



## Ocelové mosty 1

Téma:

### Trámové mosty plnostěnné

doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.

1



#### Trámové mosty

##### Trámové mosty

- Jednoduchý tvar
- Malá stavební výška
- Válcované či svařované nosníky
- Komorové průřezy
- Spřažené konstrukce

##### Nosníky tvaru I

- standardní řešení, prosté či spojitě
- gerberův trám – vložené klouby – vhodné pro velké sedání

Komorové mosty – tuho v kroucení, plechy běžně 10-15mm s výztuhami

- Vhodné pro půdorysně zakřivené mosty
- Lze více komor
- Pro velká rozpětí

##### Spřažené mosty

- Betonová deska spojená s ocelovými nosníky
- Rozpětí do cca 50-80m
- Ocel – tah, beton – tlak

##### Železniční mosty

- Obvykle do 40-50m rozpětí



2



## Trámové mosty

### Významné mosty

- Costa e Silva, Brasil, 300m, 1974



3



## Trámové mosty

### Významné mosty

- Brankov most, Beograd, Serbia, 261m, 1979



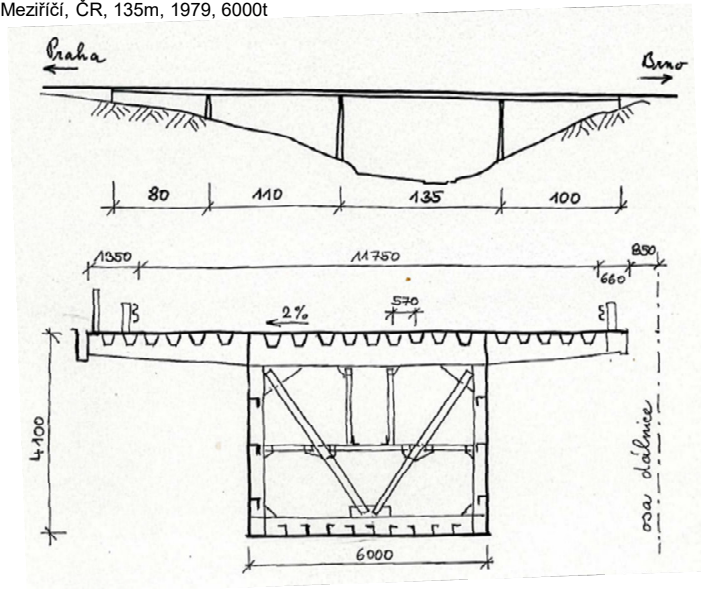
4



## Trámové mosty

### Významné mosty

- Velké Meziříčí, ČR, 135m, 1979, 6000t



5



## Trámové mosty

### Významné mosty

- Velké Meziříčí, ČR, 135m, 1979, 6000t



6



## Trámové mosty

### Významné mosty

- Velké Meziříčí, ČR, 135m, 1979



7



## Trámové mosty

### Významné mosty

- Velké Meziříčí, ČR, 135m, 1979



8

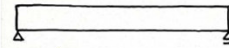


## Trámové mosty

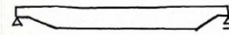
### Volba

- Rozpětí – u nás realizované maximum 135m - pro mosty pozemních komunikací, u železničních mostů obvykle cca do 40 m
- Výška – fixní, proměnná, dnes obvykle konstantní výška
- Konstrukční řešení:

### Běžně



*růdka :*



*dříve někdy :*



Prostý nosník	Stavební výška
Železnice	1/10-12 L
Silnice	1/15-25 L
Lávky	1/35-50 L

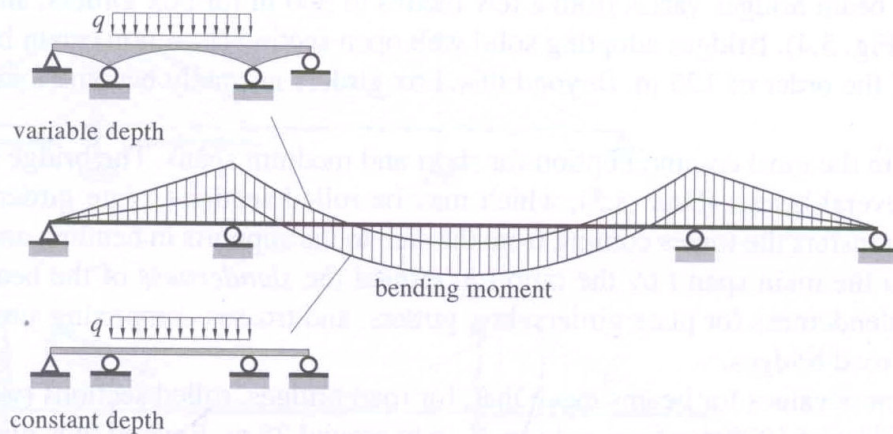
9




## Trámové mosty

### Volba

- Spojitý nosník
- Výška – fixní, proměnná
- Konstantní výška umožňuje výsun NK
- Proměnná výška výhodná pro dimenzování NK, přesun momentů na snadno zesílitelné podporové části



10

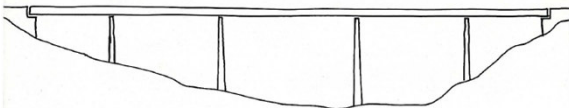
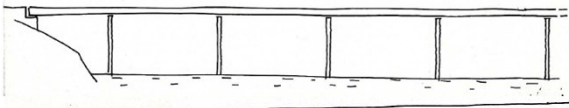
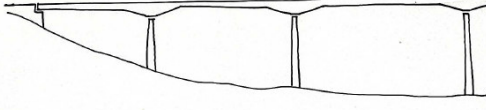


**Trámové mosty**

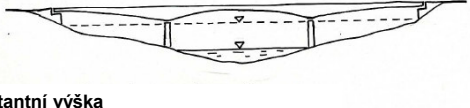
Volba

- Spojitý nosník
- Výška – fixní, proměnná

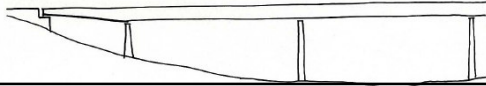
**Přes řeku, hluboké údolí**

**3 pole**




**Konstantní výška**



Prostý nosník	Stavební výška
Železnice	1/15-20 L
Silnice	1/20-40 (65) L
Lávky	1/40-60 L


11




**Trámové mosty**

Příklad – volba silničního nadjezdu


Option A



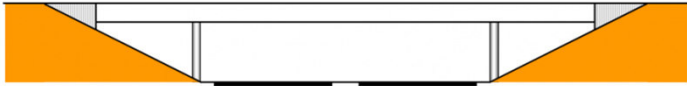
Option B



Option C



Option D

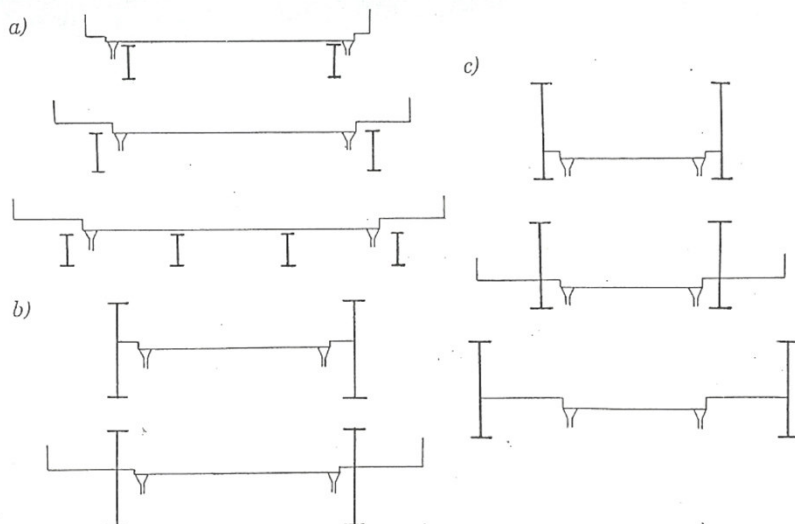


12



### Trámové mosty Schématické řezy

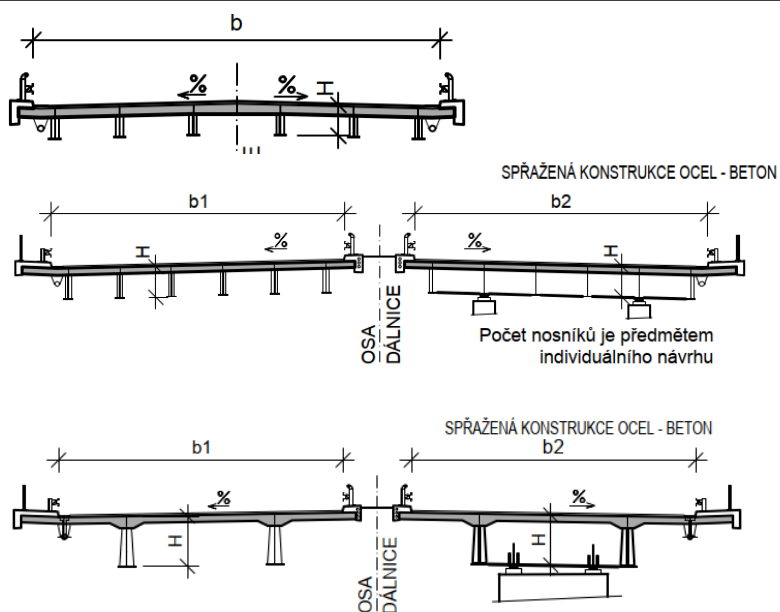
- Umístění hlavních nosníků je vždy třeba koordinovat s tvarem mostovky a umístěním odvodnění
- Osa úžlabí by neměla být nad hlavním nosníkem



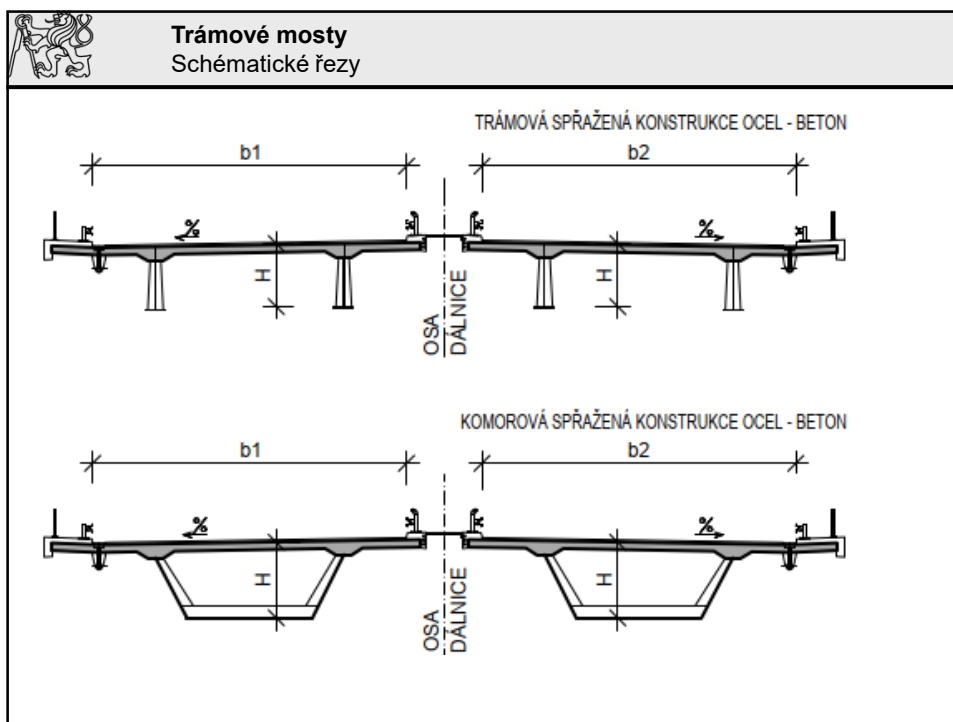
13



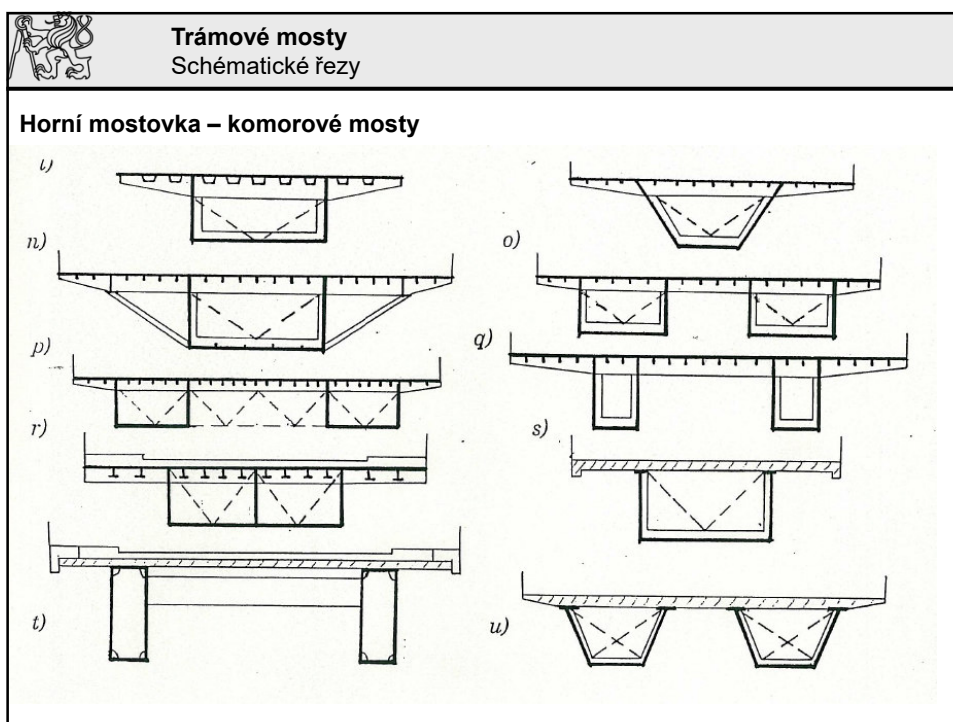
### Trámové mosty Schématické řezy



14



15

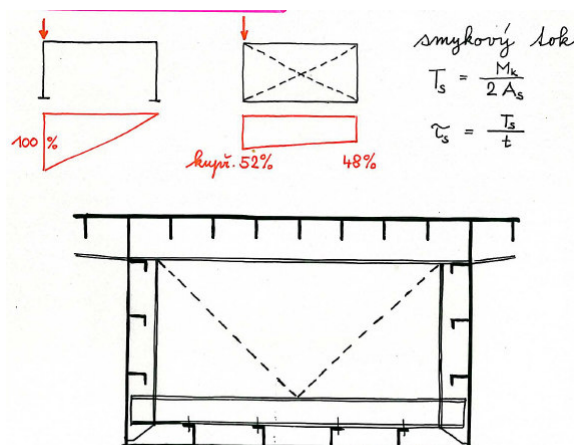


16



## Trámové mosty

Statická analýza – volba I nosník \* komora

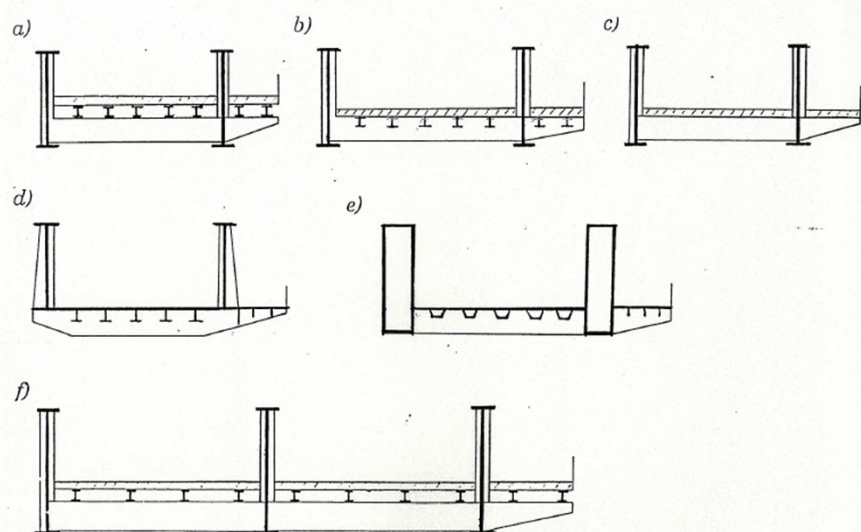


17

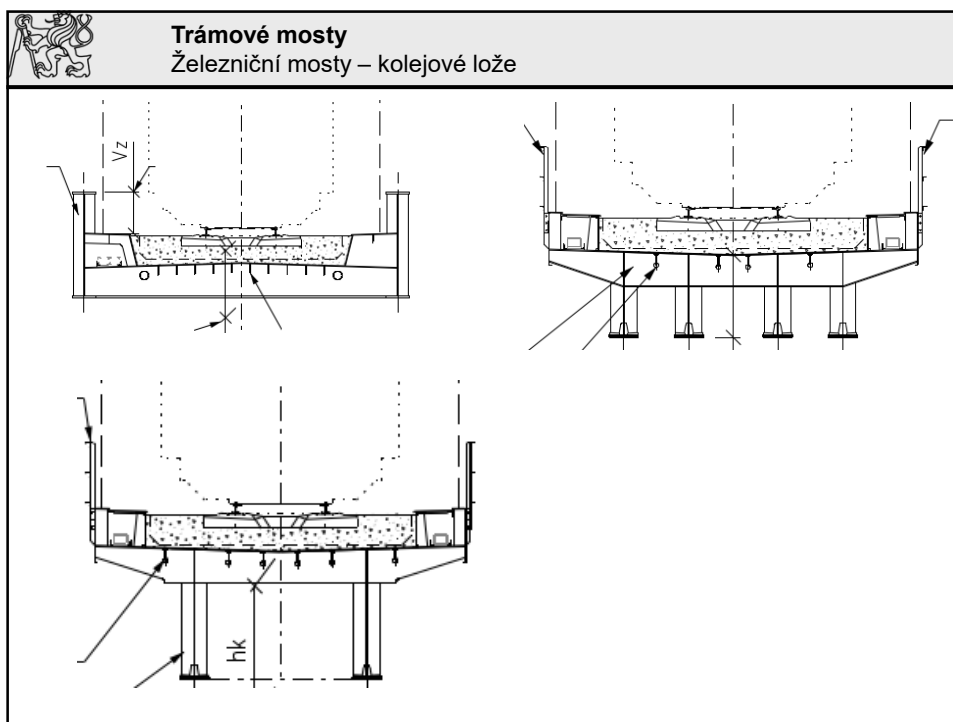


## Trámové mosty

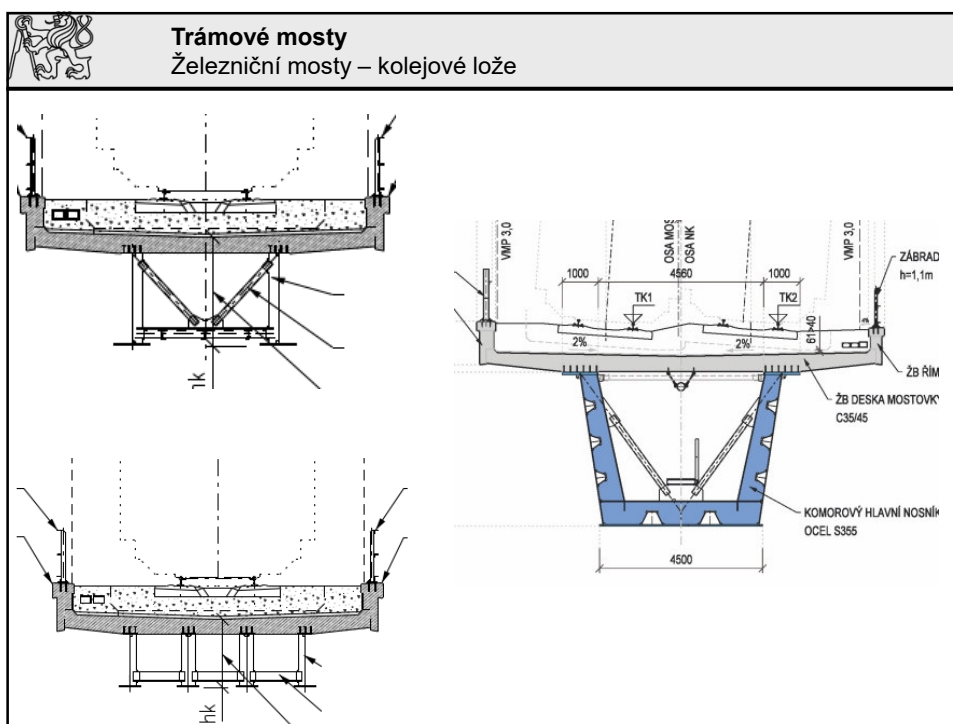
Dolní mostovka



18



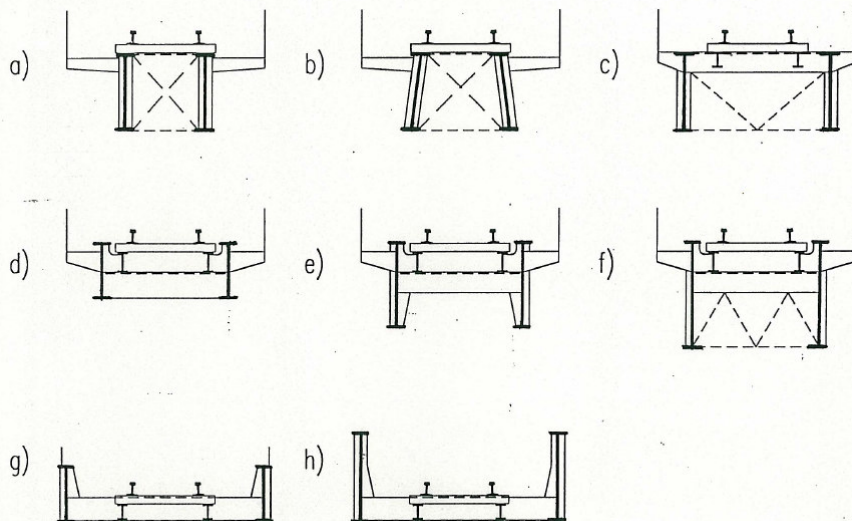
19



20



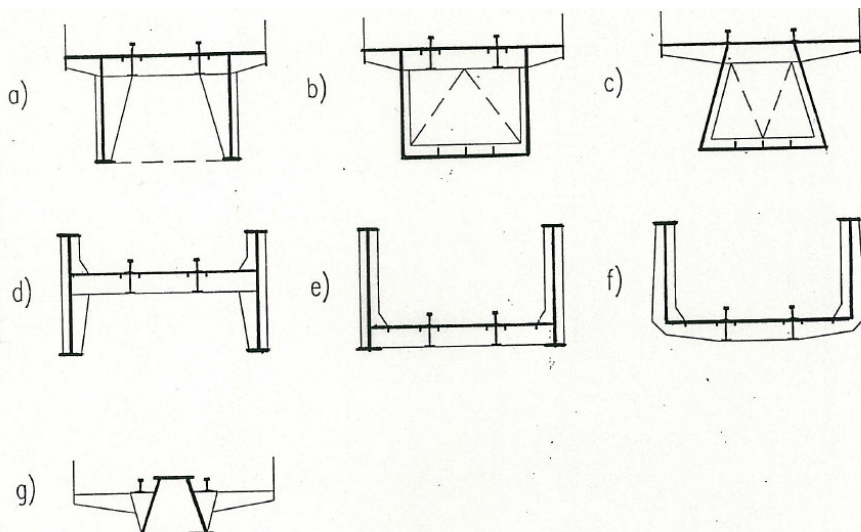
**Trámové mosty**  
Železniční mosty – prvková mostovka



21



**Trámové mosty**  
Železniční mosty – přímé upevnění

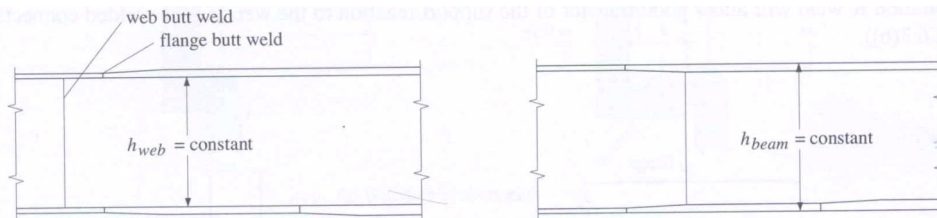


22

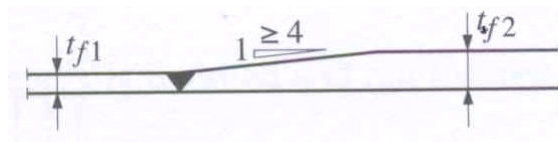


### Trámové mosty Detaily

- Konstantní výška NK – vhodná pro podélný výsun
- Konstantní výška stojiny – vhodná pro výrobu



- Přechody tloušťek se vždy provádějí plynule

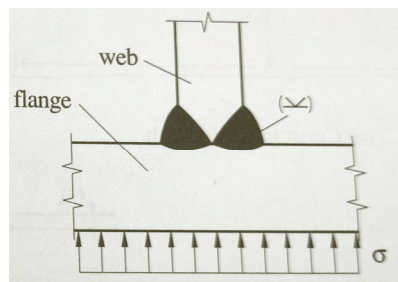
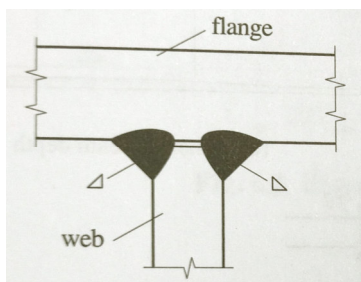


23



### Trámové mosty Detaily

- Spoj pásnice – stojina – koutové svary
- Nad ložiskem – svislé zatížení, nutný plný průvar



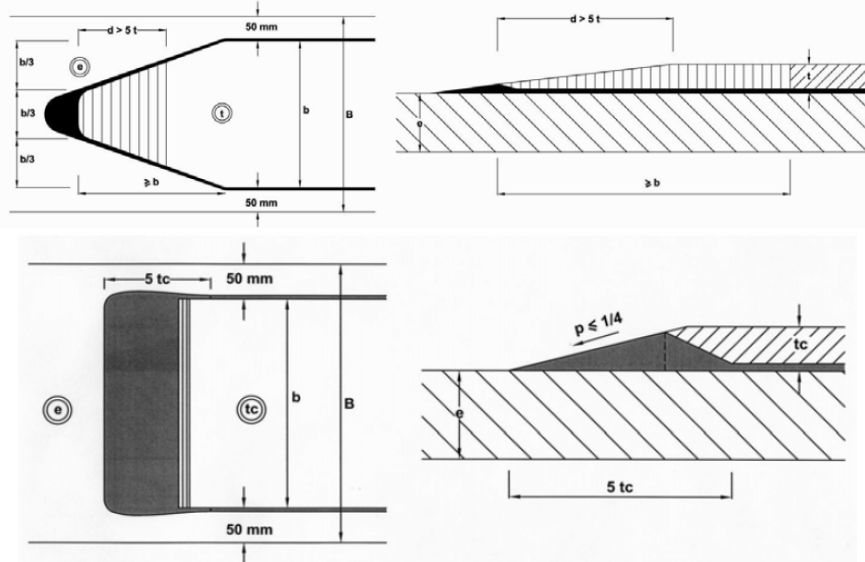
24



## Trámové mosty

### Detaily – přídatné lamelové pásnice

- Pro větší tloušťky – nutné z důvodu křehkého lomu lamelové pásnice



25

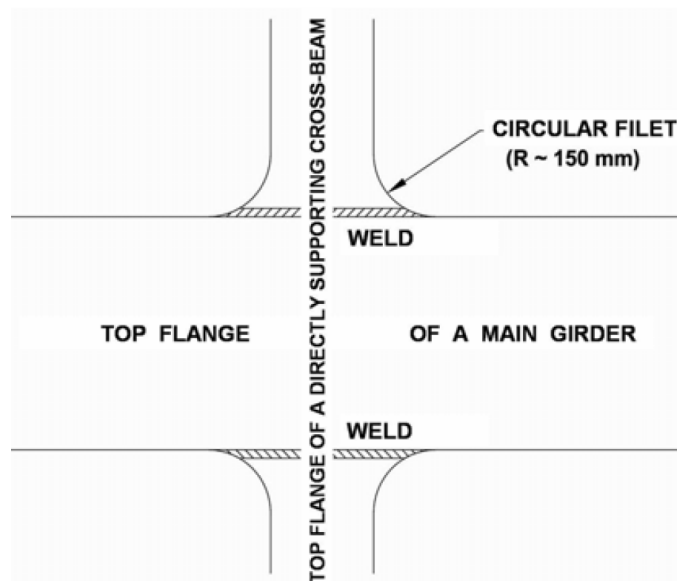


## Trámové mosty

### Detaily – přídatné lamelové pásnice

Připoje hlavní nosník – příčník

- Nutnost zaoblení z důvodu únavy



26

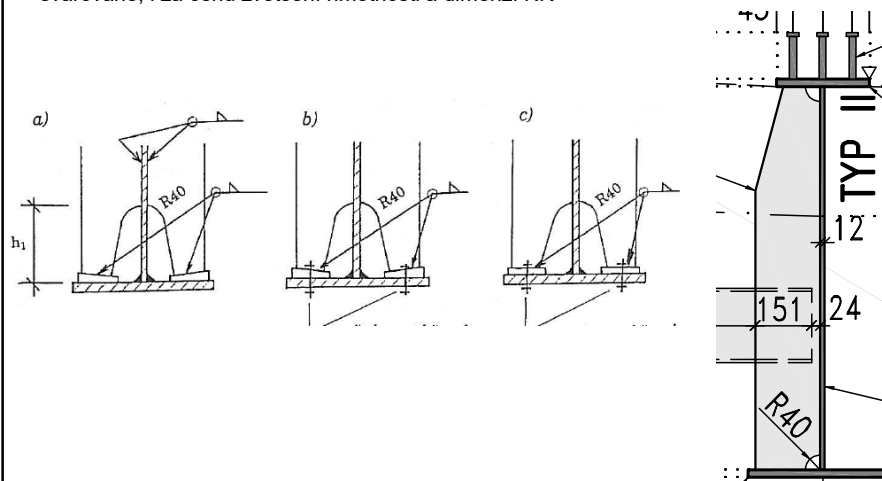


## Trámové mosty

### Příčné řezy

#### Přípoje výztuh stojiny

- Z důvodu únavy tradičně nesvařované detaily
- Dnes z důvodu jednoduchosti a údržby provádíme svařované, i za cenu zvětšení hmotnosti a dimenzí NK



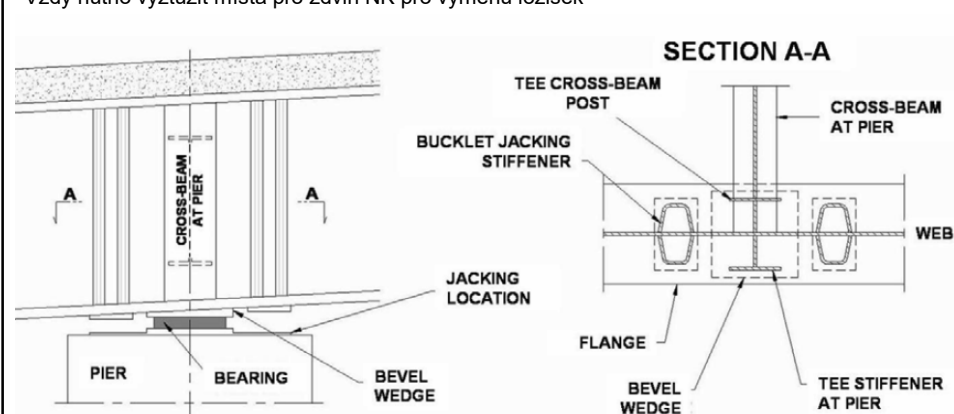
27



## Trámové mosty

#### Podporové ztužení a místo pro zdvih

- Vždy nutno vyztužit místa pro zdvih NK pro výměnu ložisek



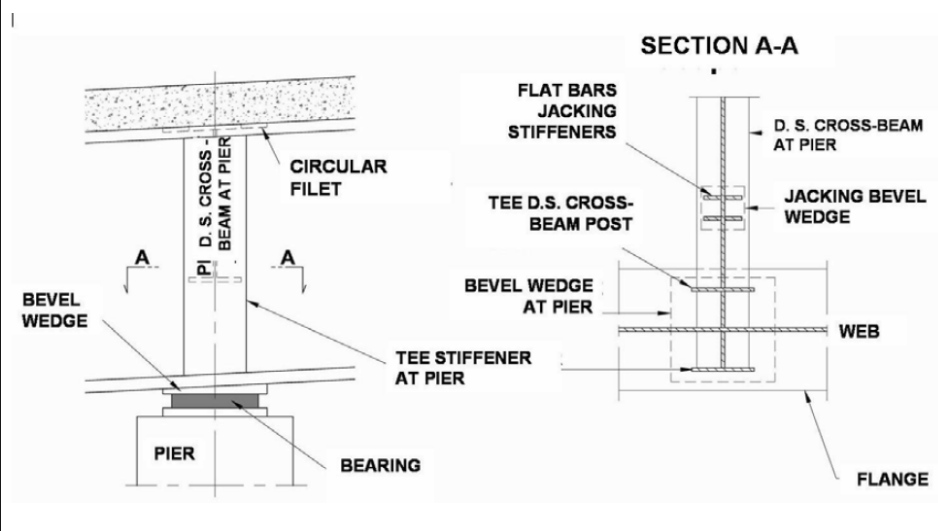
28



## Trámové mosty

### Podporové ztužení a místo pro zdvih

- Vždy nutno vyztužit místa pro zdvih NK pro výměnu ložisek



29

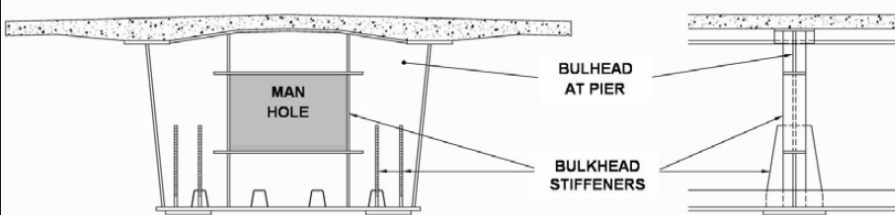


## Trámové mosty

### Vnitřní diafragmata

#### Podporové ztužení

- Nutná diafragmata nad uložením
- Zajištění inspekce – průleznosti



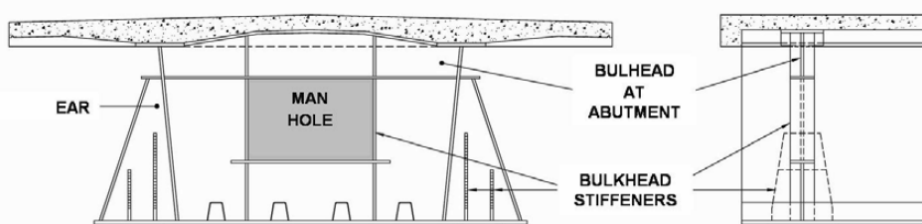
30



## Trámové mosty Vnitřní diafragmata

### Podporové ztužení

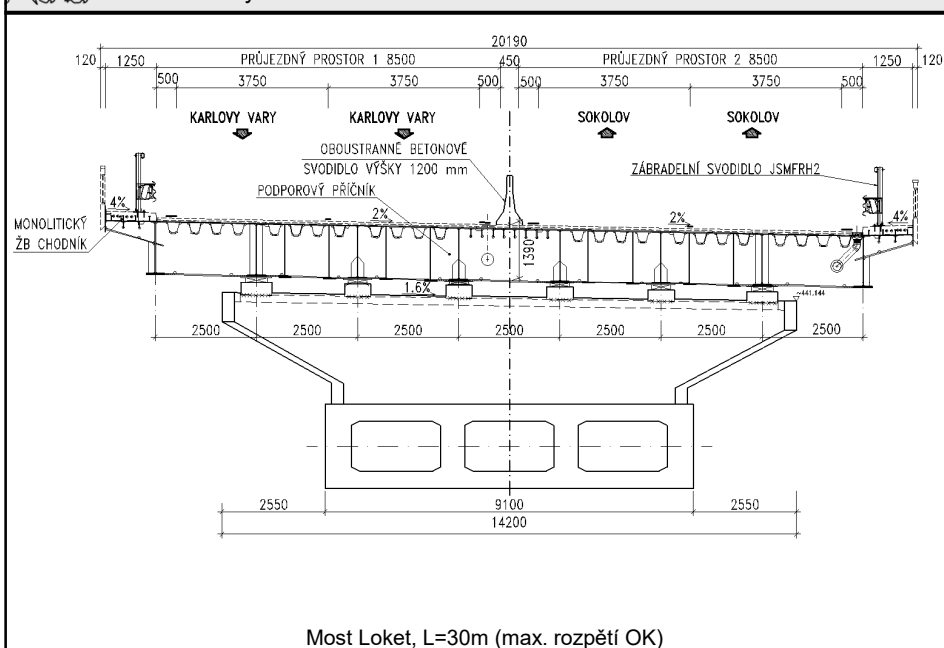
- Nutná diafragmata nad uložením
- Zajištění inspekce – průleznosti
- Provedení pro zvýšení odolnosti proti překlopení



31



## Trámové mosty Příklady



32



## Trámové mosty Příklady

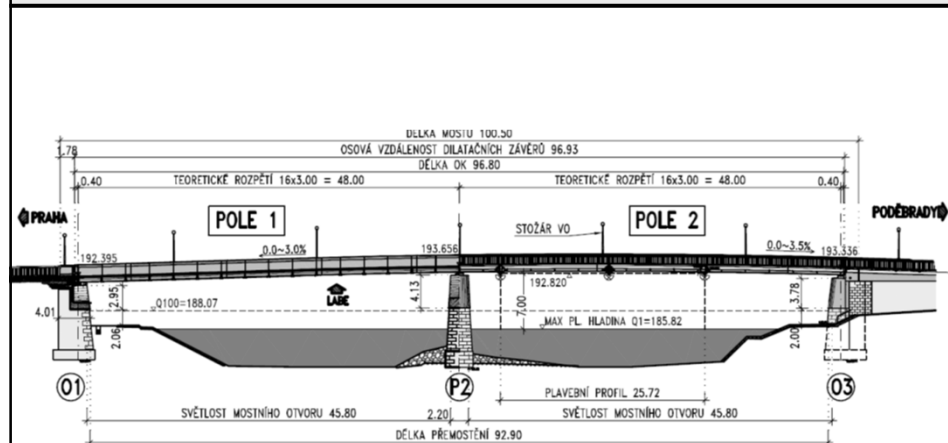


Most Loket, L=30m (max. rozpětí OK)

33

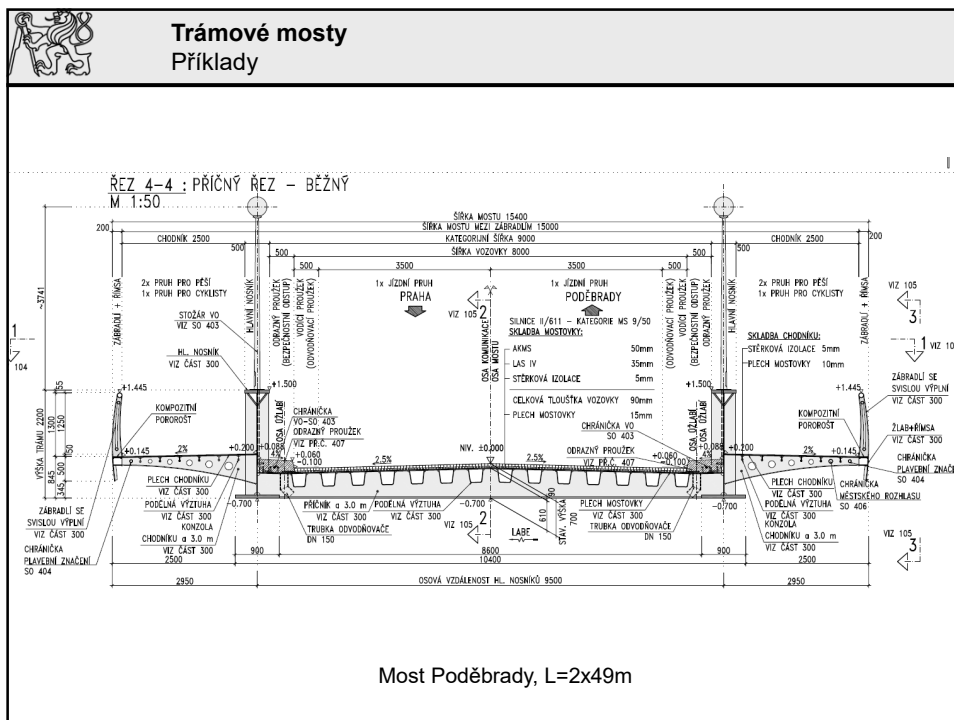


## Trámové mosty Příklady

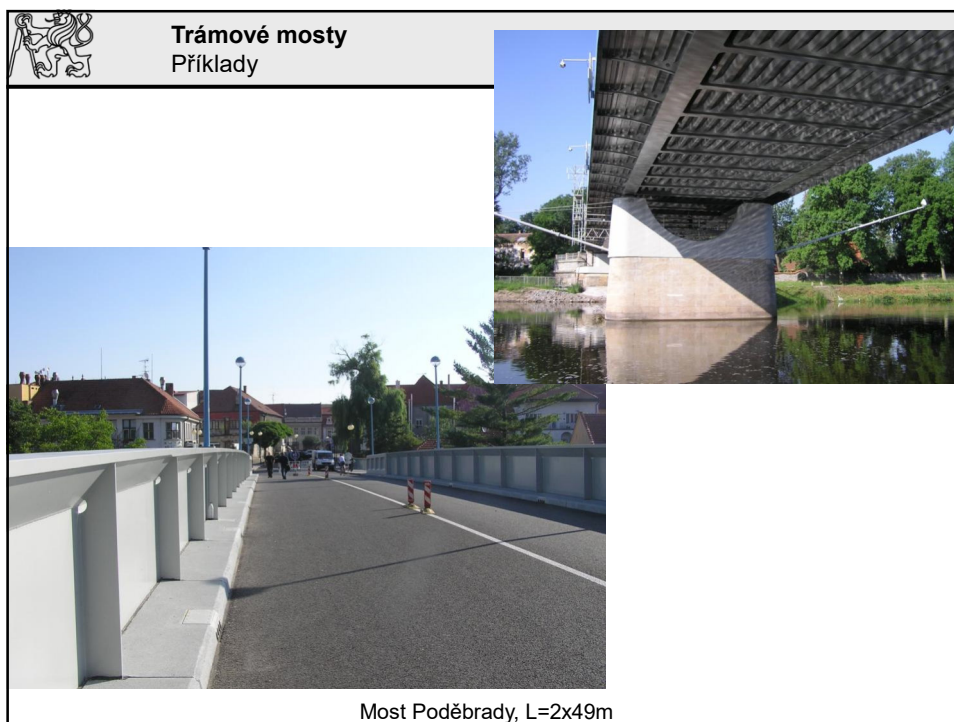


Most Poděbrady, L=2x49m

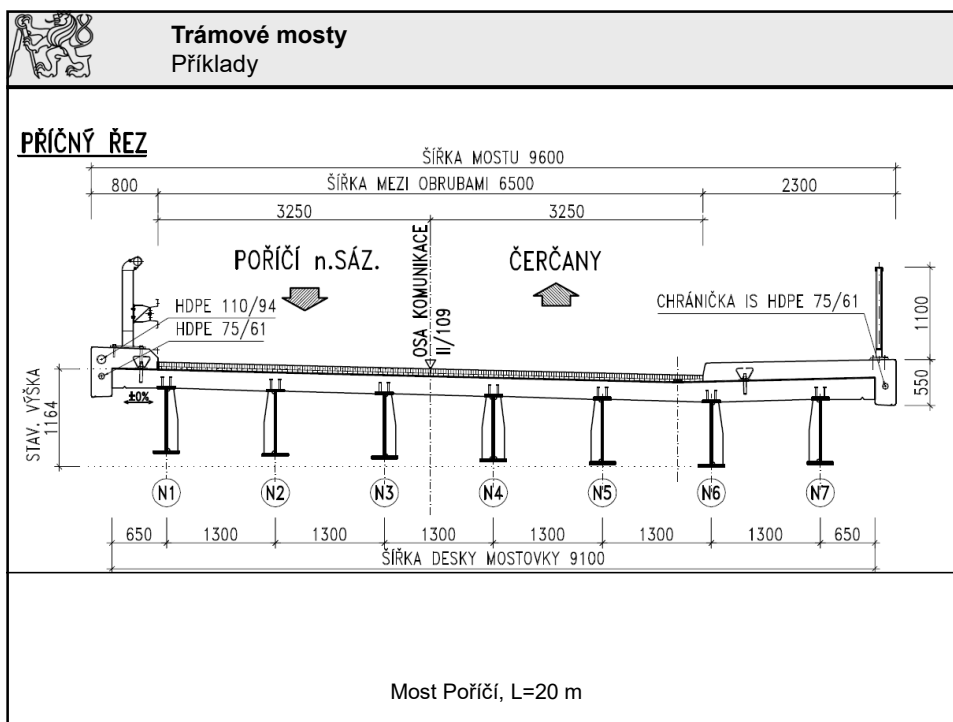
34



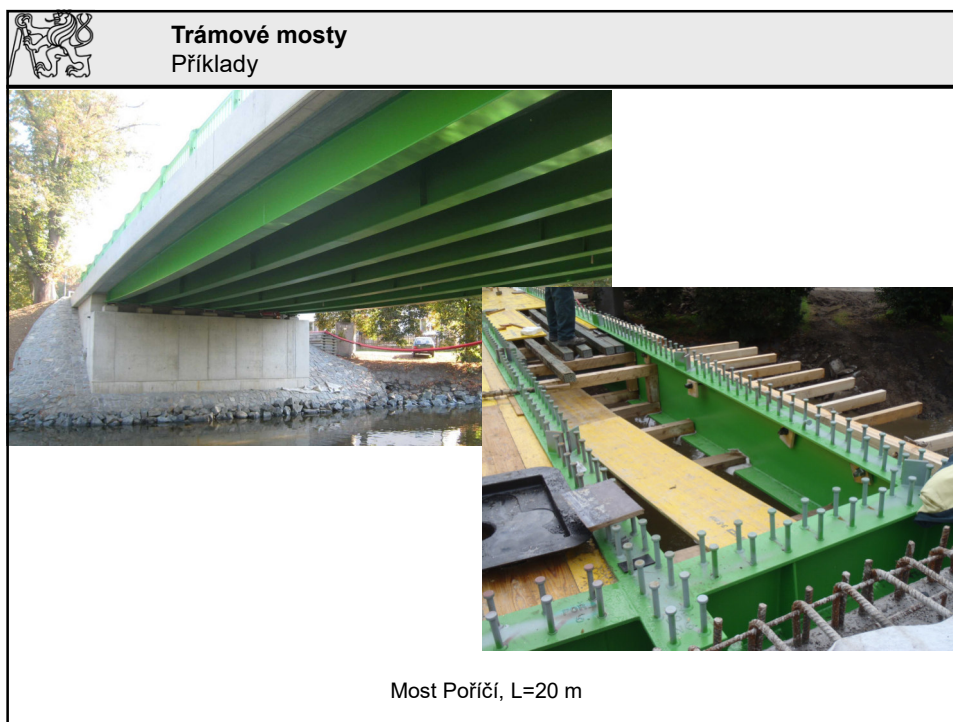
35



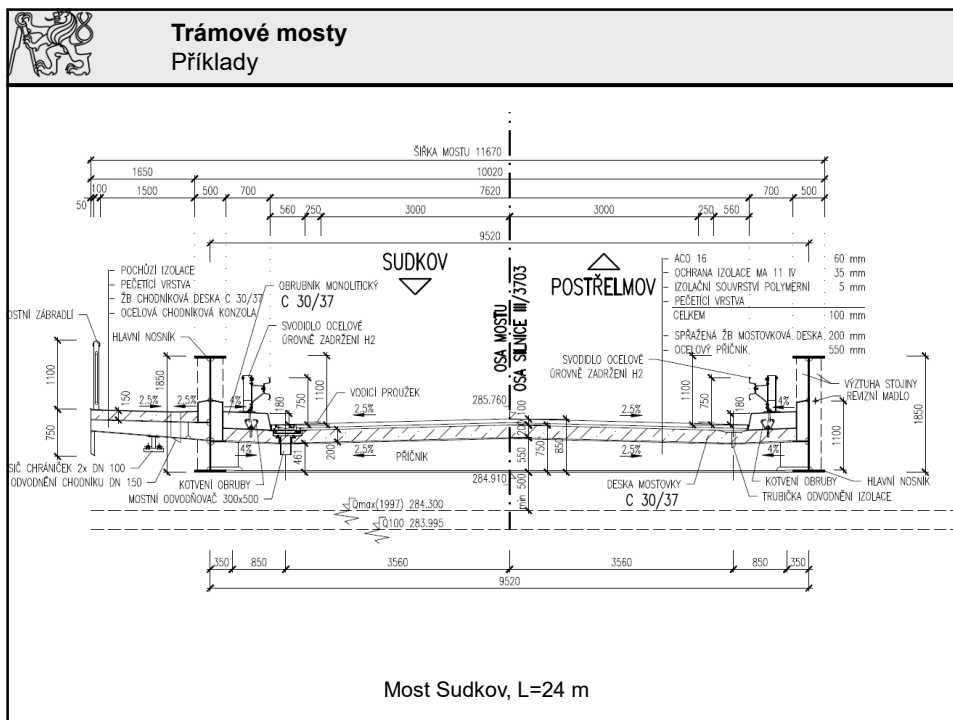
36



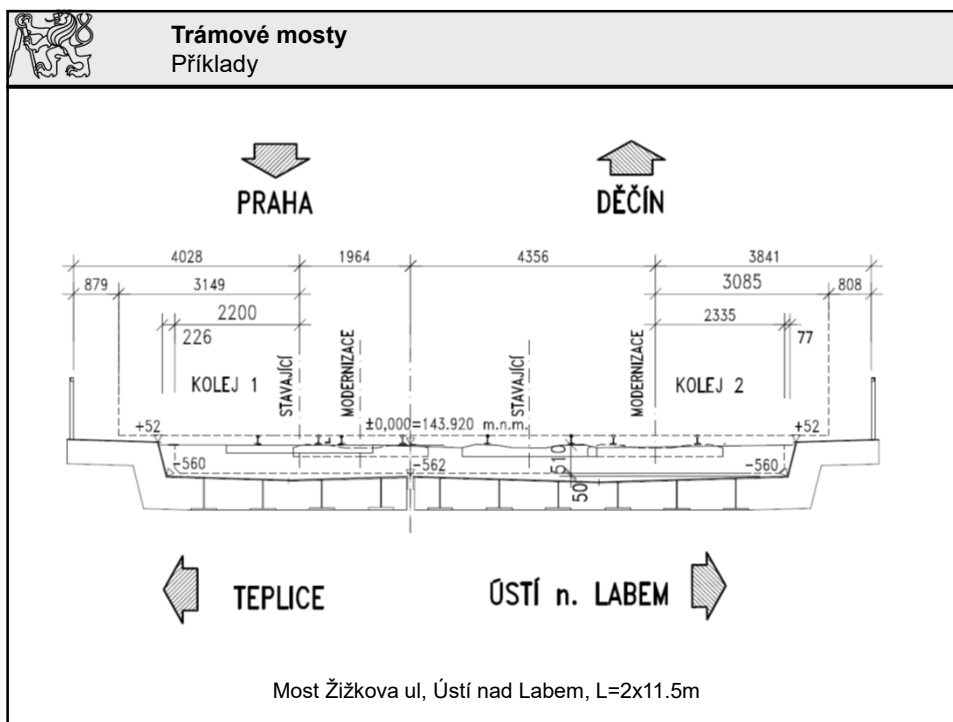
37



38



39



40



## Trámové mosty Příklady

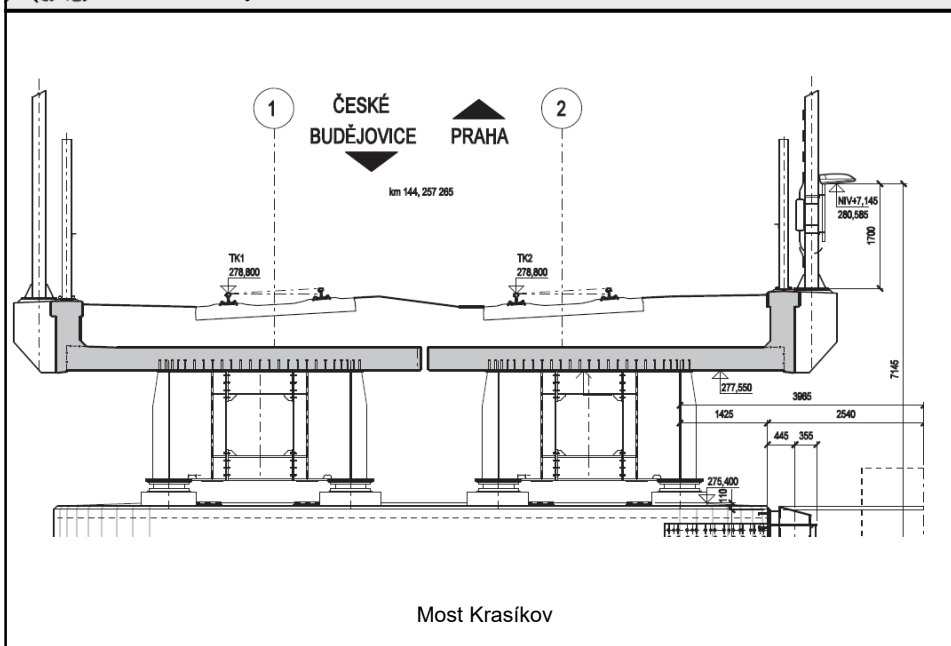


Most Žižkova ul, Ústí nad Labem,  $L=2 \times 11.5\text{m}$

41



## Trámové mosty Příklady



42



## Trámové mosty Příklady



Most Krasíkov

43



## Trámové mosty Statický výpočet

### Statický výpočet – globální analýza vnitřních sil

- Model musí respektovat reálné chování konstrukce
- Vnitřní síly se stanovují na pružném modelu (bez redistribuce – mimo spřažené mosty)
- Vliv geometrické nelinearity – II. řád – uvážit zejména u subtilních konstrukcí
- Respektovat prostorové působení konstrukce

44

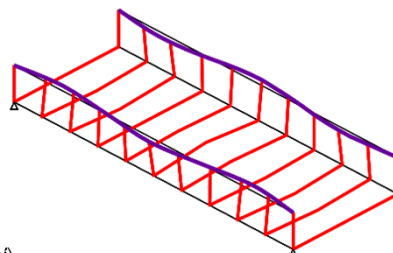


## Trámové mosty

### Statický výpočet

#### Statický výpočet – stabilita tlačného pásu

- Stabilita tlačné pásnice či horního pásu příhradových mostů
- Zavedení imperfekce a geometricky nelineární výpočet
- Zjednodušené ruční postupy - Engesser



#### Široké pásy :

- Vnitřní síly a napětí s respektováním smykového ochabnutí
- Nutnost zohlednění účinku boulení (globální, lokální)
- Posouzení diafragmat

45



## Trámové mosty

### Statický výpočet

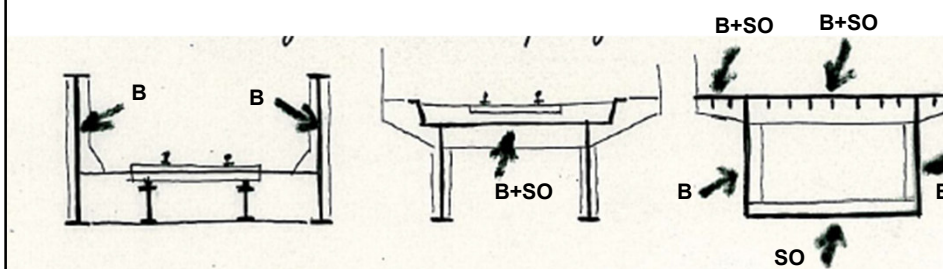
#### Statický výpočet

- Příčné řezy třídy 1,2,3 – standardní posudek

#### - Řezy třídy 4

- Boulení (tlak)
- Smykové ochabnutí (tlak i tah – široké pásy)
- Interakce boulení a smykového ochabnutí

- Příklad: v místě kladného ohybového momentu

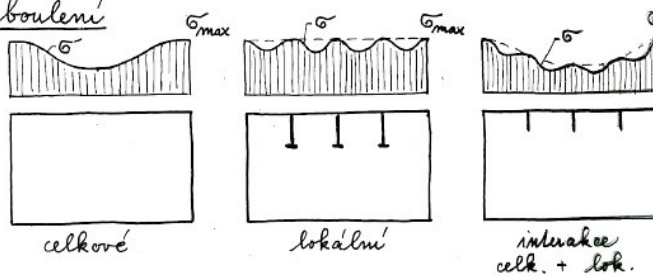


46

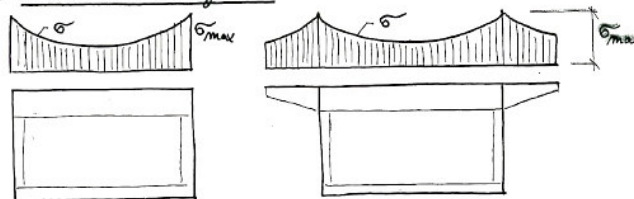


## Trámové mosty Statický výpočet

### 1. boulení



### 2. ochabnutí smykem

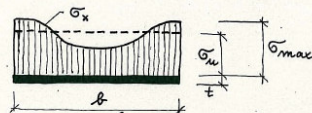


→ interakce ochabnutí smykem s boulením

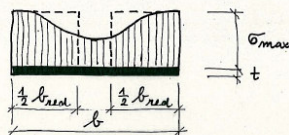
47



## Trámové mosty Statický výpočet



$$N_u = t \int_0^b \sigma_x dy = \int_0^b \sigma_{max} \cdot b \cdot t = \sigma_u \cdot b \cdot t$$



$$N_u = t \cdot \rho \cdot b \cdot \sigma_{max} = t \cdot b_{red} \cdot \sigma_{max}$$

$$\sigma_x = \frac{N_x}{A_{g,ef}} + \frac{M_x}{I_{g,ef}} \cdot x + \sigma_w \leq f_{yd}$$

$$\sigma_y = \dots$$

$$\tau = \frac{Q_x \cdot s_{g,ef}}{I_{g,ef} \cdot t} + \tau_s \leq 0,6 R_d$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau^2} \leq f_{yd}$$

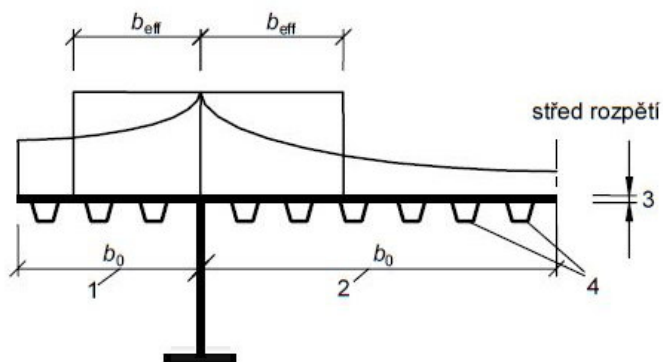
48



## Trámové mosty Statický výpočet

### Statický výpočet – smykové ohabnutí

- Efektivní šířka:
- $b_{eff} = \beta b_0$

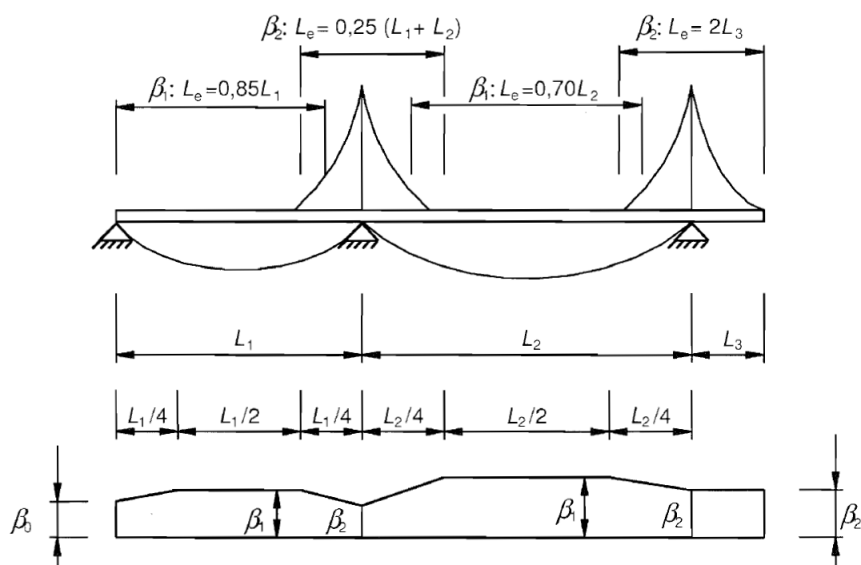


49



## Trámové mosty Statický výpočet

### Statický výpočet Ekvivalentní rozpětí



50



## Trámové mosty Statický výpočet

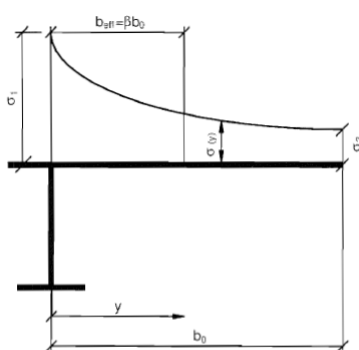
$\kappa$	Místo posouzení	Hodnota $\beta$
$\kappa \leq 0,02$		$\beta = 1,0$
$0,02 < \kappa \leq 0,70$	kladné ohybové momenty	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4\kappa^2}$
	záporné ohybové momenty	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0\left(\kappa - \frac{1}{2500\kappa}\right) + 1,6\kappa^2}$
$\kappa > 0,70$	kladné ohybové momenty	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{5,9\kappa}$
	záporné ohybové momenty	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{8,6\kappa}$
jakékoliv $\kappa$	koncová podpora	$\beta_0 = (0,55 + 0,025 / \kappa) \beta_1$ , ale $\beta_0 < \beta_1$
jakékoliv $\kappa$	konzola	$\beta = \beta_2$ v podpoře a na konci

$\kappa = \alpha_0 b_0 / L_e$  kde  $\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{sf}}{b_0 t}}$   
 přitom  $A_{sf}$  je plocha všech podélných výztuh v šířce  $b_0$  a další označení odpovídají obrázkům 3.1 a 3.2.

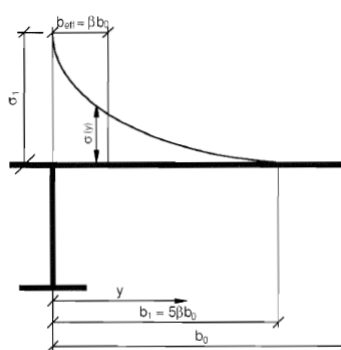
51



## Trámové mosty Statický výpočet



$$\begin{aligned}
 &\beta > 0,20 : \\
 &\sigma_2 = 1,25 (\beta - 0,20) \sigma_1 \\
 &\sigma(y) = \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2) (1 - y/b_0)^4
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &\beta \leq 0,20 : \\
 &\sigma_2 = 0 \\
 &\sigma(y) = \sigma_1 (1 - y/b_1)^4
 \end{aligned}$$

52



## Trámové mosty Statický výpočet

### Statický výpočet

#### Interakce smykového ochabnutí a boulení

Použije se efektivní průřez

$$A_{eff} = A_{c,eff} \beta_{ult}$$

Případně

$$A_{eff} = A \cdot \rho \cdot \beta_{ult}$$

Kde  $\beta_{ult}$  lze získat z předchozí tabulky s koeficienty:

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{A_{c,eff}}{b_0 t_f}}$$

Tabulka 3.1 – Součinitel účinné šířky  $\beta$

$\kappa$	Místo posouzení	Hodnota $\beta$
$\kappa \leq 0,02$		$\beta = 1,0$
$0,02 < \kappa \leq 0,70$	kladné ohybové momenty	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4\kappa^2}$
	záporné ohybové momenty	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0\left(\kappa - \frac{1}{2500\kappa}\right) + 1,6\kappa^2}$
$\kappa > 0,70$	kladné ohybové momenty	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{5,9\kappa}$
	záporné ohybové momenty	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{8,6\kappa}$
jakékoliv $\kappa$	koncová podpora	$\beta_b = (0,55 + 0,025 / \kappa) \beta_1$ , ale $\beta_b < \beta_1$
jakékoliv $\kappa$	konzola	$\beta = \beta_2$ v podpoře a na konci

$\kappa = \alpha_0 b_0 / L_0$  kde  $\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{st}}{b_0 I}}$   
přitom  $A_{st}$  je plocha všech podélných výztuh v šířce  $b_0$  a další označení odpovídají obrázkům 3.1 a 3.2.

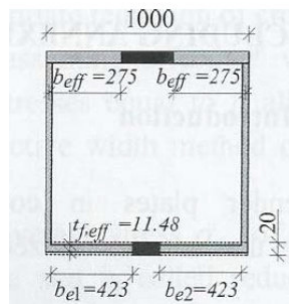
53



## Trámové mosty Statický výpočet

### Globální boulení stěny – kombinace dvou přístupů

- Teorie ortotropní stěny – rozetřená tuhost
- Prutová analogie
- Předmětem SOK, OK2
- Výsledná aplikace na průřez:
  - Lokální boulení – odstranění částí průřezu
  - Globální boulení – redukce tloušťky
  - Interakce se smykovým ochabnutím – další redukce tloušťky



54



## Trámové mosty

### Statický výpočet

#### Statický výpočet – ULS – ultimate limit state (MSÚ)

- Extrémní zatížení  $\gamma_f > 1$
- Návrhové parametry materiálu  $\gamma_m > 1$

Pak se posuzuje následující:

- Únosnost příčného řezu (třída 1-4)
- Únosnost prvku (stabilita, únava)
- Únosnost spřažení a spojů
- Stabilita tvaru (oblouk, tlačené prvky)
- Stabilita polohy (nadzdvižení ložisek, překlopení)

#### Imperfekce:

- Geometrické (deformovaný tvar)
- Fyzikální (reziduální napětí)
- Bere se do úvahy pro návrh ztužení, globální analýzu, návrh prvků

55



## Trámové mosty

### Statický výpočet

#### Statický výpočet – SLS – serviceability limit state (MSP)

Velmi významný – často rozhoduje o dimenzích mostu

- Provozní zatížení  $\gamma_f = 1$
- Charakteristické vlastnosti materiálu  $\gamma_m = 1$

Ověření:

- Pružné chování
- Průhyby
- Vibrace
- Stabilita
- Udržitelnost, odvodnění..

Lineární analýza s vlivem smykového ochabnutí i boulení

56



## Trámové mosty Statický výpočet

- Pružné chování:  $\sigma_{Ed,ser} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}}$   $\tau_{Ed,ser} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M,ser}}$   $\gamma_{Meer} = 1,00$ .  

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed,ser}^2 + \sigma_{z,Ed,ser}^2 - \sigma_{x,Ed,ser} \sigma_{z,Ed,ser} + 3\tau_{Ed,ser}^2} \leq f_y / \gamma_{m,ser}$$
- Rozkmit napětí pro častou kombinaci zatížení  

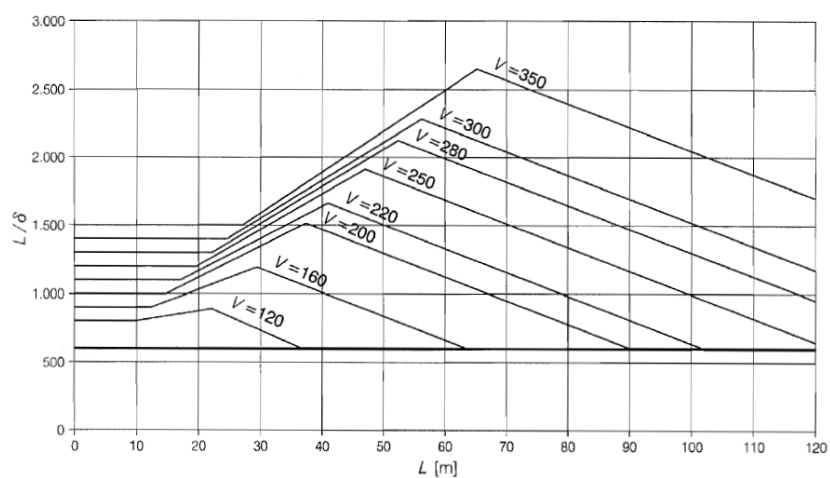
$$\Delta\sigma_{fre} \leq 1,5 f_y / \gamma_{m,ser}$$
- Dýchání stěny - opakované boulení stěny při přejezdu vozidel
  - Esteticky nepřijatelné, může být doprovázeno zvukovými efekty.
  - Může způsobovat únavu ve svarech spojujících stěnu s pásnicemi.
- Zatížení šroubů je omezeno  $F_{b,Rd,ser} \leq 0,7 F_{b,Rd}$   
 pro běžné šrouby pro častou kombinaci  
 pro předpjaté šrouby pro charakteristickou kombinaci

57



## Trámové mosty Statický výpočet

- Omezení zrychlení pro pohodu cestujících – vyjádřeno omezením pŕhybu  $L/600-L/2600$



58



## Trámové mosty

### Statický výpočet

- **Omezení průhybu:**
- Silniční mosty
  - Nepohoda, omezení dynamických účinků, poruchy vozovky
  - Požadavky na tuhost výztuh mostovky – prevence trhlin ve vozovce
- Lávky pro pěší
  - Omezení průhybu
  - Omezení zrychlení – 0.7m/s<sup>2</sup> svislé kmitání, 0,2m/s<sup>2</sup> pro vodorovné

59



## Trámové mosty

### Statický výpočet

- **Omezení průhybu:**

Druh mostní konstrukce			Mosty pozemních komunikací <sup>1)</sup>	Lávky pro chodce
Trvalé mosty	Prosté nosníky <sup>2)</sup>	ve více otvorech	L/400	L/250
		v jediném otvoru	L/300	
	Spojitě nosníky <sup>2) 3)</sup>		L/300	
Zatímní mosty a rozebíratelné konstrukce			L/200	L/150

1) U sdružených mostů se při současném zatížení mostu kolejovou i silniční dopravou redukuje zatížení silniční dopravou na 50 % a vypočítaný průhyb se porovná s mezní hodnotou pro železniční mosty, určenou podle ČSN EN 1990/A1, A.2.4.4.2.3.

2) U obloukových, visutých apod. mostů se průhyb vyšetřuje též ve čtvrtině rozpětí při jednostranném zatížení. Při stanovení mezního průhybu se za L dosazuje délka kladné polovlny ohybové čáry, popř. polovina rozpětí.

3) Hodnoty pro spojitě nosníky platí i pro spojitě mostní konstrukce s klouby. Přitom se zvlášť posuzují vložená pole, konzoly a součet průhybů vloženého pole a konzoly. Každý z těchto průhybů se posuzuje zvlášť, přičemž L je rovno rozpětí celého nebo vloženého pole, popř. dvojnásobné délce konzoly.

60

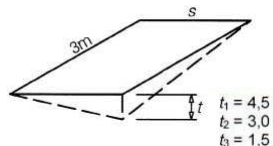


## Trámové mosty

### Statický výpočet

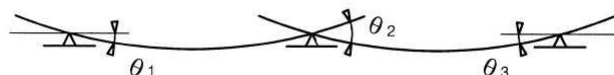
#### Statický výpočet

- **Omezení průhybu:**
- Železniční mosty –  $L/600$
- Průhyb koncového příčnicku – rozhoduje o jeho dimenzích
- Zkroucení NK omezeno



Rychlost (km/h)	Max. zkroucení (mm/3m)
$V \leq 120$	4,5
$120 < V \leq 200$	3
$V > 200$	1,5

- Natočení nad podporami



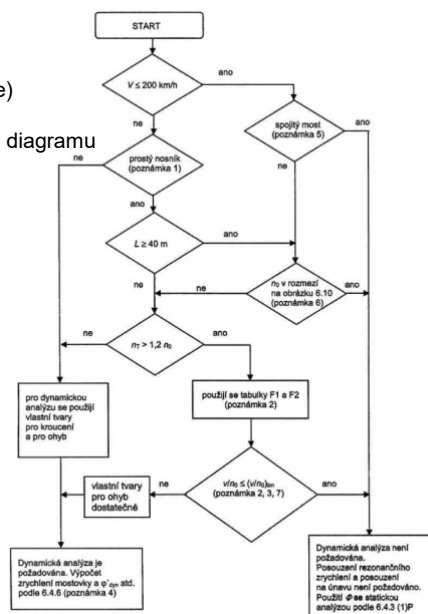
61



## Trámové mosty

### Statický výpočet

- Omezení zrychlení dynamickou analýzou
- (bezpečnost, stabilita vlaku, kontakt kolo - kolejnice)
- Nutno posoudit pro rychlost  $v > 200$  km/h
- Pro menší rychlost – ve specifických případech dle diagramu
- Omezení:
  - 3,5m/s<sup>2</sup> kolejové lože
  - 5 m/s<sup>2</sup> přímé upevnění



62