



Ocelové mosty 1

Téma:

Spřažené mosty

Doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.

1



Spřažené mosty Typické příčné řezy

U silničních mostů jde především o roštové mosty, u železničních mostů o mosty s železobetonovým žlabem.

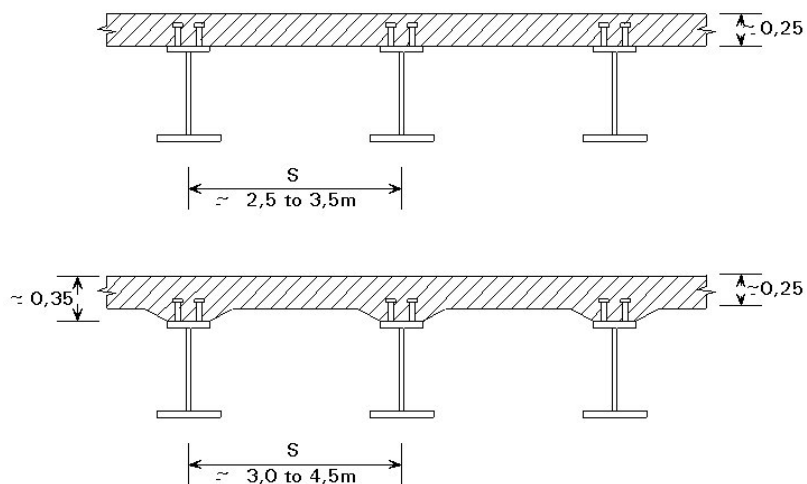
Trámové mosty s horní mostovkou:			silniční	železniční
příměstěnné	prosté			
	spojité			
přehradové				

2



Spřažené mosty Typické příčné řezy

Nosníkové rošty:

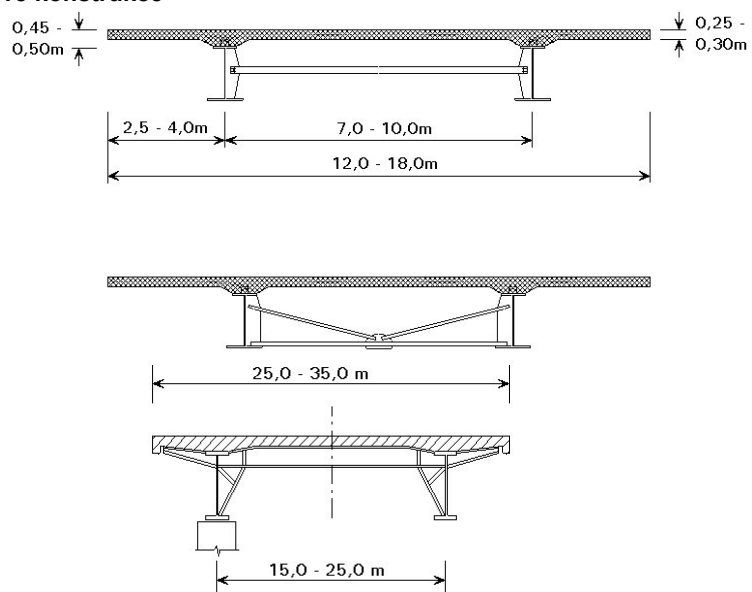


3



Spřažené mosty Typické příčné řezy

Dvoutrámové konstrukce

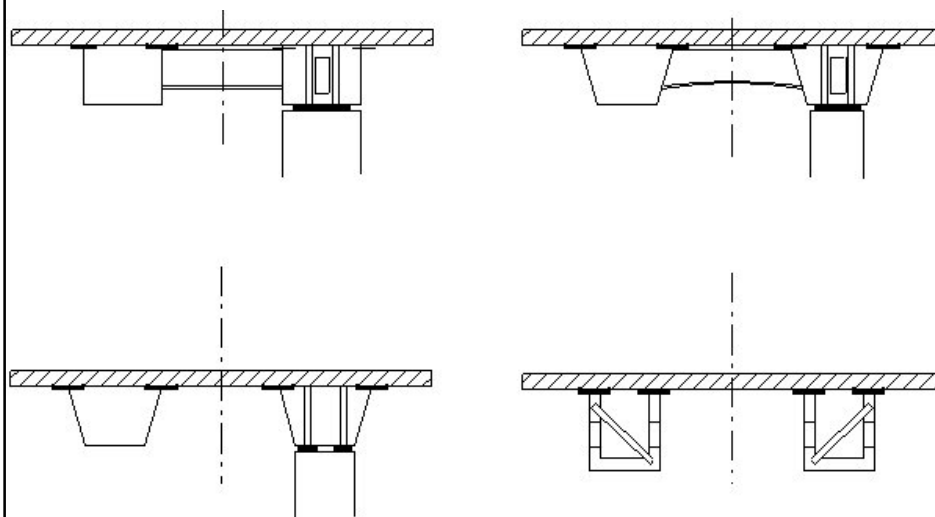


4



Spřažené mosty Typické příčné řezy

Dvoutrámové konstrukce:

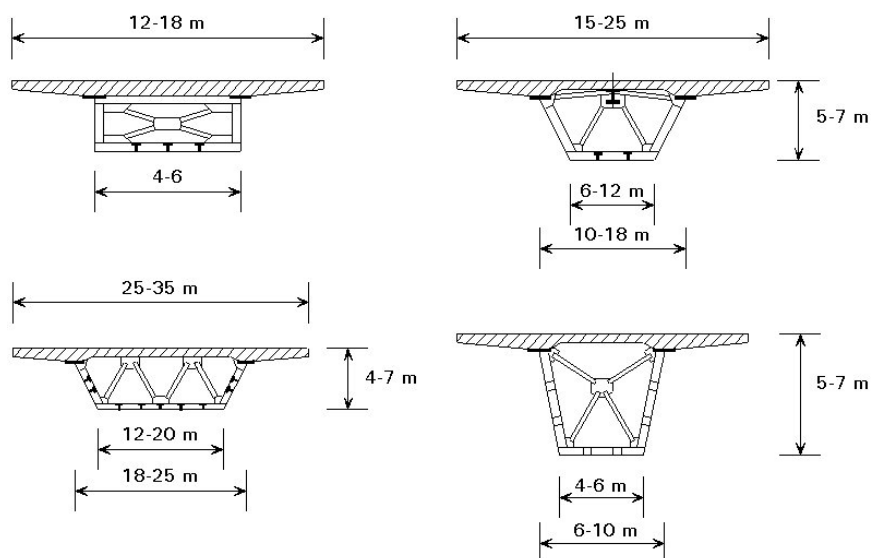


5

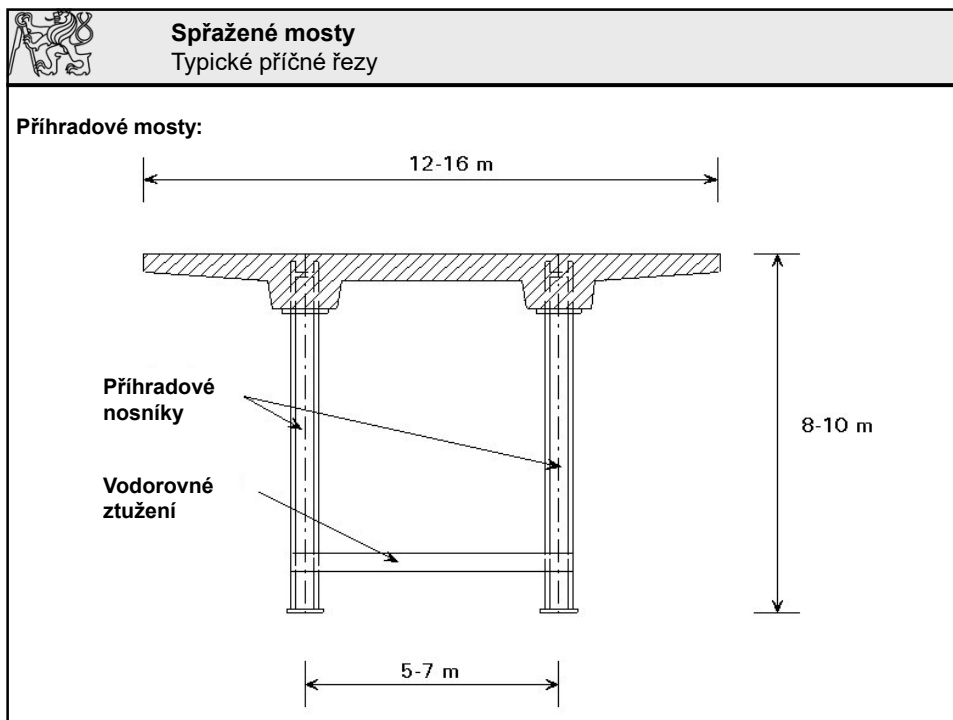


Spřažené mosty Typické příčné řezy

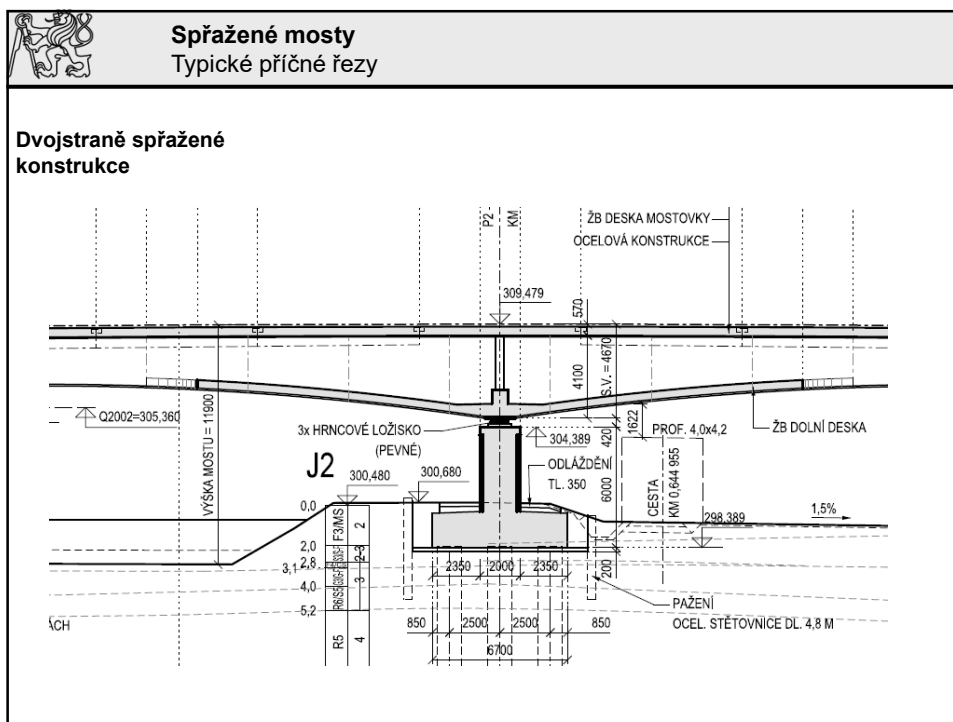
Komorové příčné řezy:



6



7



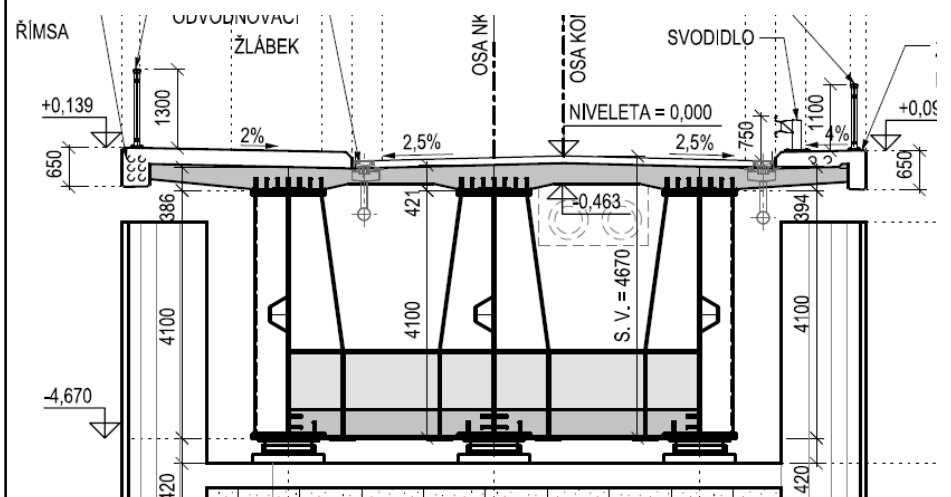
8



Spřažené mosty

Typické příčné řezy

Dvojstraně spřažené konstrukce

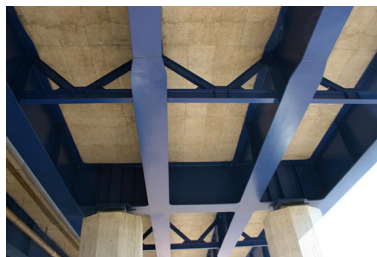
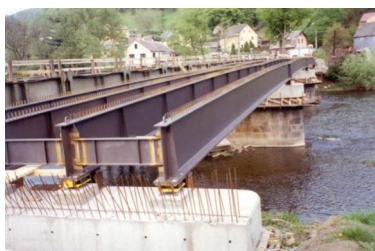


9



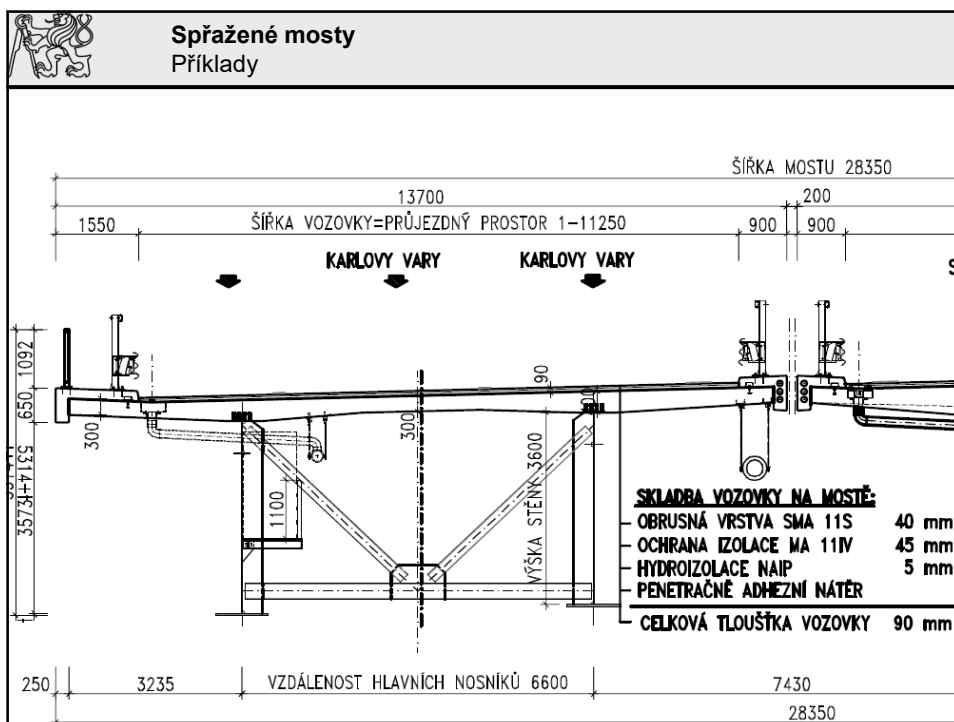
Spřažené mosty

Příklady



Typičtí reprezentanti spřažených mostů

10



11



12



Spřažené mosty Příklady



13



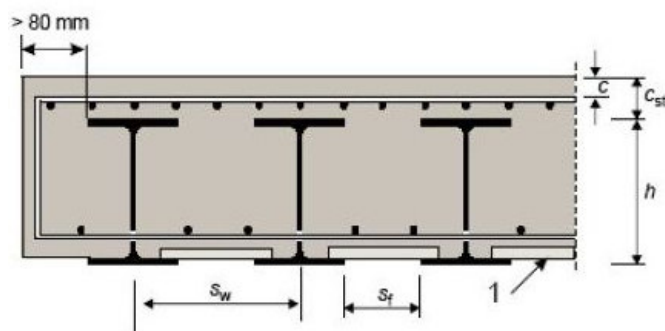
Spřažené mosty Zabetonované nosníky

Výhody:

- malá stavební výška
- Zejména železniční mosty
- pro rozpětí do 20 m
- snadná výroba a montáž

Nevýhody:

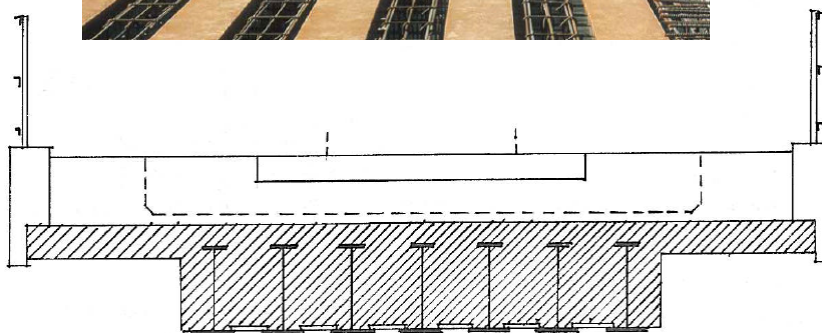
- vysoké náklady, hodně oceli



14



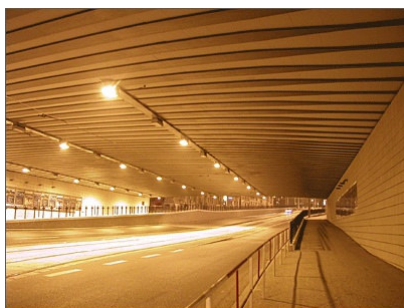
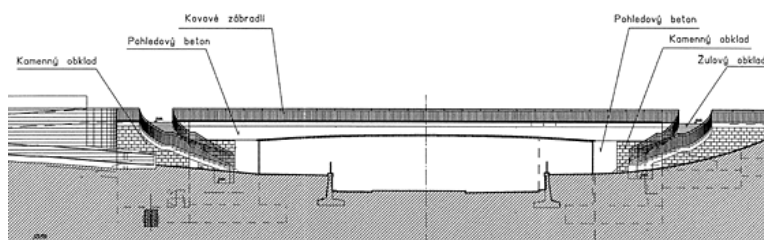
Spřažené mosty Zabetonované nosníky



15



Spřažené mosty Zabetonované nosníky

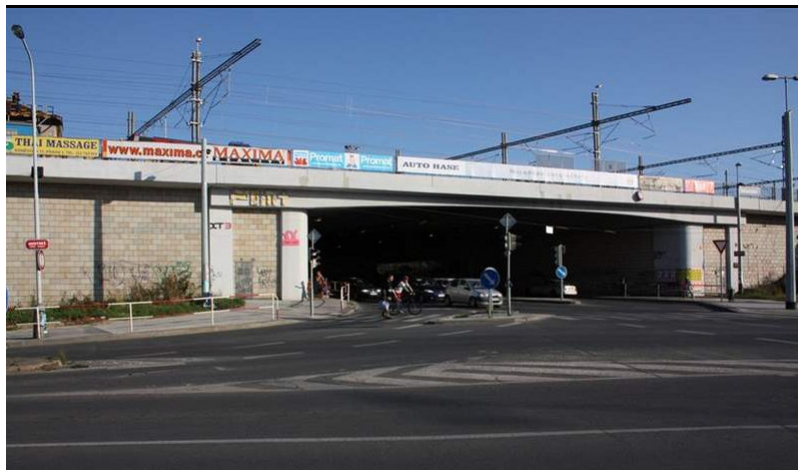


Most Seifertova, L=29m

16



Spřažené mosty Zabetonované nosníky



Most Seifertova, L=29m

17



Spřažené mosty Zabetonované nosníky



Most Roztoky

18



Spřažené mosty

Předpjaté spřažené nosníky

Předpjaté spřažené nosníky – Preflex

Výhody:

- Vysoká tuhost
- Vysoká únosnost
- Vhodné pro malou stavební výšku



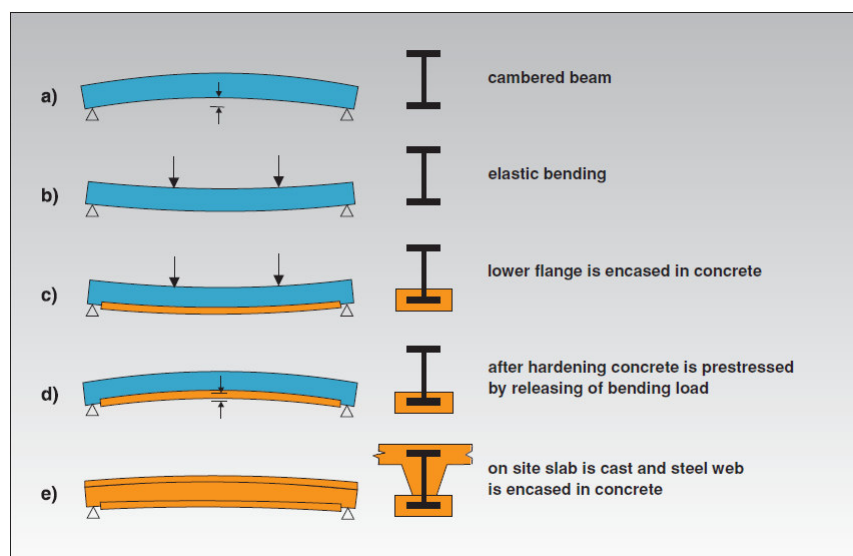
19



Spřažené mosty

Předpjaté spřažené nosníky

Předpjaté spřažené nosníky



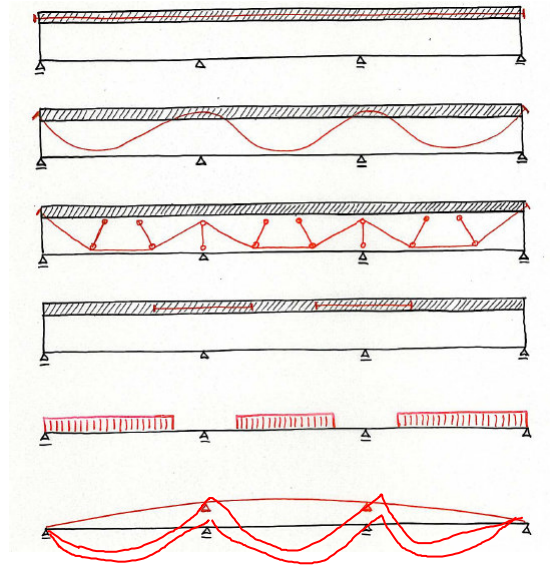
20



Spřažené mosty

Předpjaté spřažené nosníky

Předpjaté spřažené nosníky

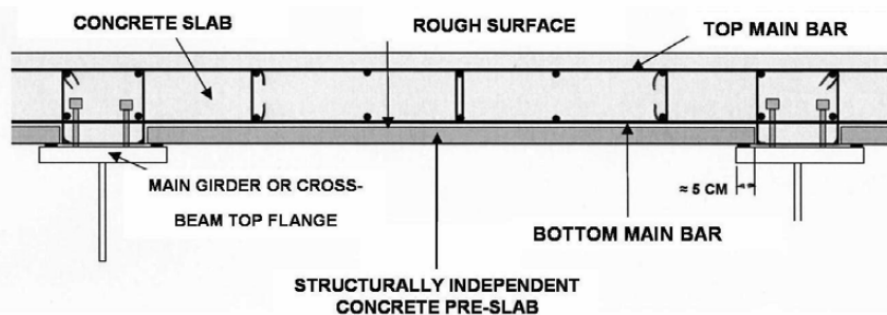


21



Spřažené mosty

Prefabrikace desek - částečná

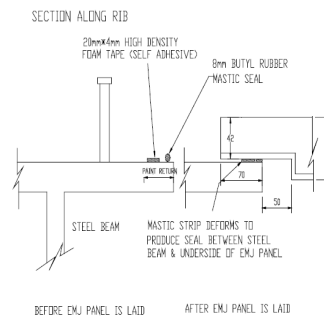
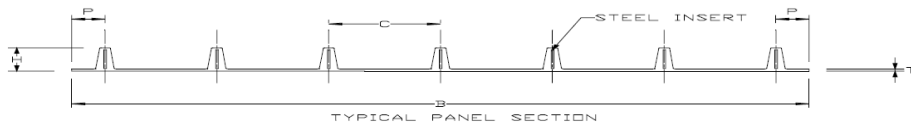


22



Spřažené mosty Prefabrikace desek - částečná

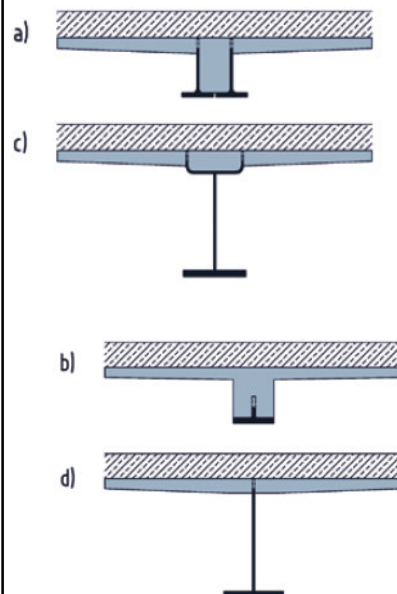
-Bednění z FRP materiálů (Fibre Reinforced Plastics)
-EMJ plastics



23



Spřažené mosty Prefabrikace desek – částečná - Precobeam



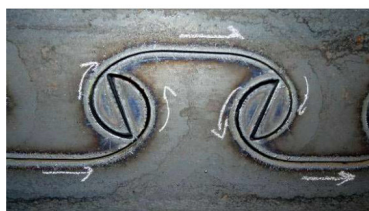
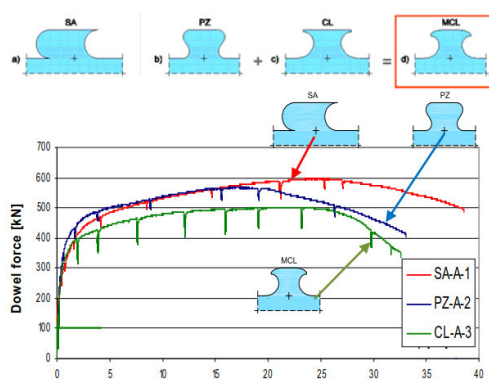
24



Spřažené mosty

Prefabrikace desek – částečná - Precobeam

- Specifický tvar spřažení - celkem 3 typy spřažení
- Výsledně sloučeny do tvaru MCL - modifikovaná klotoida
- Ta je ideální zejména pro únavově namáhané konstrukce



25



Spřažené mosty

Prefabrikace desek - částečná



26



Spřažené mosty

Prefabrikace desek - částečná

- Pokročilým příkladem je most Elblag v Polsku
- $L=38$ m, profil HL1000



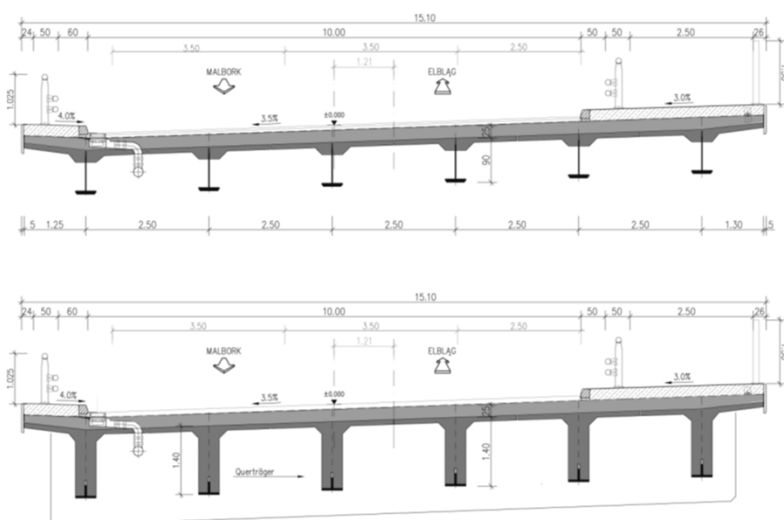
27



Spřažené mosty

Prefabrikace desek - částečná

- Pokročilým příkladem je most Elblag v Polsku
- $L=38$ m, profil HL1000



28



Spřažené mosty

Prefabrikace desek - částečná

- Pokročilým příkladem je most Elblag v Polsku
- L=38 m, profil HL1000



29



Spřažené mosty

Prefabrikace desek - částečná

- Dalším příkladem je most Mochov v ČR



30



Spřažené mosty

Prefabrikace desek - částečná

- Dalším příkladem je most Mochov v ČR

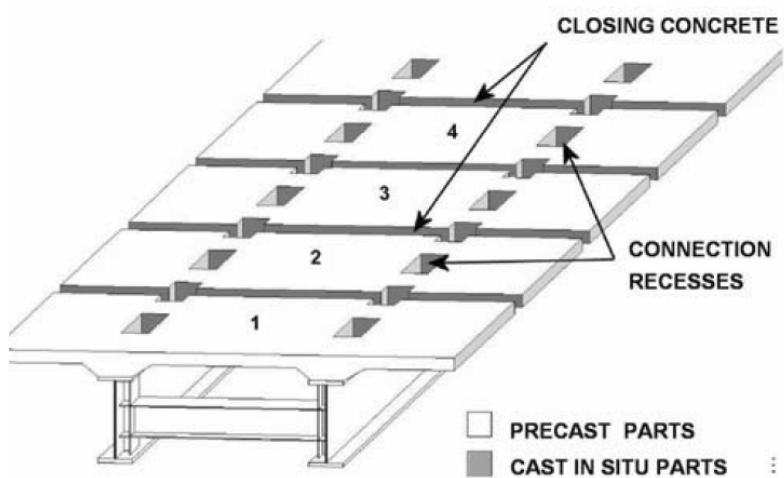


31



Spřažené mosty

Prefabrikace desek - plná



32



Spřažené mosty

Prefabrikace desek - plná

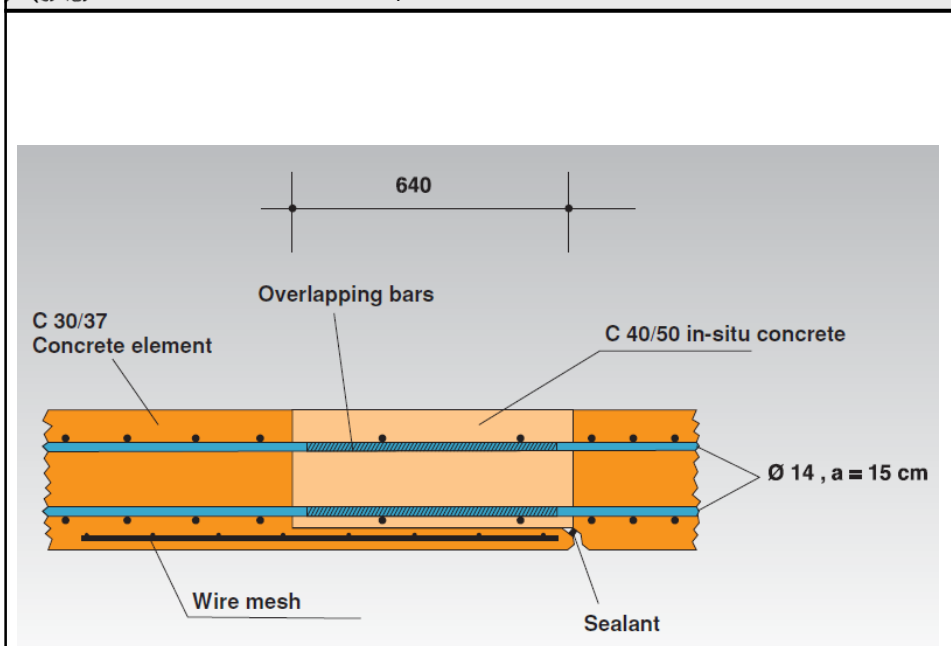


33



Spřažené mosty

Prefabrikace desek - plná



34

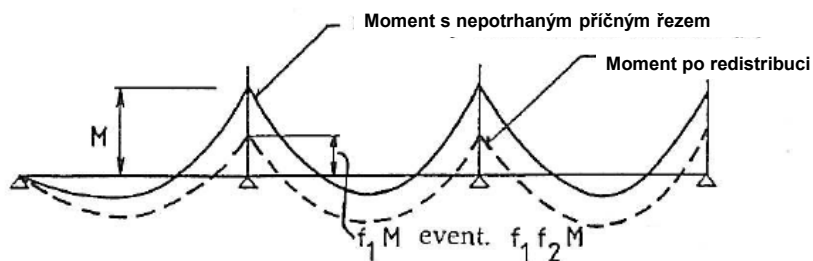


Spřažené mosty

Statický výpočet – vnitřní síly

Stanovení vnitřních sil:

Vliv redistribuce – vliv trhlin v desce



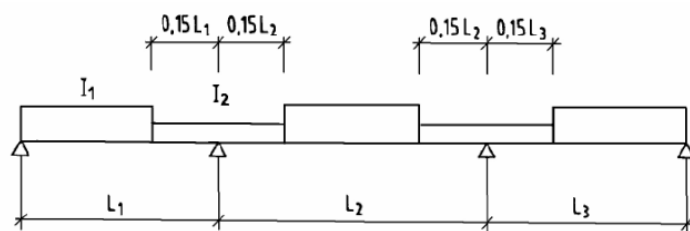
35



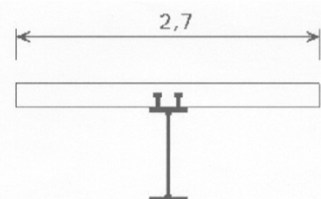
Spřažené mosty

Statický výpočet - redistribuce

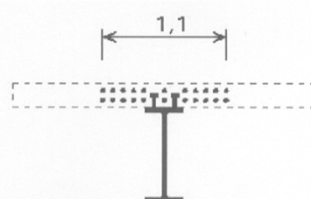
Redistribuce – vliv trhlin v desce – změna tuhosti potrhovaných částí nosníku



Průřez v poli



Průřez nad podporou



36

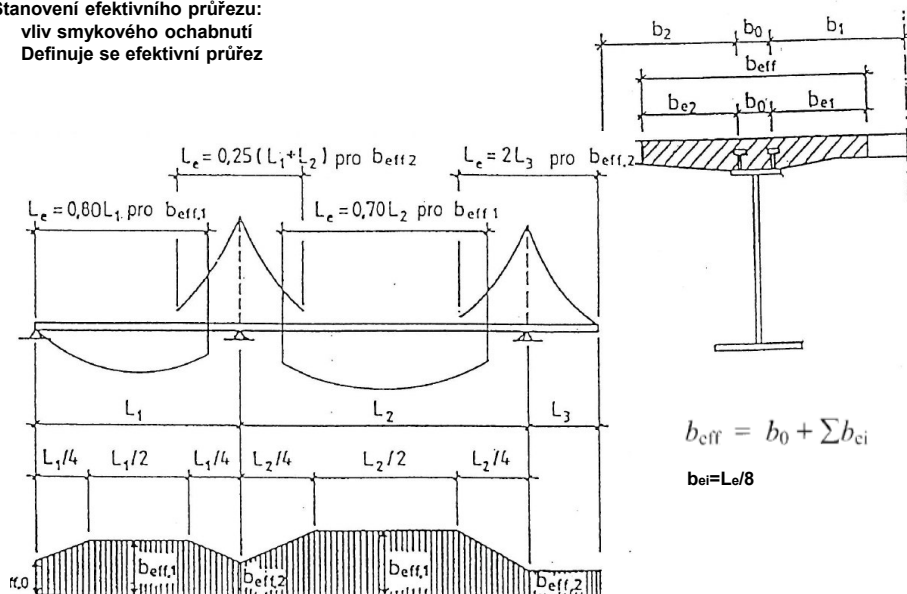


Spřažené mosty

Statický výpočet – efektivní průřez

Stanovení efektivního průřezu:

- vliv smykového ochabnutí
- Definuje se efektivní průřez



37



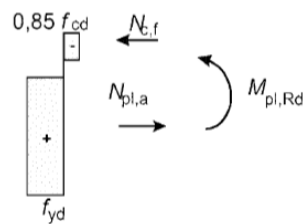
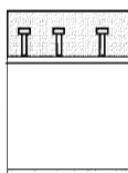
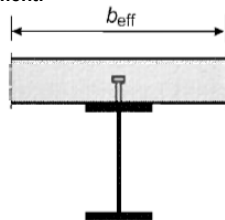
Spřažené mosty

Statický výpočet – MSÚ – plastický posudek

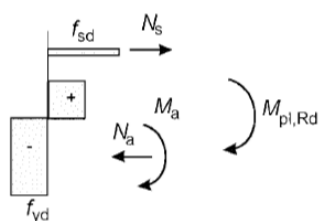
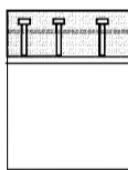
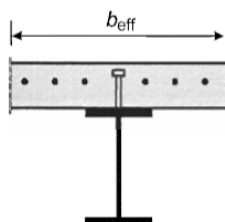
Stanovení únosnosti

Třída 1+2 – plastická analýza

Kladný moment:



Záporný moment



38



Spražené mosty

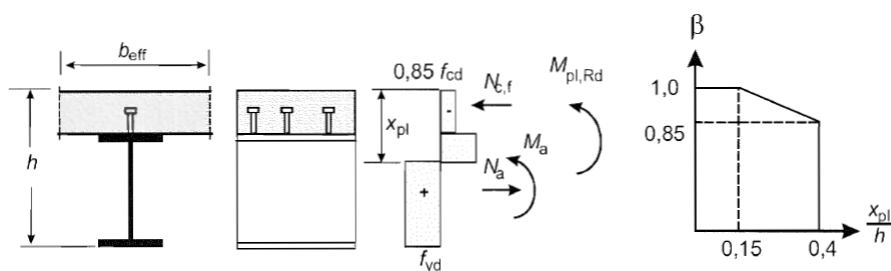
Statický výpočet – MSÚ – plastický posudek

Stanovení únosnosti

Třída 1+2 – plastická analýza

Když $x_{pl} > 0,15h$ pro S420+S460 – použije se redukční faktor β (omezená plastická kapacita)

$$M_{rd} = \beta \cdot M_{pl,Rd}$$



Podmínka:

$$M_{sd} < M_{rd}$$

Nebo pro posouzení stability (dolní pásnice nad podporou)

$$M_{sd} < \chi_{it} \cdot M_{rd}$$

39



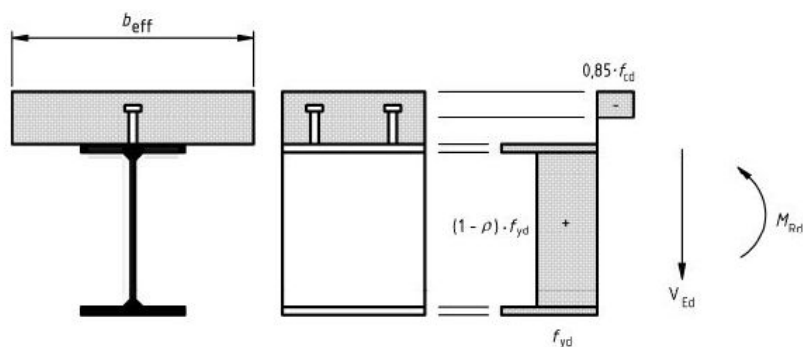
Spražené mosty

Statický výpočet - Smyk

Únosnost ve smyku

Pokud je smykové namáhání vyšší než 50% únosnosti, redukuje se ohybová únosnost

$$\rho = \left(2 \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2$$



40



Spřažené mosty

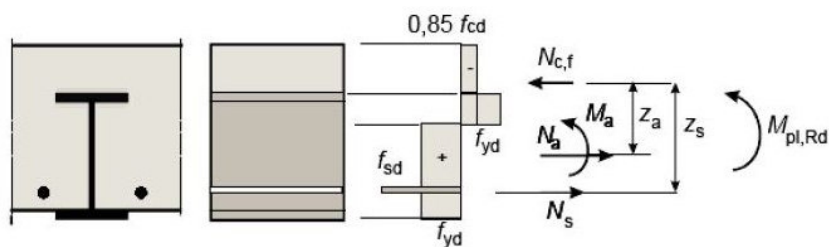
Statický výpočet – MSÚ – plastický posudek

Stanovení únosnosti

Třída 1+2 – plastická analýza

Když $x_{pl} > 0.15h$ pro S420+S460 – použije se redukční faktor β (omezená plastická kapacita)

$$M_{rd} = \beta \cdot M_{pl,Rd}$$



Podmínka:

$$M_{sd} < M_{rd}$$

Nebo pro posouzení stability (dolní pásnice nad podporou)

$$M_{sd} < \chi_{it} \cdot M_{rd}$$

41



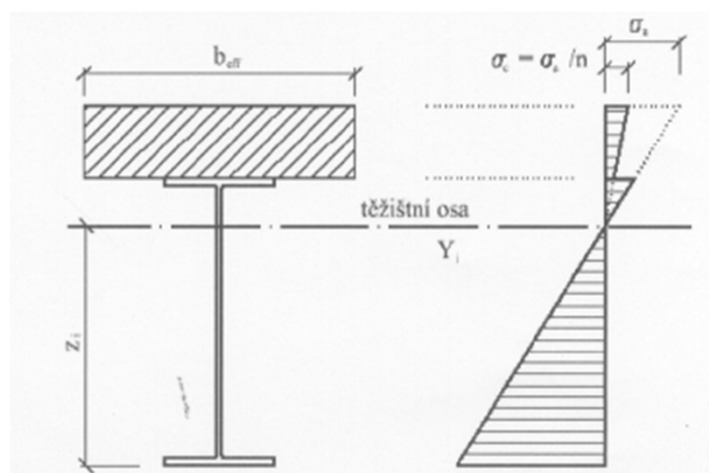
Spřažené mosty

Statický výpočet – elastický posudek MSÚ+MSP

Třída 3+4 – pružná analýza v MSÚ:

Pružná analýza rovněž pro MSP pro všechny průřezy

Pro pružné posudky – má vliv vliv postup výstavby !



42



Spřažené mosty

Statický výpočet – elastický posudek MSÚ+MSP

Nehomogenní příčný řez:

Lze převést na homogenní průřez: plocha betonu/ n_L

Krátkodobé účinky – $n_0 \approx 6,6$

Dlouhodobé účinky – $n_0 \approx 15$

- Krátkodobý modul $E_c = E_{cm}$ (sečnový modul pružnosti)

$$\eta_0 = E_a / E_{cm}$$

- Pro dlouhodobé účinky:

$$\eta_L = \eta_0 (1 + \varphi_L \cdot \varphi_t)$$

φ_t je součinitel dotvarování, závislý na čase betonáže, čase zatížení betonu

φ_L je součinitel nabývajících hodnot:

- 1,1 pro stálé zatížení
- 0,55 pro primární a sekundární účinky smrštění

43

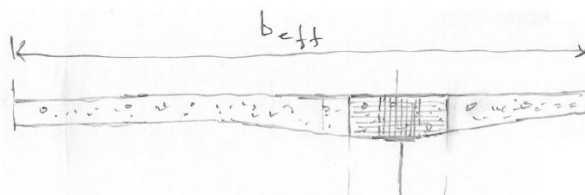


Spřažené mosty

Statický výpočet – elastický posudek MSÚ+MSP

Nehomogenní příčný řez:

Lze převést na homogenní průřez: plocha betonu/ n_L



b_{eff} – Efektivní šířka

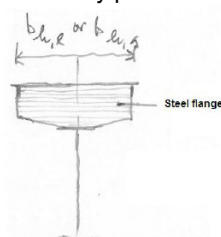
$b_{h,l}$ – Šířka pro dlouhodobé účinky

$b_{h,s}$ – Šířka pro krátkodobé účinky

$$b_{h,l} = \frac{b_{eff}}{\eta_L}$$

$$b_{h,s} = \frac{b_{eff}}{\eta_0}$$

Ekvivalentní ocelový průřez



44



Spřažené mosty

Statický výpočet – elastický posudek MSÚ+MSP

Uvažuje se provozní zatížení

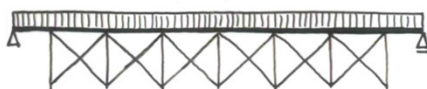
Vnitřní síly – lineární analýza, modul pružnosti betonu se součinitelem **nL**

Vliv: postupu výstavby, předpínání

Montáž bez podpor



Montáž s podporami



Montáž s předpětím



45



Spřažené mosty

Statický výpočet – elastický posudek MSÚ+MSP

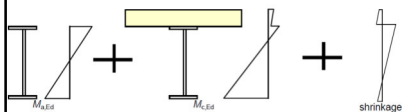
Montáž bez podpor



Montáž s podporami



Montáž s předpětím



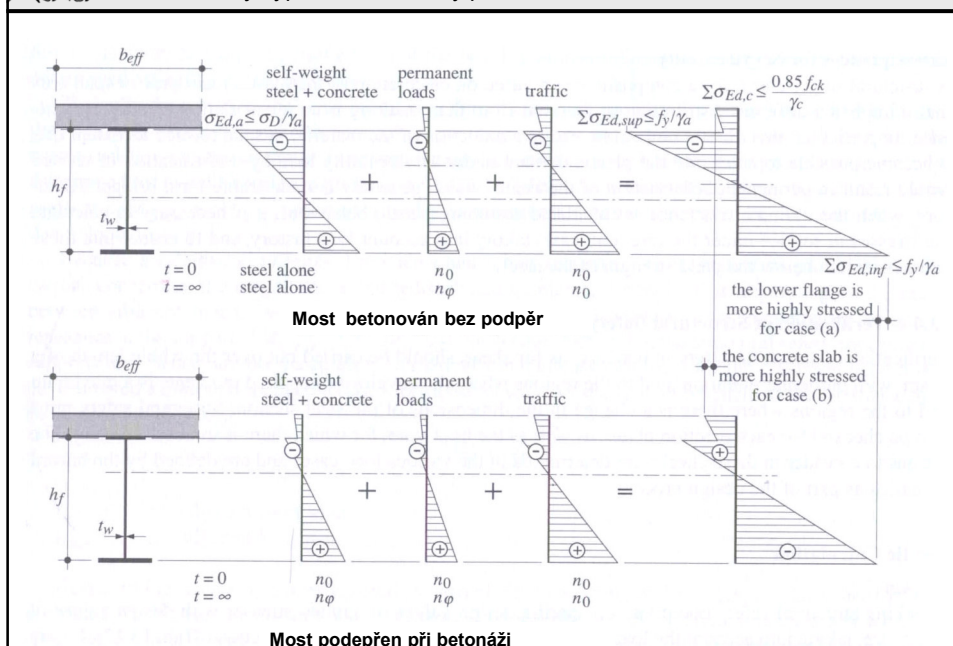
	Bez podpor	S podporami	S předpětím
Předpětí	-	-	Ocel
Odstranění předpětí	-	-	Spřažený průřez
Montážní zatížení	Ocel	Spřažený průřez	
Ostatní stálé	Spřažený průřez		
Nahodilé zatížení			

46



Spřažené mosty

Statický výpočet – elastický posudek MSÚ+MSP



47



Spřažené mosty

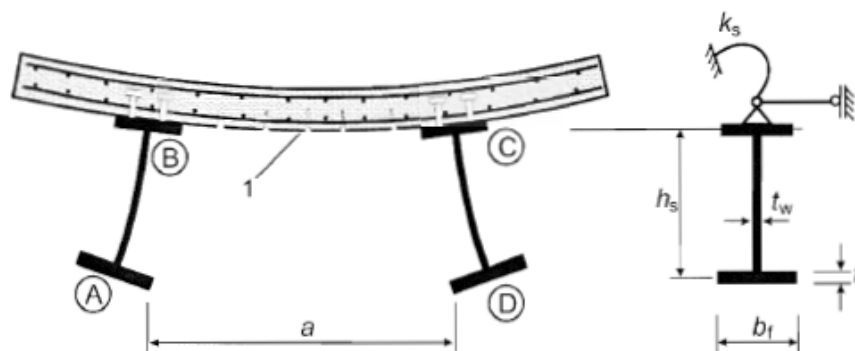
Statický výpočet - Stabilita

Pro posouzení stability (dolní pásnice nad podporou)

$$M_{sd} < \chi_{it} \cdot M_{rd}$$

Koncepce U rámu

Dolní pásnice je zajištěna tuhostí desky a ohybovou tuhostí stojiny



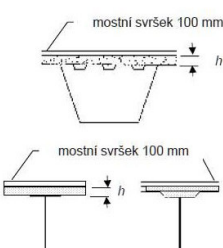
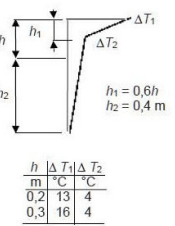
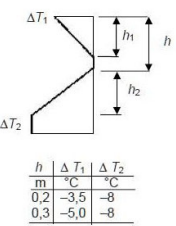
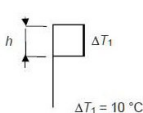
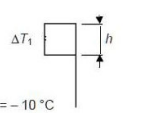
48



Spřažené mosty

Statický výpočet – MSP - Teplota

Vliv teploty

Typ konstrukce	Rozdíly teplot ΔT																									
	(a) oteplení	(b) ochlazení																								
	 <table border="1"><thead><tr><th>h</th><th>ΔT1</th><th>ΔT2</th></tr><tr><th>m</th><th>°C</th><th>°C</th></tr></thead><tbody><tr><td>0,2</td><td>13</td><td>4</td></tr><tr><td>0,3</td><td>16</td><td>4</td></tr></tbody></table>	h	ΔT1	ΔT2	m	°C	°C	0,2	13	4	0,3	16	4	 <table border="1"><thead><tr><th>h</th><th>ΔT1</th><th>ΔT2</th></tr><tr><th>m</th><th>°C</th><th>°C</th></tr></thead><tbody><tr><td>0,2</td><td>-3,5</td><td>-8</td></tr><tr><td>0,3</td><td>-5,0</td><td>-8</td></tr></tbody></table>	h	ΔT1	ΔT2	m	°C	°C	0,2	-3,5	-8	0,3	-5,0	-8
h	ΔT1	ΔT2																								
m	°C	°C																								
0,2	13	4																								
0,3	16	4																								
h	ΔT1	ΔT2																								
m	°C	°C																								
0,2	-3,5	-8																								
0,3	-5,0	-8																								
2. Betonová mostovka na ocelových komorových, příhradových nebo plošných nosnících	 $\Delta T_1 = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$	 $\Delta T_1 = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$																								

POZNÁMKA: Pro ocelobetonové mosty lze použít výše uvedený zjednodušený postup, který poskytuje horní mez účinků teploty. Hodnoty ΔT jsou informativní, mohou se použít, jestliže nejsou v národní příloze uvedeny konkrétní hodnoty.

49



Spřažené mosty

Statický výpočet – MSP - Teplota

Vliv teploty

Primární účinky:

- 1) Zamezení deformace –
Rozdělit řez do více oblastí
 $\sigma_0 = \varepsilon E = \alpha \Delta T E$



2) Uvolnit deformaci

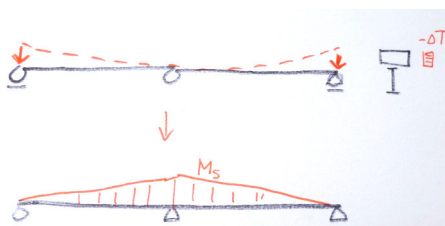
Výslednice síla N a moment M



Sekundární účinky:

Pro spojitě nosníky – důsledek zamezení volné deformace konstrukce

$$M = \sum N_0 \cdot e_g \rightarrow \sigma_b$$
$$-\Delta N_0 \rightarrow \sigma_t$$
$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_t + \sigma_b$$



50



Spřažené mosty

Statický výpočet – MSP

Kritéria:

Napětí

Beton: f_{ck}
Ocel: f_y
Výztuž: f_{sk}
0.8 f_{sk} v tlaku

Průhyb

Trhliny: dle EN 1992-2 (omezuje se profil výztuže a rozteče)

51



Spřažené mosty

Statický výpočet - SLS

Kritéria:

Trhliny: dle EN 1994-2

-Požadavek na minimální vyztužení konstrukce $A_s = k_s k_c k_{f_{d,eff}} A_d / \sigma_s$

-současně omezen maximální průměr výztuže

Tabulka 7.1 – Největší průměry prutů výztuže s vysokou soudržností

Napětí ve výztuži σ_s (N/mm ²)	Největší průměr výztužného prutu ϕ^* pro návrhovou šířku trhliny w_k		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ 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	-

52



Spřažené mosty

Statický výpočet - SLS

Kritéria:

Trhliny: dle EN 1994-2

-Dále omezena maximální rozteč výztuže

Tabulka 7.2 – Největší vzdálenosti prutů výztuže s vysokou soudržností

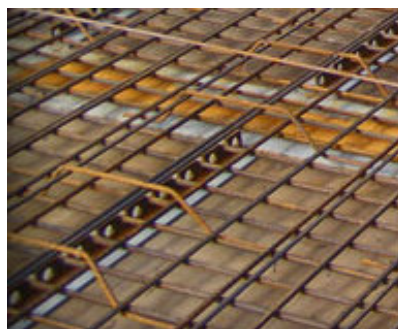
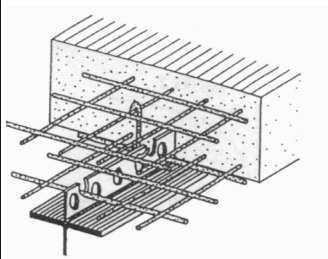
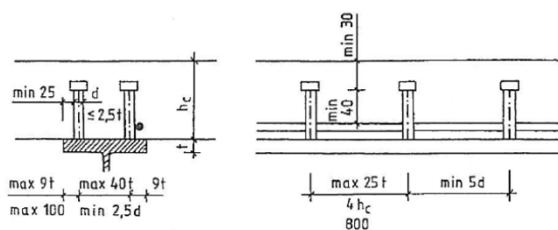
Napětí ve výztuži σ_s (N/mm ²)	Největší vzdálenost výztužných prutů pro návrhovou šířku trhliny w_k		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

53



Spřažené mosty

Statický výpočet - spřažení



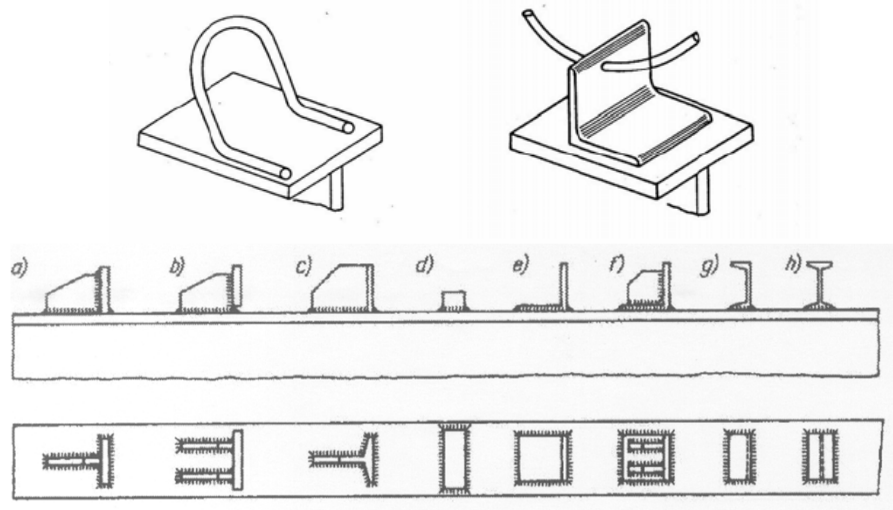
Nejběžnější spřahovací prostředky – trny a spřahovací lišta

54



Spřažené mosty

Statický výpočet - spřažení



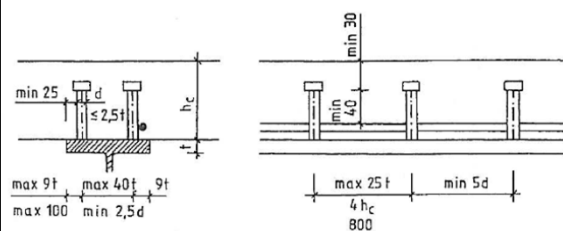
Historické spřahovací prostředky – smyčky, kozlíky

55



Spřažené mosty

Statický výpočet - spřažení



$$P_{Rd} = \frac{0.8f_t \pi d^2 / 4}{\gamma_V} \text{ a)l}$$

$$P_{Rd} = \frac{0.29\alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_V}$$

kde

f_t Pevnost trnu (max. 500MPa)

d Průměr trnu (16-25mm)

h_{sc} Nominální výška trnu

$$\alpha = 0.2 \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \text{ for } 3 \leq h_{sc} / d \leq 4$$

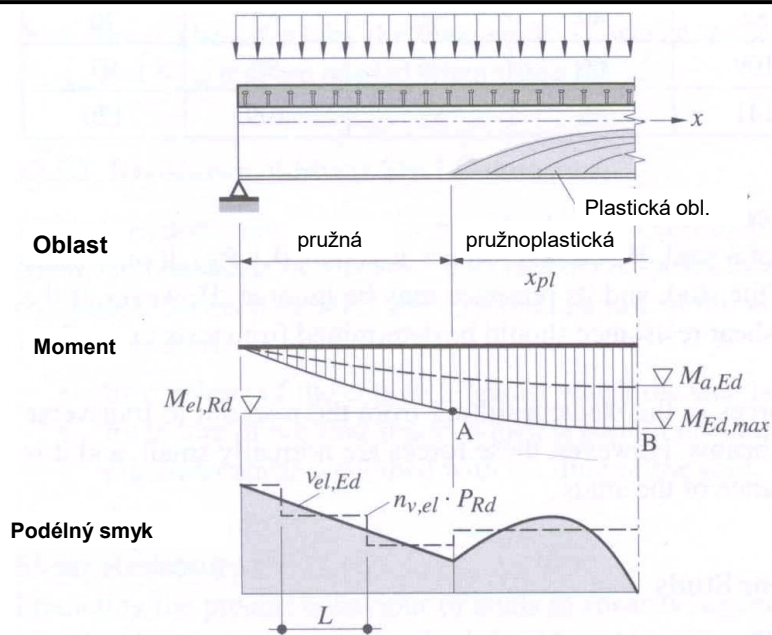
$$= 1 \text{ for } h_{sc} / d > 4$$

56



Spřažené mosty

Statický výpočet - spřažení



57



Spřažené mosty

Statický výpočet - spřažení

Spřahovací prostředky:

Pružný návrh: SLS, ULS pro třídu 3+4

Pro mosty se používá pouze plné spřažení

Spřahovací prostředky musí přenést smykovou sílu mezi deskou a pásnicí, stanovené:

- Elastickým výpočtem (třída 3 a 4), kde podélná síla mezi deskou a pásnicí je

$$v_{L,Ed} = \frac{V_{Ed} \times S}{I_1}$$

Kde V_{Ed} je návrhová posouvající síla, S je statický moment desky k těžišťové rovině. I_1

je moment setrvačnosti spřaženého průřezu,

Potom počet trnů na délce nosníku je:

$$N \geq \frac{v_{L,Ed}}{P_{Rd}}$$

Lze rozdělit do skupin s rovnoměrnou vzdáleností, únosnost lze překročit lokálně max. o 10%

58



Spřažené mosty

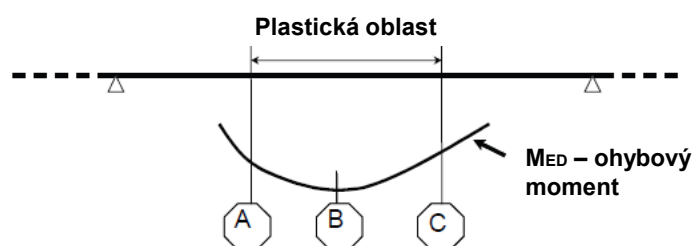
Statický výpočet - spřažení

Plastický návrh: ULS pro třídu 1+2

V oblasti A-B-C – rovnoměrné rozdělení trnů

Přenášená síla – rozdíl normálové síly v desce při zatížení návrhovým momentem F_B a síly v desce při pružném namáhání $F_{el,B} = F_A = F_C$

$$N_{AB} \geq \frac{F_B - F_A}{P_{Rd}} ; \quad N_{BC} \geq \frac{F_B - F_C}{P_{Rd}}$$



59



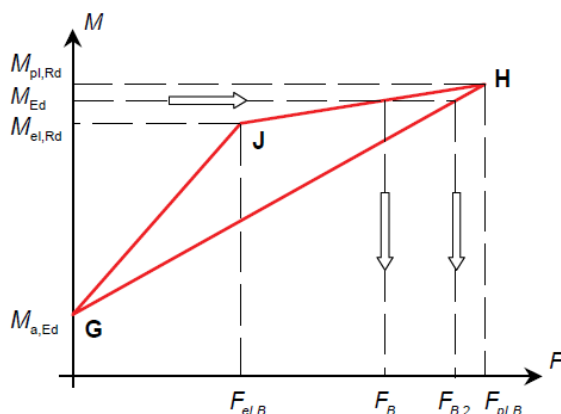
Spřažené mosty

Statický výpočet - spřažení

Plastický návrh: ULS pro třídu 1+2

Interakční diagram pro průřez B

- G – odpovídá únosnosti samotného ocelového průřezu (např. betonáž desky)
- H – dosažení maximální plastické únosnosti
- J – bod, kde dojde k první plastifikaci průřezu. Pak $F_{el,B}$ odpovídá výslednici napětí v betonové desce



$$M = M_{pl,Rd}$$

$$F = F_{pl,B} = \frac{0.85f_{ck}}{\gamma_c} b_{eff} h_c$$

60



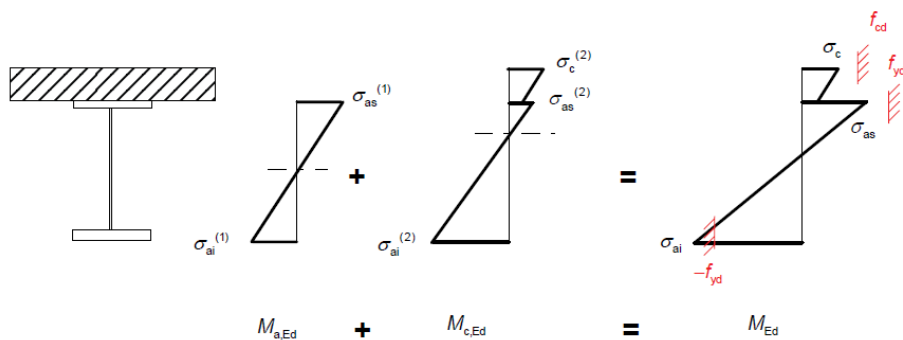
Spřažené mosty

Statický výpočet - spřažení

Plastický návrh: ULS pro třídu 1+2

Výpočet $M_{el,Rd}$ – bod, kde dojde k dosažení meze kluzu v ocelovém průřezu

$F_{el,B}$ = síla v tomto okamžiku v betonové desce



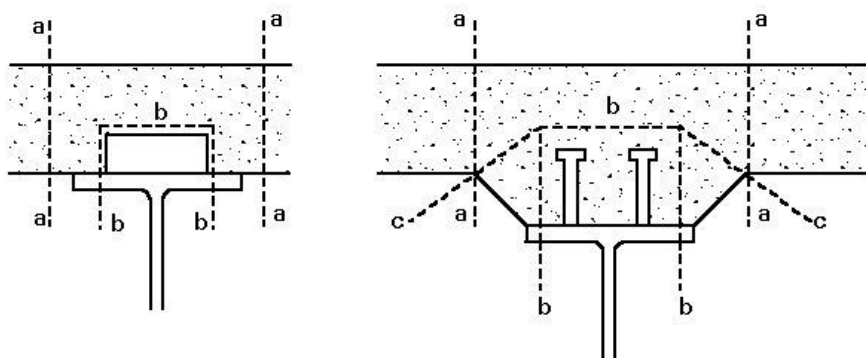
61



Spřažené mosty

Statický výpočet - spřažení

- Porušení betonu v důsledku smyku



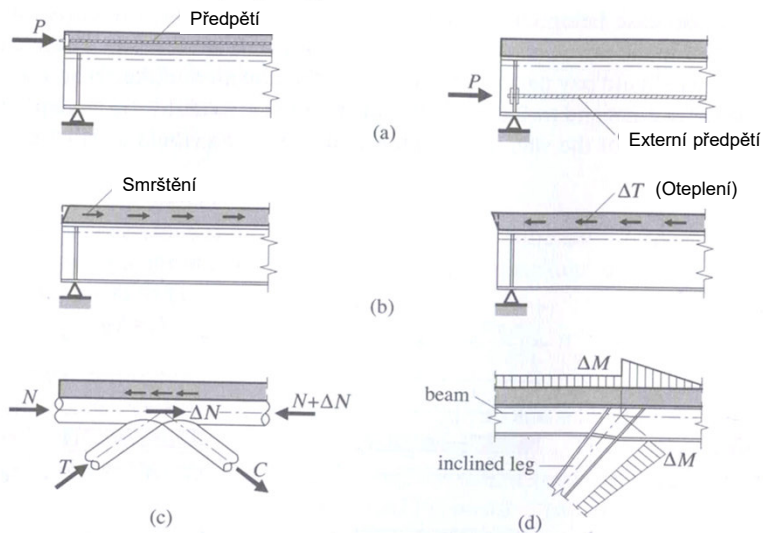
62



Spřažené mosty

Statický výpočet - spřažení

- Vliv osamělé síly – nutno doplnit trny v dané oblasti
 - Předpínací síla v kotevní oblasti
 - Teplota, smrštění
 - Styčníky příhradových mostů



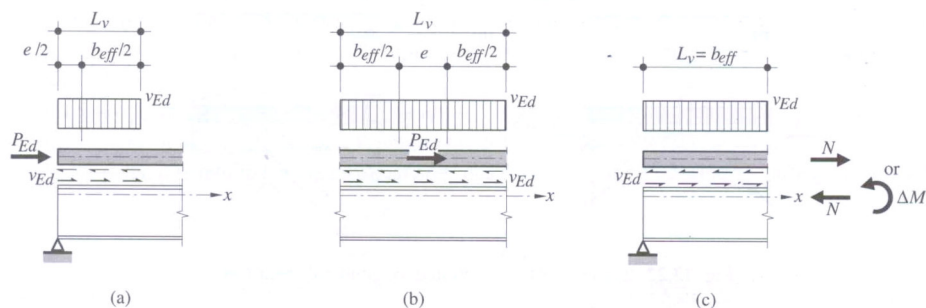
63



Spřažené mosty

Statický výpočet - spřažení

- Vliv osamělé síly – nutno doplnit trny v dané oblasti
 - a - Předpínací síla v kotevní oblasti
 - b - Styčníky příhradových mostů
 - c - teplota



Kde e je max. $2e_y$ či $2e_z$ – vodorovná či svislá vzdálenost působící síly od stěny či roviny spřažení

64