Roznesené zatížení

$$q_{UDL2,Z} = q_k \cdot b_{rUDL2,Z} / b_{sUDL2,Z} = 2,5 \cdot 4,0 / 5,250 = 1,905 \text{ kN/m/m'}$$

Smyková síla

$$V_{UDL2,Zmax} = q_{UDL2,Z} \cdot L / 2 = 1,905 \cdot 6 / 2 = 5,714 \text{ kN/m'}$$

**Dimenzační momenty pruhů 1, 2 a Z - TS**

$$c_{TS,1-2} = 2,945 \text{ m}$$

$$m_{TS,1+2} = m_{TS1} + m_{TS2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,1+2} = 112,387 + 61,689 \cdot 2,945 / (2 \cdot 4,717 - 2,945)$$

$$m_{TS,1+2} = 142,283 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS,2+1} = m_{TS2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS2} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,2+1} = 61,689 + 112,387 \cdot 2,945 / (2 \cdot 5,729 - 2,945)$$

$$m_{TS,2+1} = 101,929 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS} = \max(m_{TS,1+2}; m_{TS,2+1}) = 142,283 \text{ kNm/m'}$$

**Dimenzační momenty pruhů 1, 2 a Z - UDL**

$$c_{UDL,1-2} = 2,0 \text{ m}$$

$$m_{UDL,1+2} = m_{UDL1} + m_{UDL2} \cdot c_{UDL,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL1} - c_{UDL,1-2})$$

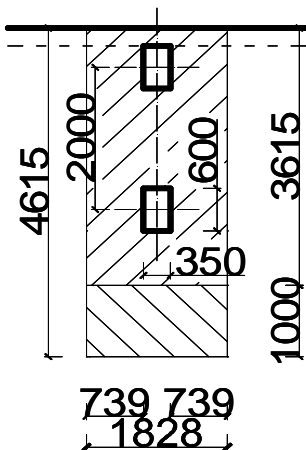
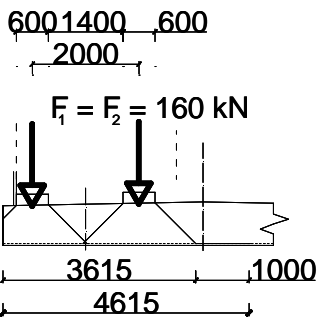
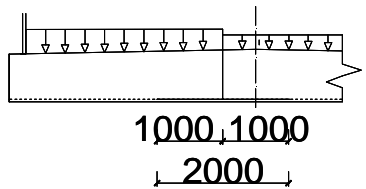
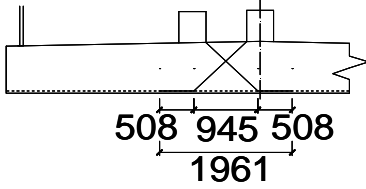
$$m_{UDL,1+2} = 22,871 + 8,571 \cdot 2,0 / (2 \cdot 4,25 - 2,0)$$

$$m_{UDL,1+2} = 25,508 \text{ kNm}$$

$$m_{UDL,2+1} = m_{UDL2} + m_{UDL1} \cdot c_{UDL,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL2} - c_{UDL,1-2})$$

$$m_{UDL,2+1} = 8,571 + 22,871 \cdot 2,0 / (2 \cdot 5,25 - 2,0)$$

$$m_{UDL,2+1} = 13,953 \text{ kNm}$$



$$m_{UDL} = \max(m_{UDL,1+2}; m_{UDL,2+1}) = 25,508 \text{ kNm}$$

$$M_{LMI} = m_{TS} + m_{UDL} = 140,384 + 25,508 = 167,791 \text{ kNm}$$

**Dimenzační smykové síly pruh 1, 2 a Z - TS**

$$c_{1-2TS} = 1,961 \text{ m}$$

$$V_{TS,1+2} = V_{TS1} + V_{TS2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$V_{TS,1+2} = 84,775 + 48,408 \cdot 1,961 / (2 \cdot 4,225 - 1,961)$$

$$V_{TS,1+2} = 99,426 \text{ kNm}$$

$$V_{TS,2+1} = V_{TS2} + V_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS2} - c_{TS,1-2})$$

$$V_{TS,2+1} = 48,408 + 84,775 \cdot 1,961 / (2 \cdot 4,932 - 1,961)$$

$$V_{TS,2+1} = 69,458 \text{ kNm}$$

$$V_{TS} = \max(V_{TS,1+2}; V_{TS,2+1}) = 99,426 \text{ kN}$$

**Dimenzační smykové síly pruhů 1, 2 a Z - UDL**

$$c_{UDL,1-2} = 2,0 \text{ m}$$

$$V_{UDL,1+2} = V_{UDL1} + V_{UDL2} \cdot c_{UDL,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL1} - c_{UDL,1-2})$$

$$V_{UDL,1+2} = 15,247 + 5,714 \cdot 2,0 / (2 \cdot 4,25 - 2,0)$$

$$V_{UDL,1+2} = 17,005 \text{ kNm}$$

$$V_{UDL,2+1} = V_{UDL2} + V_{UDL1} \cdot c_{UDL,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL2} - c_{UDL,1-2})$$

$$V_{UDL,2+1} = 5,714 + 15,247 \cdot 2,0 / (2 \cdot 5,25 - 2,0)$$

$$V_{UDL,2+1} = 9,302 \text{ kNm}$$

$$V_{UDL} = \max(V_{UDL,1+2}; V_{UDL,2+1}) = 17,005 \text{ kNm}$$

$$V_{LMI} = V_{TS} + V_{UDL} = 140,384 + 25,508 = 116,431 \text{ kN}$$

**6.2.3.2 - Model LM2**

**Zatěžování**

**Nápravové síly:**  $\beta_Q = 0,8$

$$Q_k = 400 \text{ kN}$$

$$Q = \beta_Q \cdot Q_k = 0,8 \cdot 400 = 320 \text{ kN}$$

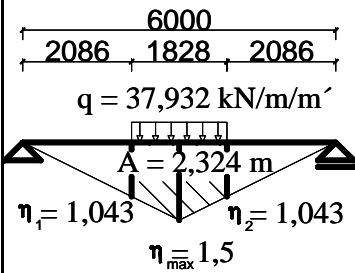
**a) Ohybové namáhání**

**Roznášecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky**

$$b_r = 3,615 \text{ m} \quad k_1 = 0 \quad \text{m}$$

$$b_{pod.} = 1,828 \text{ m} \quad k_2 = 1,0 \quad \text{m}$$

$$b_s = b_r + k_1 + k_2 = 3,615 + 0 + 1,0 = 4,615 \text{ m}$$



**Pořadnice příčinkové čáry**

$$x = x_1 = x_2' = 2,086 \text{ m}$$

$$\eta_{\max} = x_1 \cdot x_1' / L = 3 \cdot 3 / 6 = 1,5$$

$$\eta_1 = \eta_2 = x \cdot \eta_{\max} / L/2 = 2,086 \cdot 1,5 / 3 = 1,043$$

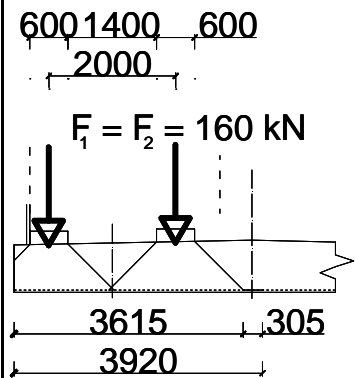
**Roznesené zatížení**

$$q = Q / (b_{\text{pod}} \cdot b_s) = 320 / (1,828 \cdot 4,615) = 37,932 \text{ kN/m}'$$

**Ohybové momenty**

$$A = 2,324 \text{ m}$$

$$M = q \cdot A = 75,863 \cdot 2,324 = 88,165 \text{ kNm/m}'$$



**b) Smykové namáhání**

**Roznášecí a vzdorující šířky**

$$b_r = 3,615 \text{ m}$$

$$x = 0,914 \text{ m} \quad k_1 = 0 \text{ m}$$

$$b_{\text{pod}} = 1,828 \text{ m} \quad k_2 = x / 3 = 0,914 / 3 = 0,305 \text{ m}$$

$$b_s = b_r + k_1 + k_2 = 3,615 + 0 + 0,305 = 3,920 \text{ m}$$

**Roznesené zatížení**

$$q = Q / (b_{\text{pod}} \cdot b_s) = 320 / (1,828 \cdot 3,920) = 44,661 \text{ kN/m}'$$

**Pořadnice příčinkové čáry**

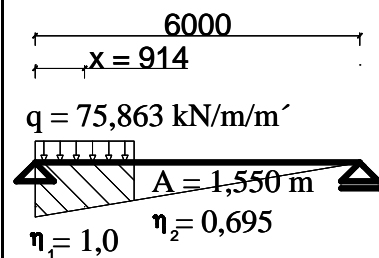
$$x_1' = 4,172 \text{ m}$$

$$\eta_1 = x_1' / L = 5,089 / 6 = 0,695$$

**Smyková síla**

$$A = 1,550 \text{ m}$$

$$V_{\text{TS1max}} = Q \cdot A = 44,661 \cdot 1,550 = 69,203 \text{ kN/m}'$$



**6.2.3.3 - Model LM3 - 900/150**

**PRUH 1**

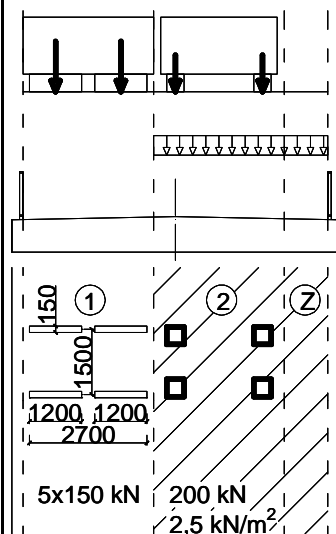
**Ohybové namáhání TS pro Pruh 1**

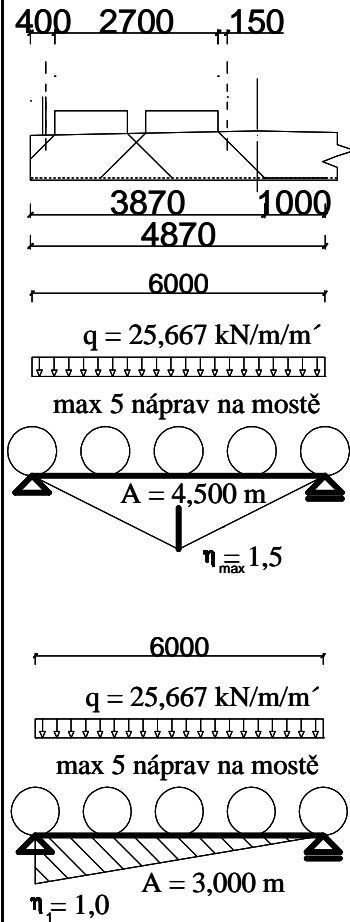
**Dynamický součinitel**

*Předpokládáme, že dynamické zvětšení účinků zatížení je již zahrnuto v zatěžovacím modelu.*

**Nápravové síly:**

$$Q_{\text{TS1}} = 150 \text{ kN}$$





Roznášecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky

$$b_{rTS1} = 3,870 \text{ m} \quad k_1 = 0 \text{ m}$$

$$b_{pod.TS1} = 6,0 \text{ m} \quad k_2 = L/6 = 1,0 \text{ m}$$

$$b_{sTS1} = b_{rTS1} + k_1 + k_2 = 3,717 + 0 + 1,0 = 4,870 \text{ m}$$

Roznesené zatížení

$$q_{TS1} = 5 \cdot Q_{TS1} / (b_{pod.TS1} \cdot b_{sTS1}) = 5 \cdot 150 / (4,870 \cdot 6,0) = 25,667 \text{ kN/m}'$$

Ohybový moment

$$M_{900/150} = 1/8 \cdot q_{TS1} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 25,667 \cdot 6^2 = 115,503 \text{ kNm/m}'$$

Smykové namáhání TS

Roznášecí a vzdorující šířky

$$b_{rTS1} = 3,870 \text{ m} \quad x = 3,0 \text{ m} \quad k = x / 3 = 3 / 3 = 1,0 \text{ m}$$

$$b_{pod.TS1} = 6,0 \text{ m}$$

$$b_{sTS1} = 0 + b_{rTS1} + k = 0 + 3,717 + 0,508 = 4,870 \text{ m}$$

Roznesené zatížení

$$q_{TS1} = 5 \cdot Q_{TS1} / (b_{pod.TS1} \cdot b_{sTS1}) = 5 \cdot 150 / (4,870 \cdot 6,0) = 25,667 \text{ kN/m}'$$

Smyková síla

$$V_{900/150} = 1/2 \cdot q_{TS1} \cdot L = 1/2 \cdot 25,667 \cdot 6 = 77,002 \text{ kN/m}'$$

PRUH 2 a Z

Ohybové namáhání TS a UDL

Ohybové momenty pro 6.10 a)

$$M_{LM3TS2,Za} = \psi \cdot M_{TS2,Z} = 0,75 \cdot 61,689 = 46,893 \text{ kNm/m}'$$

$$M_{LM3UDL2,Za} = \psi \cdot M_{UDL2,Z} = 0,4 \cdot 8,571 = 3,429 \text{ kNm/m}'$$

Ohybové momenty pro 6.10 b)

$$M_{LM3TS2,Zb} = M_{TS2,Z} = 62,524 \text{ kNm/m}'$$

$$M_{LM3UDL2,Zb} = M_{UDL2,Z} = 8,571 \text{ kNm/m}'$$

Smykové namáhání TS a UDL

Smykové síly pro 6.10a)

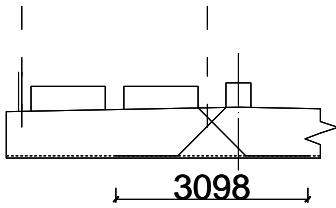
$$V_{LM3TS2,Za} = \psi \cdot V_{TS2,Z} = 0,75 \cdot 48,408 = 36,314 \text{ kN/m}'$$

$$V_{LM3UDL2,Za} = \psi \cdot V_{UDL2,Z} = 0,4 \cdot 5,714 = 2,286 \text{ kN/m}'$$

Smykové síly pro 6.10b)

$$V_{LM3TS2,Zb} = V_{TS2,Z} = 48,418 \text{ kN/m}'$$

$$V_{LM3UDL2b} = V_{UDL2,Z} = 5,714 \text{ kN/m}'$$



**Dimenzační momenty TS s TS pro 6.10 a)**

$$c_{TS,1-2} = 3,098 \text{ m}$$

$$m_{TS,1+2} = m_{TS1} + m_{TS2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,1+2} = 115,503 + 46,267 \cdot 3,089 / (2 \cdot 4,870 - 3,098)$$

$$m_{TS,1+2} = 137,375 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS,2+1} = m_{TS2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS2} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,2+1} = 46,267 + 115,503 \cdot 3,089 / (2 \cdot 5,729 - 3,098)$$

$$m_{TS,2+1} = 89,695 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS} = \max(m_{TS,1+2}; m_{TS,2+1}) = 137,375 \text{ kNm/m'}$$

**Dimenzační momenty TS s UDL pro 6.10 a)**

$$c_{TS,1-2} = 2,620 \text{ m}$$

$$m_{TS,1+2} = m_{TS1} + m_{UDL2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,1+2} = 115,503 + 3,429 \cdot 2,620 / (2 \cdot 4,870 - 2,620)$$

$$m_{TS,1+2} = 116,765 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS,2+1} = m_{UDL2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL2} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,2+1} = 3,429 + 115,503 \cdot 2,620 / (2 \cdot 5,250 - 2,620)$$

$$m_{TS,2+1} = 41,832 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS,UDL} = \max(m_{TS,1+2}; m_{TS,2+1}) = 116,765 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{LM3} = m_{TS} + m_{TS,UDL} - m_{900/150} = 137,083 + 116,765 - 115,503$$

$$M_{LM3} = 138,637 \text{ kNm}$$

**Dimenzační momenty TS s TS pro 6.10 b)**

$$c_{TS,1-2} = 3,098 \text{ m}$$

$$m_{TS,1+2} = m_{TS1} + m_{TS2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,1+2} = 115,503 + 61,869 \cdot 3,089 / (2 \cdot 4,870 - 3,098)$$

$$m_{TS,1+2} = 144,666 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS,2+1} = m_{TS2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS2} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,2+1} = 61,869 + 115,503 \cdot 3,089 / (2 \cdot 5,729 - 3,098)$$

$$m_{TS,2+1} = 105,326 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS} = \max(m_{TS,1+2}; m_{TS,2+1}) = 144,666 \text{ kNm/m'}$$

**Dimenzační momenty TS s UDL pro 6.10 b)**

$$c_{TS,1-2} = 2,620 \text{ m}$$

$$m_{TS,1+2} = m_{TS1} + m_{UDL2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

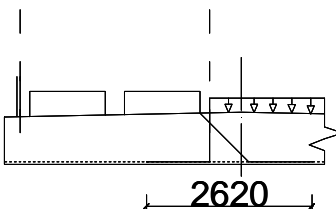
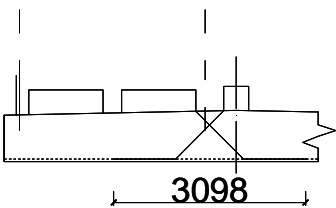
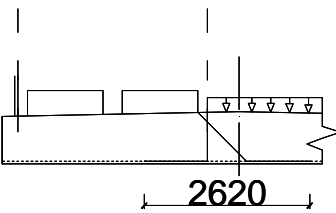
$$m_{TS,1+2} = 115,503 + 8,571 \cdot 2,620 / (2 \cdot 4,870 - 2,620)$$

$$m_{TS,1+2} = 118,657 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS,2+1} = m_{UDL2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL2} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,2+1} = 8,571 + 115,503 \cdot 2,620 / (2 \cdot 5,250 - 2,620)$$

$$m_{TS,2+1} = 46,975 \text{ kNm/m'}$$



$$\underline{\underline{m_{TS,UDL} = \max(m_{TS,1+2}; m_{TS,2+1}) = 118,657 \text{ kNm/m'}}$$

$$\underline{\underline{M_{LM3} = m_{TS} + m_{TS,UDL} \cdot m_{900/150} = 144,277 + 118,657 \cdot 115,503}}$$

$$\underline{\underline{M_{LM3} = 147,820 \text{ kNm}}}$$

**Dimenzační smykové síly TS s TS pro 6.10 a)**

$$c_{TS,1-2} = 3,098 \text{ m}$$

$$v_{TS,1+2} = v_{TS1} + v_{TS2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,1+2} = 77,002 + 36,306 \cdot 3,089 / (2 \cdot 4,870 - 3,098)$$

$$\underline{\underline{v_{TS,1+2} = 93,940 \text{ kN/m'}}$$

$$v_{TS,2+1} = m_{TS2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS2} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,2+1} = 36,306 + 77,002 \cdot 3,089 / (2 \cdot 5,729 - 3,098)$$

$$\underline{\underline{v_{TS,2+1} = 64,849 \text{ kN/m'}}$$

$$\underline{\underline{v_{TS} = \max(v_{TS,1+2}; v_{TS,2+1}) = 93,940 \text{ kN/m'}}$$

**Dimenzační smykové síly TS s UDL pro 6.10 a)**

$$c_{TS,1-2} = 2,620 \text{ m}$$

$$v_{TS,1+2} = v_{TS1} + v_{UDL2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,1+2} = 77,002 + 2,286 \cdot 2,620 / (2 \cdot 4,870 - 2,620)$$

$$\underline{\underline{v_{TS,1+2} = 77,843 \text{ kN/m'}}$$

$$v_{TS,2+1} = v_{UDL2} + v_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL2} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,2+1} = 2,286 + 77,002 \cdot 2,620 / (2 \cdot 5,250 - 2,620)$$

$$\underline{\underline{v_{TS,2+1} = 27,888 \text{ kN/m'}}$$

$$\underline{\underline{v_{TS,UDL} = \max(v_{TS,1+2}; v_{TS,2+1}) = 77,843 \text{ kN/m'}}$$

$$\underline{\underline{V_{LM3} = v_{TS} + v_{TS,UDL} \cdot v_{900/150} = 93,936 + 77,843 \cdot 77,002}}$$

$$\underline{\underline{V_{LM3} = 94,781 \text{ kNm}}}$$

**Dimenzační smykové síly TS s TS pro 6.10 b)**

$$c_{TS,1-2} = 3,098 \text{ m}$$

$$v_{TS,1+2} = v_{TS1} + v_{TS2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,1+2} = 77,002 + 48,408 \cdot 3,089 / (2 \cdot 4,870 - 3,098)$$

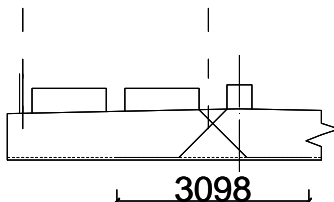
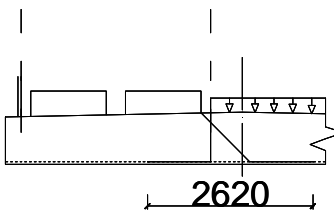
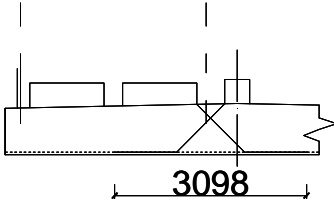
$$\underline{\underline{v_{TS,1+2} = 99,586 \text{ kN/m'}}$$

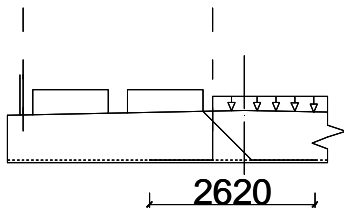
$$v_{TS,2+1} = m_{TS2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS2} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,2+1} = 48,408 + 77,002 \cdot 3,089 / (2 \cdot 5,729 - 3,098)$$

$$\underline{\underline{v_{TS,2+1} = 76,953 \text{ kN/m'}}$$

$$\underline{\underline{v_{TS} = \max(v_{TS,1+2}; v_{TS,2+1}) = 99,586 \text{ kN/m'}}$$





**Dimenzační smykové síly TS s UDL pro 6.10 b)**

$$c_{TS,1-2} = 2,620 \text{ m}$$

$$V_{TS,1+2} = v_{TS1} + v_{UDL2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$V_{TS,1+2} = 77,002 + 5,714 \cdot 2,620 / (2 \cdot 4,870 - 2,620)$$

$$V_{TS,1+2} = 79,105 \text{ kN/m'}$$

$$V_{TS,2+1} = v_{UDL2} + v_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL2} - c_{TS,1-2})$$

$$V_{TS,2+1} = 5,714 + 77,002 \cdot 2,620 / (2 \cdot 5,250 - 2,620)$$

$$V_{TS,2+1} = 31,316 \text{ kN/m'}$$

$$V_{TS,UDL} = \max(v_{TS,1+2}; v_{TS,2+1}) = 79,105 \text{ kNm/m'}$$

$$V_{LM3} = v_{TS} + v_{TS,UDL} - v_{900/150} = 99,581 + 79,105 - 77,002$$

$$V_{LM3} = 101,688 \text{ kNm}$$

**6.2.3.4 - Model LM3 - 1800/200**

**PRUH 1**

**Ohybové namáhání TS pro Pruh 1**

Dynamický součinitel

*Předpokládáme, že dynamické zvětšení účinků zatížení je již zahrnuto v zatěžovacím modelu.*

Nápravové síly:

$$Q_{TS1} = 200 \text{ kN}$$

Roznášecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky

$$b_{rTS1} = 3,870 \text{ m} \quad k_1 = 0 \text{ m}$$

$$b_{pod.TS1} = 6,0 \text{ m} \quad k_2 = L/6 = 1,0 \text{ m}$$

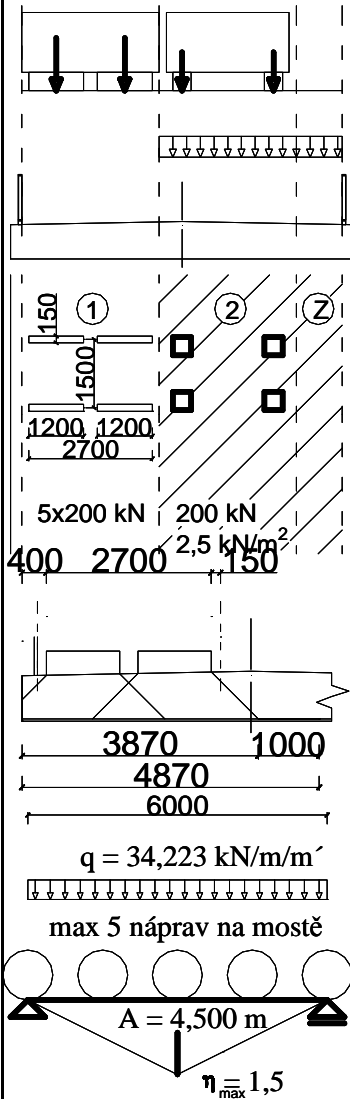
$$b_{sTS1} = b_{rTS1} + k_1 + k_2 = 3,717 + 0 + 1,0 = 4,870 \text{ m}$$

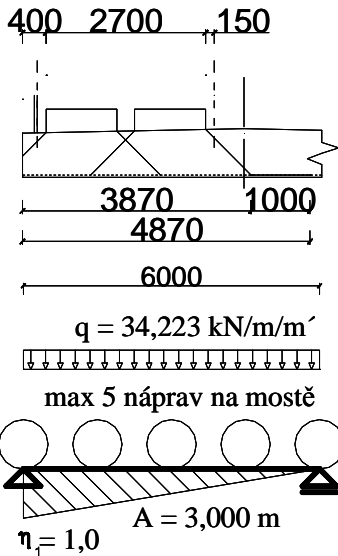
Roznesené zatížení

$$q_{TS1} = 5 \cdot Q_{TS1} / (b_{pod.TS1} \cdot b_{sTS1}) = 5 \cdot 200 / (4,870 \cdot 6,0) = 34,223 \text{ kN/m/m'}$$

Ohybový moment

$$M_{1800/200} = 1/8 \cdot q_{TS1} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 34,223 \cdot 6^2 = 154,004 \text{ kNm/m'}$$





**Smykové namáhání TS**

Roznášecí a vzdorující šířky

$$b_{rTS1} = 3,870 \text{ m}$$

$$x = 3,0 \text{ m} \quad k = x / 3 = 3 / 3 = 1,0 \text{ m}$$

$$b_{pod.TS1} = 6,0 \text{ m}$$

$$b_{sTS1} = 0 + b_{rTS1} + k = 0 + 3,717 + 0,508 = 4,870 \text{ m}$$

Roznesené zatížení

$$q_{TS1} = 5 \cdot Q_{TS1} / (b_{pod.TS1} \cdot b_{sTS1}) = 5 \cdot 200 / (4,870 \cdot 6,0) = 34,223 \text{ kN/m}'$$

Smyková síla

$$V_{1800/200} = 1/2 \cdot q_{TS1} \cdot L = 1/2 \cdot 34,223 \cdot 6 = 102,669 \text{ kN/m}'$$

**PRUH 2 a Z**

**Ohybové namáhání TS a UDL**

Ohybové momenty pro 6.10 a)

$$M_{LM3TS2,Za} = \psi \cdot M_{TS2,Z} = 0,75 \cdot 61,689 = 46,893 \text{ kNm/m}'$$

$$M_{LM3UDL2,Za} = \psi \cdot M_{UDL2,Z} = 0,4 \cdot 8,571 = 3,429 \text{ kNm/m}'$$

Ohybové momenty pro 6.10 b)

$$M_{LM3TS2,Zb} = M_{TS2,Z} = 62,524 \text{ kNm/m}'$$

$$M_{LM3UDL2,Zb} = M_{UDL2,Z} = 8,571 \text{ kNm/m}'$$

**Smykové namáhání TS a UDL**

Smykové síly pro 6.10a)

$$V_{LM3TS2,Za} = \psi \cdot V_{TS2,Z} = 0,75 \cdot 48,408 = 36,314 \text{ kN/m}'$$

$$V_{LM3UDL2,Za} = \psi \cdot V_{UDL2,Z} = 0,4 \cdot 5,714 = 2,286 \text{ kN/m}'$$

Smykové síly pro 6.10b)

$$V_{LM3TS2,Zb} = V_{TS2,Z} = 48,418 \text{ kN/m}'$$

$$V_{LM3UDL2,Zb} = V_{UDL2,Z} = 5,714 \text{ kN/m}'$$

**Dimenzační momenty TS s TS pro 6.10 a)**

$$c_{TS,1-2} = 3,098 \text{ m}$$

$$m_{TS,1+2} = m_{TS1} + m_{TS2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,1+2} = 154,004 + 46,893 \cdot 3,089 / (2 \cdot 4,870 - 3,098)$$

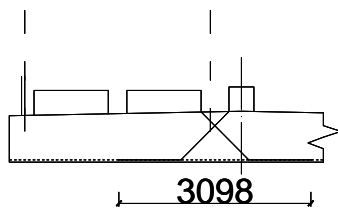
$$m_{TS,1+2} = 175,876 \text{ kNm/m}'$$

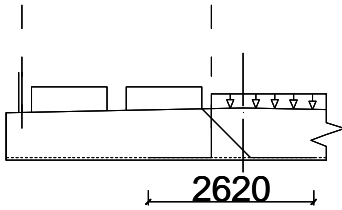
$$m_{TS,2+1} = m_{TS2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS2} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,2+1} = 46,893 + 154,004 \cdot 3,089 / (2 \cdot 5,729 - 3,098)$$

$$m_{TS,2+1} = 103,963 \text{ kNm/m}'$$

$$m_{TS} = \max(m_{TS,1+2}; m_{TS,2+1}) = 175,876 \text{ kNm/m}'$$





**Dimenzační momenty TS s UDL pro 6.10 a)**

$$c_{TS,1-2} = 2,620 \text{ m}$$

$$m_{TS,1+2} = m_{TS1} + m_{UDL2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,1+2} = 154,004 + 3,429 \cdot 2,620 / (2 \cdot 4,870 - 2,620)$$

$$m_{TS,1+2} = 155,266 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS,2+1} = m_{UDL2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL2} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,2+1} = 3,429 + 154,004 \cdot 2,620 / (2 \cdot 5,250 - 2,620)$$

$$m_{TS,2+1} = 54,633 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS,UDL} = \max(m_{TS,1+2}; m_{TS,2+1}) = 155,266 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{LM3} = m_{TS} + m_{TS,UDL} - m_{1800/200} = 175,876 + 155,266 - 154,004$$

$$M_{LM3} = 177,138 \text{ kNm/m'}$$

**Dimenzační momenty TS s TS pro 6.10 b)**

$$c_{TS,1-2} = 3,098 \text{ m}$$

$$m_{TS,1+2} = m_{TS1} + m_{TS2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,1+2} = 154,004 + 61,869 \cdot 3,089 / (2 \cdot 4,870 - 3,098)$$

$$m_{TS,1+2} = 183,167 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS,2+1} = m_{TS2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS2} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,2+1} = 61,869 + 154,004 \cdot 3,089 / (2 \cdot 5,729 - 3,098)$$

$$m_{TS,2+1} = 119,594 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS} = \max(m_{TS,1+2}; m_{TS,2+1}) = 183,167 \text{ kNm/m'}$$

**Dimenzační momenty TS s UDL pro 6.10 b)**

$$c_{TS,1-2} = 2,620 \text{ m}$$

$$m_{TS,1+2} = m_{TS1} + m_{UDL2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$m_{TS,1+2} = 154,004 + 8,571 \cdot 2,620 / (2 \cdot 4,870 - 2,620)$$

$$m_{TS,1+2} = 157,158 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS,2+1} = m_{UDL2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL2} - c_{TS,1-2})$$

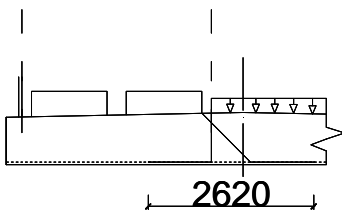
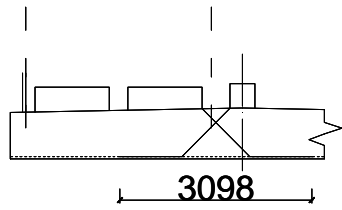
$$m_{TS,2+1} = 8,571 + 154,004 \cdot 2,620 / (2 \cdot 5,250 - 2,620)$$

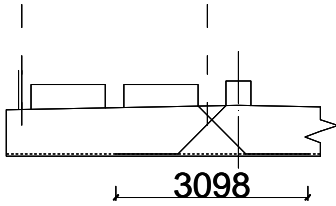
$$m_{TS,2+1} = 59,776 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{TS,UDL} = \max(m_{TS,1+2}; m_{TS,2+1}) = 157,158 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{LM3} = m_{TS} + m_{TS,UDL} - m_{1800/200} = 183,167 + 157,158 - 154,004$$

$$M_{LM3} = 186,321 \text{ kNm/m'}$$





**Dimenzační smykové síly TS s TS pro 6.10 a)**

$$c_{TS,1-2} = 3,098 \text{ m}$$

$$v_{TS,1+2} = v_{TS1} + v_{TS2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,1+2} = 102,669 + 36,306 \cdot 3,089 / (2 \cdot 4,870 - 3,098)$$

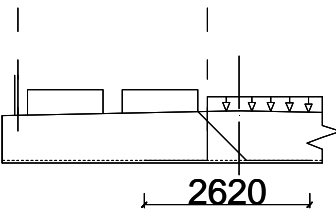
$$v_{TS,1+2} = 119,607 \text{ kN/m'}$$

$$v_{TS,2+1} = m_{TS2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS2} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,2+1} = 36,306 + 102,669 \cdot 3,089 / (2 \cdot 5,729 - 3,098)$$

$$v_{TS,2+1} = 74,360 \text{ kN/m'}$$

$$v_{TS} = \max(v_{TS,1+2}; v_{TS,2+1}) = 119,607 \text{ kN/m'}$$



**Dimenzační smykové síly TS s UDL pro 6.10 a)**

$$c_{TS,1-2} = 2,620 \text{ m}$$

$$v_{TS,1+2} = v_{TS1} + v_{UDL2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,1+2} = 102,669 + 2,286 \cdot 2,620 / (2 \cdot 4,870 - 2,620)$$

$$v_{TS,1+2} = 103,510 \text{ kN/m'}$$

$$v_{TS,2+1} = v_{UDL2} + v_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL2} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,2+1} = 2,286 + 102,669 \cdot 2,620 / (2 \cdot 5,250 - 2,620)$$

$$v_{TS,2+1} = 36,422 \text{ kN/m'}$$

$$v_{TS,UDL} = \max(v_{TS,1+2}; v_{TS,2+1}) = 103,510 \text{ kN/m'}$$

$$v_{LM3} = v_{TS} + v_{TS,UDL} - v_{1800/200} = 119,607 + 103,510 - 102,699$$

$$v_{LM3} = 120,448 \text{ kN/m'}$$

**Dimenzační smykové síly TS s TS pro 6.10 b)**

$$c_{TS,1-2} = 3,098 \text{ m}$$

$$v_{TS,1+2} = v_{TS1} + v_{TS2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,1+2} = 102,669 + 48,408 \cdot 3,089 / (2 \cdot 4,870 - 3,098)$$

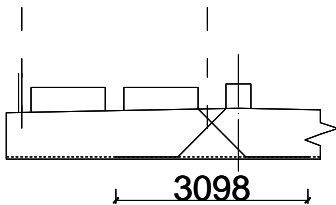
$$v_{TS,1+2} = 125,253 \text{ kN/m'}$$

$$v_{TS,2+1} = m_{TS2} + m_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS2} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,2+1} = 48,408 + 102,669 \cdot 3,089 / (2 \cdot 5,729 - 3,098)$$

$$v_{TS,2+1} = 86,465 \text{ kN/m'}$$

$$v_{TS} = \max(v_{TS,1+2}; v_{TS,2+1}) = 125,253 \text{ kN/m'}$$



**Dimenzační smykové síly TS s UDL pro 6.10 b)**

$$c_{TS,1-2} = 2,620 \text{ m}$$

$$v_{TS,1+2} = v_{TS1} + v_{UDL2} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sTS1} - c_{TS,1-2})$$

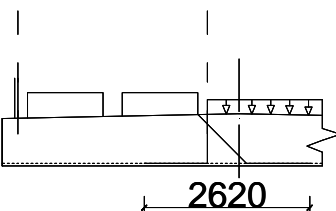
$$v_{TS,1+2} = 102,669 + 5,714 \cdot 2,620 / (2 \cdot 4,870 - 2,620)$$

$$v_{TS,1+2} = 104,772 \text{ kN/m'}$$

$$v_{TS,2+1} = v_{UDL2} + v_{TS1} \cdot c_{TS,1-2} / (2 \cdot b_{sUDL2} - c_{TS,1-2})$$

$$v_{TS,2+1} = 5,714 + 102,669 \cdot 2,620 / (2 \cdot 5,250 - 2,620)$$

$$v_{TS,2+1} = 39,851 \text{ kN/m'}$$



$$v_{TS,UDL} = \max(v_{TS,1+2}; v_{TS,2+1}) = \underline{\underline{104,772 \text{ kNm/m}'}}$$

$$V_{LM3} = v_{TS} + v_{TS,UDL} - v_{1800/200} = 125,253 + 104,772 - 102,699$$

$$V_{LM3} = \underline{\underline{127,356 \text{ kN/m}'}}$$

**6.2.3.5 - Model LM3 - 3000/240**

**PRUH 1,2**

**Ohybové namáhání TS pro Pruh 1,2**

Dynamický součinitel

*Předpokládáme, že dynamické zvětšení účinků zatížení je již zahrnuto v zatěžovacím modelu.*

Nápravové síly:

$$Q_{TS1} = 240 \text{ kN}$$

Roznášecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky

$$b_{rTS1} = 5,366 \text{ m} \quad k_1 = 0 \text{ m}$$

$$b_{pod.TS1} = 6,0 \text{ m} \quad k_2 = L/6 = 1,0 \text{ m}$$

$$b_{sTS1} = b_{rTS1} + k_1 + k_2 = 5,366 + 0 + 1,0 = \underline{\underline{6,366 \text{ m}}}$$

Roznesené zatížení

$$q_{TS1} = 5 \cdot Q_{TS1} / (b_{pod.TS1} \cdot b_{sTS1}) = 5 \cdot 200 / (6,366 \cdot 6,0) = 31,417 \text{ kN/m/m}'$$

Ohybový moment

$$M_{3000/240} = 1/8 \cdot q_{TS1} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 31,417 \cdot 6^2 = \underline{\underline{141,376 \text{ kNm/m}'}}$$

**Smykové namáhání TS**

Roznášecí a vzdorující šířky

$$b_{rTS1} = 5,366 \text{ m}$$

$$x = 3,0 \text{ m} \quad k = x / 3 = 3 / 3 = 1,0 \text{ m}$$

$$b_{pod.TS1} = 6,0 \text{ m}$$

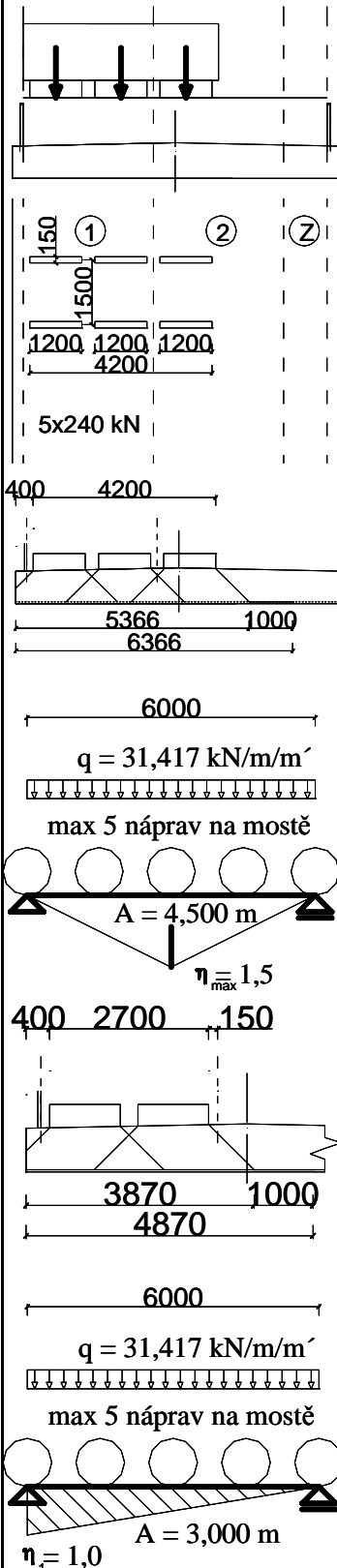
$$b_{sTS1} = 0 + b_{rTS1} + k = 0 + 3,717 + 0,508 = \underline{\underline{6,366 \text{ m}}}$$

Roznesené zatížení

$$q_{TS1} = 5 \cdot Q_{TS1} / (b_{pod.TS1} \cdot b_{sTS1}) = 5 \cdot 200 / (4,870 \cdot 6,0) = 31,417 \text{ kN/m/m}'$$

Smyková síla

$$V_{3000/240} = 1/2 \cdot q_{TS1} \cdot L = 1/2 \cdot 31,417 \cdot 6 = \underline{\underline{94,251 \text{ kN/m}'}}$$

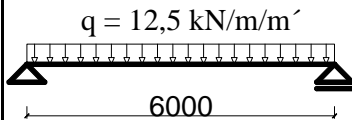


### 6.3 Kombinace

#### 6.3.1 - Rekapitulace vnitřních sil

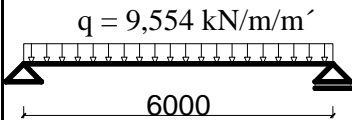
$g_{ostatní} =$	0,933 kN/m/m'	
$g_{voz} =$	6,157 kN/m/m'	
$g_{1k,inf} = g_{ostatní} + 0,8 \cdot g_{voz} =$	0,933 + 0,8 · 6,157 =	5,859 kN/m/m'
$g_{1k,sup} = g_{ostatní} + 1,4 \cdot g_{voz} =$	0,933 + 1,4 · 6,157 =	<b>9,554 kN/m/m'</b>
$M_{1k,inf} = 1 / 8 \cdot g_{1k,inf} \cdot L_{eff}^2 =$	1 / 8 · 5,859 · 6 <sup>2</sup> =	26,366 kNm/m'
$V_{1k,inf} = 1 / 2 \cdot g_{1k,inf} \cdot L_{eff} =$	1 / 2 · 5,859 · 6 =	17,578 kN/m'
$M_{1k,sup} = 1 / 8 \cdot g_{1k,sup} \cdot L_{eff}^2 =$	1 / 8 · 9,554 · 6 <sup>2</sup> =	<b>42,991 kNm/m'</b>
$V_{1k,sup} = 1 / 2 \cdot g_{1k,sup} \cdot L_{eff} =$	1 / 2 · 9,554 · 6 =	<b>28,661 kN/m'</b>

#### 1. Vlastní tíha



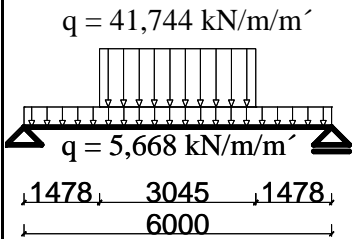
Zatížení [kN/m/m']	Moment [kNm/m']	Smyková síla [kN/m']
<b>12,5</b>	<b>56,25</b>	<b>37,5</b>

#### 2. Ostatní stálé



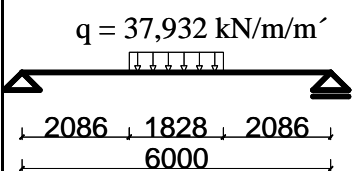
Zatížení [kN/m/m']	Moment [kNm/m']	Smyková síla [kN/m']
	Supémum	Infimum
	Supémum	Infimum
<b>9,554</b>	<b>42,991</b>	<b>28,661</b>
	26,366	17,578

#### 3. LM1



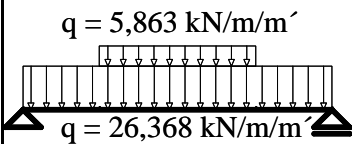
Zatížení [kN/m/m']	Moment [kNm/m']	Smyková síla [kN/m']
<b>41,744</b> TS	<b>167,79</b>	<b>116,43</b>
<b>5,668</b> UDL		

#### 4. LM2



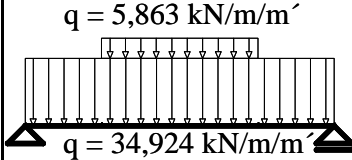
Zatížení [kN/m/m']	Moment [kNm/m']	Smyková síla [kN/m']
<b>37,932</b>	<b>88,165</b>	<b>69,203</b>

#### 5. LM3 - 900/150



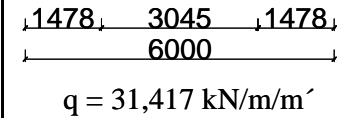
Zatížení [kN/m/m']	Moment [kNm/m']	Smyková síla [kN/m']
	6.10a)	6.10b)
	6.10a)	6.10b)
<b>5,863</b> TS	<b>138,637</b>	<b>147,820</b>
<b>26,368</b> UDL		

#### 6. LM3 - 1800/200



Zatížení [kN/m/m']	Moment [kNm/m']	Smyková síla [kN/m']
	6.10a)	6.10b)
	6.10a)	6.10b)
<b>5,863</b> TS	<b>177,138</b>	<b>186,321</b>
<b>34,92404</b> UDL		

#### 7. LM3 - 3000/240



Zatížení [kN/m/m']	Moment [kNm/m']	Smyková síla [kN/m']
<b>31,417</b>	<b>141,38</b>	<b>94,251</b>

#### 6.3.2 - Kombinace zatížení

Pro MSÚ

$$6.10 a) \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10 b) \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

**6.3.2.1 - Teoretické vypočítané zatížení dle EN**

$$Q_{EN,TEORETICKÉ} = 1,35 \cdot (12,5+9,554) + 1,35 \cdot 39,229 = 61,418 \text{ kN/m/m'}$$

**6.3.2.2 - Kombinace - gr1a**

Momenty

$$6.10 \quad 1,35 \cdot (56,250 + 42,991) + 1,35 \cdot 165,89 = 360,494 \text{ kN/m/m'}$$

Smykové síly

$$6.10 \quad 1,35 \cdot (37,5 + 28,661) + 1,35 \cdot 116,41 = 246,4986 \text{ kN/m'}$$

**6.3.2.3 - Kombinace - gr1b**

Momenty

$$6.10 \quad 1,35 \cdot (56,250 + 42,991) + 1,35 \cdot 0,75 \cdot 176,306 = 252,998 \text{ kN/m/m'}$$

Smykové síly

$$6.10 \quad 1,35 \cdot (37,5 + 28,661) + 1,35 \cdot 138,448 = 182,7412 \text{ kN/m'}$$

**6.3.2.3 - Kombinace - gr5**

Momenty

$$6.10 \text{ a) } 1,35 \cdot (56,250 + 42,991) + 1,35 \cdot 176,846 = 373,111 \text{ kNm/m'}$$

$$6.10 \text{ b) } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (56,250 + 42,991) + 1,35 \cdot 185,932 = 365,412 \text{ kNm/m'}$$

Smykové síly

$$6.10 \text{ a) } 1,35 \cdot (37,5 + 28,661) + 1,35 \cdot 120,445 = 251,922 \text{ kN/m'}$$

$$6.10 \text{ b) } 0,85 \cdot 1,35 \cdot (37,5+28,661) + 1,35 \cdot 153,018 = 247,8496 \text{ kN/m'}$$

$$M = \max(\text{gr1a;gr1b;gr5}) = 373,111 \text{ kNm}$$

$$V = \max(\text{gr1a;gr1b;gr5}) = 251,922 \text{ kN}$$

**6.3.3 - Koeficient poměru vypočtených zatížení**

$$k = Q_{ČSN,SKUTEČNÉ} / Q_{EN,TEORETICKÉ}$$

**Skutečné zatížení dle ČSN**

$$Q_{ČSN,SKUTEČNÉ} = \underline{\underline{41,699 \text{ kN/m/m'}}$$

**Teoretické zatížení dle EN**

$$Q_{EN,TEORETICKÉ} = \underline{\underline{61,418 \text{ kN/m/m'}}$$

$$k = 41,699 / 61,418 = 0,679$$

**6.3.4 - Výsledné vnitřní síly**

$$M_{ED} = k \cdot M = 0,679 \cdot 372,717 = 253,32 \text{ kNm/m'}$$

$$V_{ED} = k \cdot V = 0,679 \cdot 282,49 = 171,0 \text{ kN/m'}$$

## 6.4 Posouzení - Mezní stav únosnosti

### 6.4.1 - Posouzení na ohyb

#### 6.4.1.1 - Materiál

#### Beton C12/15

##### Charakteristické hodnoty

$f_{ck}$	12,00	MPa	$\epsilon_{c1}$	1,80	‰
$f_{ck,cube}$	15,00	MPa	$\epsilon_{cu1}$	3,50	‰
$f_{cm}$	20,00	MPa	$\epsilon_{c2}$	2,00	‰
$f_{ctm}$	1,60	MPa	$\epsilon_{cu2}$	3,50	‰
$f_{ctk,0,05}$	1,10	MPa	n	2,00	‰
$f_{ctk,0,95}$	2,00	MPa	$\epsilon_{c3}$	1,75	‰
$E_{cm}$	27,00	GPa	$\epsilon_{cu3}$	3,50	‰

##### Návrhové hodnoty

$\alpha_{cc}$ =	0,85
$\gamma_c$ =	1,50
$f_{cd}$ =	<b>6,8 MPa</b>

#### Betonářská ocel B 206A

##### Charakteristické hodnoty

$f_{yk}$ =	206,00	Mpa
$E$ =	200,00	GPa

##### Návrhové hodnoty

$\gamma_s$ =	1,15	$\epsilon_s$ =	2,17	‰
$f_{yd}$ =	<b>179,13 MPa</b>	$\Phi$ =	<b>25 mm</b>	

#### 6.4.1.2 - Krytí

*Krytí je známé z výpočtů dle ČSN.*

$c_{nom}$ =	25,00	mm
-------------	-------	----

#### 6.4.1.3 - Navržená výztuž

$\Phi$ =	25	mm
$a$ =	126	mm
$A_{st,prov}$ =	<b>3,896E-03</b>	$m^2$

#### 6.4.1.4 - Ověření nutné plochy výztuže dle EC

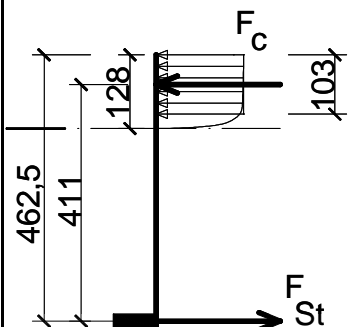
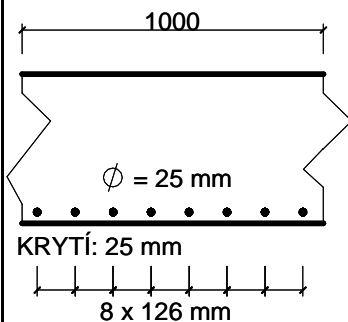
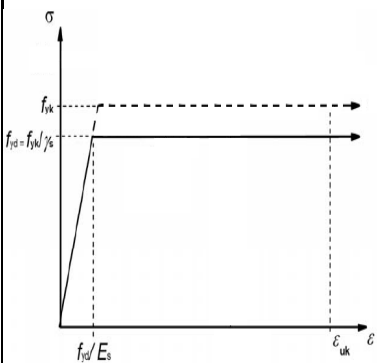
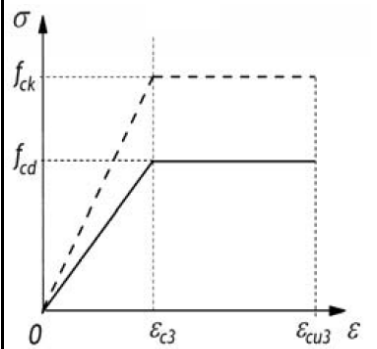
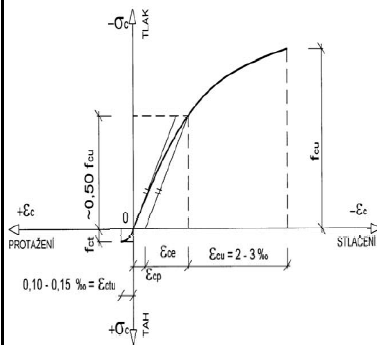
$d_1 = c + \Phi/2 = 25 + 25/2 =$	37,5	mm
$d = h - d_1 = 500 - 37,5 =$	<b>462,5</b>	mm

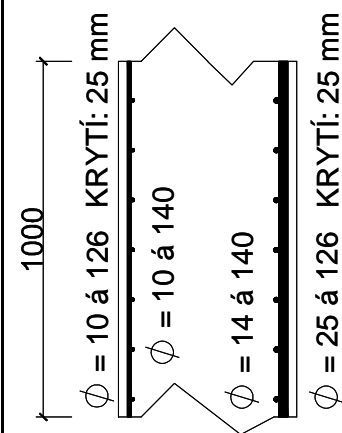
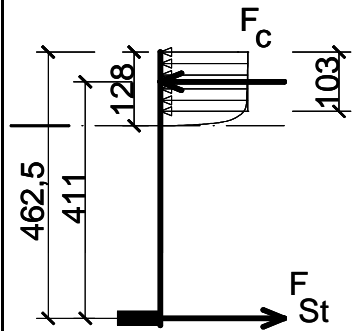
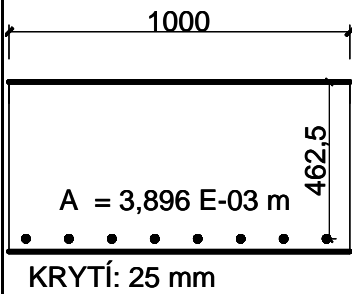
$$A_{st,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$A_{st,req} = 1,0 \cdot 0,4625 \cdot \frac{6,8}{179,13} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 253\,321}{1,0 \cdot 0,4625^2 \cdot 6,8}} \right)$$

$A_{st,req}$ =	<b>3,384E-03</b>	$m^2$	<	$A_{st,prov}$ =	<b>3,896E-03</b>	$m^2$
----------------	------------------	-------	---	-----------------	------------------	-------

**VYHOVUJE PODMÍNCE**





**6.4.1.5 - Stupeň vyztužení**

$$\rho_{st} = A_{st,prov} / (b \cdot d) = 3,896E-03 / (1,0 \cdot 0,4625)$$

$$\rho_{st} = 8,423E-03 < 3,00E-02$$

$$> 1,93E-03$$

**6.4.1.6 - Ověření míry vyztužení**

$$A_{st,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot F_{ctm} / f_{yk} = 0,26 \cdot 1 \cdot 0,4625 \cdot 1,6 / 210 = 9,340E-04 \text{ m}^2$$

$$A_{st,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,4625 = 6,013E-04 \text{ m}^2$$

$$A_{st,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,4625 = 1,850E-02 \text{ m}^2$$

$$A_{st,min} = 9,34E-04 \text{ m}^2 < A_{st,prov} = 3,896E-03 \text{ m}^2 < A_{st,max} = 1,850E-02 \text{ m}^2$$

**VYHOVUJE PODMÍNCE**

**6.4.1.7 - Ověření přetvoření výztuže**

Předpoklad:  $\sigma_{St} \geq f_{yd}$

$$x = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{0,003896 \cdot 179,13}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 6,8} = 0,128 \text{ m}$$

$$x_c = \lambda \cdot x = 0,8 \cdot 0,128 = 0,103 \text{ m}$$

$$\epsilon_{S1} = \epsilon_{cu} \cdot (d-x)/x = 0,0035 \cdot (0,4625-0,128)/0,128 > f_{yd}/E_s = 179,13/2 \text{ E05}$$

$$\epsilon_{S1} = 9,119 \% > 0,896 \%$$

**VYHOVUJE, VÝZTUŽ JE PLNĚ VYUŽITÁ**

**6.4.1.8 - Moment únosnosti**

$$z_c = d - a_{cc} = d - x_c/2 = 0,4625 - 0,103/2 = 0,411 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = F_{St} \cdot z_c = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z_c = 0,003896 \cdot 179,13 \cdot 411$$

$$M_{Rd} = 286,951043 \text{ kNm} > M_{Ed} = 253,3214 \text{ kNm}$$

**6.4.1.9 - Návrh konstrukční výztuže**

**Horní podélná výztuž**

$$A_{S2} = 0,13 \cdot A_{S1} = 0,13 \cdot 0,003896 = 5,06E-04 \text{ m}^2$$

**Návrh výztuže:**

$$\Phi = 10 \text{ mm}$$

$$a = 126 \text{ mm}$$

$$A_{S2} = 6,233E-04 \text{ m}^2$$

**Horní příčná výztuž**

$$A_{S2} = 0,13 \cdot A_{S1} = 0,13 \cdot 0,003896 = 5,06E-04 \text{ m}^2$$

**Návrh výztuže:**

$$\Phi = 10 \text{ mm}$$

$$a = 140 \text{ mm}$$

$$A_{S2} = 5,610E-04 \text{ m}^2$$

**Spodní příčná výztuž**

$$A_{S2} = 0,25 \cdot A_{S1} = 0,25 \cdot 0,003896 = 9,74E-04 \text{ m}^2$$

**Návrh výztuže:**

$$\Phi = 14 \text{ mm}$$

$$a = 140 \text{ mm}$$

$$A_{S2} = 1,100E-03 \text{ m}^2$$

#### 4.2 - Posouzení na smyk

##### 4.2.1 - Posouzení bez smykové výztuže

Maximální velikost smykové síly, kterou přenese betonový průřez bez smykové výztuže:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot F_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

##### Součinitel výšky průřezu

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1 + (200 / 462,5)^{1/2} = 1,658 < 2$$

##### Stupeň podélného vyztužení

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 0,003896 / (2 \cdot 1,0 \cdot 0,4625) = 0,00421$$

##### Minimální ekvivalentní smyková pevnost betonového prvku

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,658^{3/2} \cdot 12^{1/2} = 0,259$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,658 \cdot (100 \cdot 0,00421 \cdot 12)^{1/3} + 0] \cdot 1,0 \cdot 0,4625 = 157,8767 \text{ kN/m'}$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,259 + 0) \cdot 1,0 \cdot 0,4625 = 119,6709 \text{ kN/m'}$$

$$V_{Rd,c} = 157,876667 \text{ kN/m' } > V_{Rd,c,min} = 119,6709 \text{ kN/m'}$$

$$V_{Rd,c} = 157,876667 \text{ kN/m' } > V_{Ed} = 171,041 \text{ kN/m'}$$

**NEVYHOVÍ**

Betonový průřez nevyhoví na smykové namáhání, proto musíme navrhnout smykovou výztuž.

##### 6.4.2.2 - Návrh smykové výztuže

Navrhují spony

$$\Phi = 12 \text{ mm}$$

$$a = 252 \text{ mm}$$

$$A_{Sw} = 4,488E-04 \text{ m}^2$$

##### 6.4.2.3 - Posouzení smykové výztuže

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

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 462,5 = 416,25 \text{ mm}$$

$$f_{ywd} = f_{yd} = 179,13 \text{ MPa}$$

$$\cot \theta = 1,7$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$s = 252 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,s} = 4,488E-04 / 252 \cdot 416,25 \cdot 179,13 \cdot (1,7 + \cot 90^\circ) \cdot \sin 90^\circ = 225,748 \text{ kN/m'}$$

$$V_{Rd,s} = 225,747963 \text{ kN/m' } > V_{Ed} = 171,041 \text{ kN/m'}$$

**VYHOVÍ**

##### 6.4.3 - Konstrukční zásady

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) = 4,488E-04 / (0,252 \cdot 1,0 \cdot 1,0) = 1,781 \text{ ‰}$$

$$\rho_{wmin} = 0,08 \cdot f_{ck}^{1/2} / f_{yk} = 0,08 \cdot 12^{1/2} / 206 = 1,345 \text{ ‰}$$

$$\rho_w = 1,781 \text{ ‰ } > \rho_{wmin} = 1,345 \text{ ‰}$$

$$s = 252 \text{ mm } < s_L = s_p = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 462,5 = 347 \text{ mm}$$

**6.4.4 - Kontrola duktility**

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \cdot (1 - 12 / 250) = 0,5712$$

$$\rho_{w, sb} = A_{sw} / (b_w \cdot s) < 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} / f_{yd} =$$

$$\rho_{w, sb} = 4,488E-04 / (1,0 \cdot 0,252) < 0,5 \cdot 0,5712 \cdot 6,8 / 182,61 =$$

$$\underline{\rho_{w, sb} = 0,00178095 < 0,01084 \quad \text{OK}}$$

**6.4.5 - Napětí ve výztuži**

$$\sigma_{Sd} = F_{ed} / A_{sl} = 0,5 \cdot V_{ed} \cdot \cotg\theta / A_{sl} < f_{yd} = 179,13$$

$$\sigma_{Sd} = 0,5 \cdot 192,000 \cdot 1,7 / 3,896E-03 < f_{yd} = 179,13$$

$$\underline{\sigma_{Sd} = 37,318 < f_{yd} = 179,13 \quad \text{OK}}$$

**6.4.6 - Stupeň vyztužení**

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w) > \rho_{w, min} = 0,08 \cdot f_{ck}^{1/2} / f_{yk}$$

$$\rho_w = 4,488E-04 / (1,0 \cdot 0,252) > \rho_{w, min} = 0,08 \cdot 12^{1/2} / 210$$

$$\underline{\rho_w = 0,00178095 > \rho_{w, min} = 0,001345 \quad \text{OK}}$$

$$s_e < s_{e, max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg\alpha) = 0,75 \cdot 462,5 \cdot (1 + \cotg45)$$

$$252 < s_{e, max} = 693,75 \quad \text{OK}$$

**6.4.7 - Kotevní délka**

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot L_{b, rqd} > l_{bd, min}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1/1,5 = 1,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot A_{s, req} / A_{s, prov} = 179,13 \cdot 3,384 / 3,896 = 155,585 \text{ MPa}$$

$$l_{b, rqd} = \Phi/4 \cdot \sigma_{sd} / f_{bd} = 25/4 \cdot 155,585 / 1,65 = 589,3367 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_5 = 1,0 \quad \alpha_4 = 0,7$$

tah:  $l_{b, min} = \max(0,3l_{b, rqd}; 10\Phi; 100\text{mm}) = \max(176,8 \quad 250 \quad 100)$

tah:  $l_{b, min} = 250 \text{ mm}$

tlak:  $l_{b, min} = \max(0,6l_{b, rqd}; 10\Phi; 100\text{mm}) = \max(353,6 \quad 250 \quad 100)$

tlak:  $l_{b, min} = 353,6 \text{ mm}$

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 405,169 = \mathbf{412,54 \text{ mm}} > l_{b, min} = \mathbf{354 \text{ mm}}$$

**Volím:  $l_{bd} = 450 \text{ mm}$**



**Napětí v betonu**

**Kvazistálá kombinace**  $M_{Ed} = 90,962 \text{ kNm/m'}$   
 $\sigma_{ci} = M_{Ed} / I_i \cdot (h - a_{gi}) = 90,962 / 1,165E-02 \cdot (0,5 - 0,262) =$   
 $\sigma_{ci} = \frac{1,862 \text{ MPa}}{1,862 \text{ MPa}} > f_{ctm} = 1,60 \text{ MPa}$

VZNIKNOU TRHLINY

**Charakteristická kombinace**  $M_{Ed} = 253,32 \text{ kNm/m'}$   
 $\sigma_{ci} = M_{Ed} / I_i \cdot (h - a_{gi}) = 253,321 / 1,165E-02 \cdot (0,5 - 0,262) =$   
 $\sigma_{ci} = \frac{5,185 \text{ MPa}}{5,185 \text{ MPa}} > f_{ctm} = 1,60 \text{ MPa}$

VZNIKNOU TRHLINY

**Geometrické charakteristiky pro průřez s trhlinami**

$$x_{ir} = \frac{\alpha_s}{b} \cdot A_s \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2b d}{\alpha_s A_s}} \right]$$

$$x_{ir} = \frac{7,407}{1,0} \cdot 3,896E-03 \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 0,4625}{7,407 \cdot 3,896E-03}} \right]$$

$x_{ir} = 0,137 \text{ m}$

$I_{ir} = 1/3 \cdot b \cdot x_{ir}^3 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2 = 1/3 \cdot 1,0 \cdot 0,137^3 + 7,407 \cdot 3,896E-03 \cdot (0,4625 - 0,137)^2$   
 $I_{ir} = 3,915E-03 \text{ m}^4$

**Omezení napětí**

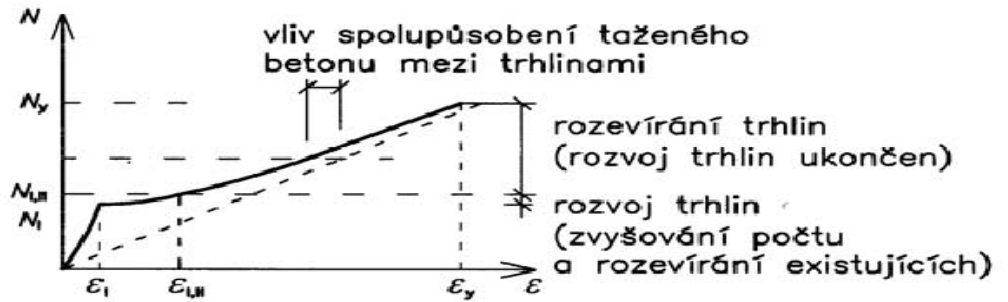
**Kvazistálá kombinace**  $M_{Ed} = 90,962 \text{ kNm/m'}$   
 $\sigma_c = M_{Ed} / I_{ir} \cdot x_{ir} = 90,962 / 3,915E-03 \cdot 0,137 =$   
 $\sigma_c = \frac{3,185 \text{ MPa}}{3,185 \text{ MPa}} < 0,45 \cdot f_{ck} = 5,40 \text{ MPa}$   
 OK

$\sigma_s = \alpha_e \cdot M_{Ed} / I_{ir} \cdot (d - x_{ir}) = 7,407 \cdot 90,962 / 3,915E-03 \cdot (0,4625 - 0,137) =$   
 $\sigma_s = \frac{56,016 \text{ MPa}}{56,016 \text{ MPa}} < 0,8 \cdot f_{yk} = 164,80 \text{ MPa}$   
 OK

**Charakteristická kombinace**  $M_{Ed} = 253,32 \text{ kNm/m'}$   
 $\sigma_c = M_{Ed} / I_{ir} \cdot x_{ir} = 253,321 / 3,915E-03 \cdot 0,137 =$   
 $\sigma_c = \frac{8,869 \text{ MPa}}{8,869 \text{ MPa}} < 0,6 \cdot f_{ck} = 9 \text{ MPa}$   
 OK

$\sigma_s = \alpha_e \cdot M_{Ed} / I_{ir} \cdot (d - x_{ir}) = 7,407 \cdot 253,32 / 3,915E-03 \cdot (0,4625 - 0,137) =$   
 $\sigma_s = \frac{156,001 \text{ MPa}}{156,001 \text{ MPa}} < 0,8 \cdot f_{yk} = 164,80 \text{ MPa}$   
 OK

**6.5.3 - Mezní stav trhlin**



**Moment na mezi vzniku trhlin**

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} \cdot I_1 / (h - a_{gi}) = 1,6 \cdot 1,165E-02 / (0,5 - 0,262) =$$

$$\underline{M_{cr,lt} = 78,18 \text{ MPa} < Med = 253,3214 \text{ MPa}}$$

VZNIKNOU TRHLINY

**Výpočet výšky betonu obklopující výztuž**

$$h_{c,eff} = \min\{2,5 (h-d) ; (h-x)/3 ; h / 2\} = \min\{ 0,0937 \quad 0,372 \quad 0,25 \}$$

$$h_{c,eff} = 0,09375 \text{ m}$$

**Účinný stupeň vyztužení efektivní tažené oblasti betonu**

$$\rho_{p,eff} = A_s / (b \cdot h_{c,eff}) = 3,896E-03 / (1,0 \cdot 0,09375) = 0,042$$

**Maximální vzdálenost trhlin**

$$\underline{s = 126 \text{ mm} < 5 \cdot (c + \Phi/2) = 187,5 \text{ mm}}$$

Pro určení  $s_{r,max}$  použijeme následující vztah:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \Phi / \rho_{p,eff}$$

- $c = 25,00$  ... krytí
- $k_1 = 1,6$  ... součinitel vlivu soudržnosti výztuže - hladká výztuž
- $k_2 = 0,5$  ... pro ohyb
- $k_3 = 3,4$  ... doporučená hodnota z národní přílohy
- $k_4 = 0,425$  ... doporučená hodnota z národní přílohy
- $\Phi = 25,0$  mm

$$s_{r,max} = 3,4 \cdot 25 + 1,6 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 25 / 0,042$$

$$s_{r,max} = 289,5 \text{ mm}$$

**Výpočet rozdílu poměrných přetvoření výztuže a betonu**

$$\sigma_s = f_{yk} = 206,00 \text{ MPa}$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 1 / E_s \cdot [\sigma_s - k_t \cdot f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})]$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 1 / 200000 \cdot [220 - 0,4 \cdot 1,6 / 0,042 \cdot (1 + 7,407 \cdot 0,042)]$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,00092929 > 0,6 \cdot \sigma_s / E_s = 0,000618$$

**Určení šířky trhlin**

$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 289,5 \cdot 0,000929 = 0,269 \text{ mm}$$

$$\underline{w_k = 0,269 \text{ mm} < w_{k,max} = 0,300 \text{ mm}}$$

**ŠÍŘKA TRHLIN VYHOVÍ**

Napětí ve výztuži $\sigma_s$ [MPa]	Maximální průměr prutu $\phi_s$ [mm]		
	$w_k = 0,4 \text{ mm}$	$w_k = 0,3 \text{ mm}$	$w_k = 0,2 \text{ mm}$
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

**6.5.4 - Mezní stav omezení přetvoření**

**Rozdělovací součinitel**

$$\xi = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = \dots \text{ pro ohyb } \xi = 1 - \beta (M_{cr} / M)^2$$

$$\xi = 1 - 0,5 (78,18 / 253,321)^2 = 0,952$$

**Součinitel dotvarování**

$$t_0 = 28 \text{ dnů} \quad u = 1 \text{ m} \quad h_0 = 2 \cdot A_c / u = 0,925 \text{ m}$$

$$t_s = 7 \text{ dnů}$$

$$\varphi_0(t_\infty; t_0) = 2$$

$$\varphi_0(t_\infty; t_s) = 2,7$$

**Efektivní moduly pružnosti**

Pro stálé zatížení

$$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \varphi_0(t_\infty; t_0)) = 27000 / (1 + 2,0) = 9 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = E_s / E_{c,eff} = 200 / 9,0 = 22,22$$

Pro smršťování

$$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \varphi_0(t_\infty; t_s)) = 27000 / (1 + 2,7) = 7,297 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = E_s / E_{c,eff} = 200 / 7,297 = 27,41$$

**Přetvoření od smršťování**

**Geometrické charakteristiky pro průřez bez trhlin**

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot A_s = 0,4625 + 27,41 \cdot 3,896E-03 = 0,569$$

$$a_g = h / 2 = 0,5 / 2 = 0,25 \text{ m}$$

$$a_{gi} = 1/A_i \cdot (a_g \cdot A_c + \alpha_e \cdot d \cdot A_s) = 1/0,569 \cdot (0,25 \cdot 0,5 + 27,41 \cdot 0,4625 \cdot 3,896E-03)$$

$$a_{gi} = 0,306 \text{ m}$$

$$I_i = I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_g)^2 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - a_{gi})^2$$

$$I_i = 1/12 \cdot 1,0 \cdot 0,5^3 + 0,5 \cdot (0,262 - 0,25)^2 + 27,41 \cdot 3,896E-03 \cdot (0,4625 - 0,262)^2$$

$$I_i = 1,461E-02 \text{ m}^4$$

$$S_i = A_s \cdot (d - a_{gi}) = 3,896E-04 \cdot (0,4625 - 0,318) = 6,08E-04$$

**Geometrické charakteristiky pro průřez s trhlinami**

$$x_{ir} = \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_s}} \right]$$

$$x_{ir} = \frac{27,41}{1,0} \cdot 3,896E-03 \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 0,4625}{27,41 \cdot 3,896E-03}} \right]$$

$$x_{ir} = 0,225$$

$$I_{ir} = 1/3 \cdot b \cdot x_{ir}^3 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2 = 1/3 \cdot 1,0 \cdot 0,225^3 + 27,41 \cdot 3,896E-03 \cdot (0,4625 - 0,225)^2$$

$$I_{ir} = 9,820E-03 \text{ m}^4$$

$$S_i = A_s \cdot (d - a_{gi}) = 3,896E-04 \cdot (0,4625 - 0,225) = 9,25E-04$$

**Celkové poměrné smršťování**

$$t = 36500 \text{ dnů} \quad k_h = 0,7$$

$$R_H = 80 \% \quad R_{H0} = 100 \%$$

$$\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot R_H)0,3] \cdot h_0 + 250$$

$$\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot 80)0,3] \cdot 0,925 + 251$$

$$\beta_H = 377,871 < 1500$$

$$\beta_c(t; t_s) = [(t - t_s) / (\beta_H + (t - t_s))]0,3 = [(36500 - 7) / (377,871 + (36500-7))]0,3$$

$$\beta_c(t; t_0) = 0,997$$

$$\varphi(t; t_s) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t; t_s) = 2,7 \cdot 0,997 = 2,692$$

$$\varepsilon_{cd,\infty} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot [1 - (R_H / R_{H0})^3] = 1,55 \cdot [1 - (80 / 100)^3] = 0,756$$

$$\alpha_{as1} = 3 \quad f_{CM0} = 10 \text{ MPa} \quad \alpha_{as2} = 0,13$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot \alpha_{as1}) \exp(-\alpha_{as2} \cdot f_{CM} / f_{CM0})] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,458 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,7 \cdot 0,458 = 0,321 \text{ ‰}$$

$$\beta_{ds}(t; t_s) = (t - t_s) / (t - t_s + 0,04 \cdot h_0^{3/2})$$

$$\beta_{ds}(t; t_s) = (36500-7) / (36500-7 + 0,04 \cdot 0,925^{3/2}) = 1,0$$

$$\varepsilon_{cd,t} = \beta(t; t_s) \cdot \varepsilon_{cd,\infty} = 1,0 \cdot 0,321 = 0,321 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{ca,\infty} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (15 - 10) \cdot 10^{-6} = 0,005 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{ca,t} = \beta_{ast} \cdot \varepsilon_{ca,\infty} = 1,0 \cdot 0,005 = 0,005 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cd,\infty} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 0,321 + 0,005 = 0,326 \text{ ‰}$$

**Křivost**

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = -\varepsilon_{cs,\infty} \cdot \alpha_s \left[ (1 - \zeta) \frac{S_i}{I_i} + \zeta \frac{S_{ir}}{I_{ir}} \right]$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = 0,326 \cdot 27,41 \left[ (1 - 0,952) \frac{6,08E-04}{1,461E-02} + 0,952 \frac{9,25E-04}{9,82E-03} \right]$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = 8,18E-04$$

**Průhyb od smršťování**

$$f_{cs} = \frac{1}{8} \left(\frac{1}{r}\right)_{cs} L^2 = \frac{1}{8} 0,000818 \cdot 6^2 = 3,681 \text{ mm}$$

**Přetvoření od kvazistálého zatížení**

**Geometrické charakteristiky průřezu bez trhlin**

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot A_s = 0,5 + 22,22 \cdot 3,896E-03 = 5,87E-01$$

$$a_g = h / 2 = 0,5 / 2 = 0,25 \text{ m}$$

$$a_{gi} = 1/A_i \cdot (a_g \cdot A_c + \alpha_e \cdot d \cdot A_s) = 1/0,587 \cdot (0,25 \cdot 0,5 + 22,22 \cdot 0,4625 \cdot 3,896E-03)$$

$$a_{gi} = 0,281 \text{ m}$$

$$I_i = I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_g)^2 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - a_{gi})^2$$

$$I_i = 1/12 \cdot 1,0 \cdot 0,5^3 + 0,5 \cdot (0,281 - 0,25)^2 + 22,22 \cdot 3,896E-03 \cdot (0,4625 - 0,281)^2$$

$$I_i = 1,375E-02 \text{ m}^4$$

**Geometrické charakteristiky průřezu s trhlinami**

$$x_{ir} = \frac{\alpha_s}{b} \cdot A_s \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2b d}{\alpha_s A_s}} \right]$$

$$x_{ir} = \frac{22,22}{1,0} \cdot 3,896E-03 \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1,0}{22,22} \cdot \frac{0,4625}{3,896E-03}} \right]$$

$x_{ir} = 0,209 \text{ m}$

$I_{ir} = 1/3 \cdot b \cdot x_{ir}^3 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2 = 1/3 \cdot 1,0 \cdot 0,209^3 + 22,22 \cdot 3,896E-03 \cdot (0,4625 - 0,209)^2$

$I_{ir} = 8,607E-03 \text{ m}^4$

**Ohybová poddajnost**

**Průřez bez trhlin**

$C_I = 1 / (E_{c,eff} \cdot I_i) = 1 / (9000 \cdot 1,375E-02) = 8,08E-03$

**Průřez s trhlinami**

$C_{II} = 1 / (E_{c,eff} \cdot I_{ir}) = 1 / (9000 \cdot 8,607E-03) = 1,29E-02$

**Křivost**

$\left(\frac{1}{r}\right)_{kvazi.} = M_{kvazi.} \cdot [(1 - \zeta) \cdot C_I + \zeta \cdot C_{II}]$

$\left(\frac{1}{r}\right)_{kvazi.} = 91,058 \cdot [(1 - 0,952) \cdot 8,08E-03 + 0,952 \cdot 1,29E-02]$

$\left(\frac{1}{r}\right)_{kvazi.} = 1,15E-03$

**Průhyb od kvazistálého zatížení**

$f_{kvazi.} = \frac{5}{48} \left(\frac{1}{r}\right)_{kvazi.} \cdot L^2 = \frac{5}{48} \cdot 0,00115 \cdot 6^2 = 0,0043 \text{ m}$

**Dlouhodobý průhyb**

$f_{lt} = f_{kvazi.} + f_{cs} = 0,004 + 0,003681 = 0,00801 \text{ m}$

**Přetvoření od poměrného zatížení**

**Geometrické charakteristiky průřezu bez trhlin**

$A_i = A_c + \alpha_e \cdot A_s = 0,5 + 7,407 \cdot 3,896E-03 = 0,529$

$a_g = h / 2 = 0,5 / 2 = 0,25 \text{ m}$

$a_{gi} = 1/A_i \cdot (a_g \cdot A_c + \alpha_e \cdot d \cdot A_s) = 1/0,528 \cdot (0,25 \cdot 0,5 + 7,407 \cdot 0,4625 \cdot 3,896E-03)$

$a_{gi} = 0,262 \text{ m}$

$I_i = I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_g)^2 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - a_{gi})^2$

$I_i = 1/12 \cdot 1,0 \cdot 0,5^3 + 0,5 \cdot (0,262 - 0,25)^2 + 7,407 \cdot 3,896E-03 \cdot (0,4625 - 0,262)^2$

$I_i = 1,165E-02 \text{ m}^4$

**Geometrické charakteristiky pro průřez s trhlinami**

$$x_{ir} = \frac{\alpha_s}{b} \cdot A_s \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2b \cdot d}{\alpha_s \cdot A_s}} \right]$$

$$x_{ir} = \frac{7,407}{1,0} \cdot 3,896E - 03 \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1,0}{7,407} \cdot \frac{0,4625}{3,896E - 03}} \right]$$

$x_{ir} = 0,137 \text{ m}$

$$I_{ir} = 1/3 \cdot b \cdot x_{ir}^3 + \alpha_s \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2 = 1/3 \cdot 1,0 \cdot 0,137^3 + 7,407 \cdot 3,896E-03 \cdot (0,4625 - 0,137)^2$$

$I_{ir} = 3,915E-03 \text{ m}^4$

**Ohybová poddajnost průřezu**

Průřez bez trhlin

$$C_I = 1 / (E_{cm} \cdot I_i) = 1 / (27 \cdot 1,165E-02) = 3,18E-03$$

Průřez s trhlinami

$$C_{II} = 1 / (E_{cm} \cdot I_{ir}) = 1 / (27 \cdot 3,915E-03) = 9,46E-03$$

**Křivost**

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{LM3\ 1800/200} = M_{LM3} [(1 - \zeta) C_I + \zeta C_{II}]$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{LM3\ 1800/200} = 162,264 [(1 - 0,952) 0,00318 + 0,952 \cdot 0,00946]$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{LM3\ 1800/200} = 0,00149 \text{ m}$$

**Průhyb od proměnného zatížení**

$$f_{LM3\ 1800/200} = \frac{5}{48} \left(\frac{1}{r}\right)_{LM3\ 1800/200} \cdot L^2 = \frac{5}{48} 0,00149 \cdot 6^2 = 0,005575$$

**Celkový průhyb**

$$f = f_{it} + f_{LM3\ 1800/200} = 0,00801 + 0,005575 =$$

$$f = 0,01358 \text{ m} < f_{lim} = L/200 = 0,03 \text{ m}$$

**VYHOVUJE**

## 7 - Závěr:

Rozdíly ve výpočtech dle různých norem se liší již u zatěžování. V ČSN jsem použil ryze stavební statiku a mechaniku pro zatěžování pohyblivým zatížením. Zatěžování dle ČSN EN je rozšířené o materiálové chování. Síla se v materiálu roznáší pod určitým úhlem a protože se jedná o monolitickou desku, tak zároveň ještě působí ortotropie desky. Díky těmto příznivým materiálovým chováním je možné dle ČSN EN zatížit větším zatížením, než-li dle ČSN.

Protože dle ČSN EN jsem pracoval s charakteristickou kombinací, jmenovité součinitele jsem zadal pro kombinace vnitřních sil. Zjistil jsem, která z kombinací vyvolá největší vnitřní sílu. Tuto kombinaci jsme provedli také s odpovídajícími zatíženími, ovšem tentokrát bez kombinačních součinitelů.

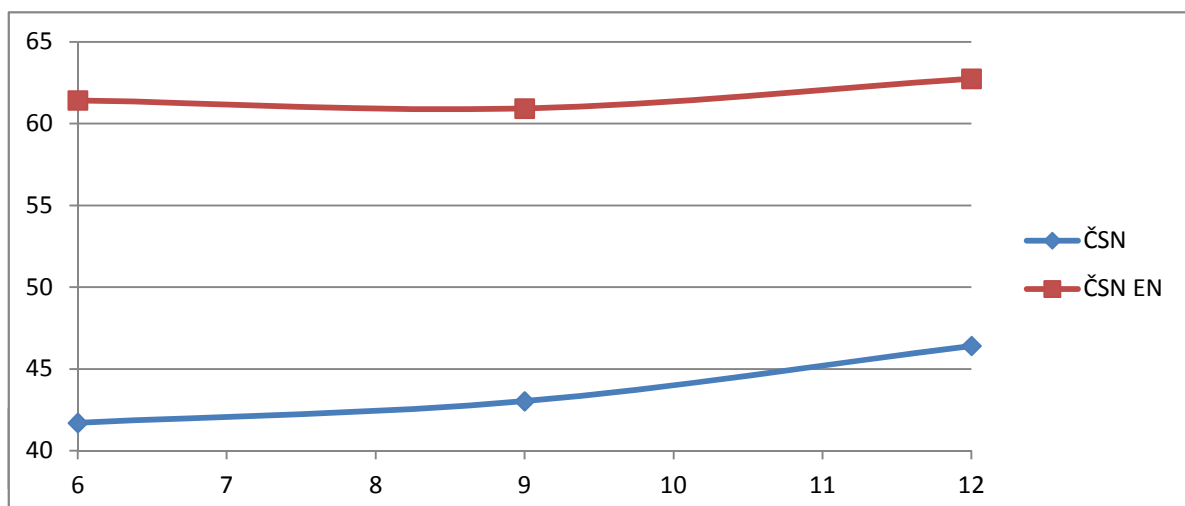
Další odlišnost norem je v představě působení materiálů. Zatím co v ČSN jsem pracoval pouze se zjednodušeným lineárním narůstajícím napětím v betonu, ČSN EN předpokládá nelineární chování napětí po výšce průřezu. Tím se liší hodnoty velikosti výšky tlačeneho betonu a tím pádem i velikost ramene vnitřních sil. Dle ČSN EN je díky přesnějšímu předpokladu rameno vnitřních sil větší a tím příznivější pro výpočet momentu únosnosti průřezu.

Při posouzení, ČSN porovnává napětí v materiálech spolu s maximálním dovoleným napětím. Velikost dovoleného napětí dle ČSN a ČSN EN je téměř shodná (liší se o 7%) a opět je mírnější ČSN EN. Oproti tomu dovolené napětí ve výztuži ČSN připouští pro danou ocel jen polovinu z její meze kluzu. ČSN EN zmenšuje hodnotu kluzové pevnosti oceli jen o 15%. Předpokládá větší spolehlivost v jakosti oceli.

Provedl jsem výpočet zatížením deskové mostní konstrukce dle ČSN norem platných v první polovině 20. století. Pro výpočet zatížení jsem použil pravidla stavební mechaniky. A užitím základních předpokladů jsem si zjednodušil výpočet. Zatížení vyvozené vozidlem jsem po výšce průřezu konstrukce roznášel pod úhlem 90°, tím jsem dostal nejnepříznivější velikost zatížení. Zatížení jsem poté zkombinoval v jejich charakteristických hodnotách.

Když vyneseme do dvou grafů závislosti zatížení na rozpětí, můžeme pozorovat závislost. Se zvyšujícím se rozpětím roste celkové vypočtené zatížení na konstrukci. A to u obou norem. Rozdíl je v tom, že dle ČSN je tento trend strmější, než je u ČSN EN.

Rozpětí	$Q_{\text{ČSN}}$	$Q_{\text{ČSN EN}}$
[m]	[kN/m/m']	[kN/m/m']
6	41,699	61,418
9	43,025	60,924
12	46,41	62,743



Rozdíl v hodnotách vypočítaných zatížení je v nejvyšší míře způsoben tím, že u ČSN nejsou v kombinaci žádné zvyšující součinitele, jako to je u ČSN EN. Další rozdíl je v představě o působení zatížení. Zatím co, v první polovině 20. století inženýři použili největší na tu dobu možné zatížení, dle ČSN EN je přesná specifikace tíhy a rozměrů nejnepríznivějších náprav vozidel nacházejících se na evropské silniční síti. Tato změna vychází z rostoucí motorizace a rostoucí potřeby na transport.

Hledaná závislost v bakalářské práci je porovnání poměrů zatížení. Tyto koeficienty jsou přímo úměrné zatížení vypočítaného dle ČSN a nepřímo úměrné zatížení vyplývající z ČSN EN. Vztah vyjadřuje tato rovnice:

$$k_c = \frac{Q_{\text{Reálné}}^{\text{ČSN}}}{Q_{\text{Teoretická}}^{\text{ČSN EN}}}$$

Ze získaných hodnot sestrojíme graf závislosti koeficientů na zadaném rozpětí konstrukce.

Rozpětí	k
[m]	[%]
6	67,9
9	70,6
12	74,0



Vidíme že větev je monotónně rostoucí. To znamená, že rozdíl vypočtených zatížení s rostoucím rozpětím klesá. Kdybychom pokračovali ve zvětšování rozpětí, bude se zatížení dle ČSN blížit zatížení vypočítané dle ČSN EC.

Z těchto poznatků vyplývá, že Eurocode je na zatěžování větších rozpětí přísnější. A naopak, že na menší rozpětí umožní větší zatížení. Oproti tomu ČSN nezvyšuje ani nesnižuje velikost zatížení na délce rozpětí konstrukce.

## **8 - Seznam použitých zdrojů**

### **Normy**

*ČSN 73 0035*

*ČSN 73 6206*

*ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí*

*ČSN EN 1992-2 Navrhování betonových konstrukcí – Betonové mosty*

*ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí – Zatížení mostů dopravou*

### **Literatura**

*Ing. Milan Sečkář, CSc.: Betonové mosty – Výpočet betonových a železobetonových průřezů podle ČSN 73 6206*

*Stráský J., Nečas R.: Betonové mosty I – modul M01 – Základní principy navrhování*

*Doc. Ing. Klusáček L., CSc.: Betonové mosty I – modul M02 – Nosné konstrukce mostů*

*Nečas R.: Betonové mosty I, Brno VUT Brno, FAST, Ústav betonových a zděných konstrukcí, Přednášky*

## **9 - Seznam příloh**

- A. Tabulkový statický výpočet dle ČSN pro rozpětí 9 a 12 m
- B. Tabulkový statický výpočet dle ČSN EN pro rozpětí 9 m
- C. Tabulkový statický výpočet dle ČSN EN pro rozpětí 12 m
- D. Výkresová dokumentace

**A. Tabulkový statický výpočet dle ČSN pro rozpětí 9 a 12 m**
**1 - GEOMETRIE**

$b_d = 7,5$  m  
 $b = 1$  m  
 $L = 9$  m  
 $d = (1/12 \sim 1/15) \quad 0,6 \quad 0,75$

Volím:  $d = 0,75$  m

**2 - ZATÍŽENÍ**
**2.1 - 1. Zatěžovací stav - Vlastní tíha**

	tloušťka	$\gamma_{mat}$	$g_{k0}$
	[mm]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1.	750	25	18,75

$V_{k0} = 84,375$  kN/m'

$M_{k0} = 189,8438$  kNm/m'

**2.2 - 2. Zatěžovací stav - Ostatní stálé zatížení**

	tloušťka	$\gamma_{mat}$	$g_k$
	[mm]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1.	100	26	2,323
2.	100	21	1,876
3.	40	25	0,893
4.	5	1	0,004
5.	47,5	25	1,061
Římsy	250	25	0,667
Zábradlí	100 [kg/m]	1	0,267
	$\Sigma$		7,091

$V_k = 31,908$  kN/m'

$M_k = 71,793$  kNm/m'

**2.3 - 3. Zatěžovací stav - Nahodilé rovnoměrné obtížení**

$q_k = 4$  kN/m<sup>2</sup>

$V_q = 18$  kN/m'

$M_q = 40,5$  kNm/m'

**2.4 - 4. Zatěžovací stav - Mostní řád - Vozidlo 14 t**

$F_1 = 40$  kN

$F_2 = 100$  kN

$R = 140$  kN

$r = 0,714$  m

$b = 2$  m

$\eta_{max} = 2,236$

$\eta_1 = 1,085$

$M_{max} = 266,984$  kNm

$\eta_1 = 0,722$

$\eta_2 = 1,000$

$V_{max} = 128,889$  kN

$V = 64,444$  kN/m'

$M = 133,492$  kNm/m'

**1 - GEOMETRIE**

$b_d = 7,5$  m  
 $b = 1$  m  
 $L = 12$  m  
 $d = (1/12 \sim 1/15) \quad 0,8 \quad 1$

Volím:  $d = 1$  m

**2 - ZATÍŽENÍ**
**2.1 - 1. Zatěžovací stav - Vlastní tíha**

	tloušťka	$\gamma_{mat}$	$g_{k0}$
	[mm]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1.	1000	25	25

$V_{k0} = 150$  kN/m'

$M_{k0} = 450$  kNm/m'

**2.2 - 2. Zatěžovací stav - Ostatní stálé zatížení**

	tloušťka	$\gamma_{mat}$	$g_k$
	[mm]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1.	100	26	2,323
2.	100	21	1,876
3.	40	25	0,893
4.	5	1	0,004
5.	47,5	25	1,061
Římsy	250	25	0,667
Zábradlí	100 [kg/m]	1	0,267
	$\Sigma$		7,091

$V_k = 42,544$  kN/m'

$M_k = 127,631$  kNm/m'

$q_k = 4$  kN/m<sup>2</sup>

$V_q = 24$  kN/m'

$M_q = 72$  kNm/m'

$F_1 = 40$  kN

$F_2 = 100$  kN

$R = 140$  kN

$r = 0,714$  m

$b = 2$  m

$\eta_{max} = 2,989$

$\eta_1 = 1,814$

$M_{max} = 371,488$  kNm

$\eta_1 = 0,792$

$\eta_2 = 1,000$

$V_{max} = 131,667$  kN

$V = 65,833$  kN/m'

$M = 185,744$  kNm/m'

**3 - KOMBINACE**

$$K = 1.ZS + 2.ZS + 3.ZS + 4.ZS$$

$Q_{\text{ČSN,SKUTEČNÉ}} =$	<b>43,02503</b>	kN/m/m'
$N =$	<b>0,000</b>	kN/m'
$V =$	<b>198,727</b>	kN/m'
$M =$	<b>435,628</b>	kNm/m'

**4 - POUŽITÝ MATERIÁL**

$\sigma_{b,dov} =$	<b>6,3</b>	MPa
$\sigma_{a,dov} =$	<b>120</b>	MPa
$\Phi =$	<b>28</b>	mm

**5 - DIMENZOVÁNÍ**

$$k = 25 \text{ mm}$$

 Od kraje k výztuži:  $a =$  **0,039** m

 Působící průřez:  $h =$  **0,711** m

$$F_{b,min} = 0,10214523 \text{ m}^2$$

$$F_{a,min} = 0,00536262 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 28 \text{ mm}$$

$$\acute{a} = 105 \text{ mm}$$

$$F_a = 0,00586431 \text{ m}^2$$

$$x = 0,276 \text{ m}$$

**6 - POSUDEK**

$$r = 0,619 \text{ m}$$

$$120,039 \text{ MPa}$$

 $<$ 

$$120 \text{ MPa}$$

$$5,092 \text{ MPa}$$

 $<$ 

$$6,3 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**
**Horní tlačená podélná výztuž**

$F_{a2} =$	7,624E-04	m <sup>2</sup>
$\Phi =$	<b>12</b>	mm
$\acute{a} =$	<b>105</b>	mm
$F_{a2} =$	1,077E-03	m <sup>2</sup>

**Horní tlačená příčná výztuž**

$F_{a3} =$	7,624E-04	m <sup>2</sup>
$\Phi =$	<b>12</b>	mm
$\acute{a} =$	<b>130</b>	mm
$F_{a3} =$	8,700E-04	m <sup>2</sup>

**Dolní tažená příčná výztuž**

$F_{a4} = 0,25 \cdot$	1,466E-03	m <sup>2</sup>
$\Phi =$	<b>16</b>	mm
$\acute{a} =$	<b>130</b>	mm
$F_{a4} =$	1,547E-03	m <sup>2</sup>

**Kotevní délka**

Min. kotevní délka: 280 mm

Kotevní délka: 420 mm

**Návrh: 500 mm**
**3 - KOMBINACE**

$$K = 1.ZS + 2.ZS + 3.ZS + 4.ZS$$

$Q_{\text{ČSN,SKUTEČNÉ}} =$	<b>46,410</b>	kN/m/m'
$N =$	<b>0,000</b>	kN/m'
$V =$	<b>282,377</b>	kN/m'
$M =$	<b>835,375</b>	kNm/m'

**4 - POUŽITÝ MATERIÁL**

$\sigma_{b,dov} =$	<b>6,3</b>	MPa
$\sigma_{a,dov} =$	<b>120</b>	MPa
$\Phi =$	<b>32</b>	mm

**5 - DIMENZOVÁNÍ**

$$k = 25 \text{ mm}$$

 Od kraje k výztuži:  $a =$  **0,041** m

 Působící průřez:  $h =$  **0,959** m

$$F_{b,min} = 0,145641 \text{ m}^2$$

$$F_{a,min} = 0,0076462 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 32 \text{ mm}$$

$$\acute{a} = 96 \text{ mm}$$

$$F_a = 0,0083776 \text{ m}^2$$

$$x = 0,381 \text{ m}$$

**6 - POSUDEK**

$$r = 0,832 \text{ m}$$

$$119,856 \text{ MPa}$$

 $<$ 

$$120 \text{ MPa}$$

$$5,269 \text{ MPa}$$

 $<$ 

$$6,3 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**
**Horní tlačená podélná výztuž**

$F_{a2} =$	1,089E-03	m <sup>2</sup>
$\Phi =$	<b>12</b>	mm
$\acute{a} =$	<b>96</b>	mm
$F_{a2} =$	1,178E-03	m <sup>2</sup>

**Horní tlačená příčná výztuž**

$F_{a3} =$	1,089E-03	m <sup>2</sup>
$\Phi =$	<b>14</b>	mm
$\acute{a} =$	<b>140</b>	mm
$F_{a3} =$	1,100E-03	m <sup>2</sup>

**Dolní tažená příčná výztuž**

$F_{a4} = 0,25 \cdot$	2,094E-03	m <sup>2</sup>
$\Phi =$	<b>20</b>	mm
$\acute{a} =$	<b>140</b>	mm
$F_{a4} =$	2,244E-03	m <sup>2</sup>

**Kotevní délka**

Min. kotevní délka: 320 mm

Kotevní délka: 480 mm

**Návrh: 550 mm**

**B. Tabulkový statický výpočet dle ČSN EN pro rozpětí 9 m**
**1 Geometrie**

$$b_d = 7,5 \text{ m}$$

$$b = 1,0 \text{ m}$$

$$L = L_{\text{eff}} = 9,0 \text{ m}$$

$$h = 0,75 \text{ m}$$

**2 Zatížení**
**2.1 - 1.ZS - Vlastní tíha konstrukce**

$$g_{0k} = 18,75 \text{ kN/m/m'}$$

$$M_{0k} = 189,8438 \text{ kNm/m'}$$

$$V_{0k} = 84,375 \text{ kN/m'}$$

**2.2 - 2.ZS - Ostatní stálé**

	tloušťka [mm]	$\gamma_{\text{mat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1.	100	26	2,323
2.	100	21	1,876
3.	40	25	0,893
4.	5	1	0,004
5.	47,5	25	1,061
Římsy	250	25	0,667
Zábradlí	100 [kg/m]	1	0,267

$$\text{VRSTVA VOZOVKY: } 6,157 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{ZÁBRADLÍ A ŘÍMSY: } 0,933 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{SUMA } 7,091 \text{ kN/m}^2$$

**2.3 - 3.ZS - Nahodilé zatížení vyvolané dopravou**
**2.3.1 - Model LM1**
**PRUH 1**
**Ohybové namáhání TS a UDL pro Pruh 1**

$$\text{Roznášecí a vzdorující šířky } b_{\text{rUDL}} = 3,0 \text{ m}$$

$b_{\text{pod.TS}} = 3,545 \text{ m}$	$b_{\text{pod.UDL}} = 1,0 \text{ m}$
$b_{\text{sTS}} = 5,467 \text{ m}$	$b_{\text{sUDL}} = 4,750 \text{ m}$

**Pořadnice příčinkové čáry pro TS**

$$\eta_{\text{max}} = 2,25 \quad \eta_1 = \eta_2 = 1,364$$

$$A = 6,405 \text{ m}$$

**Ohybové momenty**

$$M_{\text{TS1}} = 158,643 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{\text{UDL1}} = 46,042 \text{ kNm/m'}$$

**Smykové namáhání TS a UDL pro Pruh 1**
**Roznášecí a vzdorující šířky**

$x = 1,773 \text{ m}$	$x = 4,5$
$b_{\text{pod.TS}} = 3,545 \text{ m}$	$b_{\text{pod.UDL}} = 1,0 \text{ m}$
$b_{\text{sTS}} = 4,558 \text{ m}$	$b_{\text{sUDL}} = 4,750 \text{ m}$

$$\eta_{\text{max}} = 1,0$$

$$\eta_2 = 0,606$$

$$A = 2,847 \text{ m}$$

**Smyková síla**

$$V_{\text{TS1}} = 84,572 \text{ kN/m'}$$

$$V_{\text{UDL1}} = 20,463 \text{ kN/m'}$$

**PRUH 2 a Z**
**Ohybové namáhání TS a UDL pro Pruh 2 a Z**
**Roznášecí a vzdorující šířky**  $b_{rUDL} = 4,0$  m

$b_{pod.TS} =$	3,545 m	$b_{pod.UDL} =$	1,0 m
$b_{sTS} =$	6,479 m	$b_{sUDL} =$	5,750 m

**Pořadnice příčinkové čáry pro TS**
 $\eta_{max} = 2,25$   $\eta_1 = \eta_2 = 1,364$ 
 $A = 6,405$  m

**Ohybové momenty**

$M_{TS2,Z} =$	<b>89,242 kNm/m'</b>	$M_{UDL2,Z} =$	<b>17,609 kNm/m'</b>
---------------	----------------------	----------------	----------------------

**Smykové namáhání TS a UDL pro Pruh 2 a Z**
**Roznášecí a vzdorující šířky**

$x =$	1,773 m	$x =$	4,5
$b_{pod.TS} =$	3,545 m	$b_{pod.UDL} =$	1,0 m
$b_{sTS} =$	5,570 m	$b_{sUDL} =$	5,750 m

 $\eta_{max} = 1,0$ 
 $\eta_2 = 0,606$ 
 $A = 2,847$  m

**Smyková síla**

$V_{TS2,Z} =$	<b>46,136 kN/m'</b>	$V_{UDL2,Z} =$	<b>7,826 kN/m'</b>
---------------	---------------------	----------------	--------------------

**Dimenzační momenty pruhů 1, 2 a Z - TS a UDL**

$c_{TS,1-2} =$	4,402 m		
$m_{TS,1+2} =$	218,784 kNm/m'	$m_{TS,2+1} =$	170,86 kNm/m'
$m_{TS} =$	<b>218,784 kNm/m'</b>		
$c_{UDL,1-2} =$	3,0 m		
$m_{UDL,1+2} =$	54,169 kNm/m'	$m_{UDL,2+1} =$	33,86 kNm/m'
$m_{UDL} =$	<b>54,169 kNm/m'</b>		
$M_{LMI} =$	<b>272,953 kNm/m'</b>		

**Dimenzační smykové síly pruh 1, 2 a Z - TS a UDL**

$c_{1-2TS} =$	2,627 m		
$v_{TS,1+2} =$	103,251 kNm/m'	$v_{TS,2+1} =$	72,234 kNm/m'
$v_{TS} =$	<b>103,251 kN/m'</b>		
$c_{UDL,1-2} =$	3,0 m		
$v_{UDL,1+2} =$	24,075 kNm/m'	$v_{UDL,2+1} =$	15,048 kNm/m'
$v_{UDL} =$	<b>24,075 kN/m'</b>		
$V_{LMI} =$	<b>127,326 kN/m'</b>		

**2.3.2 - Model LM2**
**a) Ohybové namáhání**
**b) Smykové namáhání**
**Roznášecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky**

$b_{pod.} =$	2,327 m	$b_{pod.} =$	2,327 m
$b_s =$	5,365 m	$b_s =$	4,253 m

**Pořadnice příčinkové čáry**

$\eta_{max} =$	2,25	$\eta_{max} =$	1
$\eta_1 = \eta_2 =$	1,668	$\eta_2 =$	0,741
$A =$	4,559 m	$A =$	2,026
$M =$	116,854 kNm/m'	$V =$	65,514 kN/m'

**2.3.3 - Model LM3 - Zvláštní vozidlo 1: 900/150**
**PRUH 1**
**Ohybové namáhání TS**
**Smykové namáhání TS**

Nápravové síly:

**Roznášecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky**

$b_{pod.TS1} =$	9,0 m	$b_{pod.TS1} =$	9,0 m
$b_{sTS1} =$	5,620 m	$b_{sTS1} =$	5,620 m

**Ohybový moment**
**Smyková síla**

$M_{900/150} =$	180,160 kNm/m'	$V_{900/150} =$	80,0712 kN/m'
-----------------	----------------	-----------------	---------------

**2.3.4 - Model LM3 - Zvláštní vozidlo 1: 1800/200**
**PRUH 1**
**Ohybové namáhání TS**
**Smykové namáhání TS**

Nápravové síly:

**Roznášecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky**

$b_{pod.TS1} =$	9,0 m	$b_{pod.TS1} =$	9,0 m
$b_{sTS1} =$	5,620 m	$b_{sTS1} =$	5,620 m

**Ohybový moment**
**Smyková síla**

$M_{1800/200} =$	280,249 kNm/m'	$V_{1800/200} =$	124,555 kN/m'
------------------	----------------	------------------	---------------

**PRUH 2 a Z**
**Ohybové a Smykové namáhání TS a UDL**

Ohybové momenty pro 6.10 a)      Smykové síly pro 6.10a)

$b_{sTS} =$	6,479 m	$b_{sTS} =$	5,570 m
$b_{sUDL} =$	5,750 m	$b_{sUDL} =$	5,750 m
$M_{TS2,Za} =$	66,93163 kNm/m'	$V_{TS2,Za} =$	34,602 kN/m'
$M_{UDL2,Za} =$	7,043478 kNm/m'	$V_{UDL2,Za} =$	3,130 kN/m'

**Dimenzační momenty a smykové síly pro 6.10 a)**

$c_{TS,1-2} =$	4,598 m	$c_{TS,1-2} =$	3,689 m
$m_{TS,1+2} =$	326,583 kNm/m'	$v_{TS,1+2} =$	141,460 kN/m'
$m_{TS,2+1} =$	221,0686 kNm/m'	$v_{TS,2+1} =$	96,269 kN/m'
<b><math>m_{TS} =</math></b>	<b>326,583 kNm/m'</b>	<b><math>v_{TS} =</math></b>	<b>141,460 kN/m'</b>
$c_{UDL,1-2} =$	3,870 m	$c_{UDL,1-2} =$	3,870 m
$m_{UDL,1+2} =$	283,948 kNm/m'	$v_{UDL,1+2} =$	126,199 kNm/m'
$m_{UDL,2+1} =$	149,188 kNm/m'	$v_{UDL,2+1} =$	66,306 kNm/m'
<b><math>m_{UDL} =</math></b>	<b>283,948 kNm/m'</b>	<b><math>v_{UDL} =</math></b>	<b>126,199 kNm/m'</b>
<b><math>M_{LM3} =</math></b>	<b>330,282 kNm/m'</b>	<b><math>V_{LM3} =</math></b>	<b>143,104 kNm/m'</b>

Ohybové momenty pro 6.10 b)      Smykové síly pro 6.10b)

<b><math>M_{TS2,zb} =</math></b>	<b>89,242 kNm/m'</b>	<b><math>V_{TS2,zb} =</math></b>	<b>46,136 kN/m'</b>
<b><math>M_{UDL2,zb} =</math></b>	<b>17,609 kNm/m'</b>	<b><math>V_{UDL2b} =</math></b>	<b>7,826 kN/m'</b>

**Dimenzační momenty a smykové síly pro 6.10 b)**

$c_{TS,1-2} =$	4,598 m	$c_{TS,1-2} =$	3,689 m
$m_{TS,1+2} =$	342,028 kNm/m'	$v_{TS,1+2} =$	147,095 kN/m'
$m_{TS,2+1} =$	243,379 kNm/m'	$v_{TS,2+1} =$	107,803 kN/m'
<b><math>m_{TS} =</math></b>	<b>342,028 kNm/m'</b>	<b><math>v_{TS} =</math></b>	<b>147,095 kN/m'</b>
$c_{UDL,1-2} =$	3,870 m	$c_{UDL,1-2} =$	3,870 m
$m_{UDL,1+2} =$	289,495 kNm/m'	$v_{UDL,1+2} =$	128,665 kNm/m'
$m_{UDL,2+1} =$	159,753 kNm/m'	$v_{UDL,2+1} =$	71,002 kNm/m'
<b><math>m_{UDL} =</math></b>	<b>289,495 kNm/m'</b>	<b><math>v_{UDL} =</math></b>	<b>128,665 kNm/m'</b>
<b><math>M_{LM3} =</math></b>	<b>351,274 kNm/m'</b>	<b><math>V_{LM3} =</math></b>	<b>151,204 kNm/m'</b>

**2.3.5 - Model LM3 - Zvláštní vozidlo 1: 3000/240**
**PRUH 1,2**
**Ohybové namáhání TS pro Pruh 1,2**
**Roznášecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky**

$b_{pod.TS} =$	9,0 m	$b_{pod.TS} =$	9,0 m
$b_{sTS} =$	7,116 m	$b_{sTS} =$	7,116 m
<b>Ohybový moment</b>		<b>Smyková síla</b>	
<b><math>M_{3000/240} =</math></b>	<b>265,5987 kNm/m'</b>	<b><math>V_{3000/240} =</math></b>	<b>118,044 kN/m'</b>

### 3.1 - Rekapitulace vnitřních sil

#### 1. Vlastní tíha

Zatížení	Moment	Smyková síla
18,75	189,8438	84,375

#### 2. Ostatní stálé

Zatížení	Moment		Smyková síla	
	Supéum	Infimum	Supéum	Infimum
9,554	96,730	59,324	42,991	26,366

#### 3. LM1

Zatížení	Moment	Smyková síla
26,958	272,95	127,33

#### 4. LM2

Zatížení	Moment	Smyková síla
11,541	116,854	65,514

#### 5. LM3 - 1800/200

Zatížení	Moment		Smyková síla	
	6.10a)	6.10b)	6.10a)	6.10b)
32,620	330,282	351,274	143,104	151,20

#### 6. LM3 - 3000/240

Zatížení	Moment	Smyková síla
26,232	265,60	118,044

### 3.2 - Kombinace zatížení

#### 3.2.1 - Teoretické vypočítané zatížení dle EN

$$Q_{EN,TEORETICKÉ} = 60,924 \text{ kN/m/m'}$$

#### 3.2.2 - Kombinace - gr1a

##### Momenty

$$6.10 \quad 755,3613$$

##### Smykové síly

$$6.10 \quad 343,8344$$

#### 3.2.3 - Kombinace - gr1b

##### Momenty

$$6.10 \quad 544,6267$$

##### Smykové síly

$$6.10 \quad 260,388$$

#### 3.2.3 - Kombinace - gr5

##### Momenty

$$6.10 \text{ a) } \quad 832,7547$$

$$6.10 \text{ b) } \quad 803,0635$$

**Smykové síly**

**6.10 a) 365,1339**

6.10 b) 350,2781

**M = 832,755 kNm**

**V = 365,1339 kN**

**3.3 - Koeficient poměru vypočtených zatížení**

$$k = Q_{\text{ČSN,SKUTEČNÉ}} / Q_{\text{EN,TEORETICKÉ}}$$

**Skutečné zatížení dle ČSN**

$$Q_{\text{ČSN,SKUTEČNÉ}} = \underline{\underline{43,025 \text{ kN/m/m'}}$$

**Teoretické zatížení dle EN**

$$Q_{\text{EN,TEORETICKÉ}} = \underline{\underline{60,924 \text{ kN/m/m'}}$$

$$k = 43,025 / 60,924 = 0,706$$

**3.4 - Výsledné vnitřní síly**

$$M_{\text{ED}} = k \cdot M = 0,706 \cdot 832,755 = 588,098 \text{ kNm/m'}$$

$$V_{\text{ED}} = k \cdot V = 0,706 \cdot 365,134 = 257,860 \text{ kN/m'}$$

**4 Dimenzování - Mezní stav únosnosti**
**4.1 - Posouzení na ohyb**
**4.1.1 - Materiál**
**Beton C12/15**
**Charakteristické hodnoty**

$f_{ck}$	12,00	MPa	$\epsilon_{c1}$	1,80	%
$f_{ck,cube}$	15,00	MPa	$\epsilon_{cu1}$	3,50	%
$f_{cm}$	20,00	MPa	$\epsilon_{c2}$	2,00	%
$f_{ctm}$	1,60	MPa	$\epsilon_{cu2}$	3,50	%
$f_{ctk,0,05}$	1,10	MPa	$\eta$	2,00	%
$f_{ctk,0,95}$	2,00	MPa	$\epsilon_{c3}$	1,75	%
$E_{cm}$	27,00	GPa	$\epsilon_{cu3}$	3,50	%

**Návrhové hodnoty**

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

$$\gamma_c = 1,50$$

$$f_{cd} = 6,8 \text{ MPa}$$

**Betonářská ocel B 206A**
**Charakteristické hodnoty**

$f_{yk} = 206,00 \text{ Mpa}$   
 $E = 200,00 \text{ GPa}$

**Návrhové hodnoty**

$\gamma_s = 1,15$        $e_s = 2,17 \text{ ‰}$   
 $f_{yd} = 179,13 \text{ MPa}$        $\Phi = 28 \text{ mm}$

**4.1.2 - Krytí**

*Krytí je známé z výpočtů dle ČSN.*

$c_{nom} = 25,00 \text{ mm}$

**4.1.3 - Navržená výztuž**

$\Phi = 28 \text{ mm}$   
 $\acute{a} = 105 \text{ mm}$   
 $A_{st,prov} = 5,86E-03 \text{ m}^2$

**4.1.4 - Ověření nutné plochy výztuže dle EC**

$d_1 = c + \Phi/2 = 25 + 28/2 = 39 \text{ mm}$   
 $d = h - d_1 = 750 - 39 = 711 \text{ mm}$   
 $A_{st,req} = 5,099E-03 \text{ m}^2 < A_{st,prov} = 5,864E-03$

**VYHOVUJE PODMÍNCE**

**4.1.5 - Stupeň vyztužení**

$\rho_{st} = 8,248E-03 < 3,00E-02$   
 $> 1,93E-03$

**4.1.6 - Ověření míry vyztužení**

$A_{st,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot F_{ctm} / f_{yk} = 1,436E-03 \text{ m}^2$   
 $A_{st,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 9,243E-04 \text{ m}^2$   
 $A_{st,max} = 0,04 \cdot A_C = 2,844E-02 \text{ m}^2$

**VYHOVUJE PODMÍNCE**

**4.1.7 - Ověření přetvoření výztuže**

$x = 0,193 \text{ m}$   
 $x_c = 0,154 \text{ m}$   
 $\epsilon_{S1} = 9,387 \text{ ‰} > f_{yd}/E_s = 0,896 \text{ ‰}$

**VYHOVUJE, VÝZTUŽ JE PLNĚ VYUŽITÁ**

**4.1.8 - Moment únosnosti**

$z_c = 0,634 \text{ m}$   
 $M_{Rd} = 665,7486 \text{ kNm/m} > M_{Ed} = 588,098 \text{ kNm/m}$

**4.2.2 - Návrh smykové výztuže**

Navrhují spony

$\Phi = 12 \text{ mm}$   
 $\acute{a} = 260 \text{ mm}$

$A_{Sw} = 4,350E-04 \text{ m}^2$

#### 4.2.3 - Posouzení smykové výztuže

$$V_{Rd,s} = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha = 326,014 \text{ kN/m'}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 639,9 \text{ mm}$$

$$f_{ywd} = f_{yd} = 179,13 \text{ MPa}$$

$$\cot\theta = 1,7$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$s = 260 \text{ mm}$$

$$\underline{\underline{V_{Rd,s} = 326,0139 \text{ kN/m'} > V_{Ed} = 257,860 \text{ kN/m'}}$$

**VYHOVÍ**

#### 4.2.4 - Kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot L_{b,rqd} > l_{bd,min}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 1,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot A_{s,req} / A_{s,prov} = 155,761 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \Phi/4 \cdot \sigma_{sd} / f_{bd} = 660,805 \text{ mm}$$

$$\text{tah: } l_{b,min} = 280 \text{ mm}$$

$$\text{tlak: } l_{b,min} = 396,483 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \underline{\underline{462,5635 \text{ mm}}} > l_{b,min} = 396,483 \text{ mm}$$

$$\text{Volím: } l_{bd} = 500 \text{ mm}$$

**C. Tabulkový statický výpočet dle ČSN EN pro rozpětí 12 m**
**1 Geometrie**

$b_d = 7,5 \text{ m}$   
 $b = 1,0 \text{ m}$   
 $L = L_{\text{eff}} = 12,0 \text{ m}$   
 $h = 1,00 \text{ m}$

**2 Zatížení**
**2.1 - 1.ZS - Vlastní tíha konstrukce**

$g_{0k} = 25 \text{ kN/m/m'}$   
 $M_{0k} = 450 \text{ kNm/m'}$   
 $V_{0k} = 150 \text{ kN/m'}$

**2.2 - 2.ZS - Ostatní stálé**

	tloušťka [mm]	$\gamma_{\text{mat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1.	100	26	2,323
2.	100	21	1,876
3.	40	25	0,893
4.	5	1	0,004
5.	47,5	25	1,061
Římsy	250	25	0,667
Zábradlí	100 [kg/m]	1	0,267

VRSTVA VOZOVKY: 6,157 kN/m<sup>2</sup>  
 ZÁBRADLÍ A ŘÍMSY: 0,933 kN/m<sup>2</sup>

**SUMA 7,091 kN/m<sup>2</sup>**

**2.3 - 3.ZS - Nahodilé zatížení vyvolané dopravou**
**2.3.1 - Model LM1**
**PRUH 1**
**Ohybové namáhání TS a UDL pro Pruh 1**

**Roznášecí a vzdorující šířky**  $b_{rUDL} = 3,0 \text{ m}$

$b_{\text{pod.TS}} = 4,045 \text{ m}$	$b_{\text{pod.UDL}} = 1,0 \text{ m}$
$b_{sTS} = 6,217 \text{ m}$	$b_{sUDL} = 5,250 \text{ m}$

**Pořadnice příčinkové čáry pro TS**

$\eta_{\text{max}} = 3$        $\eta_1 = \eta_2 = 1,989$   
 $A = 10,090 \text{ m}$

**Ohybové momenty**

**$M_{TS1} = 192,585 \text{ kNm/m'}$      $M_{UDL1} = 74,057 \text{ kNm/m'}$**

**Smykové namáhání TS a UDL pro Pruh 1**
**Roznášecí a vzdorující šířky**

$x = 2,023 \text{ m}$	$x = 6$
$b_{\text{pod.TS}} = 4,045 \text{ m}$	$b_{\text{pod.UDL}} = 1,0 \text{ m}$
$b_{sTS} = 4,891 \text{ m}$	$b_{sUDL} = 5,250 \text{ m}$

$\eta_{\text{max}} = 1,0$   
 $\eta_2 = 0,663$   
 $A = 3,363 \text{ m}$

**Smyková síla**

**$V_{TS1} = 81,596 \text{ kN/m'}$      $V_{UDL1} = 24,686 \text{ kN/m'}$**

**PRUH 2 a Z**
**Ohybové namáhání TS a UDL pro Pruh 2 a Z**
**Roznášecí a vzdorující šířky**  $b_{rUDL} = 4,0$  m

$b_{pod.TS} =$	4,045 m	$b_{pod.UDL} =$	1,0 m
$b_{sTS} =$	7,229 m	$b_{sUDL} =$	6,250 m

**Pořadnice příčinkové čáry pro TS**
 $\eta_{max} = 3$   $\eta_1 = \eta_2 = 1,989$ 
 $A = 10,090$  m

**Ohybové momenty**

$M_{TS2,Z} =$	<b>110,416 kNm/m'</b>	$M_{UDL2,Z} =$	<b>28,800 kNm/m'</b>
---------------	-----------------------	----------------	----------------------

**Smykové namáhání TS a UDL pro Pruh 2 a Z**
**Roznášecí a vzdorující šířky**

$x =$	2,023 m	$x =$	6
$b_{pod.TS} =$	4,045 m	$b_{pod.UDL} =$	1,0 m
$b_{sTS} =$	5,903 m	$b_{sUDL} =$	6,250 m

 $\eta_{max} = 1,0$ 
 $\eta_2 = 0,663$ 
 $A = 3,363$  m

**Smyková síla**

$V_{TS2,Z} =$	<b>45,073 kN/m'</b>	$V_{UDL2,Z} =$	<b>9,600 kN/m'</b>
---------------	---------------------	----------------	--------------------

**Dimenzační momenty pruhů 1, 2 a Z - TS a UDL**

$c_{TS,1-2} =$	5,945 m		
$m_{TS,1+2} =$	293,745 kNm/m'	$m_{TS,2+1} =$	244,91 kNm/m'
$m_{TS} =$	<b>293,745 kNm/m'</b>		
$c_{UDL,1-2} =$	4,0 m		
$m_{UDL,1+2} =$	91,780 kNm/m'	$m_{UDL,2+1} =$	63,65 kNm/m'
$m_{UDL} =$	<b>91,780 kNm/m'</b>		
$M_{LMI} =$	<b>385,525 kNm/m'</b>		

**Dimenzační smykové síly pruh 1, 2 a Z - TS a UDL**

$c_{1-2TS} =$	3,293 m		
$v_{TS,1+2} =$	104,468 kNm/m'	$v_{TS,2+1} =$	76,6361 kNm/m'
$v_{TS} =$	<b>104,468 kN/m'</b>		
$c_{UDL,1-2} =$	4,0 m		
$v_{UDL,1+2} =$	30,593 kNm/m'	$v_{UDL,2+1} =$	21,217 kNm/m'
$v_{UDL} =$	<b>30,593 kN/m'</b>		
$V_{LMI} =$	<b>135,062 kN/m'</b>		

**2.3.2 - Model LM2**
**a) Ohybové namáhání**
**b) Smykové namáhání**
**Roznášecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky**

$b_{pod.} =$	2,827 m	$b_{pod.} =$	2,827 m
$b_s =$	6,115 m	$b_s =$	4,586 m

**Pořadnice příčinkové čáry**

$\eta_{max} =$	3	$\eta_{max} =$	1
$\eta_1 = \eta_2 =$	2,293	$\eta_2 =$	0,764
A =	7,482 m	A =	2,494
<b>M =</b>	<b>138,499 kNm/m'</b>	<b>V =</b>	<b>61,558 kN/m'</b>

**2.3.3 - Model LM3 - Zvláštní vozidlo 1: 900/150**
**PRUH 1**
**Ohybové namáhání TS**
**Smykové namáhání TS**

Nápravové síly:

 Roznášecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky

$b_{pod.TS1} =$	10,135 m	$b_{pod.TS1} =$	10,135 m
$b_{sTS1} =$	6,370 m	$b_{sTS1} =$	6,059 m

**Pořadnice příčinkové čáry**

$\eta_{max} =$	3	$\eta_{max} =$	1
$\eta_1 = \eta_2 =$	0,466	$\eta_2 =$	0,155
A =	17,565 m	A =	5,855
<b>Ohybový moment</b>	<b><math>M_{900/150} = 244,869</math> kNm/m'</b>	<b>Smyková síla</b>	<b><math>V_{900/150} = 85,8124</math> kN/m'</b>

**2.3.4 - Model LM3 - Zvláštní vozidlo 1: 1800/200**
**PRUH 1**
**Ohybové namáhání TS**
**Smykové namáhání TS**

Nápravové síly:

 Roznášecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky

$b_{pod.TS1} =$	12,0 m	$b_{pod.TS1} =$	12,0 m
$b_{sTS1} =$	6,370 m	$b_{sTS1} =$	6,370 m

Ohybový moment

Smyková síla

<b><math>M_{1800/200} = 423,862</math> kNm/m'</b>	<b><math>V_{1800/200} = 141,287</math> kN/m'</b>
---	--

**PRUH 2 a Z**
**Ohybové a Smykové namáhání TS a UDL**

Ohybové momenty pro 6.10 a)      Smykové síly pro 6.10a)

$b_{sTS} =$	7,229 m	$b_{sTS} =$	5,903 m
$b_{sUDL} =$	6,250 m	$b_{sUDL} =$	6,250 m
<b><math>M_{TS2,Za} = 82,81228</math> kNm/m'</b>	<b><math>V_{TS2,Za} = 33,805</math> kN/m'</b>	<b><math>M_{UDL2,Za} = 11,52</math> kNm/m'</b>	<b><math>V_{UDL2,Za} = 3,840</math> kN/m'</b>

**Dimenzační momenty a smykové síly pro 6.10 a)**

$c_{TS,1-2} =$	6,089 m	$c_{TS,1-2} =$	6,089 m
$m_{TS,1+2} =$	499,677 kNm/m'	$v_{TS,1+2} =$	172,236 kN/m'
$m_{TS,2+1} =$	391,1998 kNm/m'	$v_{TS,2+1} =$	184,286 kN/m'
<b><math>m_{TS} =</math></b>	<b>499,677 kNm/m'</b>	<b><math>v_{TS} =</math></b>	<b>184,286 kN/m'</b>
$c_{UDL,1-2} =$	5,120 m	$c_{UDL,1-2} =$	5,120 m
$m_{UDL,1+2} =$	431,602 kNm/m'	$v_{UDL,1+2} =$	143,867 kNm/m'
$m_{UDL,2+1} =$	305,581 kNm/m'	$v_{UDL,2+1} =$	101,860 kNm/m'
<b><math>m_{UDL} =</math></b>	<b>431,602 kNm/m'</b>	<b><math>v_{UDL} =</math></b>	<b>143,867 kNm/m'</b>
<b><math>M_{LM3} =</math></b>	<b>507,417 kNm/m'</b>	<b><math>V_{LM3} =</math></b>	<b>186,866 kNm/m'</b>

**Ohybové momenty pro 6.10 b)      Smykové síly pro 6.10b)**

<b><math>M_{TS2,zb} =</math></b>	<b>110,416 kNm/m'</b>	<b><math>V_{TS2,zb} =</math></b>	<b>45,073 kN/m'</b>
<b><math>M_{UDL2,zb} =</math></b>	<b>28,800 kNm/m'</b>	<b><math>V_{UDL2b} =</math></b>	<b>9,6 kN/m'</b>

**Dimenzační momenty a smykové síly pro 6.10 b)**

$c_{TS,1-2} =$	6,089 m	$c_{TS,1-2} =$	4,773 m
$m_{TS,1+2} =$	524,948 kNm/m'	$v_{TS,1+2} =$	168,290 kN/m'
$m_{TS,2+1} =$	418,804 kNm/m'	$v_{TS,2+1} =$	140,959 kN/m'
<b><math>m_{TS} =</math></b>	<b>524,948 kNm/m'</b>	<b><math>v_{TS} =</math></b>	<b>168,290 kN/m'</b>
$c_{UDL,1-2} =$	5,120 m	$c_{UDL,1-2} =$	5,120 m
$m_{UDL,1+2} =$	443,213 kNm/m'	$v_{UDL,1+2} =$	147,738 kNm/m'
$m_{UDL,2+1} =$	322,861 kNm/m'	$v_{UDL,2+1} =$	107,620 kNm/m'
<b><math>m_{UDL} =</math></b>	<b>443,213 kNm/m'</b>	<b><math>v_{UDL} =</math></b>	<b>147,738 kNm/m'</b>
<b><math>M_{LM3} =</math></b>	<b>544,299 kNm/m'</b>	<b><math>V_{LM3} =</math></b>	<b>174,741 kNm/m'</b>

**2.3.5 - Model LM3 - Zvláštní vozidlo 1: 3000/240**
**PRUH 1,2**
**Ohybové namáhání TS pro Pruh 1,2**
**Rozněšecí  $b_{r1}$  a vzdorující  $b_{s1}$  šířky**

$b_{pod.TS} =$	12,0 m	$b_{pod.TS} =$	12,0 m
$b_{sTS} =$	7,500 m	$b_{sTS} =$	7,500 m

**Ohybový moment      Smyková síla**

<b><math>M_{3000/240} =</math></b>	<b>240 kNm/m'</b>	<b><math>V_{300/240} =</math></b>	<b>80,000 kN/m'</b>
------------------------------------	-------------------	-----------------------------------	---------------------

### **3.1 - Rekapitulace vnitřních sil**

#### **1. Vlastní tíha**

Zatížení	Moment	Smyková síla
25	450	150

#### **2. Ostatní stálé**

Zatížení	Moment		Smyková síla	
	Supénum	Infimum	Supénum	Infimum
9,554	171,964	59,324	57,321	26,366

#### **3. LM1**

Zatížení	Moment	Smyková síla
21,418	385,52	135,06

#### **4. LM2**

Zatížení	Moment	Smyková síla
7,694	138,499	61,558

#### **5. LM3 - 1800/200**

Zatížení	Moment		Smyková síla	
	6.10a)	6.10b)	6.10a)	6.10b)
28,190	507,417	544,299	186,866	174,74

#### **6. LM3 - 3000/240**

Zatížení	Moment	Smyková síla
13,333	240,00	80,000

### **3.2 - Kombinace zatížení**

#### **3.2.1 - Teoretické vypočítané zatížení dle EN**

$$Q_{EN,TEORETICKÉ} = 62,743 \text{ kN/m/m'}$$

#### **3.2.2 - Kombinace - gr1a**

##### **Momenty**

$$6.10 \quad 1360,11$$

##### **Smykové síly**

$$6.10 \quad 462,2172$$

#### **3.2.3 - Kombinace - gr1b**

##### **Momenty**

$$6.10 \quad 1026,625$$

##### **Smykové síly**

$$6.10 \quad 362,9876$$

#### **3.2.3 - Kombinace - gr5**

##### **Momenty**

$$6.10 \text{ a) } \quad 1524,664$$

$$6.10 \text{ b) } \quad 1448,508$$

### Smykové síly

$$6.10 \text{ a) } \quad 532,1525$$

$$6.10 \text{ b) } \quad 473,8013$$

$$M = \quad 1524,664 \quad \text{kNm}$$

$$V = \quad 532,1525 \quad \text{kN}$$

### 3.3 - Koeficient poměru vypočtených zatížení

$$k = Q_{\text{ČSN,SKUTEČNÉ}} / Q_{\text{EN,TEORETICKÉ}}$$

#### Skutečné zatížení dle ČSN

$$Q_{\text{ČSN,SKUTEČNÉ}} = \quad \underline{\underline{46,410 \text{ kN/m/m}'}}$$

#### Teoretické zatížení dle EN

$$Q_{\text{EN,TEORETICKÉ}} = \quad \underline{\underline{62,743 \text{ kN/m/m}'}}$$

$$k = 46,410 / 62,743 = \quad 0,740$$

### 3.4 - Výsledné vnitřní síly

$$M_{\text{ED}} = k \cdot M = 0,740 \cdot 1524,664 = \quad 1127,76 \quad \text{kNm/m}'$$

$$V_{\text{ED}} = k \cdot V = 0,740 \cdot 532,153 = \quad 393,622 \quad \text{kN/m}'$$

## 4 Dimenzování - Mezní stav únosnosti

### 4.1 - Posouzení na ohyb

#### 4.1.1 - Materiál

#### Beton C12/15

#### Charakteristické hodnoty

$f_{ck}$	12,00	MPa	$\epsilon_{c1}$	1,80	‰
$f_{ck,cube}$	15,00	MPa	$\epsilon_{cu1}$	3,50	‰
$f_{cm}$	20,00	MPa	$\epsilon_{c2}$	2,00	‰
$f_{ctm}$	1,60	MPa	$\epsilon_{cu2}$	3,50	‰
$f_{ctk,0,05}$	1,10	MPa	$\eta$	2,00	‰
$f_{ctk,0,95}$	2,00	MPa	$\epsilon_{c3}$	1,75	‰
$E_{cm}$	27,00	GPa	$\epsilon_{cu3}$	3,50	‰

#### Návrhové hodnoty

$$\alpha_{cc} = \quad 0,85$$

$$\gamma_c = \quad 1,50$$

$$f_{cd} = \quad 6,8 \text{ MPa}$$

**Betonářská ocel B 206A**
**Charakteristické hodnoty**

$$f_{yk} = 206,00 \text{ Mpa}$$

$$E = 200,00 \text{ GPa}$$

**Návrhové hodnoty**

$$\gamma_s = 1,15 \quad e_s = 2,17 \text{ ‰}$$

$$f_{yd} = 179,13 \text{ MPa} \quad \Phi = 32 \text{ mm}$$

**4.1.2 - Krytí**

*Krytí je známé z výpočtů dle ČSN.*

$$c_{nom} = 25,00 \text{ mm}$$

**4.1.3 - Navržená výztuž**

$$\Phi = 32 \text{ mm}$$

$$a = 96 \text{ mm}$$

$$A_{st,prov} = 8,38E-03 \text{ m}^2$$

**4.1.4 - Ověření nutné plochy výztuže dle EC**

$$d_1 = c + \Phi/2 = 25 + 32/2 = 41 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 1000 - 41 = 959 \text{ mm}$$

$$A_{st,req} = 7,296E-03 \text{ m}^2 < A_{st,prov} = 8,378E-03$$

**VYHOVUJE PODMÍNCE**

**4.1.5 - Stupeň vyztužení**

$$\rho_{st} = 8,736E-03 < 3,00E-02$$

$$> 1,93E-03$$

**4.1.6 - Ověření míry vyztužení**

$$A_{st,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot F_{ctm} / f_{yk} = 1,937E-03 \text{ m}^2$$

$$A_{st,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 1,247E-03 \text{ m}^2$$

$$A_{st,max} = 0,04 \cdot A_C = 3,836E-02 \text{ m}^2$$

**VYHOVUJE PODMÍNCE**

**4.1.7 - Ověření přetvoření výztuže**

$$x = 0,276 \text{ m}$$

$$x_c = 0,221 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{S1} = 8,667 \text{ ‰} > f_{yd}/E_s = 0,896$$

**VYHOVUJE, VÝZTUŽ JE PLNĚ VYUŽITÁ**

**4.1.8 - Moment únosnosti**

$$z_c = 0,849 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = 1273,561 \text{ kNm} > M_{Ed} = 1127,76 \text{ kNm}$$

**VYHOVUJE**

**4.2.2 - Návrh smykové výztuže**

Navrhují spony

$$\Phi = 14 \text{ mm}$$

$$a = 280 \text{ mm}$$

$$A_{Sw} = 5,498E-04 \text{ m}^2$$

#### 4.2.3 - Posouzení smykové výztuže

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

$$z = 0,9 \cdot d = 863,1 \text{ mm}$$

$$f_{ywd} = f_{yd} = 179,13 \text{ MPa}$$

$$\cot\theta = 1,7$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$s = 280 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,s} = 516,0708 \text{ kN/m'}$$

$$\underline{\underline{V_{Rd,s} = 516,0708 \text{ kN/m'} > V_{Ed} = 393,622 \text{ kN/m'}}$$

**VYHOVÍ**

#### 4.2.4 - Kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot L_{b,rqd} > l_{bd,min}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 1,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot A_{s,req} / A_{s,prov} = 155,996 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \Phi/4 \cdot \sigma_{sd}/f_{bd} = 756,343 \text{ mm}$$

$$\text{tah: } l_{b,min} = 320 \text{ mm}$$

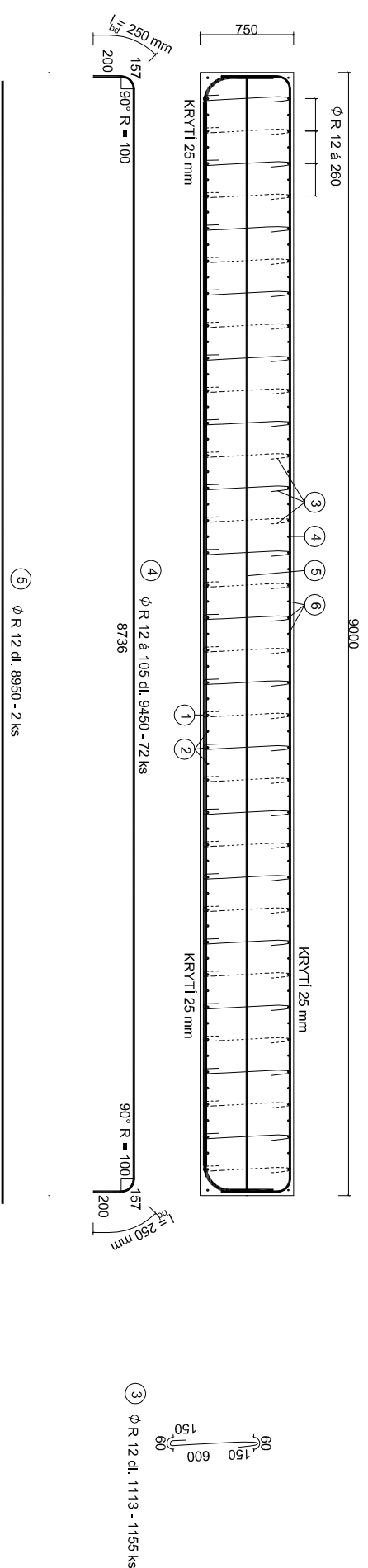
$$\text{tlak: } l_{b,min} = 453,806 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 529,4401 \text{ mm} > l_{b,min} = 453,806 \text{ mm}$$

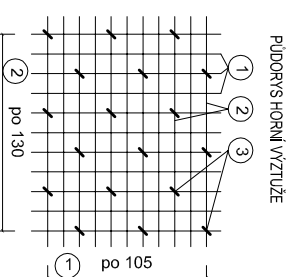
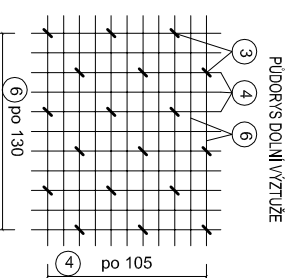
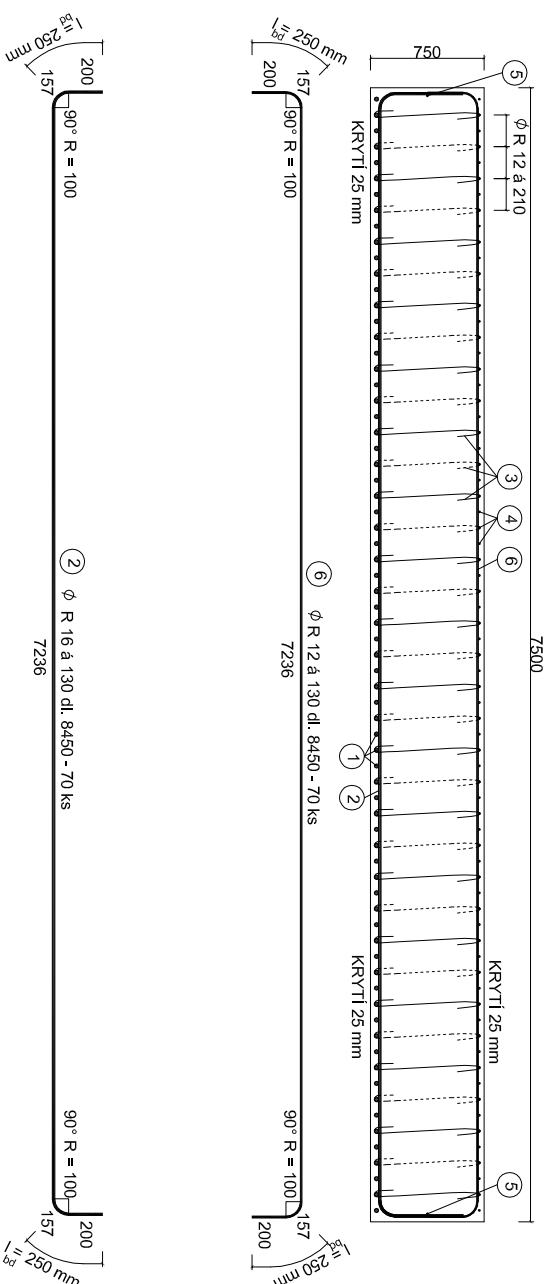
$$\text{Volím: } l_{bd} = 550 \text{ mm}$$



## Podélný řez mostem o rozpětí 9 m (1:50)



## Příčný řez mostem o rozpětí 9 m (1:50)



Číslo:	Ø	Délka:	ks:	Délka celkem (m):			
				ØR28	ØR16	ØR12	
1	28	9950	72	716,40			
2	16	8450	70		591,5		
3		1113	1155			1285,5	
4	12	9450	72			716,4	
5		8950	2			17,9	
6		8450	70			591,5	
Celkem:				m	716,4	591,5	2611,3
Celkem:				kg/m	4,834	1,578	0,888
Celkem:				kg	3463,1	933,4	2318,8
Celkem:					6715,3kg		

30% SPOJŮ SVARIT

KRYTÍ: minimální 13 mm

imenovité 25 mm

STUPEŇ VLIVU PROTŘEDÍ: X01

BETON C 12/15

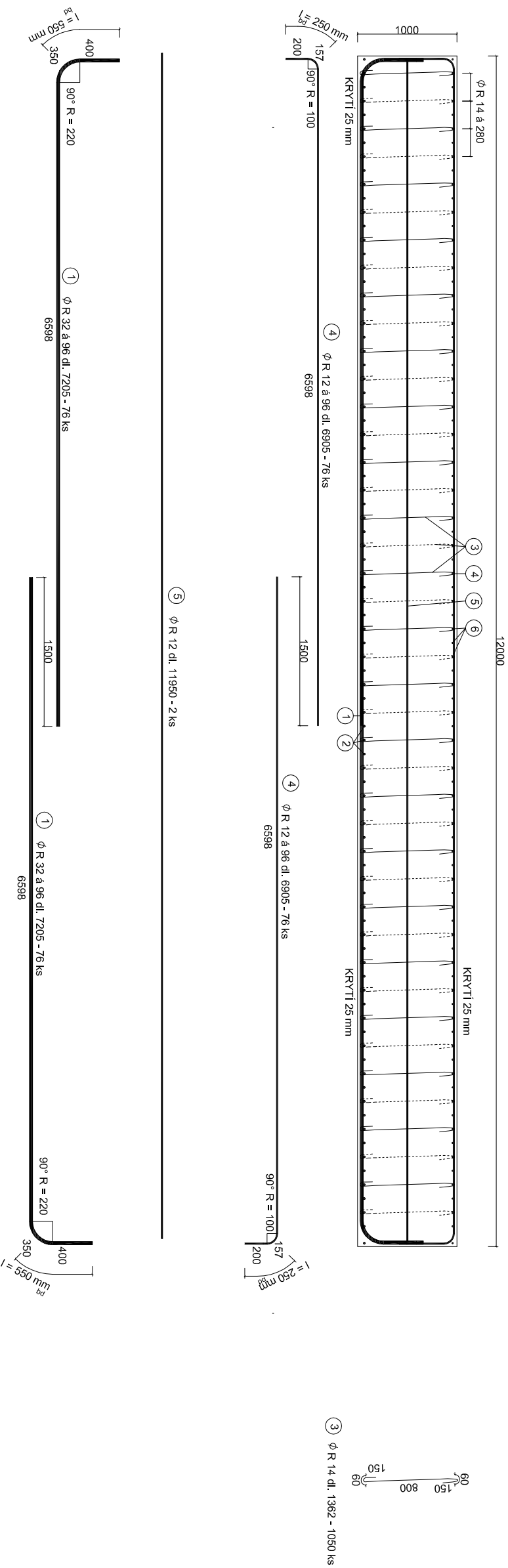
KONZISTENCE BET. SMĚSI: S2

VÝZTUŽ: B 206 A

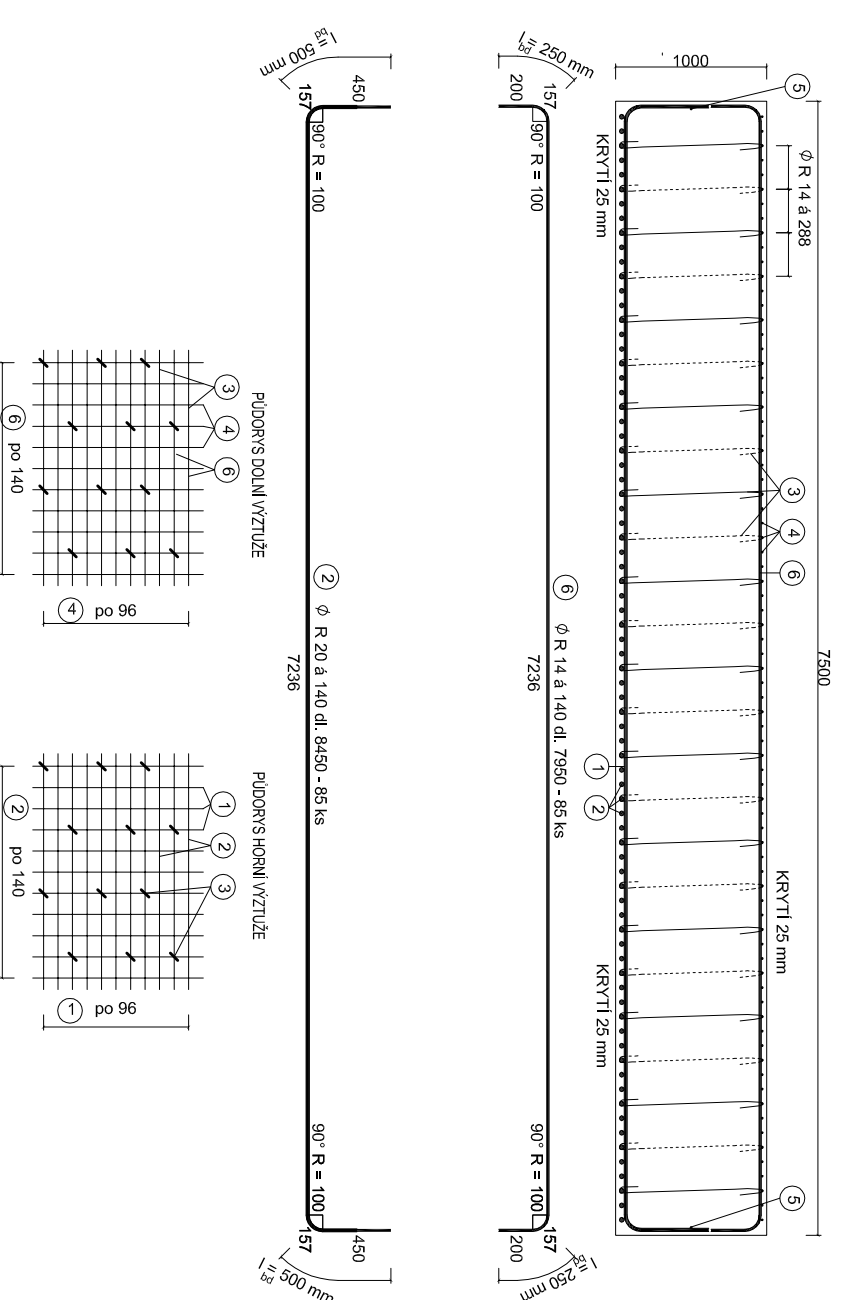
DIMENZOVÁNO DLE ČSN 1915-1935

NAVŘEL, VYPRACOVAL	ONDŘEJ LULIAK		
KRESLIL, PSAL	ONDŘEJ LULIAK		
KONTROLOVAL			
OKRESNÍ ÚŘAD:	M. ÚŘAD:		
INVESTOR:	ÚČEL:		
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			
VÝPOČET PŮVODNÍHO DESKOVÉHO MOSTU			
VFKRES VÝZTUŽE	ČÁST DOKUMENTACE:		
VUT FAST		FORMÁT: A3	DATAUM: 23.3.2011
VUT FAST		MĚŘÍTKO: 1:50	
VUT FAST		ČÍS. ARCHIVNÍ:	
VUT FAST		SOUPRÁVA:	ČÍS. VÝKRESU: 02

## Podélný řez mostem o rozpětí 12 m (1:50)



## Příčný řez mostem o rozpětí 12 m (1:50)



Číslo:	Ø	Délka:	ks:	Délka celkem (m):
1	32	7205	152	ØR32 ØR20 ØR14 ØR12
2	20	8450	85	1095,2
3	14	1362	1050	718,25
4	12	6905	152	1430,1
5	12	11950	2	1095,2
6	12	8450	85	23,9
Celkem:				718,25
Celkem:				1095,2
Celkem:				2525,3
Celkem:				742,15
Celkem:				6,313
Celkem:				2,466
Celkem:				1,208
Celkem:				0,888
Celkem:				6913,7
Celkem:				1771,2
Celkem:				3050,5
Celkem:				6599,0
Celkem:				12 394,5 kg

30% SPOJU SVARIT  
 KRYTI: minimální 11 mm  
 jmenovité 25 mm  
 STUPEŇ VLIUVU PROTŘEDI: X01  
 BETON C 12/15  
 KONZISTENCE BET. SMĚSI: S2  
 VÝZTUŽ: B 206 A  
 DIMENZOVÁNO DLE ČSN 1915-1935

NAVRHL. VYPRACOVAL.	ONDŘEJ LULIAK	ADRESA:	VUT FAST
KRESIL. PSAJ.	ONDŘEJ LULIAK	FORMÁT: A3	DATAUM: 23.3.2011
KONTROLOVAL.		MĚŘITKO: 1:50	ČÍS. ARCHIVNÍ:
OKRESNÍ ÚŘAD:	M. ÚŘAD:	ČÍS. ARCHIVNÍ:	ČÍS. VÝKRESU: 03
INVESTOR:	ÚČEL:	SOUPRÁVA:	
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			
VÝPOČET PŮVODNÍHO DESKOVÉHO MOSTU			
VÝKRES VÝZTUŽE		ČÁST DOKUMENTACE:	