

Stabilita ocelových stěn

Prof. Josef Macháček B 623

1. Úvod, poučení z havárií konstrukcí. Klasifikace průřezů.
2. Základy teorie boulení. Lineární teorie boulení stěn.
Rozdíl v chování prutů a stěn. Imperfekce stěn a výztuh.
3. Nelineární boulení imperfektních stěn.
4. Aplikace výsledků pro průřezy 4. třídy. Vyztužené stěny. Příklad.
5. Tlačené pásy ohýbaných nosníků. Stěny namáhané smykem.
Boulení při smyku.
6. Únosnost ve smyku. Lokální namáhání stojin nosníků.
7. Aplikace. Namáhání a návrh výztuh stojin a pásů.

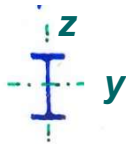
1. Úvod, poučení z havárií konstrukcí

Průřezy:

Bernoulli - Navier, 1821
Rankin, 1858 (Timoshenko, 1934)

- **kompaktní**

→ **tenkostěnné pruty:**



Vlasov
1959

tuhý příčný řez

přetvoření smykem $\gamma_{x,s} = 0$

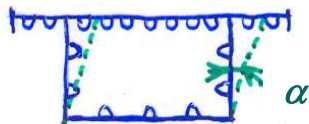
- **ze štíhlých stěn a desek**



a) **boulení stěn**

b) $\gamma_{x,s} \neq 0$ → **smykové ochabnutí**

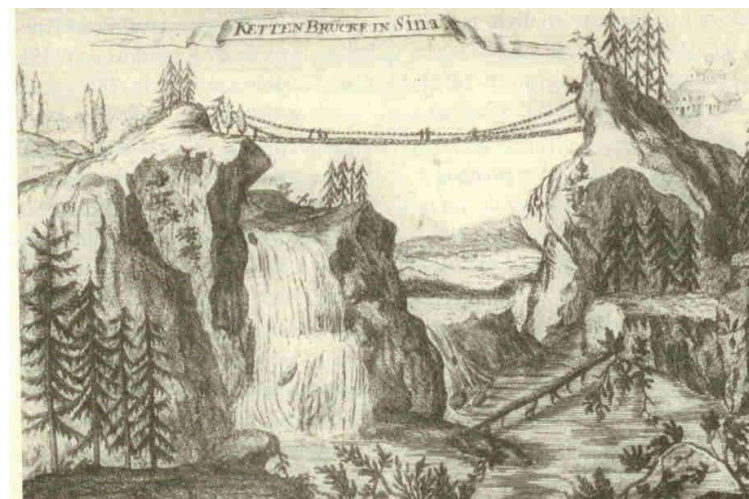
- **s netuhým příčným řezem**



navíc **zkosení průřezu** (→ **příčný ohyb**)

Stavby

Železo jako nosný materiál od 14. stol.:
Čína, řetězové mosty, $L \approx 60$ m
(dynastie Ming)



Litina: šedá litina v Anglii,
první most odlitý v Coalbrookdale
"Ironbridge", 1779, $L = 30$ m
(Darby III, návrh Pritchard)



Svářková ocel:

**ve Walesu, silniční a železniční mosty,
např. visutý řetězový silniční most
Menai Bridge
(přes úžinu Menai na ostrov Anglesey)
 $L = 176$ m, 1826 (Telford)**

V roce 1938 řetězy vyměněny za ocelové.



Britannia, železniční

$L = 70+140+140+70$ m 1850 (Rob. Stephenson)

1847 most přes řeku Dee z litiny se mu zřítíl;

1848 obdobný železniční most v Conwy
(prosté pole 122 m), dosud v provozu.

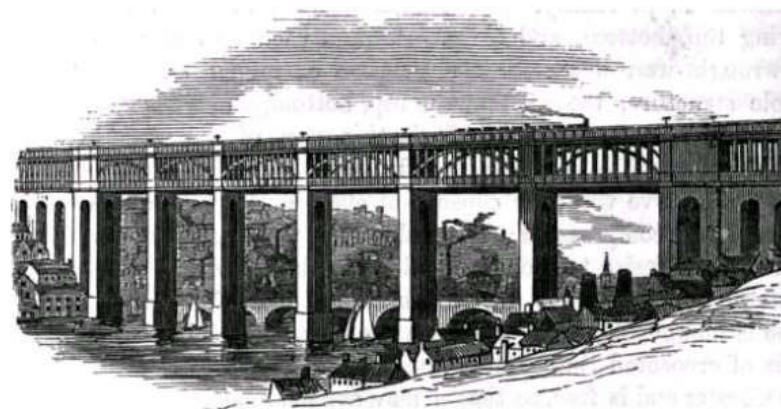
dnes:
(po 1970)



NNK – ocelové konstrukce (1)

**High Level Bridge Newcastle,
L = 6 x 38 m, 1849 (Rob. Stephenson)**

Horní železniční, dolní silniční.
Oblouky ještě litinové, táhlo a závěsy svářek.



**Royal Albert Bridge, Plymouth,
železniční, L = 2x139 m, 1859 (Brunel)**

Železniční, spojitý čočkovitý nosník, horní dutý
oblouk (oválný, cca 5,1x3,7 m, t = 12÷19 mm),
dolní z dvojice řetězů, vyvěšená železniční mostovka.



**Bedřich Schnirch: 15 řetězových mostů
v ČS, Maďarsku
řetězový v Praze (most císaře F. J. –
dnes most Legií), 1841, L = 33+132+33 m**

Havárie konstrukcí, spolehlivost

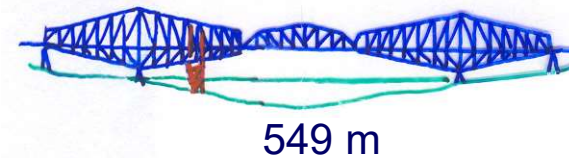
Tay
zatížení (větrem, ...)

1879



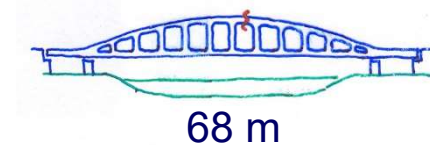
Sv. Vavřinec
vzpěr

1907



Hasselt
křehký lom

1938



Tacoma
aerodynamika

1940



komorové mosty
stabilita stěn

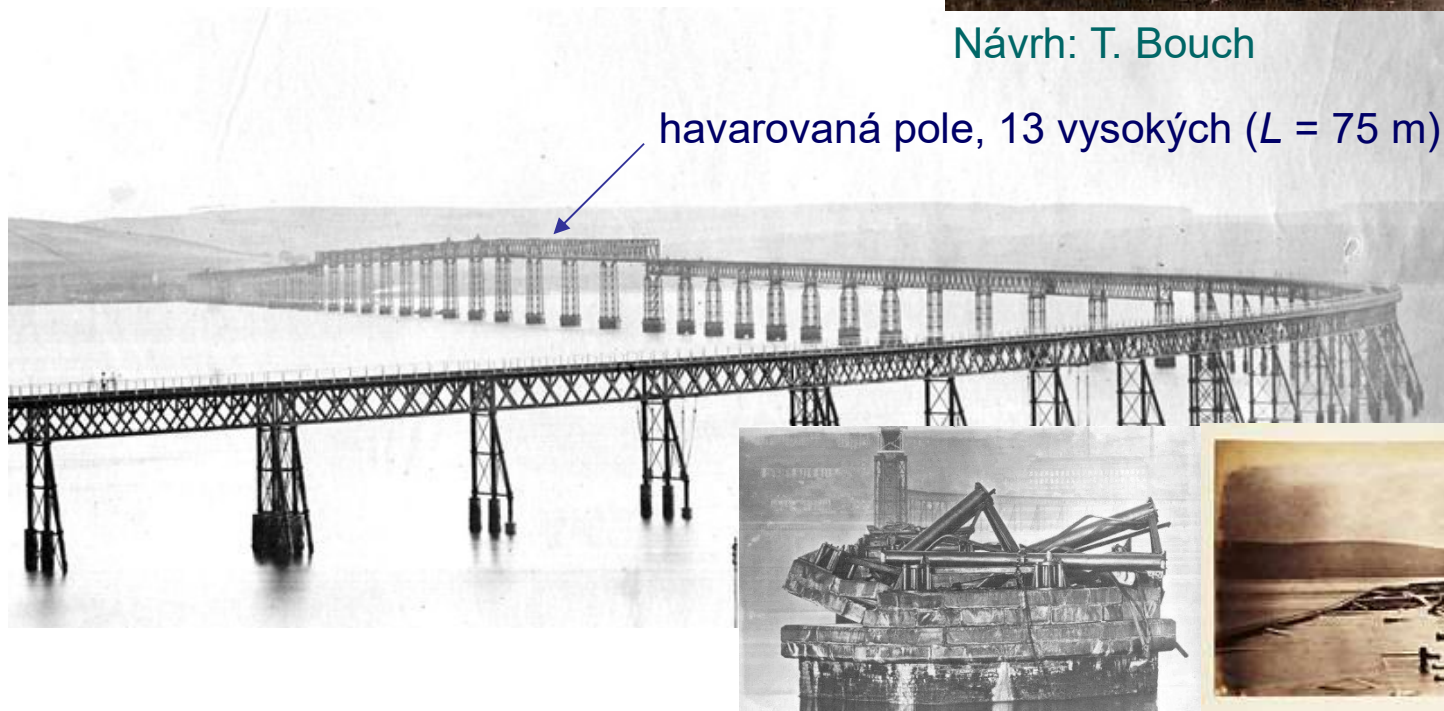
~ 1970

Tay Rail Bridge - 1879

návrh neuvažoval řádné zatížení větrem,
resp. 6x menší než bylo zapotřebí,
† 75 (za vichřice při přejezdu vlaku)



Návrh: T. Bouch



- Další vady:
- nekvalitní materiál (pilíře z litiny, ztužení ze svárku se struskou),
 - diagonály ztužení byly uchyceny „oky“, které byly příliš volné,
 - vlak jel 60 km/hod místo 40 km/hod.

Sv. Vavřinec - 1907

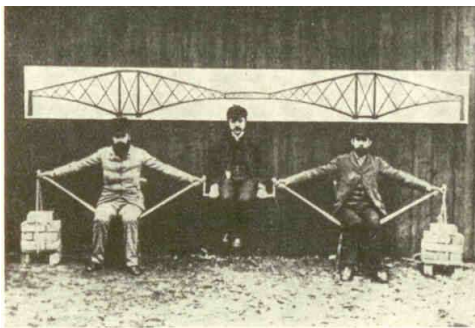
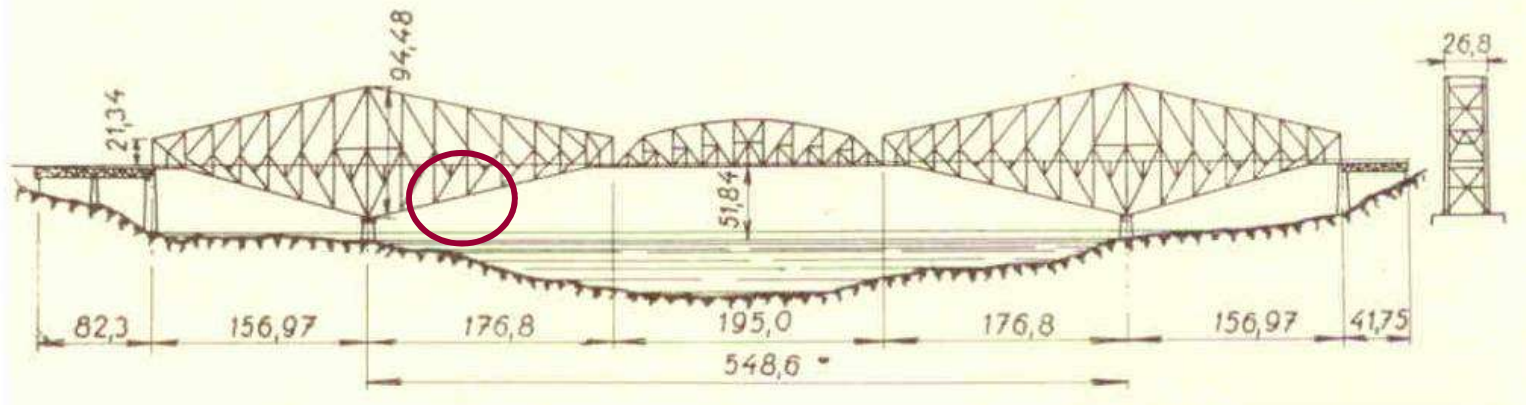
vzpěr

† 75

1916 – zřícení středního pole při zvedání

1917 – kolaudace

Nyní National Historic Site of Canada, Quebec.



Demonstrace v Queensferry
Fowler-Watanabe-Baker

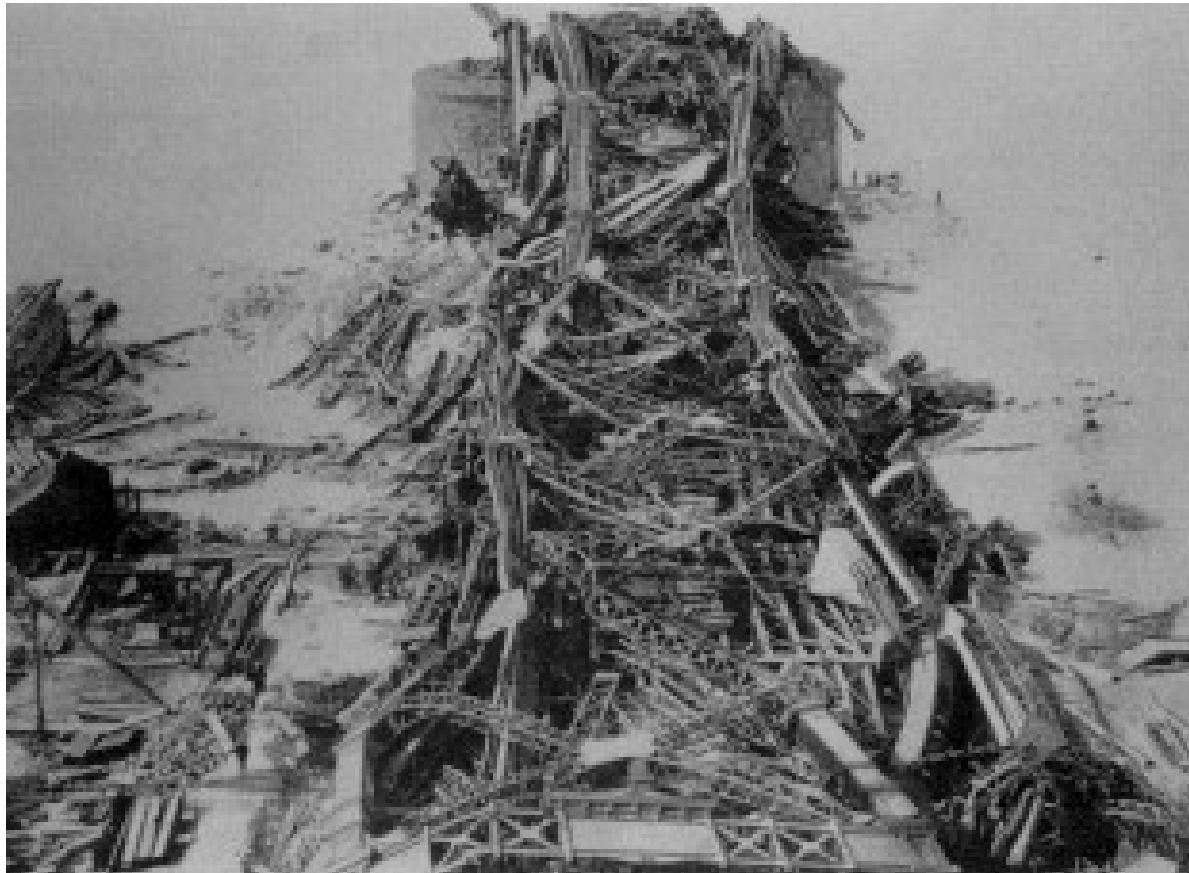


Firth of Forth Bridge (1890) 206+47+518+ 82+206 [m]

Sv. Vavřinec - 1907

vzpěr

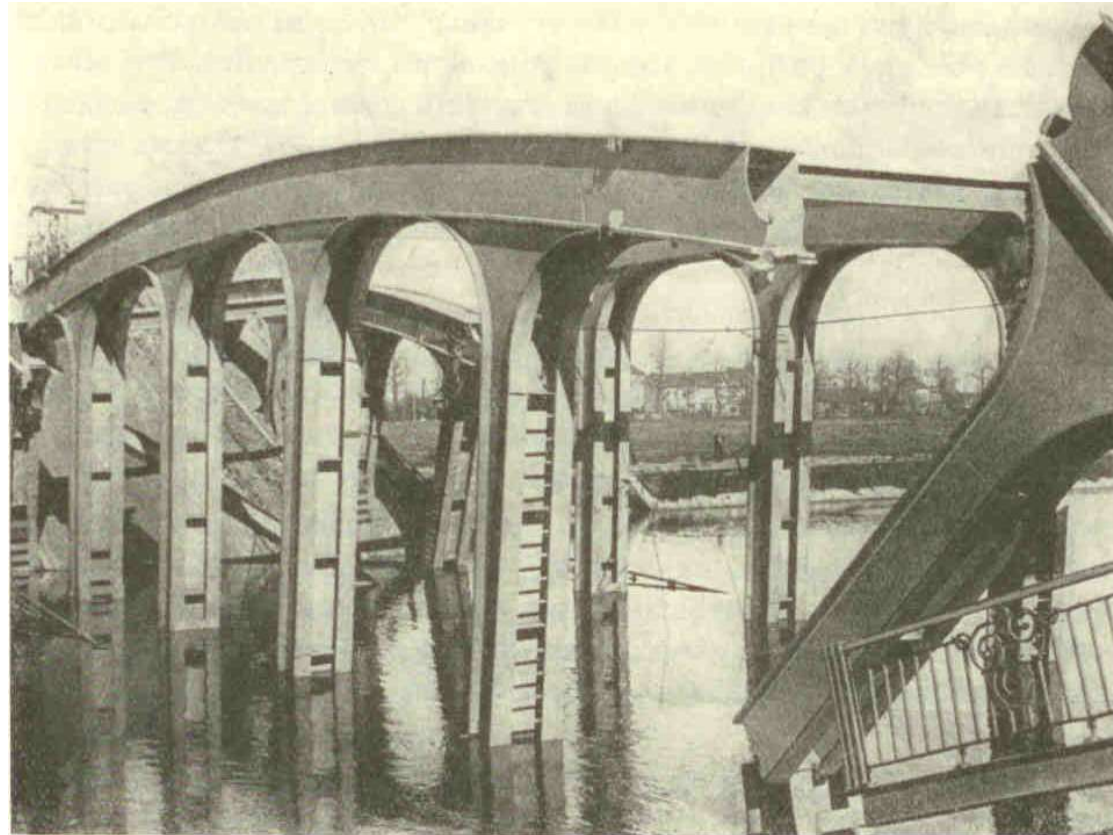
Královská komise: chyba P. Szlapky – hlavního projektanta a T. Coopera – jeho spolupracovníka, Phoenix Bridge Company.



Stabilita stěn

Hasselt - 1938

křehký lom



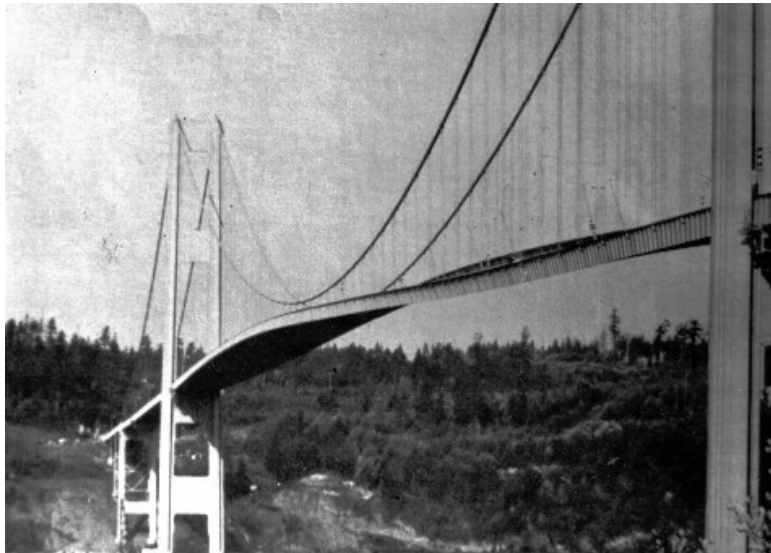
Havárie při přejezdu tramvaje:
Thomasova ocel 37 - špatné postupy svařování (velká pnutí)

Hasselt - 1938
křehký lom



Tacoma - 1940 aerodynamika

Po 1990 též kmitání závěsů od větru za deště:
Opatření: tlumiče nebo tvarování povrchu lan.



Most přes Tacoma Narrows (853 m)

- nahrazen novým visutým mostem v roce 1950
- druhé přemostění 2007

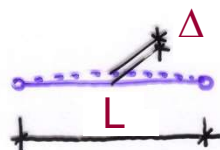
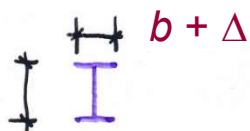


Stabilita stěn

Počáteční imperfekce konstrukcí

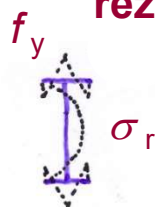
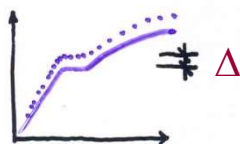
- **geometrické**

úchytky tvaru, počáteční deformace



- **strukturální**

materiálové charakteristiky,
reziduální pnutí od svařování a válcování



- **konstrukční**

nejasné okrajové podmínky



Výpočty: vše nahrazeno ekvivalentní geometrickou imperfekcí

Havárie v důsledku boulení stěn

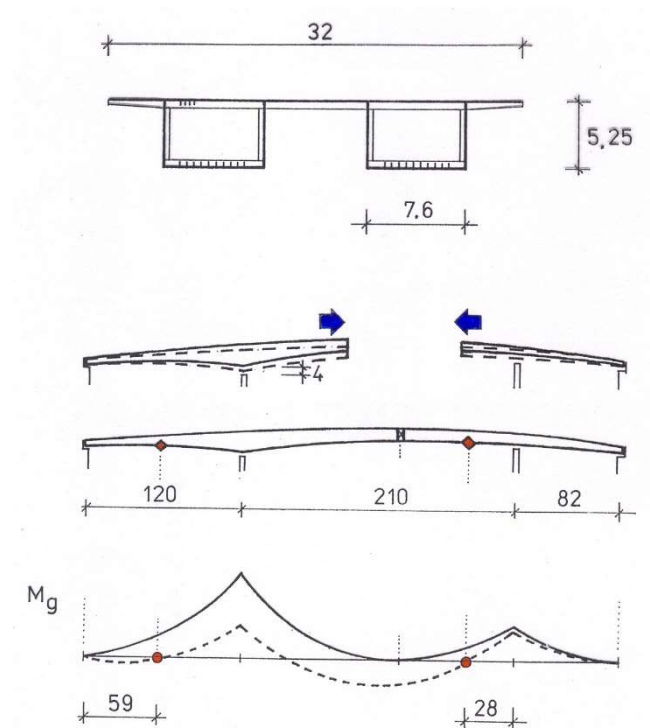
Vídeň	1969
Milford Haven (Wales)	1970
West Gate Bridge (Melbourne)	1970
Koblenz (Německo)	1971

Most ve Vídni přes Dunaj 6.11.1969

Příčiny:

- imperfekce,
- teplota,
- špatný odhad g.

Únosnost nepostačovala.



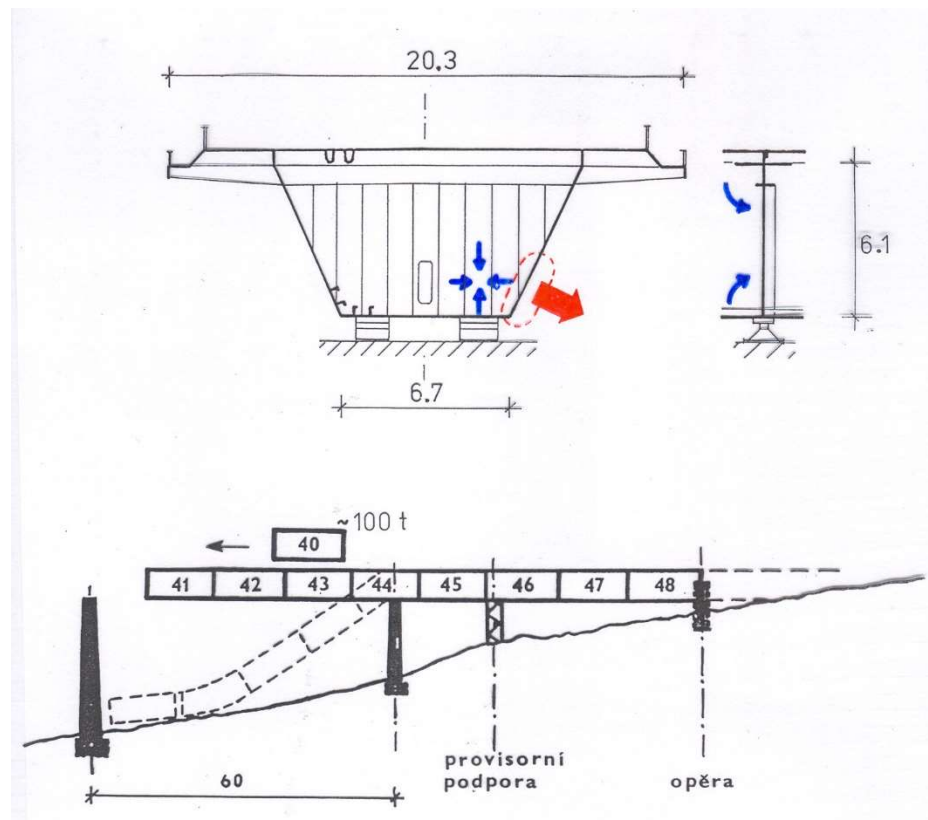
Milford Haven Bridge ve Walesu 2.6.1970

Příčiny:

- excentrické namáhání diafragmatu,
- imperfekce,
- nedostatečné vyztužení diafragmatu.

→ teoretická únosnost
= 50 % namáhání.

† 4 osoby (2 těžké zranění)

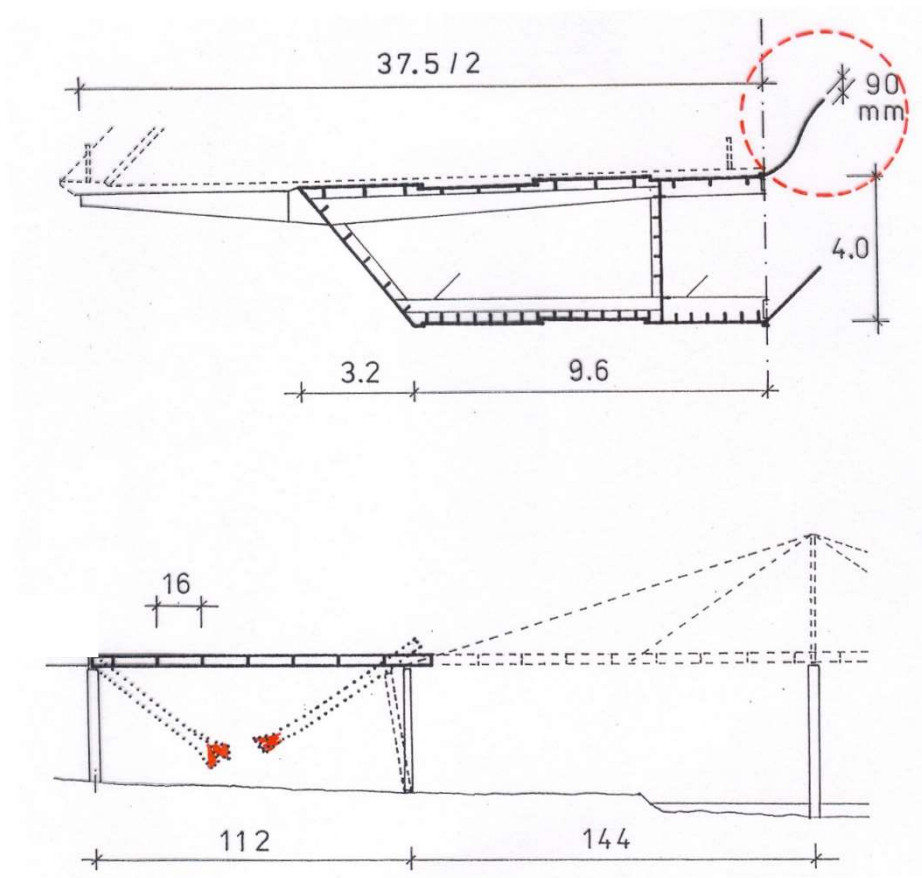


West Gate Bridge v Melbourne 15.10.1970

Příčiny:

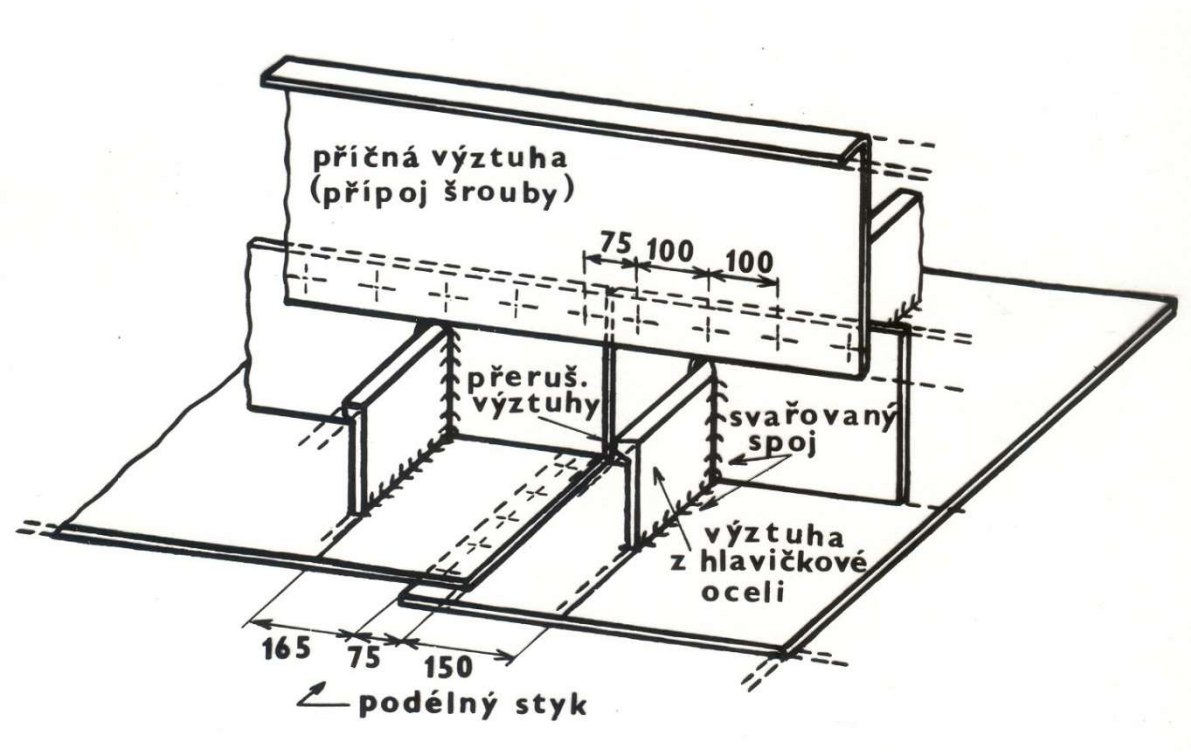
- imperfekce,
- nesymetrie,
- nedostatečné vyztužení,
- hrubé nedostatky při výrobě i montáži

† 35 osob



West Gate Bridge v Melbourne

Nevhodné detaily:



West Gate Bridge v Melbourne

Zbytky po havárii:



Současný stav:



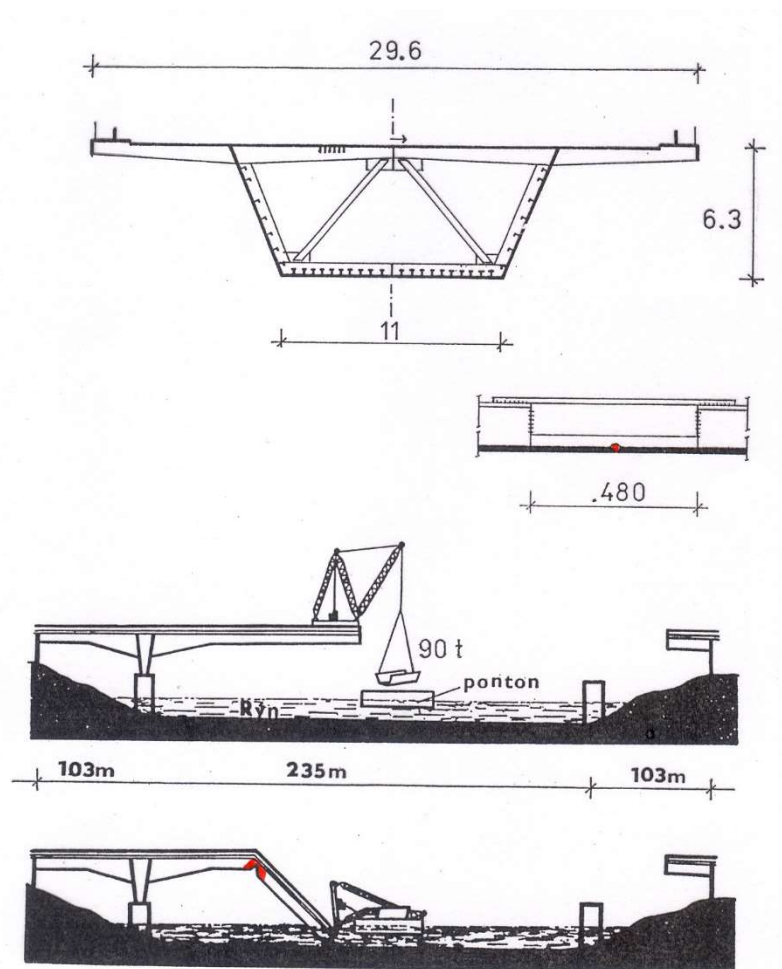
Stabilita stěn

Koblenz
10.11.1971

Příčiny:

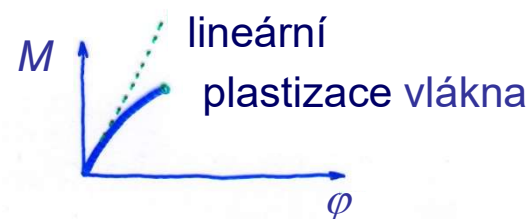
- boulení nevyztužené stěny

† 9 osob

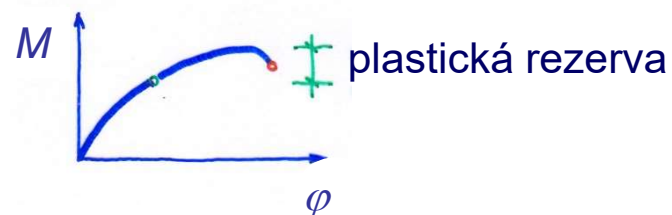


Průřezy ze štíhlých stěn

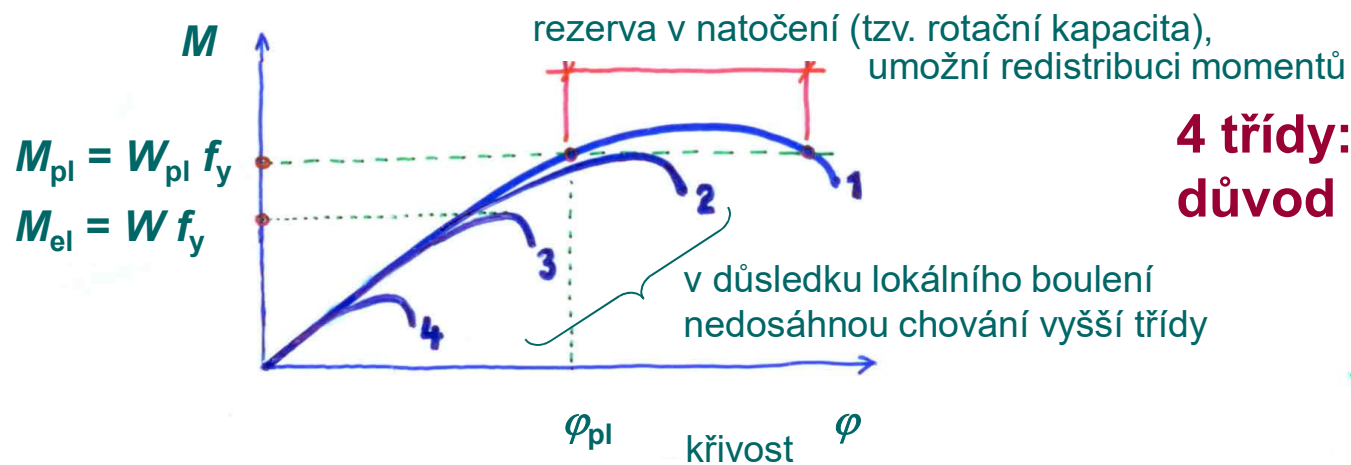
- pružné řešení



- plastické řešení



Norma ČSN EN 1993-1-5 Boulení stěn



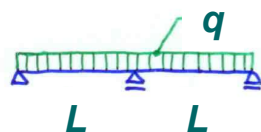
**4 třídy:
důvod - boulení stěn**



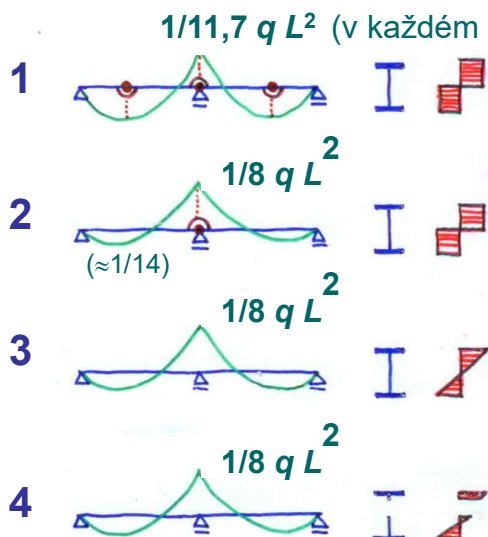
Klasifikace průřezů

Třída	Metoda výpočtu vnitřních sil (globální analýza)		Způsob posouzení příčného řezu	
1	plasticitní	M_{pl}	plastický	W_{pl}
2	pružnostní	M_{el}	plastický	W_{pl}
3	pružnostní	M_{el}	pružný	W
4	pružnostní	M_{el}	pružný, s účinným průřezem	W_{eff}

Příklad:



značka
plastického
kloubu:



Určení třídy:

pro každou tlačenou část podle b/t :
(tzn. závisí na zatížení !!!)

- Třída 1 plastické průřezy
- Třída 2 kompaktní průřezy
- Třída 3 pružné průřezy
- Třída 4 účinné průřezy

Průřez zatřídit podle
nejvyšší třídy všech částí.

boulící část
se neuvažuje,
vyloučí se pomocí součinitele boulení
(máme jiný průřez)

Eurocode 3 po 2021:
CSM – continues strength method

Stabilita stěn