



ČVUT V PRAZE, FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

## OCELOVÉ MOSTY 1

Téma přednášky:

### TECHNOLOGIE VÝSTAVBY OCELOVÝCH MOSTŮ

Doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.



#### Montáž ocelových mostů Požadavky

##### Rozdíly od běžných konstrukcí:

- V průběhu životnosti se návrhové zatížení na konstrukci pravděpodobně neobjeví
- V průběhu výstavby je skutečné zatížení blízké návrhovému!!
- Podmínky v místě výstavby, skutečné chování konstrukce je často nejasné
- Průběh výstavby může mít vliv na dimenze mostní konstrukce (tloušťka stěny, rozměry pásnic)
- Má vliv na řešení detailů a někdy i dispozice konstrukce
- Pro některé části konstrukce může být namáhání v průběhu výstavby rozhodující
- Jde o nejnebezpečnější okamžik života mostu



##### Výsledek:

- Riziko havárie s vážnými následky



## Montáž ocelových mostů Havárie

### 1. Havárie mostu ve Studénce

- 8 mrtvých, 95 zraněných
- Nejde o jednu příčinu, ale celou sérii důvodů a pochybení, stále probíhá soud



## Montáž ocelových mostů Havárie





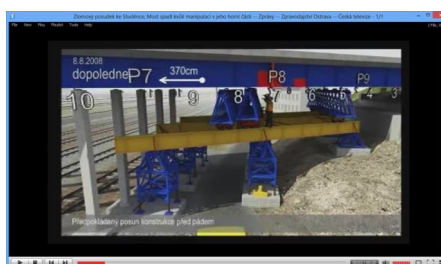
## Montáž ocelových mostů Havárie

### 1. Havárie mostu ve Studénce



#### Příčiny: Kombinace faktorů

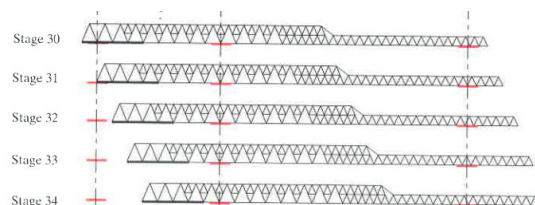
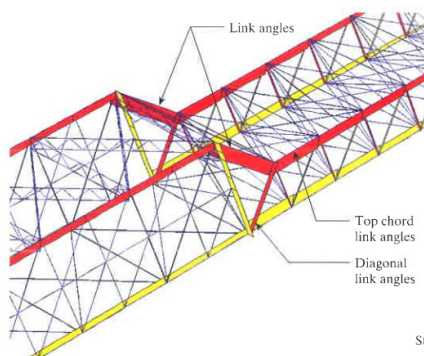
1. Chyby ve statickém výpočtu
2. Chyby v průběhu výstavby
3. Chyby v komunikace, smluvní a právní vady



## Montáž ocelových mostů Havárie

### 1. Havárie OMO Bridge

#### Chybný výpočet





## Montáž ocelových mostů Metody montáže

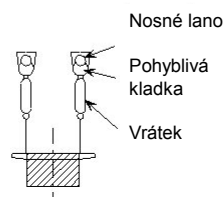
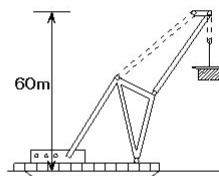
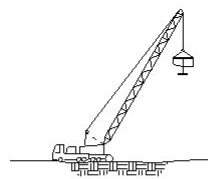
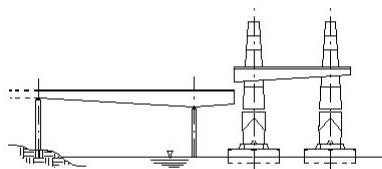
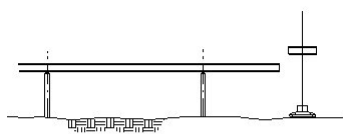
### Metody montáže

1. Blokovaná montáž - zdvihání
2. Podélný výsun
3. Příčný výsun
4. Letmá montáž
5. Speciální metody
  1. Zaplavování
  2. Speciální podvozky
  3. Otáčení atd..



## Montáž ocelových mostů Blokovaná montáž

- Nejjednodušší metoda výstavby
- Pro malá a střední rozpětí



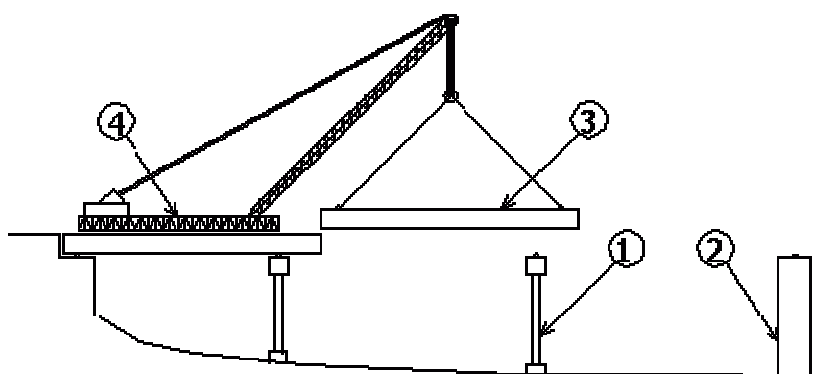


### Montáž ocelových mostů Bloková montáž



### Montáž ocelových mostů Letmá montáž

- Výhodná pro dlouhé mosty
- Není třeba přístup pod most





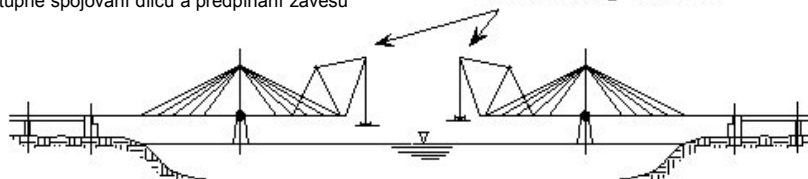
## Montáž ocelových mostů Letmá montáž



## Montáž ocelových mostů Letmá montáž

- Výhodná pro mosty visuté a zavěšené
- postupné spojování dílců a předpínání závěsů

50T moving derricks





## Montáž ocelových mostů Podélný výsun

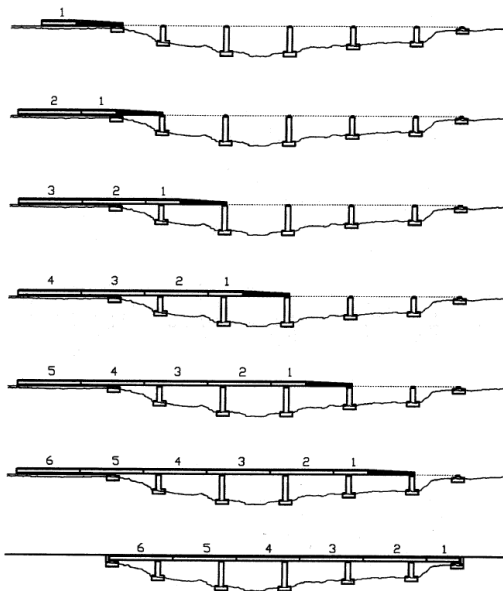
-Vhodné pro dlouhé mosty

-Výhody:

- bez potřeby přístupu pod most
- svařování a montáž se odehrává v jedné oblasti

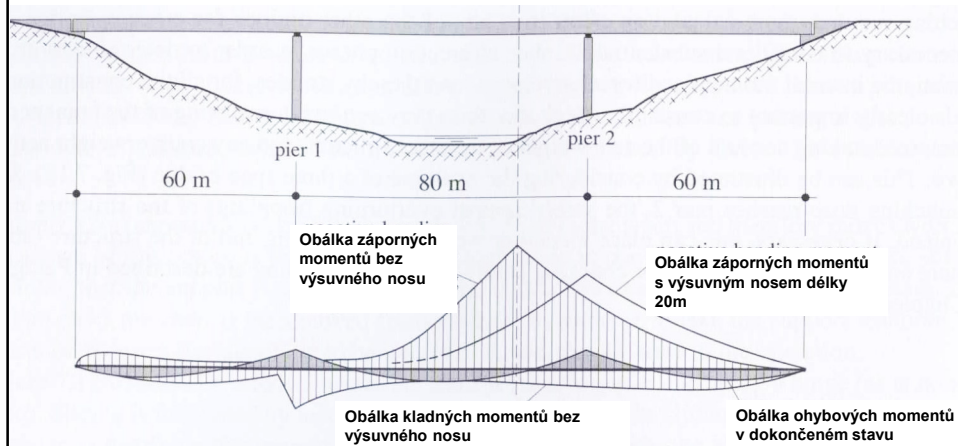
-Nevýhody

- Potřeba speciálního vybavení
- Konstrukce zatížená značnými kladnými a zápornými momenty



## Montáž ocelových mostů Podélný výsun

-Ohybové momenty v průběhu montáže mnohem vyšší, než pro dokončenou konstrukci !!





## Montáž ocelových mostů Podélný výsun

- Proces montáže – průběžné napojování montážních dílů

Předmontážní  
plocha

Montážní  
plocha

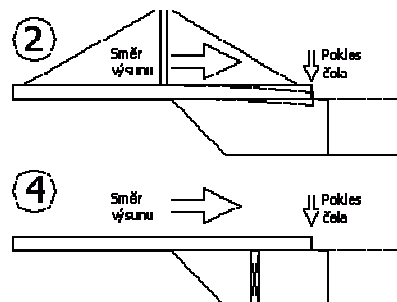
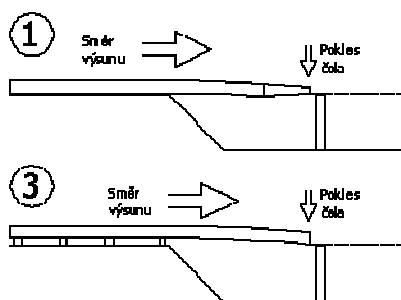


## Montáž ocelových mostů Podélný výsun

-Průhyb na konci konzoly

- metody eliminace průhybu:

1. Proměnná výška a sklon nosu
2. Redukce pomocí kabelů
3. Výsun na zvýšené poloze
4. Dodatečné podpory





### Montáž ocelových mostů Podélný výsun

Výsuvný nos proměnné výšky  
Sheppey Crossing



### Montáž ocelových mostů Podélný výsun

Redukce průhybu pomocí hydraulicky ovládaného nosu  
Most Místecká





### Montáž ocelových mostů Podélný výsun

Redukce průhybu pomocí pylonu a závěsů  
Clifford Hollow, West Virginia



### Montáž ocelových mostů Podélný výsun

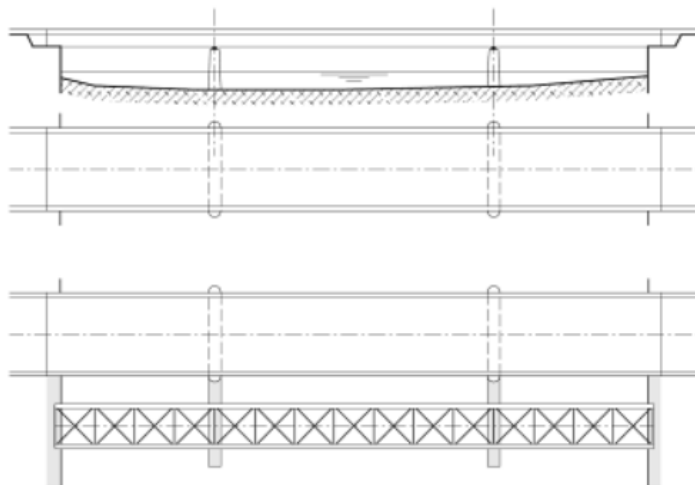
Nezbytné vodorovné zavětrování proti účinku větru a vodorovných sil





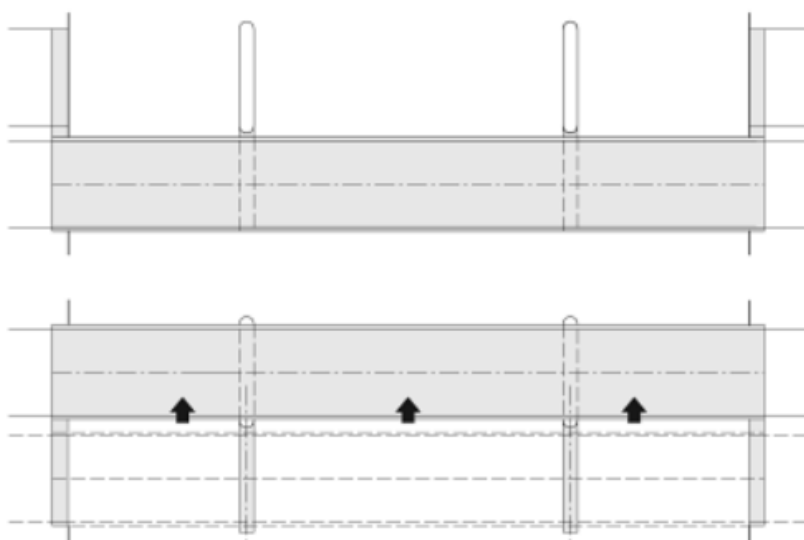
### Montáž ocelových mostů Příčný výsun

- Výhodné pro krátké uzavírky na silnicích/železnicích
- Výsun relativně rychlý
- Omezený přístup pod most
- Výstavba nového mostu vedle stávající konstrukce



### Montáž ocelových mostů Příčný výsun

- Demolice starého mostu
- Příčný výsun





## Montáž ocelových mostů Příčný výsun

Železniční most Karlovy Vary



## Montáž ocelových mostů Příčný výsun

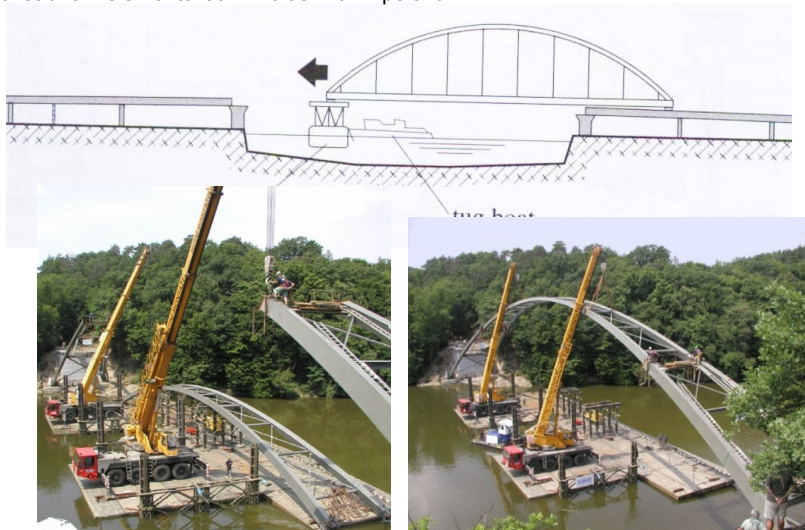
Železniční most Karlovy Vary





## Montáž ocelových mostů Speciální metody

- Zaplavení
- Vhodné pro jezera, řeky, moře
- Rychlá výstavba
- Konstrukci lze smontovat mimo definitivní polohu



## Montáž ocelových mostů Speciální metody

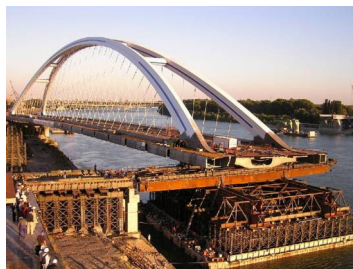
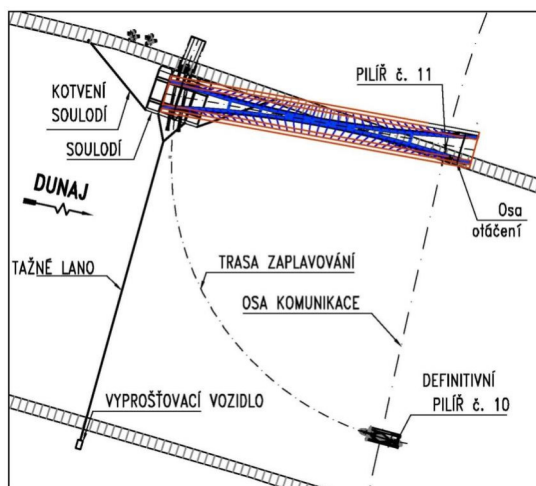
-Most Apollo, Bratislava





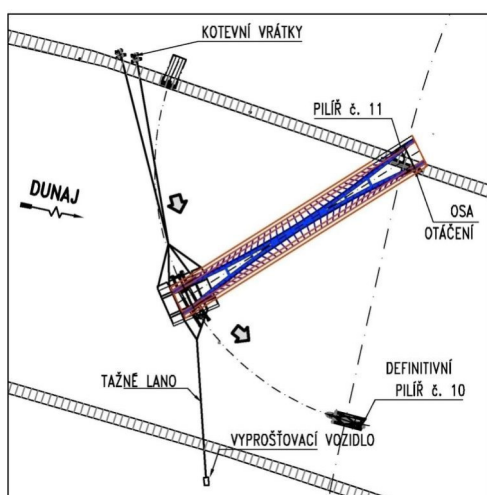
## Montáž ocelových mostů Speciální metody

-Most Apollo, Bratislava



## Montáž ocelových mostů Speciální metody

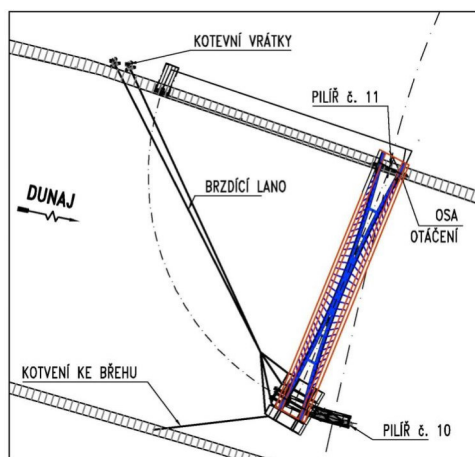
-Most Apollo, Bratislava





## Montáž ocelových mostů Speciální metody

-Most Apollo, Bratislava



## Montáž ocelových mostů Speciální metody

- Speciální podvozky pro těžký transport
- Berlín – Pankow
- nákladné podvozky
- velmi rychlá montáž
- minimální omezení dopravy





### Montáž ocelových mostů Speciální metody

- Otáčení mostu
- Most Hracholusky
- Technicky komplikované, ale efektní



### Montáž ocelových mostů Ekonomický význam

Položka	Běžná konstrukce		Výrobně a montážně náročná konstrukce	
	Náklady [%]	Náklady na 1kg oceli [Kč]	Náklady [%]	Náklady na 1kg oceli [Kč]
Materiál	34	18,0	17	25,0
Výroba	38	20,0	40	60,0
Protikorozeční ochrana	11	6,0	7	10,0
<b>Montáž</b>	<b>15</b>	<b>8,0</b>	<b>33</b>	<b>50,0</b>
Doprava	1	0,5	2	3,0
Dokumentace	1	0,5	2	3,0
<b>Celkem</b>	<b>100</b>	<b>53,0</b>	<b>100</b>	<b>151,0</b>

Náklady na zhotovení 1kg mostní konstrukce

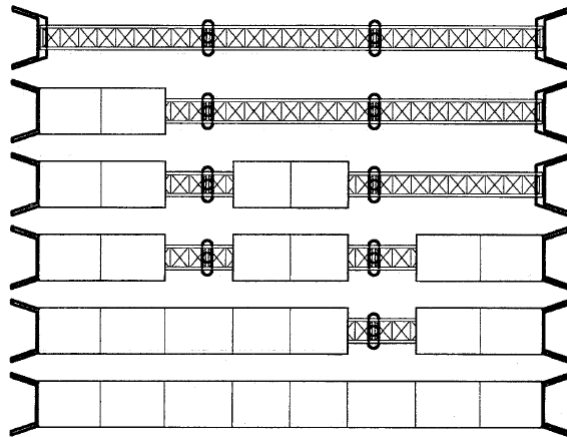


## Montáž ocelových mostů Betonáž desky mostovky

Krátké mosty – najednou

Dlouhé mosty – betonáž po částech

- Nejprve oblast v poli
- Následně nad pilíři
- Postup betonáže musí být zohledněn ve výpočtu



## Montáž ocelových mostů Betonáž desky mostovky

Bednění

-Standardní dřevěné bednění

- Jednoduché
- Vhodné pro menší a střední mosty
- Někdy může plnit funkci vodorovného ztužení

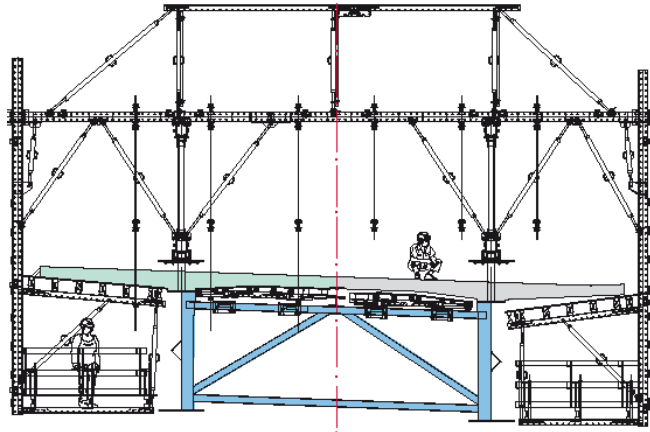




## Montáž ocelových mostů Betonáž desky mostovky

### Bednění

- Betonážní vozík
  - Technicky náročnější zařízení
  - Na NK musí být navařeny stoličky pro pojezd
  - V místě umístění vozíku – osamělá zatížení konstrukce
  - Vhodné pro delší mosty
  - Náročná montáž, pak ale rychlý a efektivní postup betonáže



## Montáž ocelových mostů Betonáž desky mostovky

### Bednění

- Betonážní vozík





## Montáž ocelových mostů Zatížení při montáži

### 1. Zatížení při montáži: EN 1991-1-6

#### Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-6: Obecná zatížení - Zatížení během provádění

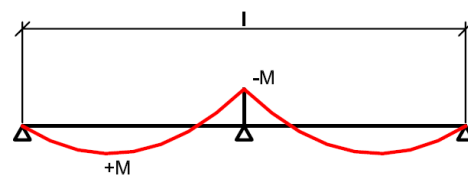
- zatížení nosných a nenosných prvků během manipulace;
- geotechnická zatížení;
- zatížení od účinků předpětí;
- předem vnesená přetvoření;
- teplotu, smršťování, hydratační účinky;
- zatížení větrem;
- zatížení sněhem;
- zatížení vodou;
- zatížení námrazou;
- staveništní zatížení;
- mimořádná zatížení;
- seizmická zatížení.



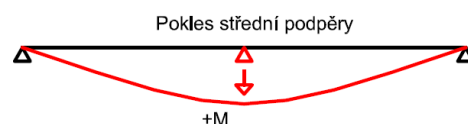
## Montáž ocelových mostů Zatížení při montáži

### Geotechnická zatížení

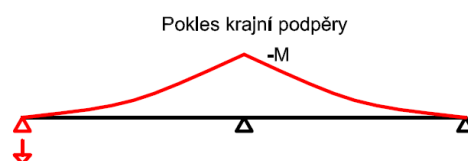
- Zemní tlak
- Pokles podpor:
  - Závisí na geologii na stavbě
  - Dočasné konstrukce mají větší sedání, než trvalé



$$\frac{1}{40} \cdot g \cdot l^2$$



$$\frac{1}{8} \cdot g \cdot l^2$$



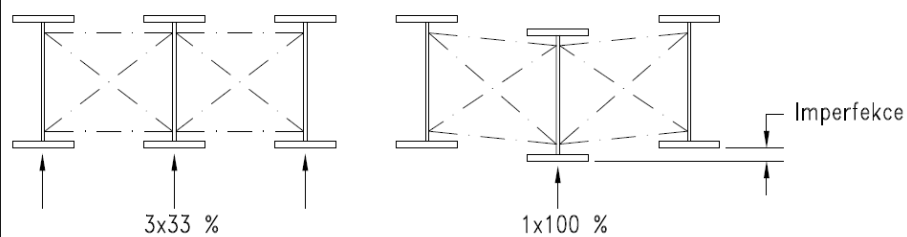
$$-\frac{1}{8} \cdot g \cdot l^2$$



## Montáž ocelových mostů Zatížení při montáži

Předem vnesená přetvoření

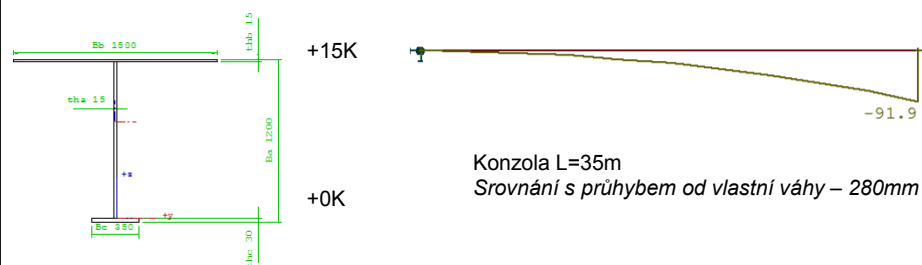
- Rozdělení reakcí vlivem imperfekce konstrukce



## Montáž ocelových mostů Zatížení při montáži

Teplota, smršťování, hydratační účinky:

- Rozdílné oteplení v příčném řezu
- Smršťování a hydratační účinky betonu
- Výsledkem deformace či dodatečná napětí (staticky neurčité konstrukce)





## Montáž ocelových mostů Zatížení při montáži

### Zatížení větrem:

- Rychlost větru lze redukovat podle délky provádění
- Obecně, **20m/s** je doporučená rychlost větru pro délku výstavby do **3 měsíců**
- Pro jinou dobu trvání lze stanovit dobu návratu

Duration	Return period (years)
≤ 3 days	2 <sup>a</sup>
≤ 3 months (but > 3 days)	5 <sup>b</sup>
≤ 1 year (but > 3 months)	10
> 1 year	50

- Následně lze redukovat rychlost větru součinitelem  $c_{prob}$  :

$$c_{prob} = \left( \frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n$$

$K$  – tvarový součinitel – doporučená hodnota 0,2  
 $n$  – exponent – doporučená hodnota 0,5

- Pro pravděpodobnost  $p=1/T$  ( $T$  – doba návratu)
- Pro krátkodobé práce lze stanovit individuální podmínky – ve spolupráci s meteorology



## Montáž ocelových mostů Zatížení při montáži

### Další zatížení

-Osoby a nástroje

doporučeno **1 kN/m<sup>2</sup>**

-Uskladnění přenosného vybavení- materiál, nářadí

$$q_{cb,k} = \mathbf{0,2 \text{ kN/m}^2}; F_{cb,k} = 100 \text{ kN}$$

-Další vybavení – bednění, skruže, výsuvný nos, protizávaží

Pokud není definováno, uvažuje se hodnotou  $q_{ee,k} = \mathbf{0,5 \text{ kN/m}^2}$

-Přenosná těžká strojní zařízení – jeřáby, vozidla, hydraulické válce, zdvihací zařízení

-Nahromadění odpadu, vybouraných hmot

-Zatížení od částí konstrukce v dočasném stavu – např. čerstvý beton



## Montáž ocelových mostů Zatížení při montáži

### Zatížení od výstavby

- Vodorovné účinky tření:
- Mohou se objevit ve směru výsunu i kolmo k němu
- Závisí na druhu kluzného materiálu
- Různé při rozjezdu a v pohybu
- PTFE – cca. **4-5%**, doporučená hodnota **10%**



## Montáž ocelových mostů Statický výpočet

Musí postihnout všechny zatěžovací stavy,  
které mohou nastat

- Zatížení normové
- Zatížení od montážní organizace

### Kombinace zatížení – EN 1990

#### Posouzení mezního stavu únosnosti ULS

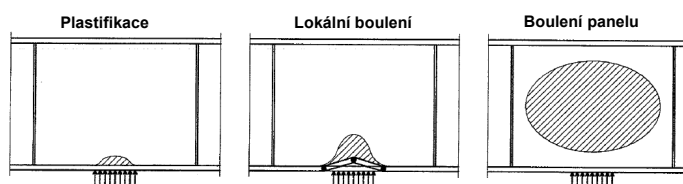
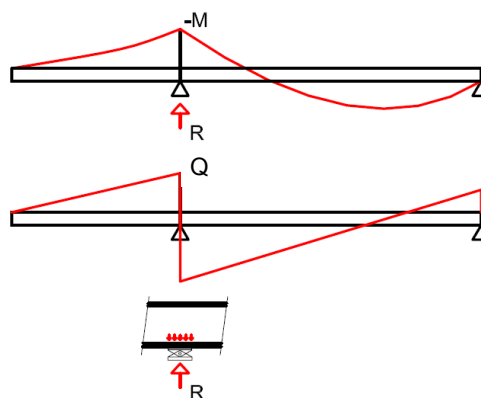
-Doporučuje se pružný výpočet

-Kombinace :

- $\eta_1$  - ohyb
- $\eta_2$  - lokální namáhání
- $\eta_3$  - smyk

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) (2\bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 10 \quad \text{pro } \bar{\eta}_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 \leq 1,4$$





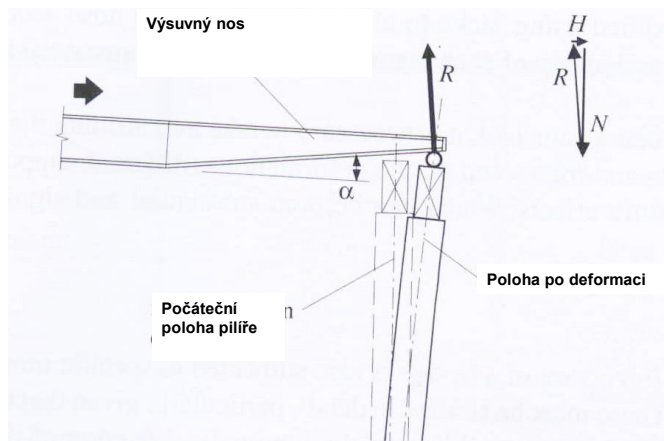
## Montáž ocelových mostů Statický výpočet

### Účinky na spodní stavbu

- Zejména na vysoké pilíře
- Účinky třecích sil
- Důsledek nájezdu na pilíř

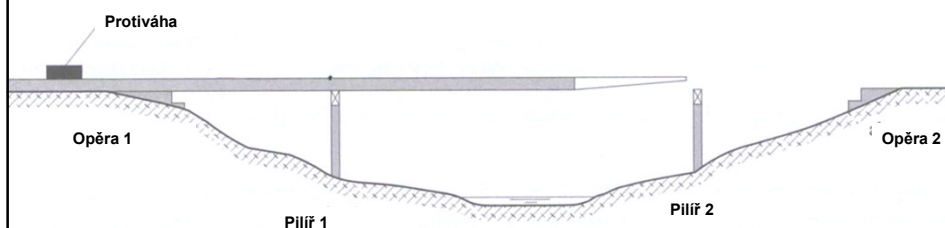
### Velikost síly:

- Reakce \* součinitel tření
- Vliv sklonu pásnice



## Montáž ocelových mostů Statický výpočet

### Stabilita proti překlopení





## Montáž ocelových mostů Statický výpočet

### Časově závislá analýza

- Historie vnášení zatížení je velmi významná
- Statický software umožňuje toto modelování – fáze výstavby, TDA, birth and death atd....

### Nezbytné pokud dojde k::

- Změna statického systému
- Změna okrajových podmínek
- Předpínání – v průběhu výstavby, dodatečné
- Montáž konstrukce
- Betonáž desky mostovky
- Betonáž styčníků v prefabrikované konstrukci
- Odstranění dočasných podpor
- Kombinace betonů různého stáří
- Dotvarování, smršťování a následná redistribuce zatížení



## Montáž ocelových mostů Monitoring při výstavbě

### U náročných konstrukcí zvážit systému monitorování výstavby

- Geodetické monitorování polohy
- Tenzometry v kritických oblastech
- Monitoring klimatu – rychlost větru, teplota
- Automatické systémy s odezvou na postup výsunu či zastavení

