

VZOROVÝ PŘÍKLAD VÝPOČTU

ZATÍŽITELNOSTI MOSTU

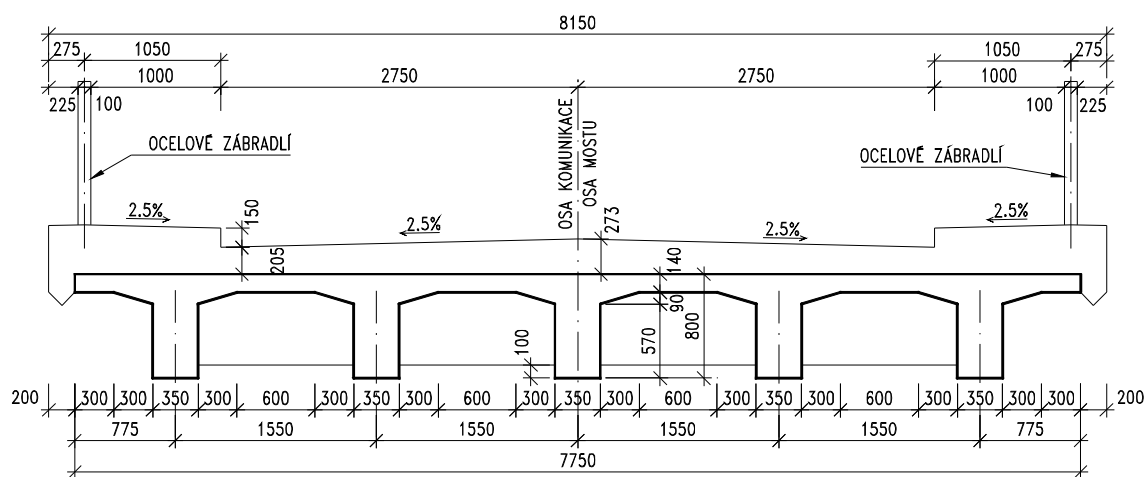
POPIS KONSTRUKCE

Mostní konstrukce pochází z roku 1939. Most je tvořen jedním prostým trámovým polem o rozpětí 10m uloženým na ocelových ložiscích na úložných prazích masivních betonových opěr. Na mostě je vozovka šířky 5,5 m a oboustranné chodníky šířky 2 x 1,0 m. Příčný řez je tvořen pěti trámy výšky 0,8 m spojenými monolitickou železobetonovou deskou mostovky tloušťky 0,14 m. Příčný řez je ztužen pěti příčníky výšky 0,7 m, dvěma nad úložnými přímkami a třemi v poli. Římky jsou betonové monolitické se zábradlím výšky 1,1 m. Dispozice mostu je patrná z obrázků.

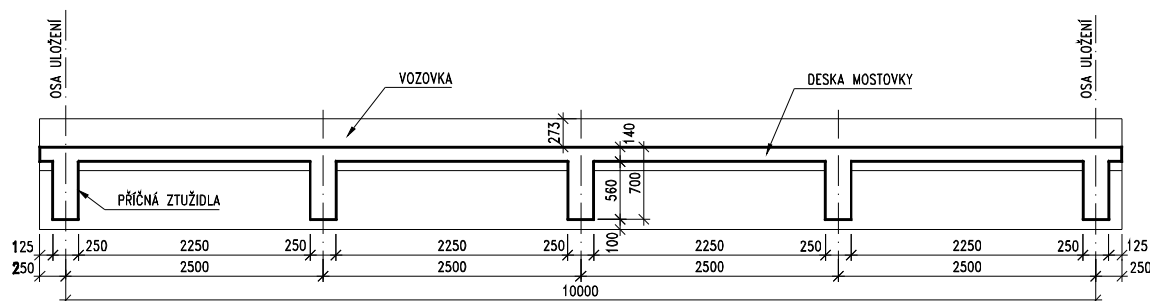
Beton použitý při stavbě mostu je značky 250 (druh f), betonářská výztuž je třídy C37.

Pro přepočet zatížitelnosti předpokládáme, že skladba vozovky i prostorové uspořádání na mostě je původní a nebude se měnit. Na základě odborné prohlídky mostu byly zjištěny pouze závady neovlivňující zatížitelnost (klasifikační stupeň stavu mostu je III), a proto nebude zatížitelnost redukována.

USPOŘÁDÁNÍ KONSTRUKCE



Příčný řez



Podélný řez

ODHAD ZATÍŽITELNOSTI PODLE TABULEK

K odhadu zatížitelnosti použijeme odhadových tabulek z ČSN 73 6220, které jsou uvedeny např. ve skriptech Betonové mosty (zatížitelnost) – doplňkové skriptum, V.Hrdoušek, V.Kukaň (str.:59-63). Tabulky jsou též ke stažení na stránkách předmětu BEM1 v části ÚKOLY. K roku realizace mostu (1939), předpokládáme použitou návrhovou normu (v našem případě z r.1937) a odečteme odhad zatížitelnosti mostu pro každý její druh.

Zatížitelnost		Hodnota
Normální	V_n	16,2 t
Výhradní	V_r	36,5 t
Výjimečná	V_e	139,3 t
Výhradní „reálná“	„ V_r “	36,5 t

Pozn. : Výhradní zatížitelnost je maximální hmotnost jediného čtyřnápravového vozidla na mostě. Zatížitelnost výhradní „reálná“ je maximální hmotnost jediného dvou- nebo třínápravového vozidla na mostě.

ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

Vzhledem k datu postavení budeme považovat za návrhovou normu předpis ČSN 1230 – 1937 – „Jednotný mostní řád“ a podle toho budeme na konstrukci uvažovat původní zatížení. Současně platné zatížení potom určíme dle normy ČSN 73 6220 – 1996 – Zatížení mostů, resp. ČSN 73 6222 – Zatížitelnost mostů pozemních komunikací.

ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Zatížení stálé je představováno jednak zatížením vlastní tíhou konstrukce a jednak zatížením ostatním stálým, tedy celkovou tíhou mostního svršku a vybavení mostu.

Zatížení vlastní tíhou mostu :

Deska mostovky	$0,14 \cdot 7,75 \cdot 25 = 27,1 \text{ kN/m}$
Náběhy	$5 \cdot 0,3 \cdot 0,09 \cdot 25 = 3,4 \text{ kN/m}$
Trámy	$5 \cdot 0,35 \cdot 0,66 \cdot 25 = 28,9 \text{ kN/m}$
Celkem	59,4 kN/m

Zatížení ostatní stálé :

Žulová dlažba	$0,1 \cdot 26 = 2,6 \text{ kN/m}^2$
Pískový podsyp	$0,04 \cdot 18 = 0,7 \text{ kN/m}^2$
Izolace + cem.potěr	$0,03 \cdot 23 = 0,7 \text{ kN/m}^2$
Vyrovnávací beton	$0,08 \cdot 23 = 1,7 \text{ kN/m}^2$
Celkem vozovka	14,3 kN/m²
Chodník + římsa	$0,36 \cdot 24 = 8,6 \text{ kN/m}^2$

ZATÍŽENÍ DLE ČSN 1230 – 1937

Podle ČSN 1230 určíme z celkového zatížení na konstrukci dynamický součinitel, kterým budeme zatížení dopravou násobit, abychom zahrnuli vliv dynamického chování vozidla a nemuseli provádět dynamický výpočet. Dynamický součinitel byl v normovém předpisu z roku 1937 dán vztahem :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{G}{Q}},$$

kde L je rozpětí konstrukce

G je součet veškerého stálého zatížení na mostě

Q je součet veškerého nahodilého zatížení na mostě

Dále tedy určíme zatížení na mostě, která ke zjištění dynamického součinitele potřebujeme :

Zatížení vlastní tíhou mostu	
Deska mostovky	$27,1 \cdot 10 = 271,0 \text{ kN}$
Náběhy	$3,4 \cdot 10 = 34,0 \text{ kN}$
Trámy	$28,9 \cdot 10 = 289,0 \text{ kN}$
Celkem	594,0 kN

Zatížení ostatní stálé	
Žulová dlažba	$2,6 \cdot 5,5 \cdot 10 = 143,0 \text{ kN}$
Pískový podsyp	$0,7 \cdot 5,5 \cdot 10 = 38,5 \text{ kN}$
Izolace + cem.potěr	$0,7 \cdot 5,5 \cdot 10 = 38,5 \text{ kN}$
Vyrovnávací beton	$1,73 \cdot 5,5 \cdot 10 = 95,2 \text{ kN}$
Celkem	315,2 kN
Chodník + římsa	$2 \cdot 8,6 \cdot 1,325 \cdot 10 = 229,0 \text{ kN}$
Celkem	544,2 kN

Celkem zatížení stálé :

$$594 + 544,2 = \underline{\underline{1138,2 \text{ kN}}}$$

Zatížení nahodilé :

$$\text{Alt. a)} \quad 240 + 2 \cdot 5,0 \cdot 1 \cdot 10 = 240 + 100 = \underline{\underline{340 \text{ kN}}}$$

$$\text{Alt. b)} \quad 240 + 2 \cdot 37,5 \cdot 0,5 + 2 \cdot 25 \cdot 3 + 12,5 \cdot 3 = 240 + 225 = \underline{\underline{465 \text{ kN}}}$$

$$\text{Alt. c)} \quad (5,5 + 2 \cdot 1) \cdot 10 \cdot 5,0 = \underline{\underline{375 \text{ kN}}}$$

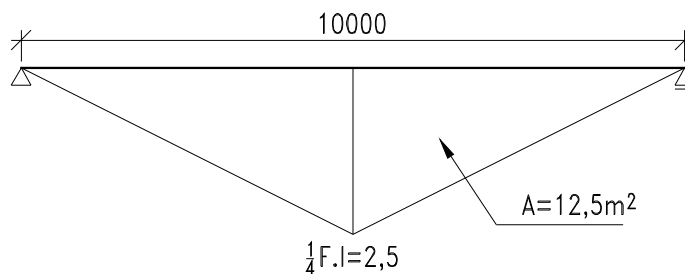
Rozhoduje tedy Alt.b), jeden nákladní automobil v každém pruhu a rovnoměrné zatížení na zbytku plochy mostu.

Nakonec vyčíslíme hodnotu dynamického součinitele (p značí „původní“ normu):

$$\delta_p = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{G}{Q}} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \cdot 10} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{1138,2}{465}} = 1 + 0,133 + 0,056 = \underline{\underline{1,189}}$$

VNITŘNÍ SÍLY – PODÉLNÝ SMĚR

Pomocí příčinkové čáry určíme momenty od nahodilého zatížení v polovině rozpětí prostého nosníku délky 10,0 m. Při výpočtu zatížení se nedbá odlehčujících účinků zatížení, tj. účinků zatížení působícího na částech příčinkové čáry zkoumané veličiny s opačným znaménkem. V našem případě by se jednalo o převislé konce za ložisky konstrukce, jejichž zatížení by moment uprostřed rozpětí zmenšovalo. Zatížení se umístí do nejučinnější polohy např. užitím winklerova kritéria.

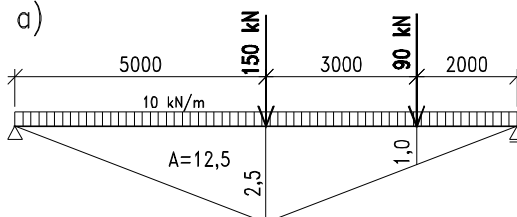


Příčinková čára momentu uprostřed rozpětí na prostém nosníku

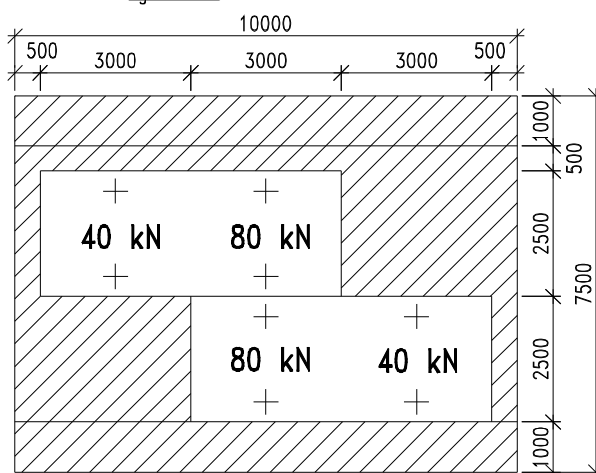
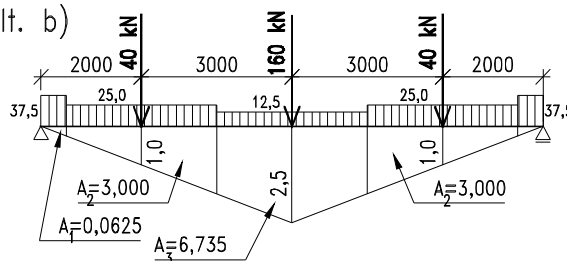
ČSN 1230 (1937) – „JEDNOTNÝ MOSTNÍ ŘÁD“

Alternativy zatížení – Třída mostu I :

Alt. a)



Alt. b)



- a) *Strojní válec 24t + rovnoměrné zatížení chodníků 5 kN/m² (pro rozpětí hlavních nosníků $l \leq 30m$).*

$$q_{Chodn.} = 5 \cdot 2 \cdot 1,0 = \underline{10 \text{ kN/m}}$$

$$M_{Ch} = 10 \cdot 12,5 = \underline{125 \text{ kNm}}$$

$$M_V = 150 \cdot 2,5 + 90 \cdot 1,0 = \underline{465 \text{ kNm}}$$

$$M_a = M_V + M_{Ch} = 465 + 125 = \underline{590 \text{ kNm}}$$

- b) *Jeden nákladní automobil (12t) v každém jízdním pruhu šířky 2,5m a rovnoměrné zatížení 5 kN/m² na zbývající ploše vozovky a chodnicích.*

Zatížení nákladními automobily :

$$M_{NA} = 40 \cdot 1,0 + 160 \cdot 2,5 + 40 \cdot 1,0 = \underline{480 \text{ kNm}}$$

Rovnoměrné zatížení 5 kN/m^2 :

$$\begin{aligned} q_1 &= 5,0 \cdot 7,5 = \underline{37,5 \text{ kN/m}} & M_{RZ,1} &= 2 \cdot 37,5 \cdot 0,0625 = \underline{4,7 \text{ kNm}} \\ q_2 &= 5,0 \cdot 5,0 = \underline{25,0 \text{ kN/m}} & M_{RZ,2} &= 2 \cdot 25,0 \cdot 3,0 = \underline{150,0 \text{ kNm}} \\ q_3 &= 5,0 \cdot 2,5 = \underline{12,5 \text{ kN/m}} & M_{RZ,3} &= 2 \cdot 12,5 \cdot 3,75 = \underline{79,7 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

Celkem 234,4 kNm

$$M_b = M_{NA} + M_{RZ} = 480 + 234,4 = \underline{714,4 \text{ kNm}}$$

c) **Rovnoměrné zatížení 5 kN/m^2 vozovky i chodníků na mostě.**

$$\begin{aligned} q_1 &= 5,0 \cdot 7,5 = \underline{37,5 \text{ kN/m}} \\ M_c &= 37,5 \cdot 12,5 = \underline{468,8 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

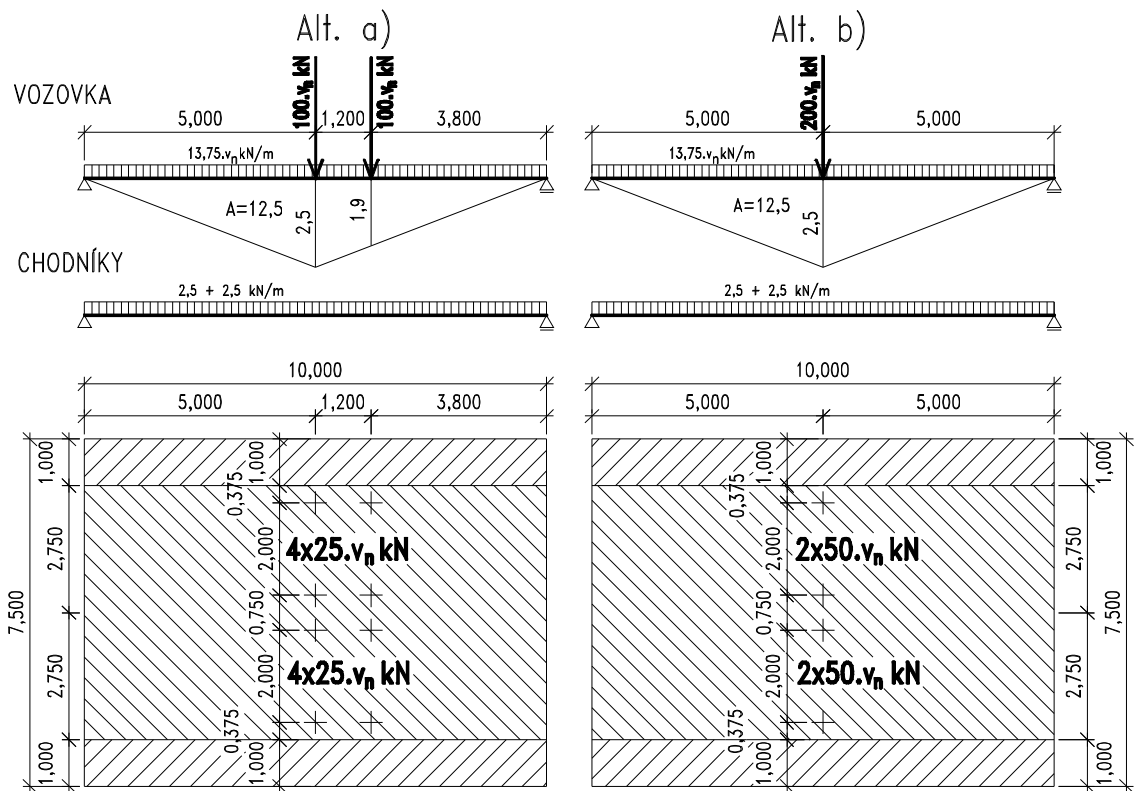
MAXIMÁLNÍ MOMENT V L/2 NA CELOU ŠÍŘKU MOSTU :

Pro maximální moment uprostřed rozpětí rozhoduje alternativa b)

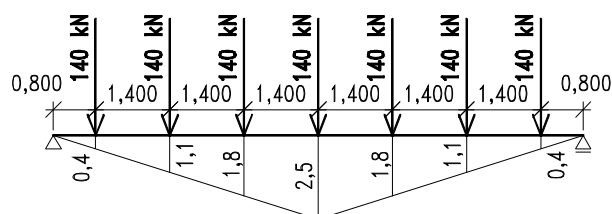
$$M_{max} = \delta_p \cdot M_b = 1,189 \cdot 714,4 = \underline{849,4 \text{ kNm}}$$

ČSN 73 6222 (2009) – „ZATÍŽITELNOST MOSTŮ PK“

Alternativy zatížení podle ČSN 73 6222 :

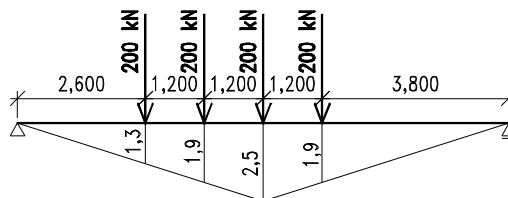


Seskupení zatížení pro stanovení normální zatížitelnosti

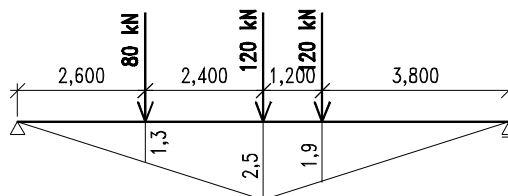


Seskupení zatížení pro stanovení výjimečné zatížitelnosti

4 NV



3 NV



Seskupení zatížení pro stanovení výhradní zatížitelnosti

Počet a šířka zatěžovacích pruhů (ČSN EN 1991-2) :

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

POZNÁMKA :
Pro uvedený příklad šíře vozovky 5,5m → počet pruhů $n_l=2$ šíře 2,75m (5,5/2), šířka zbývajících plochy je 0m.

a) **Rovnoměrné zatížení vozovky ($2,5 v_n$) :**

$$M_{qp.} = 2,5 \cdot 5,5 \cdot 12,5 = \underline{\underline{171,88 \text{ v}_n \text{ kNm}}}$$

b) **Vozidla :**

$$\text{Alternativa a) – 3NV: } M_{a..} = 100 \text{ v}_n \cdot (2,5 + 1,9) = \underline{\underline{440 \text{ v}_n \text{ kNm}}}$$

$$\text{Alternativa b) – 2NV: } M_{a..} = 200 \text{ v}_n \cdot 2,5 = \underline{\underline{500 \text{ v}_n \text{ kNm}}}$$

c) **Chodníky na mostě (pro kombinaci se zatížením vozovky):**

Podle ČSN 73 6222 je $q_{ch} = 2,5 \text{ kN/m}^2$, tedy pro jeden zatížený chodník:

$$M_{ch} = 2,5 \cdot 1,0 \cdot 12,5 = \underline{\underline{31,25 \text{ kNm}}}$$

d) **Čtyřnápravové vozidlo (4NV) :**

$$M_{4NV} = 200 \cdot (1,3 + 1,9 + 2,5 + 1,9) = \underline{\underline{1520,0 \text{ kNm}}}$$

e) **Zvláštní souprava (ZVLS) :**

$$M_{ZVLS} = 140 \cdot (0,4 + 1,1 + 1,8 + 2,5 + 1,8 + 1,1 + 0,4) = \underline{\underline{1274,0 \text{ kNm}}}$$

f) **Třinápravové vozidlo (3NV) :**

(Stejné schéma zatížení jako v ČSN 73 6220, jiný součinitel δ !)

$$M_{3NV} = 80 \cdot 1,3 + 120 \cdot (2,5 + 1,9) = \underline{\underline{632,0 \text{ kNm}}}$$

Dynamický součinitel :

Podle ČSN 73 6222 se dynamický součinitel určí v závislosti na náhradní délce (v tomto případě rozpětí). Pro $L_d = 10,0 \text{ m}$ (n značí „novou“ normu) :

- normální zatížitelnost, zatíženy 2 pruhy $\delta_n = \delta_2 = 1,20$
- normální zatížitelnost, jediné vozidlo $\delta_n = \delta_1 = 1,25$
- výjimečná zatížitelnost $\delta_n = 1,05$
- zatížení chodníků $\delta_n = 1,00$

Pozn.: Určení δ_i viz skripta „Betonové mosty (Zatížitelnost)...“, str.: 10, kap. 2.2.2

ZATÍŽITELNOST NA CELOU ŠÍŘKU MOSTU

Určení zatížitelnosti na celou šířku mostu provedeme porovnávacím statickým výpočtem, tj. porovnáním účinků zatížení podle původní návrhové normy ($M_{P\dot{u}v.}$) a normy současně platné ($M_{Souč.}$) vztaženými na celou šířku mostu. Při určení zatížitelnosti vyjdeme z následující podmínky spolehlivosti :

$$M_{P\dot{u}v.} \geq M_{Souč.}$$

Dále musíme do zatížitelnosti spočtené dle tohoto vztahu zahrnout vliv stavebního stavu konstrukce α , který byl zjištěn prohlídkou (v našem případě je $\alpha = 1,0$, protože stavební stav nosné konstrukce neovlivňuje zatížitelnost). A také vliv použité návrhové normy, resp. vliv použitých návrhových charakteristik materiálů, součinitel β . Ten je v našem případě též roven 1,0. Uvedené vlivy zavedeme do zatížitelnosti mostu prostým vynásobením s vypočtenou zatížitelností, tedy :

$$V_{Výsl.} = V \cdot \alpha \cdot \beta$$

a) Normální zatížitelnost

Alternativa a) – 3NV :

$$\begin{aligned}\delta_p \cdot M_{PN,p} &= \delta_n \cdot M_{qv} + \delta_n \cdot M_a + M_{ch} \\ 849,4 &= 1,20 \cdot 171,88 v_n + 1,20 \cdot 440 v_n + 2 \cdot 31,25 \rightarrow v_n = 1,072 \text{ kN/m}^2 \\ V_a &= 100 \cdot v_n = 107,2 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$V_{nw} = \frac{4}{3} \cdot 107,2 = 142,9 \text{ kN} \rightarrow V_n = \underline{\underline{14,3 \text{ t}}}$$

Alternativa b) – 2NV :

$$\begin{aligned}\delta_p \cdot M_{PN,p} &= \delta_n \cdot M_{qv} + \delta_n \cdot M_a + M_{ch} \\ 849,4 &= 1,20 \cdot 171,88 v_n + 1,20 \cdot 500 v_n + 2 \cdot 31,25 \rightarrow v_n = 0,976 \text{ kN/m}^2 \\ V_a &= 100 \cdot v_n = 97,6 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$V_{nw} = \frac{4}{3} \cdot 97,6 = 130,1 \text{ kN} \rightarrow V_n = \underline{\underline{13,0 \text{ t}}}$$

Normální zatížitelnost se musí uvažovat hodnotou $V_n = 13,0 \text{ t}$, určenou pro dvounápravové vozidlo (2NV) – alternativa b), protože není překročena maximální možná hmotnost 2NV rovná 16-ti tunám.

b) Výhradní zatížitelnost

Třínápravové vozidlo – 3NV :

$$\begin{aligned}\delta_p \cdot M_{PN,p} &= \delta_n \cdot M_{3NV,1} \cdot V_{rw} + M_{ch} \\ \delta_n \cdot M_{3NV,1} &= 1,25 \cdot \frac{632,0}{320,0} = \underline{\underline{2,469 \text{ kNm/kN}}} \\ 849,4 &= 2,469 \cdot V_{rw} + 2 \cdot 31,25 \rightarrow V_{rw} = 318,7 \text{ kN} \\ V_{r,3NV} &= \underline{\underline{31,9 \text{ t}}}\end{aligned}$$

Čtyřnápravové vozidlo – 4NV :

$$\begin{aligned}\delta_n \cdot M_{PN,p} &= \delta_n \cdot M_{4NV,1} \cdot V_{rw} + M_{ch} \\ \delta_n \cdot M_{4NV,1} &= 1,25 \cdot \frac{1520,0}{800,0} = \underline{\underline{2,375 \text{ kNm/kN}}} \\ 849,4 &= 2,375 \cdot V_{rw} + 2 \cdot 31,25 \rightarrow V_{rw} = 331,3 \text{ kN} \\ V_{r,4NV} &= \underline{\underline{33,1 \text{ t}}}\end{aligned}$$

Výhradní zatížitelnost se musí uvažovat hodnotou $V_r = 31,9 \text{ t}$, určenou pro třínápravové vozidlo (3NV) – alternativa a), protože není překročena maximální možná hmotnost 3NV rovná 32 tunám.

c) Výjimečná zatížitelnost

$$\delta_n \cdot M_{e,1} = 1,05 \cdot \frac{1}{14} \cdot (2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 1,1 + 2 \cdot 1,8 + 2,5) = 0,6825 \text{ kNm/kN}$$

$$\delta_p \cdot M_{PN,p} = \delta_n \cdot M_{e,1} \cdot V_{ew}$$

$$849,4 = 0,6825 \cdot V_{ew} \rightarrow V_{ew} = 1244,5 \text{ kN}$$

$$V_e = \underline{\underline{124,5 \text{ t}}}$$

Zatížitelnost		Podle tabulek	Na celou šířku	Poměr
Normální	V_n	16,2 t	13,0 t	0,80
Výhradní	V_r	36,5 t	31,3 t	0,86
Výjimečná	V_e	139,3 t	124,5 t	0,89

ROZNÁŠENÍ ZATÍŽENÍ V PŘÍČNÉM SMĚRU

Pomocí příčinkové čáry příčného roznášení určíme podíl zatížení připadající na jednotlivé nosníky v příčném řezu. Nejprve určíme tuhost nosníkového roštu, která rozhoduje o tom, zda-li budeme moci použít roznášení v příčném směru dle nekonečně tuhého ztužidla. Tuhost nosníkového roštu určíme z následujícího vztahu :

$$z = \frac{L^3}{8 \cdot a^3} \cdot \frac{i \cdot I_p}{I_t},$$

kde L - rozpětí konstrukce v podélném směru

a - vzdálenost nosných trámů v příčném směru

i - součinitel počtu ztužidel (příčníků), přičemž se neuvažují ztužidla umístěná nad podporami.

Počet ztužidel	Hodnota i
2	1,0
3 a 4	1,66
5 a více	2,0

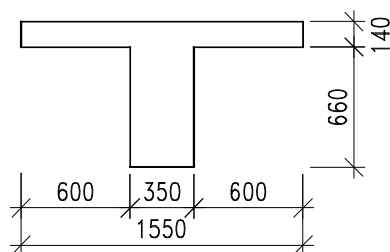
I_p - Moment setrvačnosti ztužidla (příčniku)

I_t - Moment setrvačnosti hlavního nosného trámu

Průřezové charakteristiky :

V rámci zjednodušení výpočtu průřezových charakteristik zanedbáme příspěvek náběhů hlavních nosných trámů. Je ale třeba si uvědomit, že pokud by byla výsledná tuhost jen o těsně větší než požadovaná, bylo by třeba ke zpřesnění výpočtu přistoupit a prokázat možnost použití roznosu dle příčného ztužidla!

HLAVNÍ NOSNÉ TRÁMY



Spolupůsobící šířka : Zanedbáme náběhy

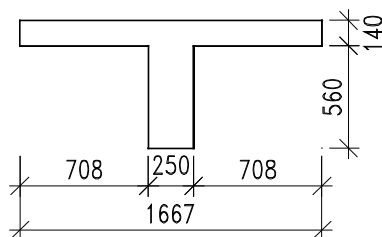
$$b_s = b_t + 12 \cdot d_0 = 350 + 12 \cdot 140 = \underline{\underline{2030 \text{ mm}}}$$

$$b_s \leq a = 1550 \text{ mm}$$

Poloha těžiště : $t = \underline{\underline{524 \text{ mm}}}$ od spodní hrany

$$\text{Moment setrvačnosti : } \underline{\underline{I_t = 26,64 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4}}$$

ZTUŽIDLA (PŘÍČNÍKY)



Spolupůsobící šířka : Pro příčníky platí

$$b_s = b_t + 12 \cdot d_0 = 250 + 12 \cdot 140 = \underline{1930 \text{ mm}}$$

$$b_s \leq 2/3 a = 1667 \text{ mm}$$

Poloha těžiště : $t = 499 \text{ mm}$ od spodní hrany

Moment setrvačnosti : $I_t = 14,76 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$

Tuhost nosníkového roštu :

$$z = \frac{10^3}{8 \cdot 1,55^3} \cdot \frac{1,66 \cdot 15,40 \cdot 10^{-3}}{26,64 \cdot 10^{-3}} = 30,87 > 30,0$$

Protože je $z > 30$, můžeme uvažovat roznos dle nekonečně tuhého příčníku.

Roznos zatížení na jednotlivé trámy odečteme z tabulek pořadnic příčinkových čar příčného roznosu, které lze najít například na stránkách předmětu BEM1 v části ÚKOLY nebo ve skriptech. U tabulek příčného roznášení je též uveden způsob, jakým jsou hodnoty pořadnic určeny.

Ve výpočtu budeme uvažovat pouze krajní, nejvíce zatížený trám mostu. Pořadnice příčinkové čáry jsou pro jednotlivé trámy mostu a polohy zatížení uspořádány v následující tabulce :

Trám	Břemeno nad trámem				
	1	2	3	4	5
1	0,6	0,4	0,2	0,0	-0,2
2	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Při výpočtu je třeba zohlednit ustanovení zatěžovací normy, podle kterého se zatížení, které působí na záporné části příčinkové čáry zanedbává.

Jednotlivá seskupení zatížení, resp. zatěžovací soustavy, umístíme v příčném řezu tak, aby vyvozovaly co největší silové účinky. Krajní polohu vozidla určuje šířkové uspořádání mostu, resp. polohu obrubníku nebo svodidla. V případě, že na mostě není osazeno svodidlo, mohou jednotlivá vozidla „zajet“ koly těsně vedle obrubníku. Při osazení svodidla je krajní poloha vozidla omezena obrysem vozidla, kterým „přilehne“ ke svodidlu.

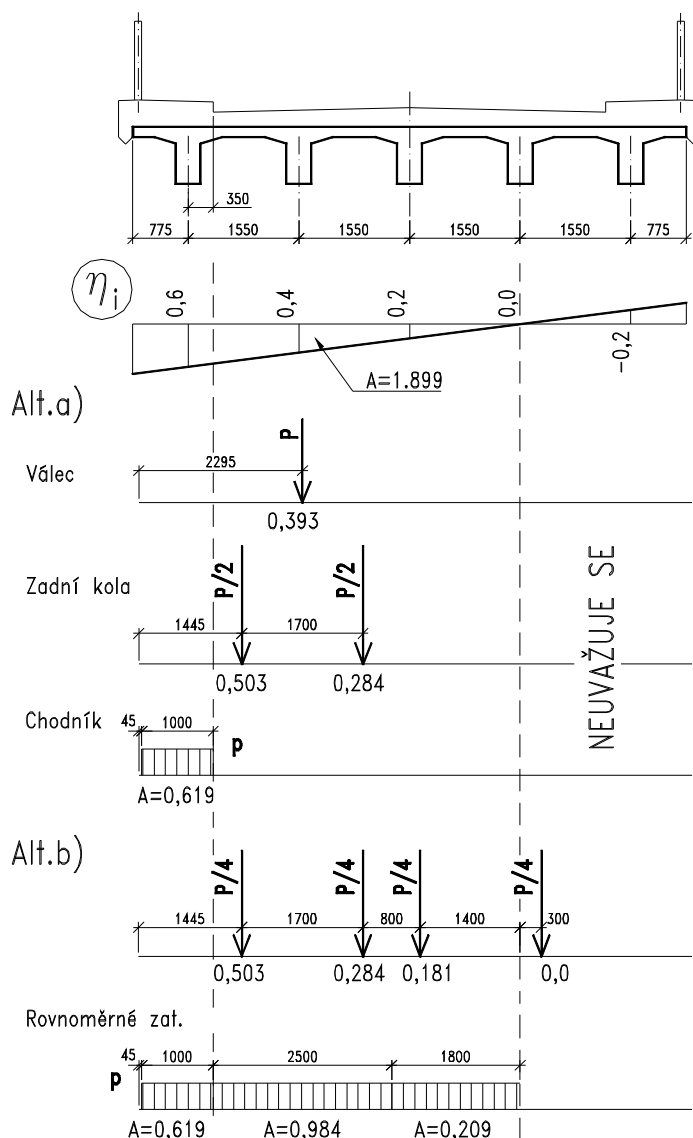
Abychom získali koeficienty, resp. procenta, příčného roznášení, musíme jednotlivé zatěžovací soustavy rozdělit na části podle uspořádání zatížení v příčném řezu. Pro tyto jednotlivé části zatížení určíme koeficient roznášení a jím potom vynásobíme silové účinky příslušného zatížení, resp. jeho části, v podélném směru. Takto získané silové účinky jsou pak vztaheny na příslušný trám příčného řezu a zahrnují tak vliv příčné polohy zatížení na nosníkovém roštu.

ČSN 1230 – 1937 „JEDNOTNÝ MOSTNÍ ŘÁD“

Jednotlivé alternativy zatížení jsou schématicky zobrazeny na obrázku na další straně.

a) Strojní válec 24t + rovnoměrné zatížení chodníků 5 kN/m² (pro rozpětí hlavních nosníků $l \leq 30\text{m}$).

Zatížení	Na krajní nosník připadá
Přední „kolo“ – válec	0,393
Zadní kola	$0,5 \cdot (0,503 + 0,284) = 0,393$
Chodník	0,619



$$M_{Ch} = 5 \cdot 1,0 \cdot 12,5 \cdot 0,619 = \underline{\underline{38,7 \text{ kNm}}}$$

$$M_V = 150 \cdot 2,5 \cdot (0,503 + 0,284) \cdot 0,5 + 90 \cdot 1,0 \cdot 0,393 = \underline{\underline{183 \text{ kNm}}}$$

$$M_a = M_V + M_{Ch} = 183 + 38,7 = \underline{\underline{221,7 \text{ kNm}}}$$

b) Jeden nákladní automobil (12t) v každém jízdním pruhu šířky 2,5m a rovnoměrné zatížení 5 kN/m² na zbývající ploše vozovky a chodnicích.

Přední kola nákladních automobilů jsou uspořádána stejně jako kola zadní, s tím rozdílem, že jednotlivé přední jsou vůči sobě půdorysně posunuty. Ve výsledku je však koeficient příčného roznášení stejný, protože kola jsou v příčném řezu „v zákrytu“.

Zatížení	Na krajní nosník připadá
Přední kola	$0,25 \cdot (0,503 + 0,284 + 0,181 + 0,0) = 0,242$
Zadní kola	$0,25 \cdot (0,503 + 0,284 + 0,181 + 0,0) = 0,242$

$$M_{NA} = (40 \cdot 1,0 + 160 \cdot 2,5 + 40 \cdot 1,0) \cdot 0,266 = \underline{\underline{116 \text{ kNm}}}$$

$$\text{Chodník : } M_{Ch} = 5 \cdot 1,0 \cdot 12,5 \cdot 0,619 = \underline{\underline{38,7 \text{ kNm}}}$$

$$\text{Na celé šíři vozovky : } M_c = 5 \cdot 2 \cdot 0,0625 \cdot (0,984 + 0,209) = \underline{\underline{0,8 \text{ kNm}}}$$

$$\text{Částečné v pruhu 1 : } M_1 = 5 \cdot 3 \cdot 0,984 = \underline{\underline{14,8 \text{ kNm}}}$$

$$\text{Částečné v pruhu 2 : } M_2 = 5 \cdot 3 \cdot 0,209 = \underline{\underline{3,1 \text{ kNm}}}$$

$$\text{Celkem : } M_{RZ} = \underline{\underline{57,4 \text{ kNm}}}$$

$$M_b = M_{NA} + M_{RZ} = 116,0 + 57,4 = \underline{\underline{173,4 \text{ kNm}}}$$

c) **Rovnoměrné zatížení 5 kN/m² vozovky i chodníků na mostě.**

Budeme opět uvažovat pouze zatížení na kladné části čáry příčného roznášení, a to jak v příčném, tak v podélném směru.

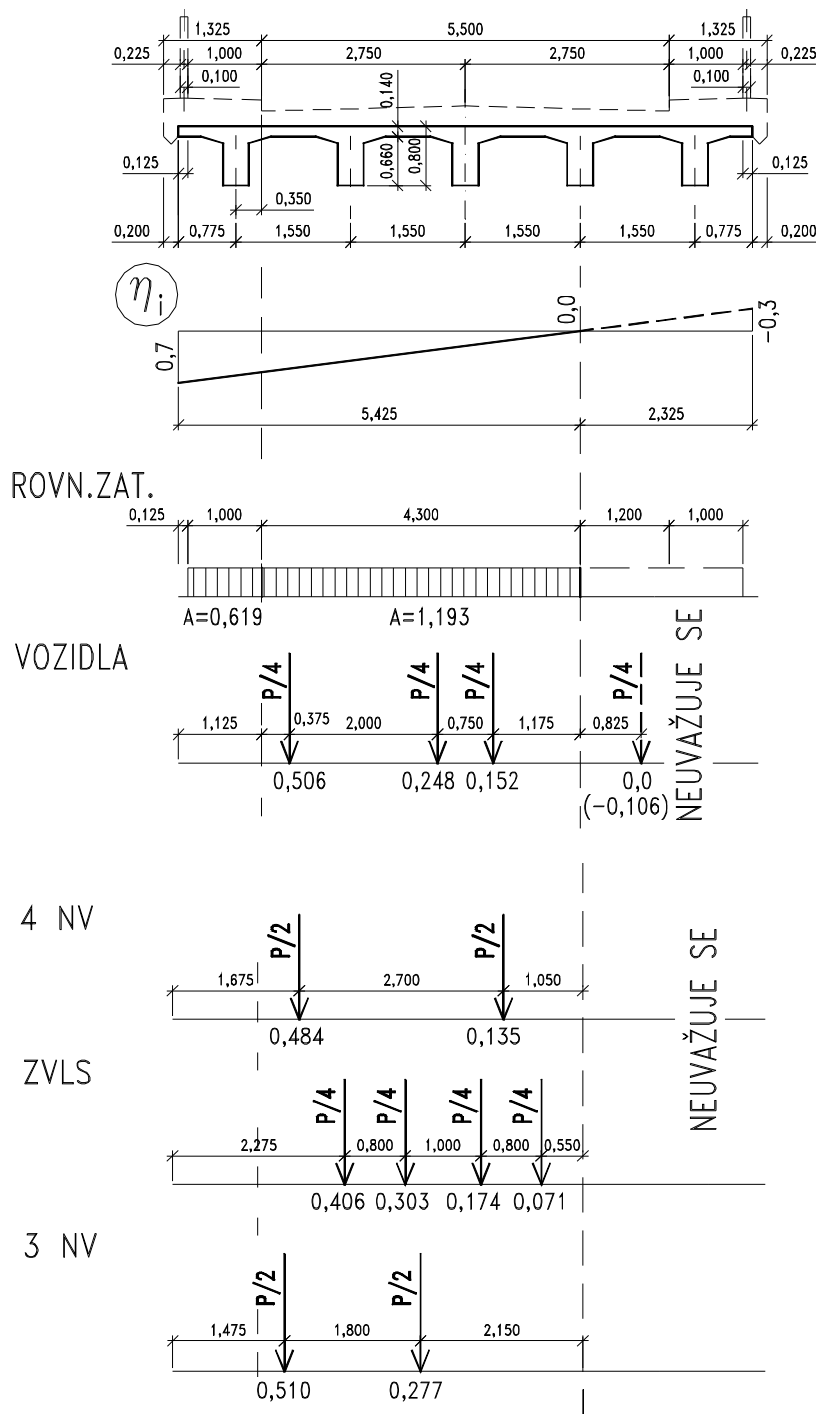
$$M_c = 5 \cdot 12,5 \cdot (0,619 + 0,984 + 0,209) = \underline{\underline{113,3 \text{ kNm}}}$$

Rozhoduje tedy seskupení zatížení a) – parní válec společně se zatížením chodníků. Nakonec ještě vynásobíme účinky zatížení dynamickým součinitelem (p opět značí „původní“ předpis).

$$M_{Piv,1} = \delta_p \cdot M_a = 1,189 \cdot 221,7 = \underline{\underline{263,6 \text{ kNm}}}$$

ČSN 73 6222 (2009) – „ZATÍŽITELNOST MOSTŮ PK“

Jednotlivé alternativy zatížení jsou schématicky zobrazeny na obrázku. Zvláštní souprava je posunuta o 300 mm mimo ideální osu mostu tak, jak je v předpisu uvedeno.



a) Rovnoměrné zatížení vozovky (2,5 v_n) :

$$M_{qp,1} = 2,5 v_n \cdot 1,193 \cdot 12,5 = \underline{37,28 v_n \text{ kNm}}$$

b) Vozidla :

Alternativa a) – 3NV :

$$M_{qv,1a} = 25 v_n \cdot (0,506 + 0,248 + 0,152) \cdot (2,5 + 1,9) = \underline{99,72 v_n \text{ kNm}}$$

Alternativa b) – 2NV :

$$M_{qv,1b} = 50 v_n \cdot (0,506 + 0,248 + 0,152) \cdot 2,5 = \underline{113,25 v_n \text{ kNm}}$$

c) Chodníky na mostě (pro kombinaci se zatížením vozovky) :

$$M_{ch,1} = 2,5 \cdot 1,0 \cdot 0,619 \cdot 12,5 = \underline{19,34 \text{ kNm}}$$

d) Čtyřnápravové vozidlo (4NV):

$$M_{4NV,1} = 0,5 \cdot (0,484 + 0,135) \cdot 1520,0 / 800,0 = \underline{0,588 V_{r,w}}$$

e) Zvláštní souprava (ZVLS):

$$M_{ZVLS,1} = 0,25 \cdot (0,406 + 0,303 + 0,171 + 0,071) \cdot 1274,0 / 1960,0 = \underline{0,1545 V_{e,w}}$$

f) Třínápravové vozidlo (3NV):

$$M_{3NV,1} = 0,5 \cdot (0,510 + 0,277) \cdot 632,0 / 320,0 = \underline{0,777 V_{r,w}}$$

ZATÍŽITELNOST NA JEDEN TRÁM MOSTU

Při určení zatížitelnosti na jeden (nejzatíženější) trám mostu vyjdeme ze stejných vztahů jako při určení zatížitelnosti na celou šíři mostu. Jediným rozdílem bude skutečnost, že dosazované hodnoty momentů budou převzaty z výpočtu vnitřních sil na jeden trám (v našem případě krajní, nejvíce zatížený).

a) Normální zatížitelnost

Alternativa a) – 3NV :

$$\delta_p \cdot M_{PN,1p} = \delta_n \cdot M_{qp,1} + \delta_n \cdot M_{qv,1a} + M_{ch,1}$$
$$263,6 = 1,20 \cdot 37,28 v_n + 1,20 \cdot 99,72 v_n + 19,34 \rightarrow v_n = 1,486 \text{ kN/m}^2$$

$$V_a = 100 \cdot v_n = 148,6 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = \frac{4}{3} \cdot 148,6 = 198,1 \text{ kN} \rightarrow V_n = \underline{19,8 \text{ t}}$$

Alternativa b) – 2NV :

$$\delta_n \cdot M_{PN,1p} = \delta_n \cdot M_{qp,1} + \delta_n \cdot M_{qv,1b} + M_{ch,1}$$
$$263,6 = 1,20 \cdot 37,28 v_n + 1,20 \cdot 113,25 v_n + 19,34 \rightarrow v_n = 1,352 \text{ kN/m}^2$$

$$V_a = 100 \cdot v_n = 135,2 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = \frac{4}{3} \cdot 135,2 = 180,30 \text{ kN} \rightarrow V_n = \underline{18,0 \text{ t}}$$

Normální zatížitelnost se musí uvažovat hodnotou $V_n = 19,8 \text{ t}$, určenou pro třínápravové vozidlo (3NV) – alternativa a), protože je překročena maximální možná hmotnost 2NV rovná 16-ti tunám.

b) Výhradní zatížitelnost

Třínápravové vozidlo – 3NV :

$$\delta_p \cdot M_{PN,1p} = \delta_n \cdot M_{3NV,1} \cdot V_{rw} + M_{ch,1}$$

$$\delta_n \cdot M_{3NV,1} \cdot V_{rw} = 1,25 \cdot 0,777 = \underline{0,971 V_{rw}}$$

$$263,6 = 0,971 \cdot V_{rw} + 19,34 \rightarrow V_{rw} = 251,5 \text{ kN}$$

$$V_{r,3NV} = \underline{25,2 \text{ t}}$$

Čtyřnápravové vozidlo – 4NV:

$$\begin{aligned}\delta_p \cdot M_{PN,1p} &= \delta \cdot M_{4NV,1} \cdot V_{rw} + M_{ch} \\ \delta_n \cdot M_{4NV,1} \cdot V_{rw} &= 1,25 \cdot 0,588 = 0,735 V_{rw} \\ 263,9 &= 0,735 \cdot V_{rw} + 19,34 \rightarrow V_{rw} = 332,7 \text{ kN} \\ V_{r,4NV} &= \underline{\underline{33,3 \text{ t}}}\end{aligned}$$

Výhradní zatížitelnost se musí uvažovat hodnotou $V_r = 25,2 \text{ t}$, určenou pro třídnápravové vozidlo (3NV) – alternativa a), protože není překročena maximální možná hmotnost 3NV rovná 32 tunám.

c) Výjimečná zatížitelnost

$$\begin{aligned}\delta_p \cdot M_{PN,1p} &= \delta_n \cdot M_{ZVLS,1} \\ \delta_n \cdot M_{ZVLS,1} &= 1,05 \cdot 0,1545 V_{e,w} = \underline{\underline{0,1622 V_{e,w}}} \\ 263,9 &= 0,1622 \cdot V_{ew} \rightarrow V_{ew} = 1626,8 \text{ kN} \\ V_e &= \underline{\underline{162,7 \text{ t}}}\end{aligned}$$

Druh zatížitelnosti	Porovnávací statický výpočet				
	1	2	3	4	5
	Tabulky	Na celou šířku	2 / 1	Na 1 trám	4 / 2
V_n	16,2 t	13,0 t	0,80	19,8 t	1,52
V_r	36,5 t	31,3 t	0,86	25,2 t	1,81
V_e	139,3 t	124,5 t	0,89	162,7 t	1,31

PODROBNÝ STATICKÝ VÝPOČET

V první řadě je třeba určit materiál původního mostu, tj. charakteristiky betonu a použité výztuže, včetně jejího množství. To lze přesně provést pouze pomocí zkoušek in situ, které mohou být destruktivní či nedestruktivní. Nevýhodou těchto zkoušek je jejich finanční nákladnost. Nemohou se proto použít všude a v dostatečném množství. V TP200 vydaných MDČR je umožněn následující postup (kombinovaný statický výpočet) :

Množství výztuže v hlavních nosných trámech se určí výpočtem podle původního návrhového předpisu, tj. návrhem výztuže na účinky původního návrhového zatížení mostu. Návrhové charakteristiky výztuže určíme podle data vzniku konstrukce.

Průřez navržený podle původní návrhové normy následně posoudíme podle současně platných předpisů.

NÁVRH PODLE ČSN 1230 (1937) – „JEDNOTNÝ MOSTNÍ ŘÁD“

Za dimenzační moment od nahodilého zatížení budeme považovat maximální moment na jeden trám získaný při výpočtu zatížitelnosti pro průřez uprostřed rozpětí. V našem případě tedy rozhoduje seskupení zatížení a), parní válec společně se zatížením chodníků. Tedy :

$$M_{Max} = \underline{\underline{263,6 \text{ kNm}}}$$

Tento moment je nutné sečíst s momentem od stálého zatížení mostu na jeden trám, které předpokládáme rovnoměrné po celé délce mostu. Roznášení zatížení v příčném směru uvažujeme rovnoměrný na všechny trámy. Výpočet stálého zatížení viz. str. 2÷3. Vzhledem k rovnoměrnému charakteru zatížení můžeme jeho hodnotu získat dělením

celkové „stálé váhy“ mostu jeho rozpětím. Na jeden trám tedy připadá zatížení:

$$f_g = \frac{1138,2}{10} \cdot \frac{1}{5} = \underline{\underline{22,76 \text{ kN/m}}}$$

Tomu odpovídá moment od stálého zatížení na jeden trám :

$$M_g = 22,76 \cdot 12,5 = \underline{\underline{284,6 \text{ kNm}}}$$

Celkový návrhový moment od zatížení podle původní normy na jeden trám mostu je tedy :

$$M = 263,6 + 284,6 = \underline{\underline{548,2 \text{ kNm}}}$$

Pro vyztužení připadá dle tohoto normového předpisu v úvahu pouze ocel C 37 s dovoleným namáháním $k_a = 140 \text{ MPa}$. Při vyztužení průřezu se nesmí použít více než tři řady výztužných vložek nad sebou.

Nejprve určíme a ověříme velikost spolupůsobící šířky pro trámy s T-průřezem. Základními podmínkami pro použití a velikost spolupůsobící šířky jsou :

- 1) $d_0 = \underline{\underline{0,14 \text{ m}}} \geq 0,1d = 0,1 \cdot 0,8 = \underline{\underline{0,08 \text{ m}}}$ **SPLNĚNO**
- 2) $b = b_t + 12d_0 = \underline{\underline{2,03 \text{ m}}} \leq B = \underline{\underline{1,55 \text{ m}}}$ **NESPLNĚNO** $\rightarrow b = 1,55 \text{ m}$
- 3) $b = \underline{\underline{2,03 \text{ m}}} \leq 1/3 l_d = 10/3 = \underline{\underline{3,333 \text{ m}}}$ **SPLNĚNO**

Spolupůsobící šířka trámů je tedy rovna 1,55 m. Tím máme určený průřez vzdorující celkovému návrhovému momentu. Zbývá zjistit charakteristiky materiálů z příslušných tabulek. Charakteristiky betonu jsou dány použitou třídou, v našem případě je most postaven z betonu B250 (C 16/20). Použitá ocel je třídy C 37.

Beton : $k_{bd} = 7,5 \text{ MPa}$

Ocel : $k_a = 140 \text{ MPa}$

Výztuž navrhujeme na základě odhadu ramene vnitřních sil a následně posoudíme. Vzhledem k velikosti vnitřních sil bude muset být výztuž ve dvou řadách (předpokládáme profily 28, krytí výztuže hodnotou $\max(1,5D ; 30\text{mm})$ a svislou vzdálenost mezi výztuží 45 mm). Ve výpočtu předpokládáme, že neutrální osa bude procházet žebrem T-průřezu.

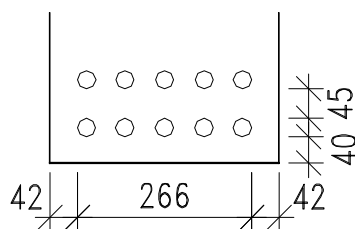
Odhad ramene vnitřních sil :

$$z_b = 0,9h = 0,9 \cdot (800 - 42 - 28 - 45/2) = 0,9 \cdot 708 = \underline{\underline{637 \text{ mm}}}$$

Návrh výztuže :

$$A_{a,n} = \frac{M}{z_b \cdot k_a} = \frac{548,2}{0,637 \cdot 140 \cdot 10^3} = \underline{\underline{6147 \text{ mm}^2}} \rightarrow \underline{\underline{10 \text{ Ø } 28 (6157 \text{ mm}^2)}}$$

Ověření minimální vzdálenosti mezi výztuží :



Minimální vzdálenost mezi výztuží v příčném směru je dána následujícím vztahem :

$$t_{min} = \max (D ; 30\text{mm})$$

Na vzdálenost mezi pruty připadá :

$$350 - 2 \cdot 42 - 5 \cdot 28 = 126 \text{ mm}$$

$$t = 126 / 4 = 31,5 \text{ mm} > 30 \text{ mm}$$

Pro posouzení musíme nejprve určit polohu těžiště výztuže. Výztuž je umístěna ve dvou řadách, symetricky k ose průřezu. Polohu těžiště určíme vzhledem ke spodním vláknům průřezu :

$$e = 1/10 \cdot (5 \cdot (42 + 28/2) + 5 \cdot (42 + 28 + 45 + 28/2)) = \underline{\underline{92,5 \text{ mm}}}$$

Účinná výška průřezu je potom :

$$h = 800 - 92,5 = \underline{\underline{707,5 \text{ mm}}}$$

Polohu neutrálné osy určíme za předpokladu, že neutrálná osa prochází žebrem T-průřezu, tedy:

$$x = \frac{0,5 \cdot b \cdot d_0^2 + n \cdot A_a \cdot h}{b \cdot d_0 + n \cdot A_a} = \frac{0,5 \cdot 1,55 \cdot 0,14^2 + 15 \cdot 6,157 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7075}{1,55 \cdot 0,14 + 15 \cdot 6,157 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{260,3 \text{ mm}}} > 140 \text{ mm}$$

Předpoklad splněn, neutrálná osa prochází žebrem. Dále vypočteme rameno vnitřních sil ze vztahu :

$$z_b = h - 0,5d_0 + \frac{d_0^2}{6(2x - d_0)} = 0,7075 - 0,5 \cdot 0,14 + \frac{0,14^2}{6 \cdot (2 \cdot 0,2603 - 0,14)} = \underline{\underline{646,1 \text{ mm}}}$$

Nakonec určíme a posoudíme napětí v jednotlivých částech průřezu :

$$\sigma_a = \frac{M}{z_b \cdot A_a} = \frac{548,6}{0,6461 \cdot 6,157 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{137,9 \text{ MPa}}}$$

Napětí v betonářské výztuži :

$$< 140 \text{ MPa} \quad \underline{\underline{\text{Vyhovuje}}}$$

$$\sigma_b = \frac{\sigma_a}{n} \cdot \frac{x}{h - x} = \frac{137,9}{15} \cdot \frac{0,2603}{0,7075 - 0,2603} = \underline{\underline{5,35 \text{ MPa}}}$$

Napětí v betonu :

$$< 7,5 \text{ MPa} \quad \underline{\underline{\text{Vyhovuje}}}$$

V rámci podrobného statického výpočtu budeme předpokládat, že v nosníku byla navržena výše vypočtená výztuž, tj. že je tato výztuž v průřezu fyzicky přítomna. Dále určíme moment únosnosti průřezu v souladu s ČSN 73 6222 (podle ČSN EN 1992-2) a stanovíme zatížitelnost průřezu.

STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI PODLE ČSN 73 6222 (2009)

Zatížitelnost podle ČSN 73 6222 se stanoví z rovnosti momentu odolnosti (únosnosti) M_{Rd} průřezu trámu (pro tento příklad navrženého podle původního návrhového předpisu) stanoveného podle ČSN EN 1992-2 a momentu od zatížení M_{Ed} stanoveného v souladu s ČSN 73 6222.

$$M_{Ed} = M_{Rd}$$

Materiál průřezu :

Materiály použité pro stavbu mostu je třeba zatřídit podle příslušných normových předpisů a určit jejich návrhové charakteristiky.

Pro beton a betonářskou výztuž použitou v posuzované konstrukci platí následující charakteristiky materiálů (viz ČSN ISO 13822, ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-2) :

Beton	Značka betonu 250 (druh f) → pevnostní třída C 16/20 (ČSN EN 206-1; ČSN ISO 13822; ČSN EN 1992-1-1; ČSN EN 1992-2) Pro tento beton (pevnostní třída horší než C20/25 viz tabulka minimálních indikativních pevnostních tříd) je nutné z důvodu očekávané snížené životnosti mostu snížit i kategorii návrhové životnosti na S3, tj. informativní zbytkovou životnost mostu na 15-30 let (viz tabulka informativní zbytkové životnosti). $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma} = 0,85 \cdot \frac{16}{1,5} = \underline{\underline{9,07 \text{ MPa}}}$
Ocel	C37 → $f_{yd} = \underline{\underline{180 \text{ MPa}}}$

Z hlediska požadavků na trvanlivost konstrukce (viz ČSN EN 1992-1-1) by bylo v praktickém případě nutné se zabývat řadou dalších vlastností průřezu (velikost krytí v závislosti na použitém betonu, atd.). Na základě zjištěného krytí a třídy betonu mostu se podle příslušných předpisů (TP200, ČSN EN 1992-1-1) stanoví informativní zbytková životnost mostu. Stanovená informativní zbytková životnost mostu neovlivňuje hodnotu zatížitelnosti ale podává informaci o stavu mostu a termínu další mostní prohlídky. Proto se nebudeme v tomto příkladu stanovením informativní zbytkové životnosti zabývat.

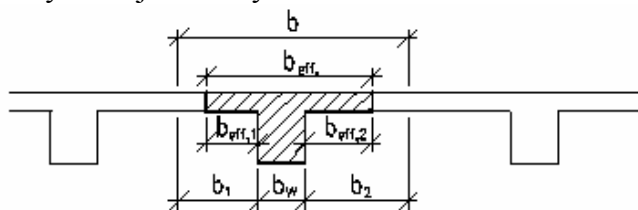
Spolupůsobící šířka:

Spolupůsobící šířka desky neurčí ze vztahu:

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$$

$$b_{eff,i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \leq 0,2 \cdot l_0 \leq b_i,$$

kde l_0 je vzdálenost inflexních bodů ohybové čáry
význam jednotlivých rozměrů b viz. obr.:



$$b_{eff,i} = 0,2 \cdot 0,6 + 0,1 \cdot 10,0 = 1,12 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 10,0 = 2,0 \text{ m} \leq 6,0 \text{ m} \rightarrow b_{eff,i} = 0,6 \text{ m}$$

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w = 2 \cdot 0,6 + 0,35 = 1,55 \leq 1,55 \rightarrow b_{eff} = 1,55 \text{ m}$$

Moment únosnosti průřezu:

Moment odolnosti (únosnosti) průřezu M_{Rd} se určí dle ČSN EN 1992-1-1. Výslednice působení betonářské výztuže se uvažuje v jejím těžišti.

Předpoklad : $x \leq d_0$. Výška tlačené oblasti je tak :

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{6157 \cdot 10^{-6} \cdot 180 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,55 \cdot 9,07 \cdot 10^6} = \underline{\underline{0,0985 \text{ m}}} < d_0 = 0,14 \text{ m}$$

Neutrálná osa tedy prochází deskou a předpoklad je splněn. Rameno vnitřních sil :

$$z = d - 0,4x = 0,8 - 0,0925 - 0,4 \cdot 0,0985 = 0,6681 \text{ m}$$

Moment odolnosti (únosnosti) průřezu :

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 6157 \cdot 10^{-6} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 0,6681 = \underline{\underline{740,55 \text{ kNm}}}$$

Podle ČSN 73 6222, pro mosty navržené podle dříve platných norem a předpisů, se použijí dva vztahy pro určení E_{da} a E_{db} (viz ČSN EN 1990, vč. Změny A1), v tomto případě momentů M_{Eda} a M_{Edb} . Zatížitelnost vyšetřovaného prvku mostu se stanoví z minima vypočtených hodnot $\delta \cdot M_{q,a}$ a $\delta \cdot M_{q,b}$. Tedy :

$$E_d = M_{Ed} = M_{Rd}$$

$$\text{a) } E_{da} = \gamma_{G,sup} \cdot G_k + \psi_{01} \cdot \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1}$$

Po dosazení $\gamma_{G,sup} = \gamma_{Q1} = 1,35$ a $\psi_{01} = 0,75$ vychází pro ohybové momenty :

$$M_{Rd} = 740,55 \text{ kNm} = M_{Eda} = 1,35 \cdot (M_g + 0,75 \cdot \delta \cdot M_{q,a}) = 1,35 \cdot (284,6 + 0,75 \cdot \delta \cdot M_{q,a})$$

$$\rightarrow \delta \cdot M_{q,a} = \underline{\underline{351,7 \text{ kNm}}}$$

$$b) E_{db} = \xi \cdot \gamma_{G,sup} \cdot G_k + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1}$$

Po dosazení $\gamma_{G,sup} = \gamma_{Q1} = 1,35$ a $\xi = 0,85$ vychází pro ohybové momenty :

$$M_{Rd} = 740,55 \text{ kNm} = M_{Edb} = 1,35 \cdot (0,85 \cdot M_g + \delta \cdot M_{q,b}) = 1,35 \cdot (0,85 \cdot 284,6 + \delta \cdot M_{q,b})$$

$$\rightarrow \delta \cdot M_{q,b} = \underline{\underline{306,5 \text{ kNm}}}$$

Rozhoduje vztah b).

Výpočet zatížitelnosti:

Zatížitelnost se stanoví z rovnosti části momentu únosnosti průřezu $\delta \cdot M_{q,b}$ připadající na zatížení pohyblivé slečen 73 6222, s momentovými účinky zatížení konstrukce vozidly.

a) Normální zatížitelnost

Alternativa a) – 3NV :

$$\delta \cdot M_{q,b} = \delta \cdot M_{qp,1} + \delta \cdot M_{qv,1a} + M_{ch,1}$$

$$306,5 = 1,20 \cdot 37,28 v_n + 1,20 \cdot 99,72 v_n + 19,34 \rightarrow v_n = 1,747 \text{ kN/m}^2$$

$$V_a = 100 \cdot v_n = 174,7 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = \frac{4}{3} \cdot 174,7 = 232,9 \text{ kN} \rightarrow V_n = \underline{\underline{23,3 \text{ t}}}$$

Alternativa b) – 2NV :

$$\delta \cdot M_{q,b} = \delta \cdot M_{qp,1} + \delta \cdot M_{qv,1b} + M_{ch,1}$$

$$306,5 = 1,20 \cdot 37,28 v_n + 1,20 \cdot 113,25 v_n + 19,34 \rightarrow v_n = 1,590 \text{ kN/m}^2$$

$$V_a = 100 \cdot v_n = 159,0 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = \frac{4}{3} \cdot 159,0 = 211,96 \text{ kN} \rightarrow V_n = \underline{\underline{21,2 \text{ t}}}$$

Normální zatížitelnost se musí uvažovat hodnotou $V_n = 23,3 \text{ t}$, určenou pro třínápravové vozidlo (3NV) – alternativa a), protože je překročena maximální možná hmotnost 2NV rovná 16-ti tunám.

b) Výhradní zatížitelnost

Třínápravové vozidlo – 3NV :

$$\delta \cdot M_{q,b} = \delta \cdot M_{3NV,1} \cdot V_{rw} + M_{ch,1}$$

$$\delta \cdot M_{3NV,1} \cdot V_{rw} = 1,25 \cdot 0,777 = \underline{\underline{0,971 V_{rw}}}$$

$$306,5 = 0,971 \cdot V_{rw} + 19,34 \rightarrow V_{rw} = 295,7 \text{ kN}$$

$$V_{r,3NV} = \underline{\underline{29,6 \text{ t}}}$$

Čtyřnápravové vozidlo – 4NV :

$$\delta \cdot M_{q,b} = \delta \cdot M_{4NV,1} \cdot V_{rw} + M_{ch}$$

$$\delta \cdot M_{4NV,1} \cdot V_{rw} = 1,25 \cdot 0,588 = \underline{\underline{0,735 V_{rw}}}$$

$$306,5 = 0,735 \cdot V_{rw} + 19,34 \rightarrow V_{rw} = 390,7 \text{ kN}$$

$$V_{r,4NV} = \underline{\underline{39,1 \text{ t}}}$$

Výhradní zatížitelnost se musí uvažovat hodnotou $V_r = 29,6 \text{ t}$, určenou pro třínápravové vozidlo (3NV) – alternativa a), protože není překročena maximální možná hmotnost 3NV rovná 32 tunám.

c) Výjimečná zatížitelnost

$$\delta \cdot M_{q,b} = \delta \cdot M_{ZVLS,1}$$

$$\delta \cdot M_{ZVLS,1} = 1,05 \cdot 0,1545 V_{e,w} = \underline{\underline{0,1622 V_{e,w}}}$$

$$306,5 = 0,1622 \cdot V_{ew} \rightarrow V_{ew} = 1892,0 \text{ kN}$$

$$V_e = \underline{\underline{189,2 \text{ t}}}$$

Druh zatížitelnosti	Porovnávací statický výpočet					Podrobný statický výpočet	
	1	2	3	4	5	6	7
	tabulky	na celou šířku	2 / 1	na 1 trám	4 / 2	na 1 trám	6 / 4
V _n	16,2 t	13,0 t	0,80	19,8 t	1,52	23,3 t	1,18
V _r	36,5 t	31,3 t	0,86	25,2 t	1,81	29,6 t	1,18
V _e	139,3 t	124,5 t	0,89	162,7 t	1,31	189,2 t	1,16