

MASIVNÍ A ŽELEZOBETONOVÉ MOSTY I

Ing. Pavel Jiříček, Ph.D.

Pavel.Jiricek@upce.cz

Osnova

- Zopakování základních pojmů
- Zatížení
- Kombinace
- MSÚ
- MSP
- Předpjatý beton
- D-oblasti
- Rezerva



Sunniberg; Ch. Menn 1998



Salginatobelbrücke; R. Maillart 1930

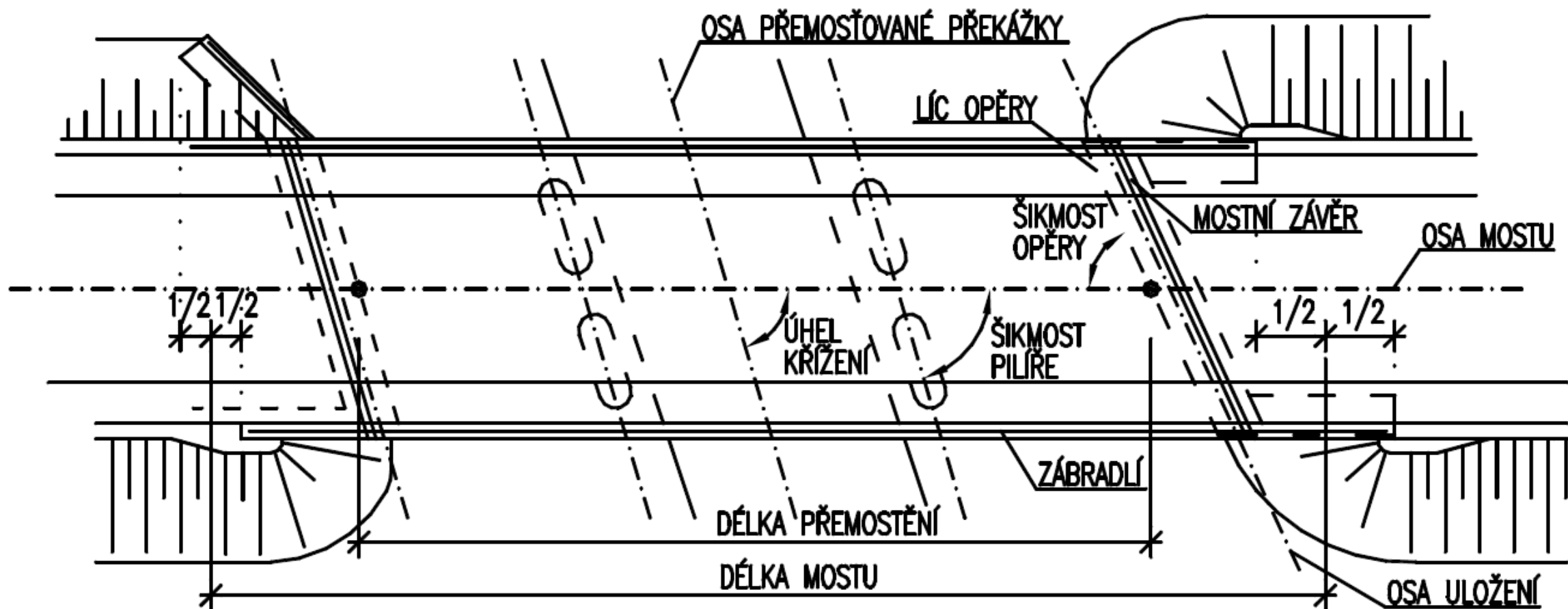


Mostní názvosloví

- ČSN 73 6200
- Mostní objekty – nahrazují zemní těleso komunikace v místě kde je potřeba přemostěním překonat překážku
 - **Mosty**
 - Kolmá světlost větší než 2,0 m
 - Slouží k převedení dopravních cest, vodních koryt, potrubních komunikací nebo k stavebně montážním účelům
 - **Propustky**
 - Kolmá světlost od 0,4 m do 2,0 m (včetně)
 - Slouží k převedení stálých nebo občasných vod, trubních a jiných vedení tělesem komunikace
 - **Lávky**
 - Sloužící chodcům
 - Součást mostu sloužící revizním a jiným účelům

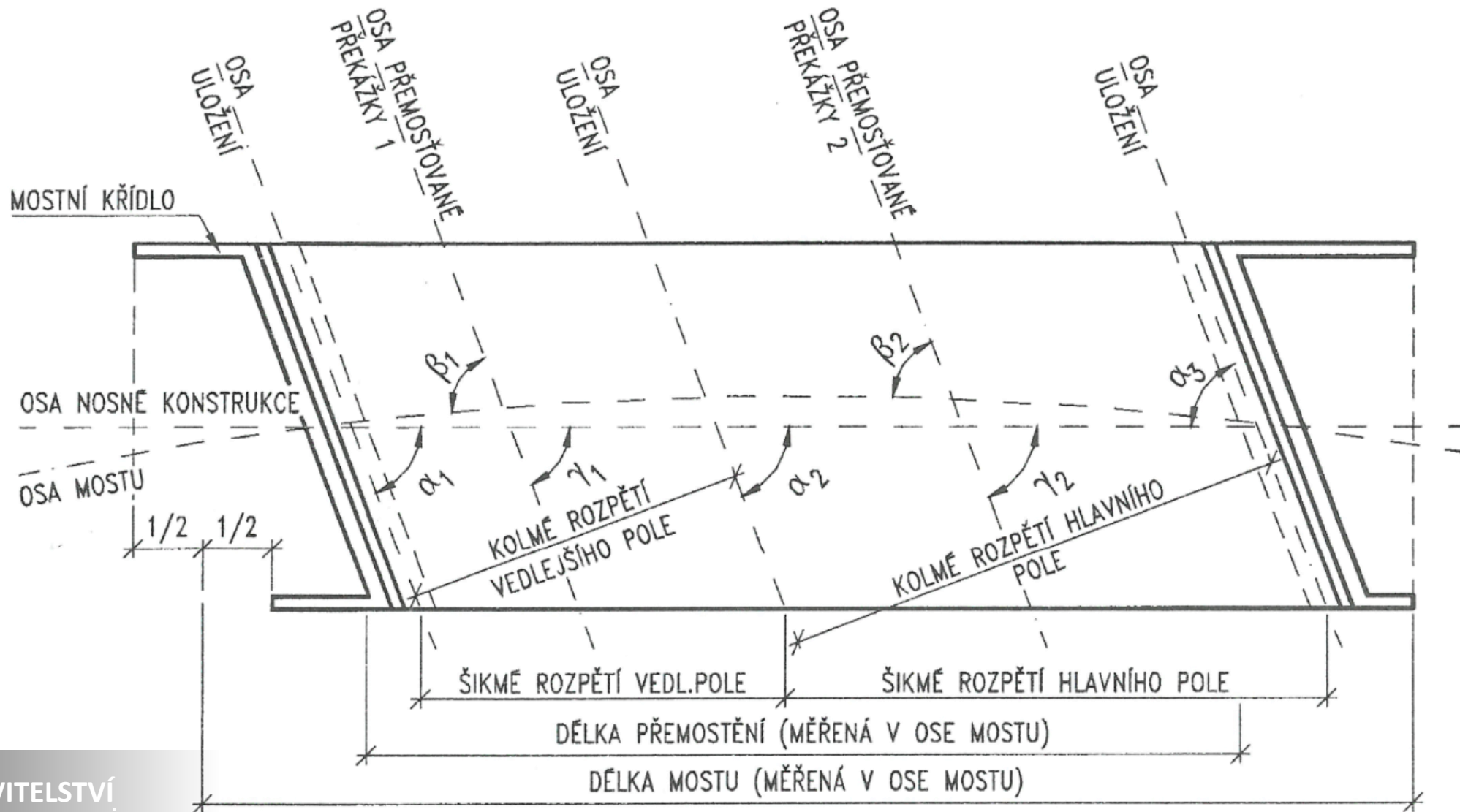
Návrhové charakteristiky mostů

- Půdorys (ČSN 73 6200)



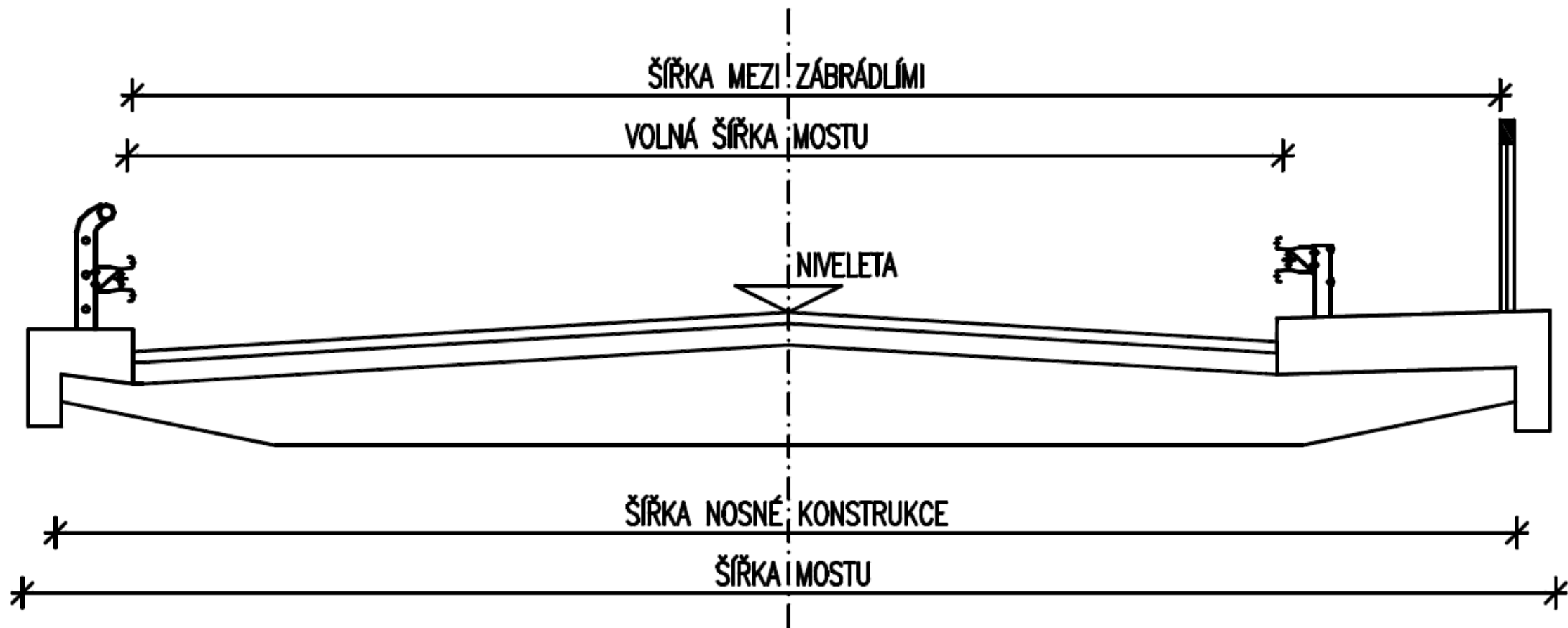
Návrhové charakteristiky mostů

- Půdorys



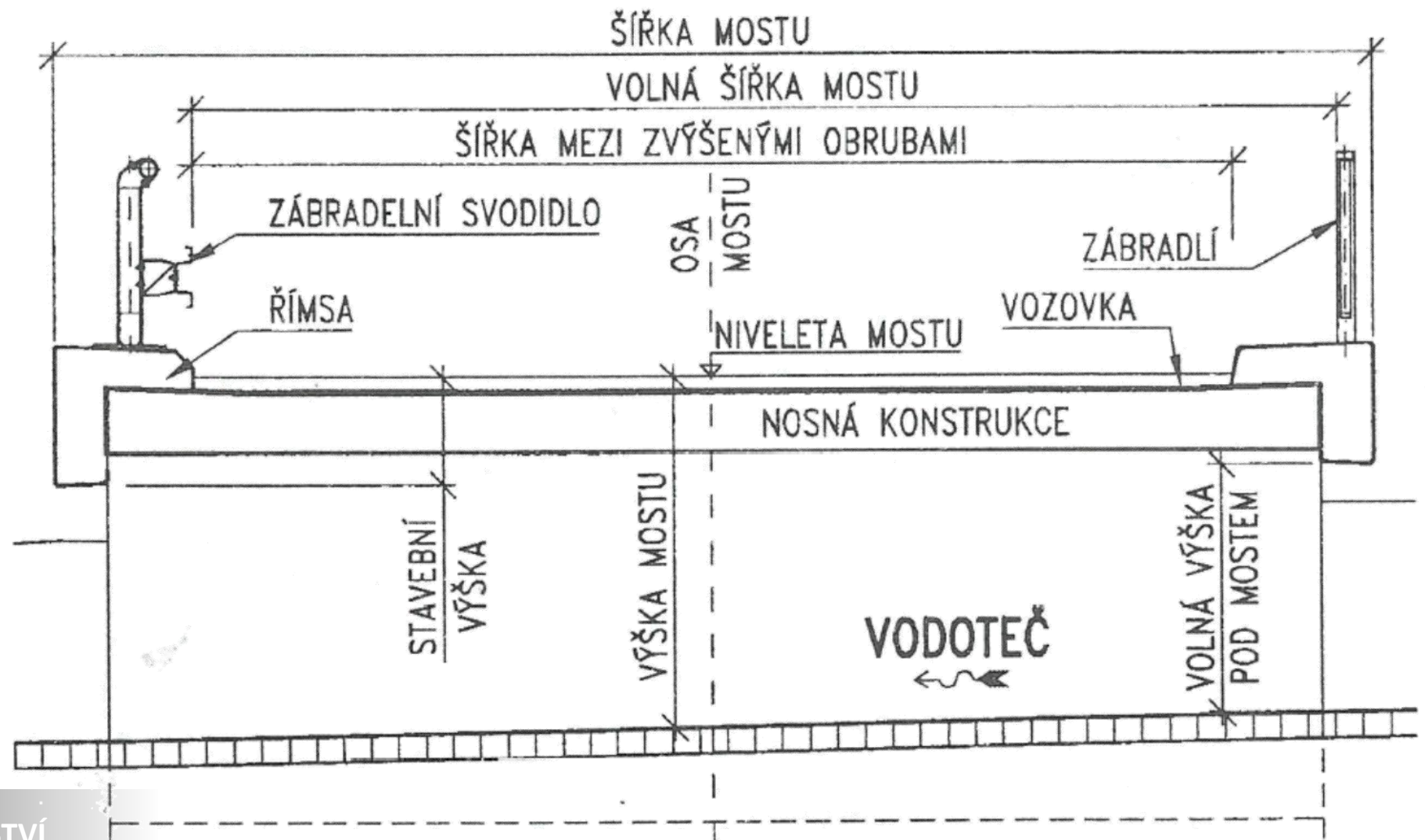
Návrhové charakteristiky mostů

- Příčný řez (ČSN 73 6200)



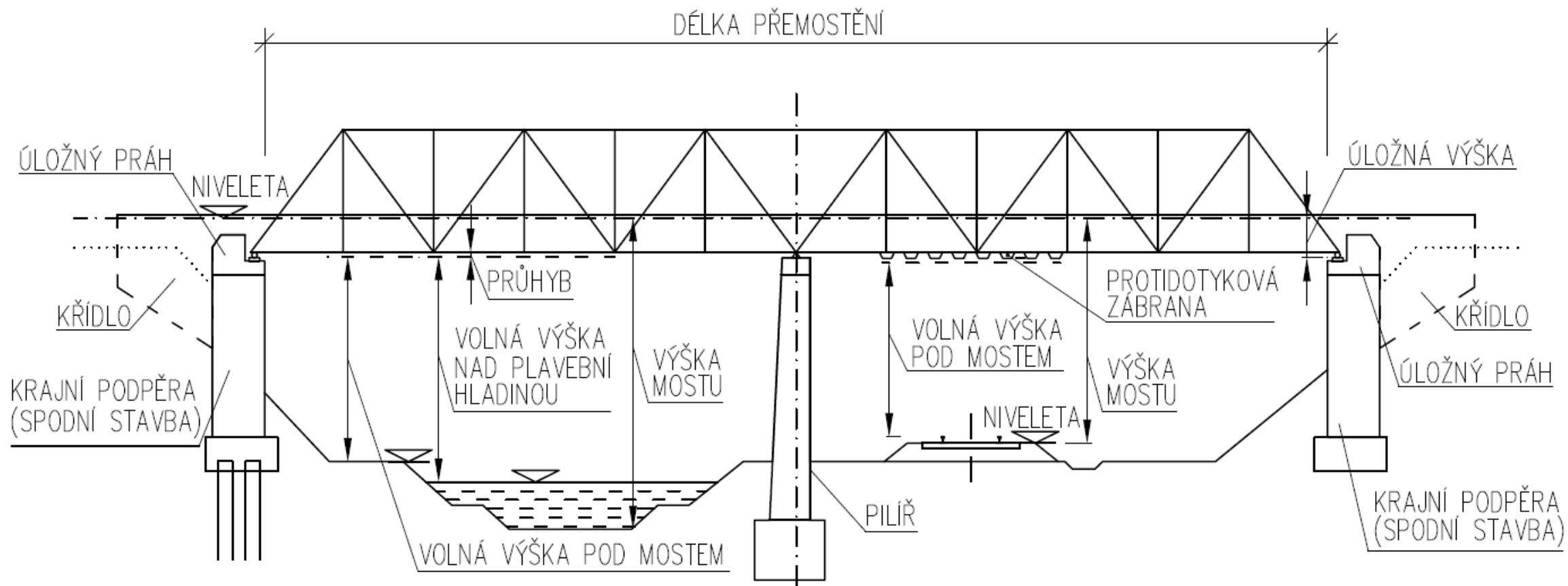
Návrhové charakteristiky mostů

- Příčný řez



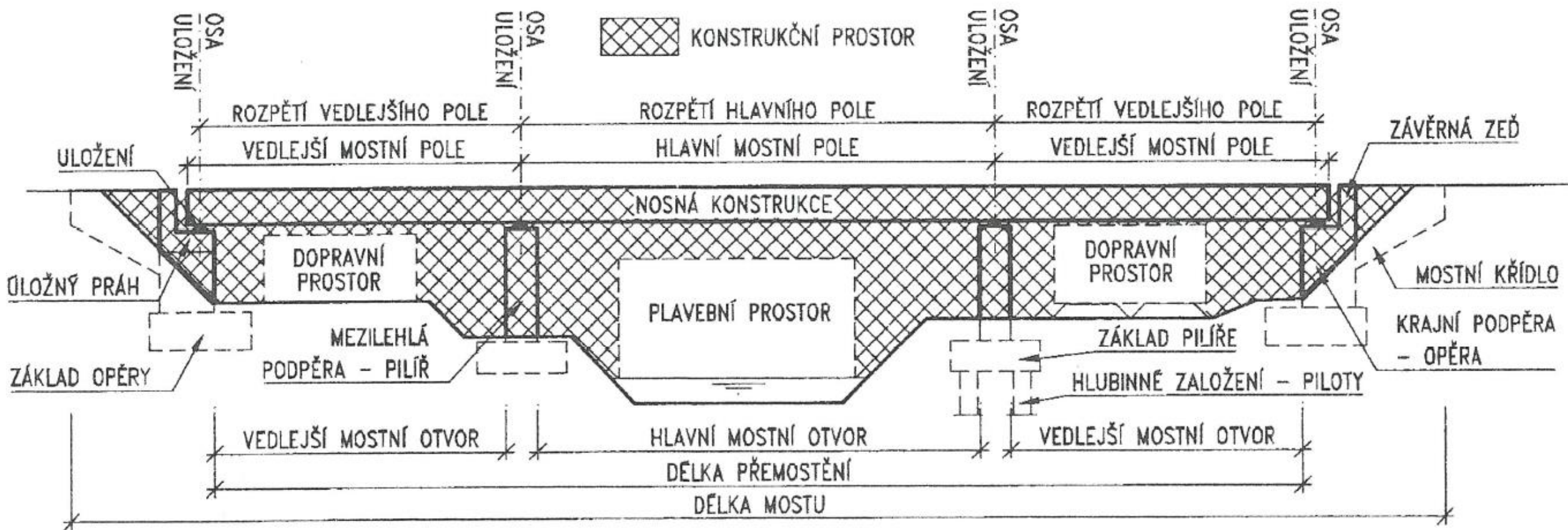
Návrhové charakteristiky mostů

- Podélný řez (ČSN 73 6200)



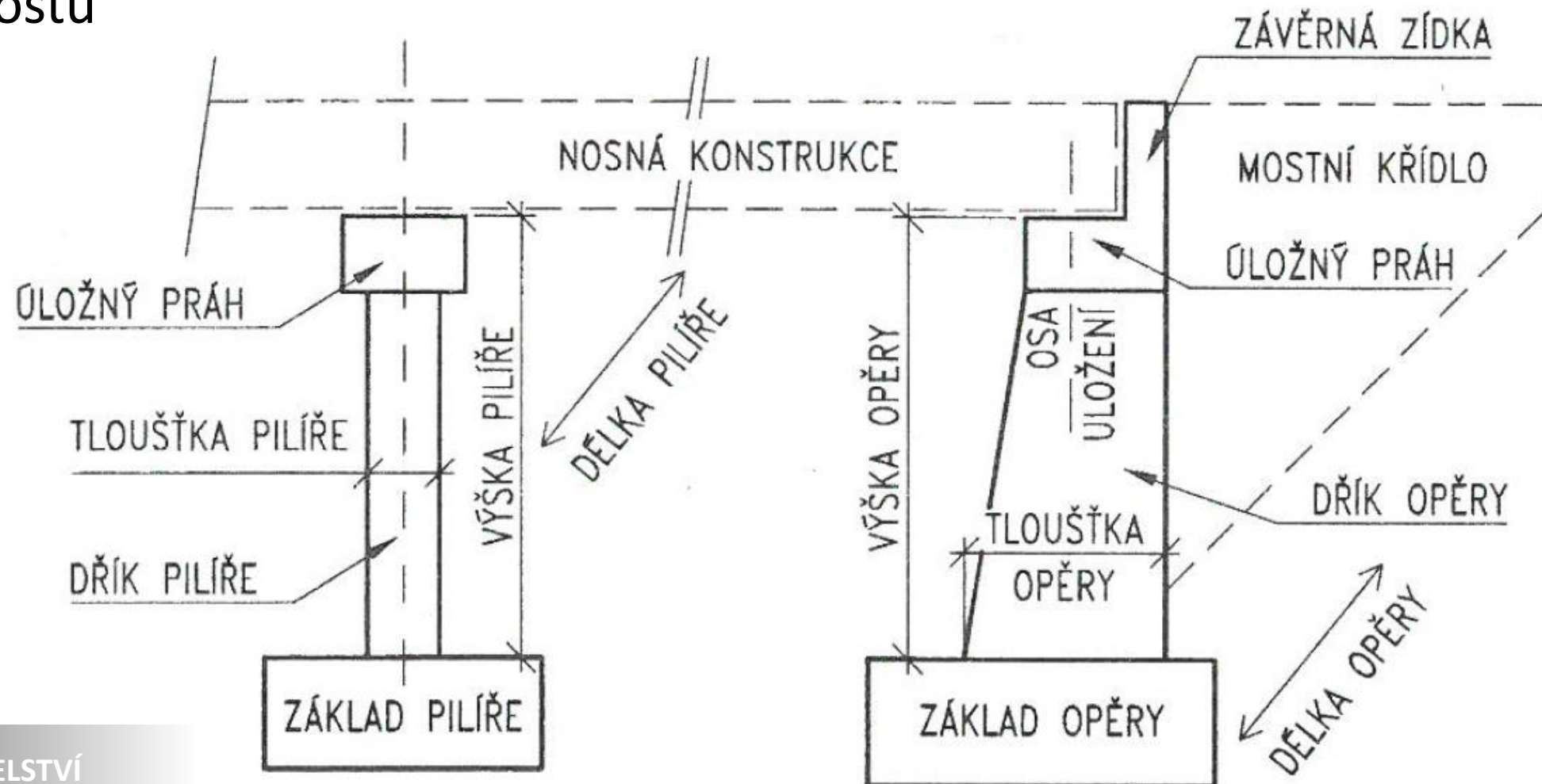
Návrhové charakteristiky mostů

- Podélný řez



Spodní stavba

- Podpěry mostu
 - Opěry
 - Pilíře

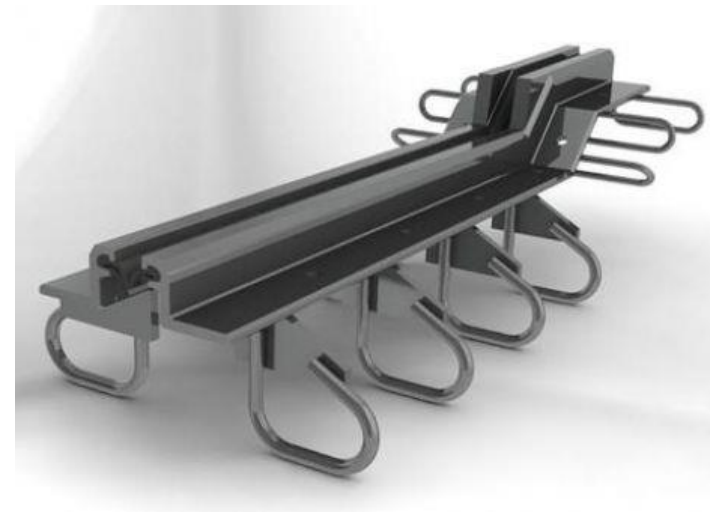


Nosná konstrukce



Nosná konstrukce

- Hlavní nosná konstrukce mostu
 - mostovka
 - ztužení
 - ložiska
 - mostní závěry



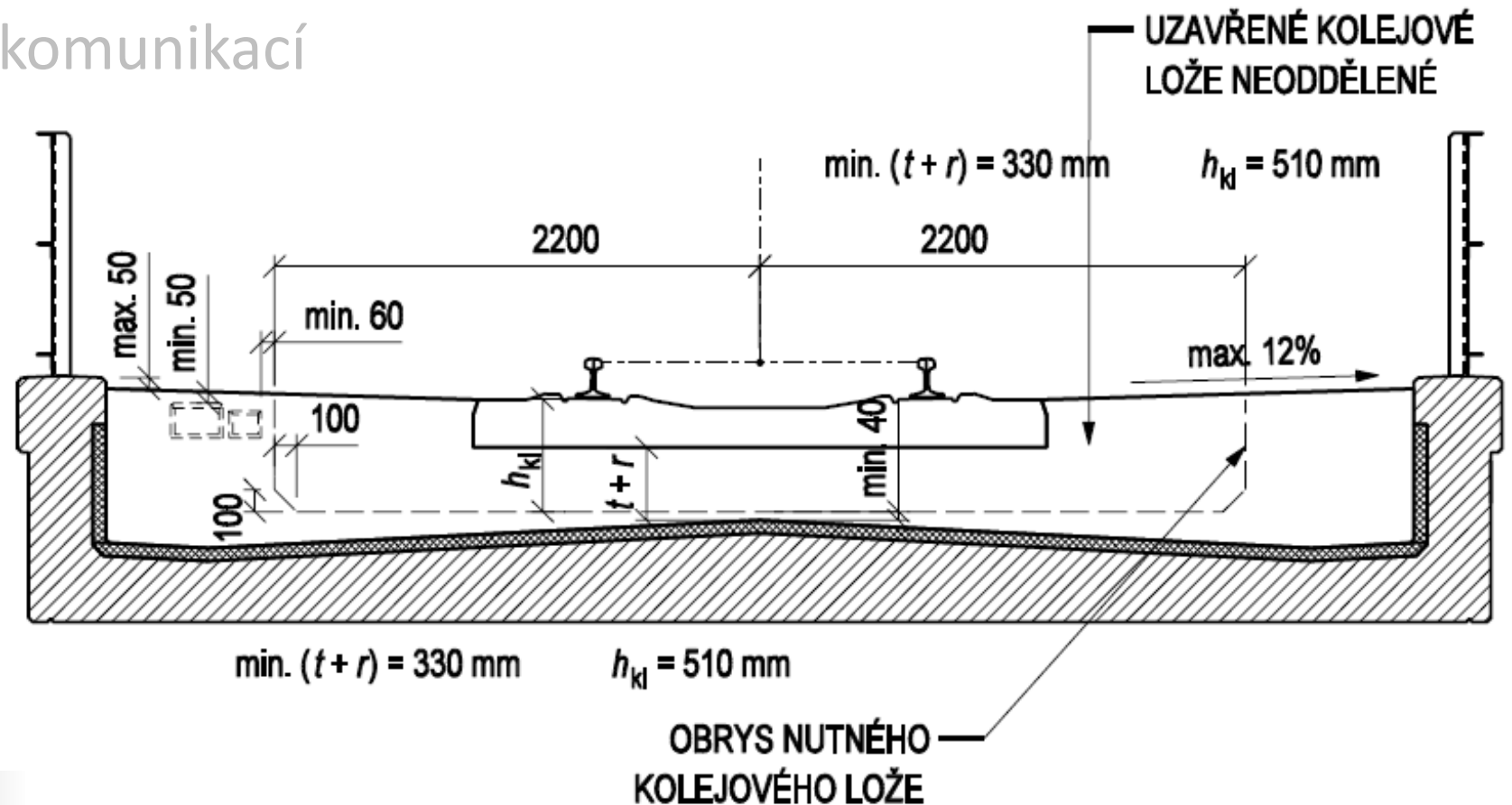
Mostní svršek

- Drážní mosty
- Mosty pozemních komunikací



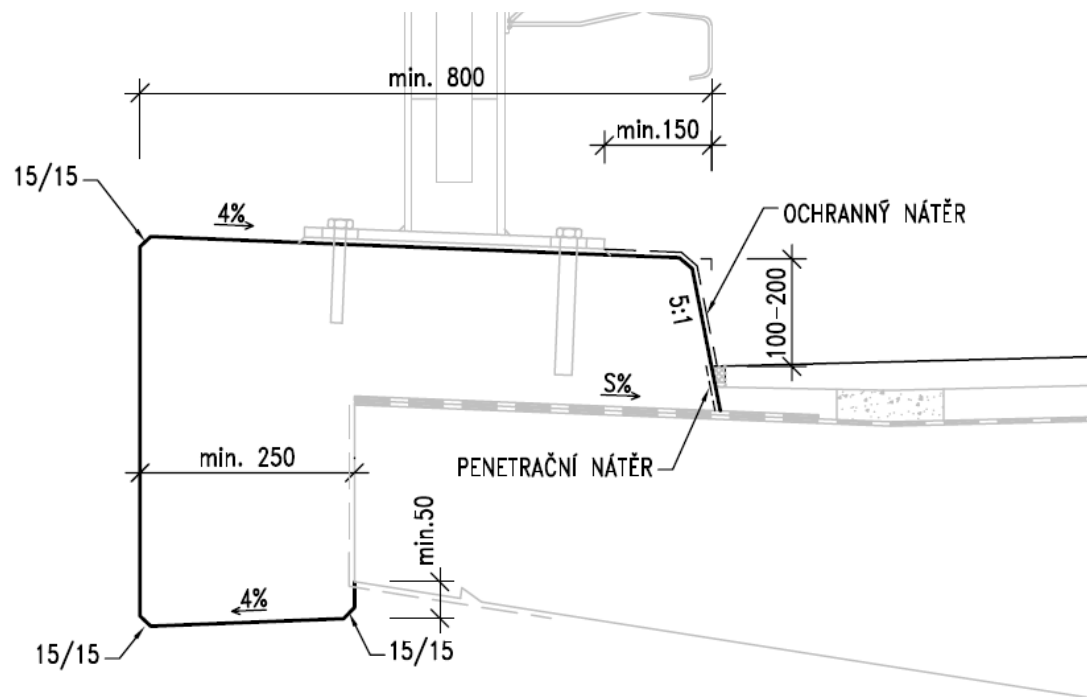
Mostní svršek

- Drážní mosty
- Mosty pozemních komunikací

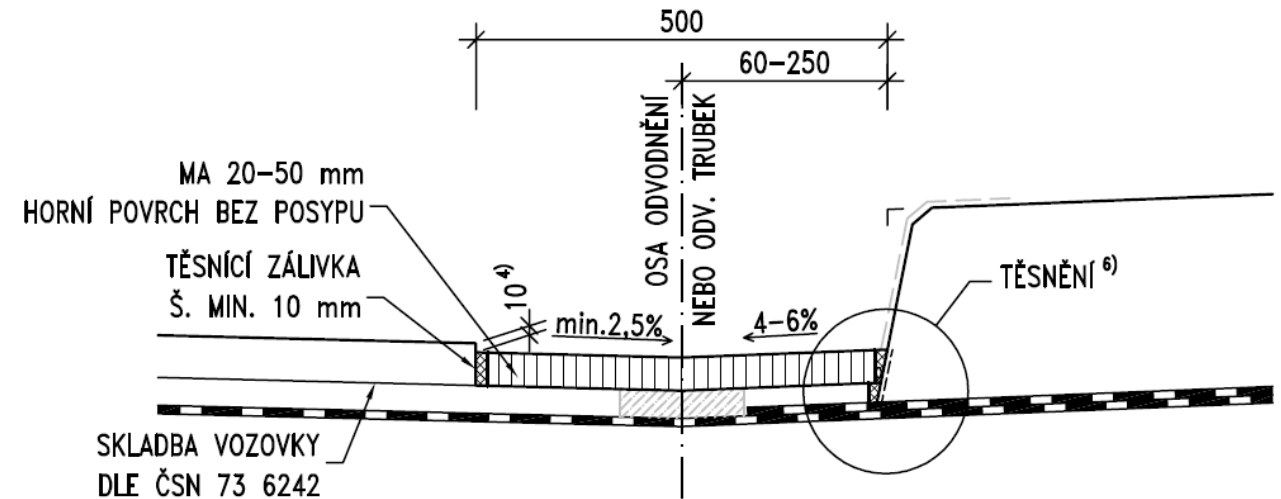


Mostní svršek

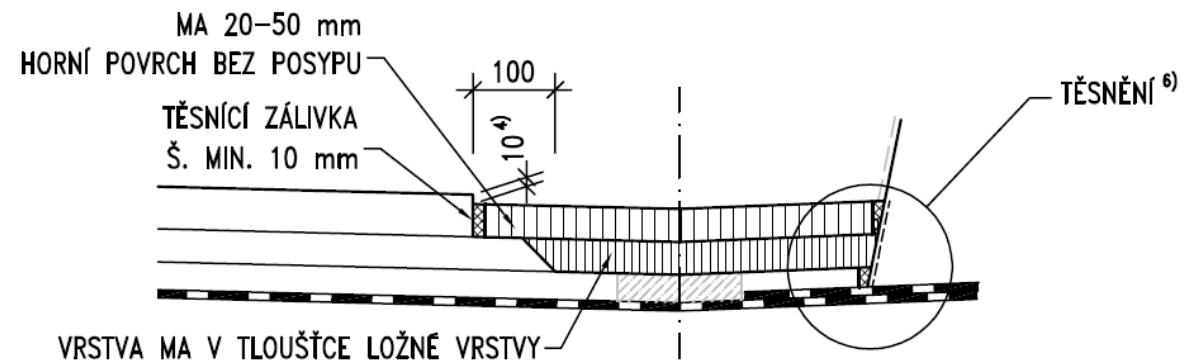
- Drážní mosty
- Mosty pozemních komunikací



ALTERNATIVA PRO DVOUVRSTVOU VOZOVKU



ALTERNATIVA PRO TŘÍVRSTVOU VOZOVKU



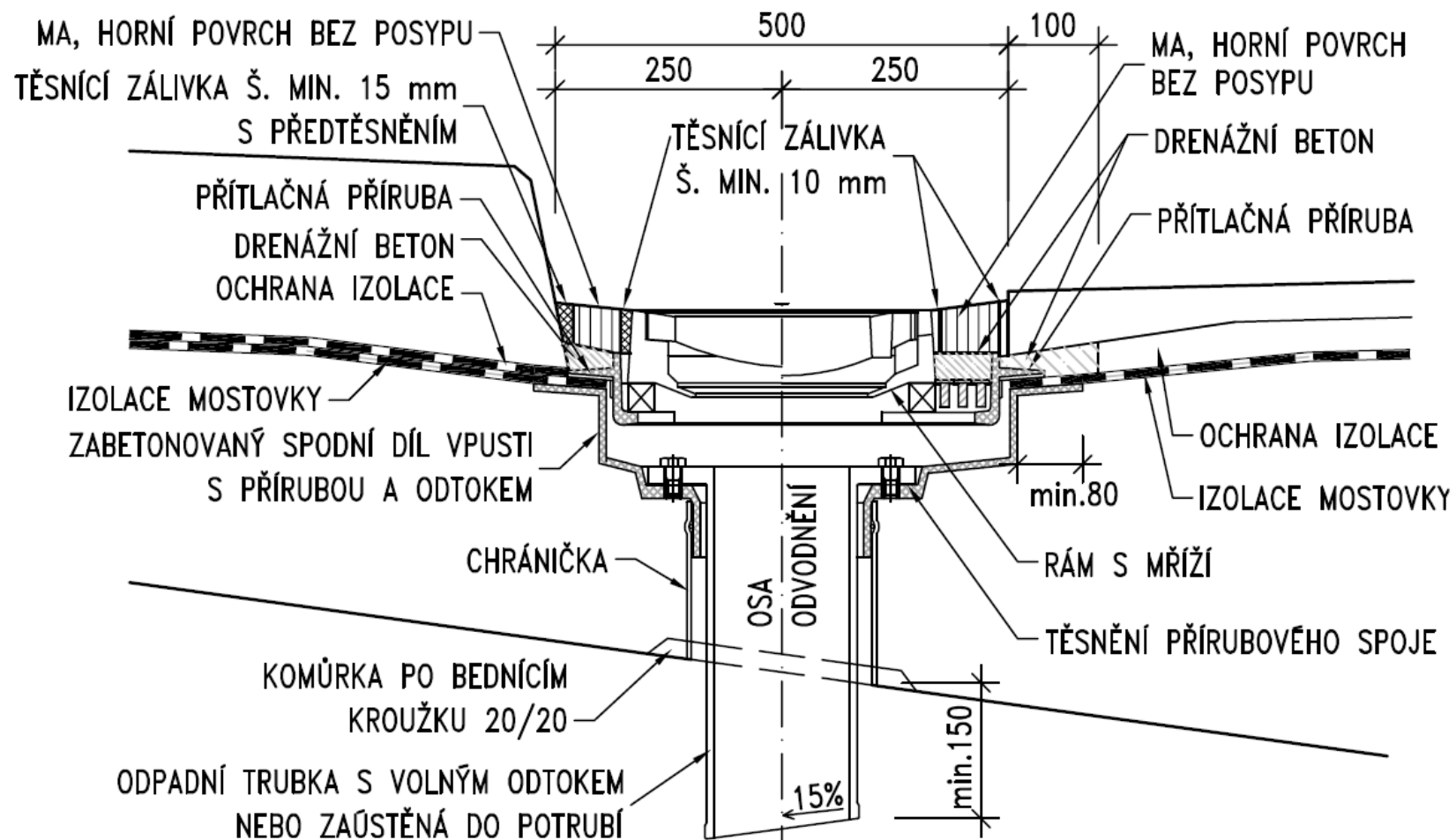
Mostní vybavení

- Záchytné bezpečnostní zařízení
- Odpadní zařízení
- Zábrany
- Osvětlovací zařízení
- Revizní zařízení



Mostní vybavení

- Záchytné bezpečnostní zařízení
- Odpadní zařízení
- Zábrany
- Osvětlovací zařízení
- Revizní zařízení



Mostní vybavení

- Záchytné bezpečnostní zařízení
- Odpadní zařízení
- **Zábrany**
- Osvětlovací zařízení
- Revizní zařízení



Mostní vybavení

- Záchytné bezpečnostní zařízení
- Odpadní zařízení
- Zábrany
- Osvětlovací zařízení
- Revizní zařízení



Mostní vybavení

- Záchytné bezpečnostní zařízení
- Odpadní zařízení
- Zábrany
- Osvětlovací zařízení
- Revizní zařízení



Zatížení



Zatížení



Zatížení

- Stálá zatížení
- Klimatická zatížení
- Zatížení dopravou
- Zatížení během provádění
- Mimořádná zatížení



Zatížení

- Stálá zatížení ČSN EN 1991-1-1
 - Vlastní tíha
 - Zatížení zeminou
- Klimatická zatížení
- Zatížení dopravou
- Zatížení během provádění
- Mimořádná zatížení



Zatížení

- Stálá zatížení
- Klimatická zatížení
 - Zatížení větrem ČSN EN 1991-1-4
 - Zatížení teplotou ČSN EN 1991-1-5
 - Zatížení sněhem
- Zatížení dopravou
- Zatížení během provádění
- Mimořádná zatížení



Zatížení

- Stálá zatížení
- Klimatická zatížení
- Zatížení dopravou ČSN EN 1991-2
 - Zatížení kolejovou dopravou
 - Zatížení silniční dopravou
- Zatížení během provádění
- Mimořádná zatížení



Zatížení

- Stálá zatížení
- Klimatická zatížení
- Zatížení dopravou
- **Zatížení během provádění** **ČSN EN 1991-1-6**
- Mimořádná zatížení



Zatížení

- Stálá zatížení
- Klimatická zatížení
- Zatížení dopravou
- Zatížení během provádění
- **Mimořádná zatížení**
 - Nárazy, výbuchy atd. ČSN EN 1991-1-7
 - Seismika ČSN EN 1998-1; ČSN EN 1998-2



Stálá zatížení

- **Stálá zatížení (G)**



Stálá zatížení

- Vlastní tíha nosné konstrukce/spodní stavby (G_0)
 - Beton
 - Železobeton
 - Předpjatý beton
- Vlastní tíha nenosných částí konstrukce (G_{ost})
 - Silniční vozovky
 - Železniční svršek
 - Izolační souvrství
 - Římsy
 - Zábradlí, PHS, Ochrany proti dotyku



Stálá zatížení

- Vlastní tíha nosné konstrukce/spodní stavby (G_0)
 - Beton
 - Železobeton
 - Předpjatý beton

Materiály	Objemová tíha γ [kN/m ³]
beton (viz EN 206-1)	
lehký	
třída objemové hmotnosti LC 1,0	9,0 až 10,0 ^{1),2)}
třída objemové hmotnosti LC 1,2	10,0 až 12,0 ^{1),2)}
třída objemové hmotnosti LC 1,4	12,0 až 14,0 ^{1),2)}
třída objemové hmotnosti LC 1,6	14,0 až 16,0 ^{1),2)}
třída objemové hmotnosti LC 1,8	16,0 až 18,0 ^{1),2)}
třída objemové hmotnosti LC 2,0	18,0 až 20,0 ^{1),2)}
obyčejný	24,0 ^{1),2)}
těžký	> 1),2) NP)
malta	
cementová	19,0 až 23,0
sádrová	12,0 až 18,0
vápenocementová	18,0 až 20,0
vápenná	12,0 až 18,0
¹⁾ Zvětší se o 1 kN/m ³ pro běžné procento vytužení a pro předpinací výztuž. ²⁾ Zvětší se o 1 kN/m ³ pro neztrvrdlý beton.	
POZNÁMKA Viz kapitola 4.	

Stálá zatížení

- Vlastní tíha nenosných částí konstrukce (G_{ost})
 - Silniční vozovky
 - Železniční svršek
 - Izolační souvrství
 - Římsy
 - Zábradlí, PHS, Ochrany proti dotyku

Materiály	Objemová tíha γ [kN/m ³]
vozovka mostů pozemních komunikací	
litý asfalt a asfaltový beton	24,0 až 25,0
asfaltový mastix	18,0 až 22,0
válcovaný asfalt	23,0
mostní výplně	
písek (suchý)	15,0 až 16,0 ¹⁾
štěrkové lože, štěrk (volný)	15,0 až 16,0 ¹⁾
štěťový kámen	18,5 až 19,5
drcená škvára	13,5 až 14,5 ¹⁾
obalovaná kamenná drť	20,5 až 21,5
těsnicí jíly	18,5 až 19,5
železniční mostní svršek	
betonové ochranné vrstvy	25,0
běžné štěrkové lože (např. žula, rula)	20,0
čedičové štěrkové lože	26,0
	Tíha na jednotku délky ^{2) 3)} g_k [kN/m]
konstrukce se štěrkovým ložem	
2 kolejnice UIC 60	1,2
předpjaté betonové pražce s kolejovým upevněním	4,8
betonové pražce s kovovými úhelníkovými podpěrami	-
dřevěné pražce s kolejovým upevněním	1,9
konstrukce bez štěrkového lože	
2 kolejnice UIC 60 s kolejovým upevněním	1,7
2 kolejnice UIC 60 s kolejovým upevněním, nosník mostovky a pojistná kolejnice	4,9
¹⁾ uvedeno v dalších tabulkách jako skladovaný materiál	
²⁾ bez odchylky pro štěrkové lože	
³⁾ předpokládá se rozteč 600 mm	
POZNÁMKA 1 Hodnoty pro koleje lze také použít mimo železniční mosty.	
POZNÁMKA 2 Viz kapitola 4.	

Stálá zatížení

- Zatížení zeminou (**Z**)
 - Zásypy a přesypávky
 - Aktivní zemní tlak
 - Pasivní zemní tlak
 - Klidový zemní tlak



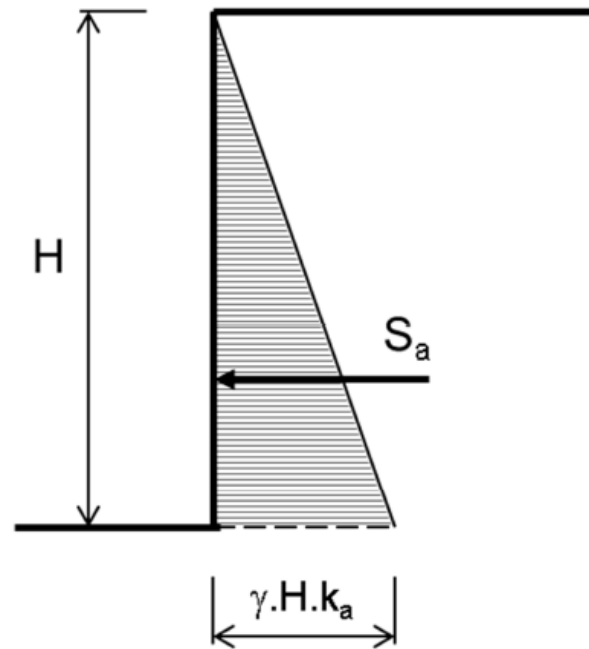
Stálá zatížení

• Zatížení zeminou (**Z**)

- Zásypy a přesypávky
- Aktivní zemní tlak
- Pasivní zemní tlak
- Klidový zemní tlak

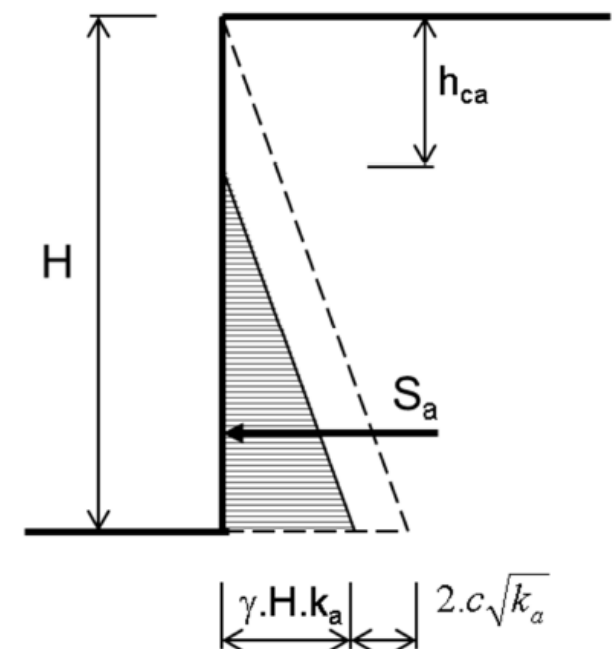
$$\sigma_a = \gamma \cdot H \cdot k_a - 2c\sqrt{k_a}$$

nesoudržné zemin



Součinitel aktivního zemního tlaku k_a :

soudržné zemin



Udržovací výška h_{ca} :

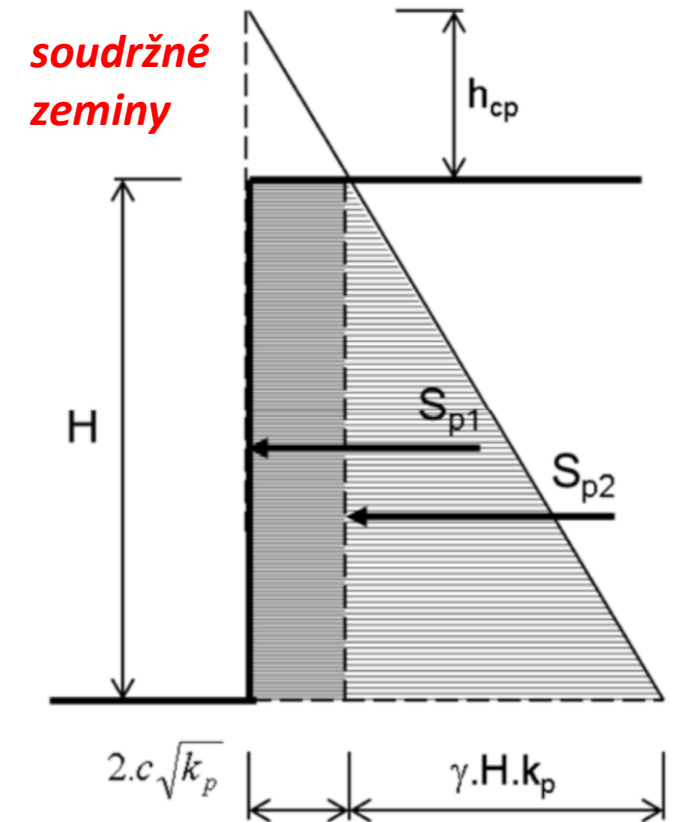
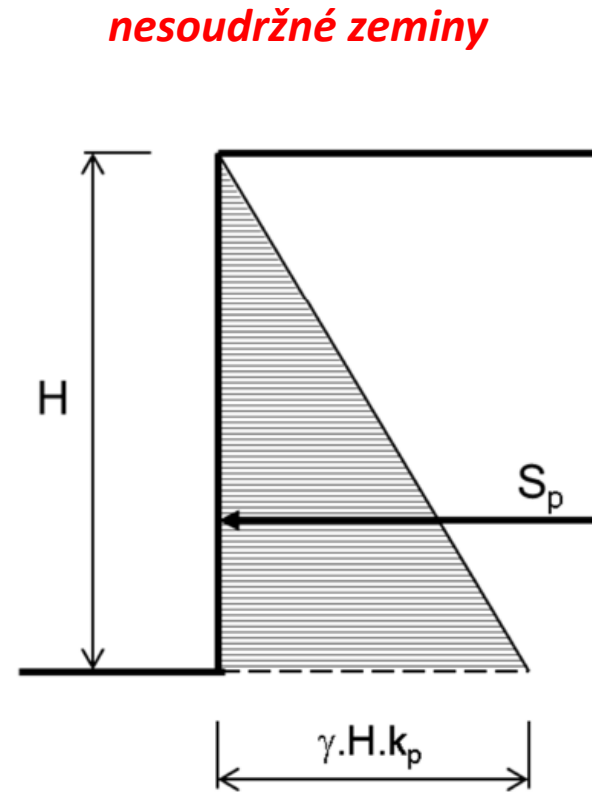
$$k_a = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$h_{ca} = \frac{2c\sqrt{k_a}}{\gamma \cdot k_a}$$

Stálá zatížení

• Zatížení zeminou (**Z**)

- Zásypy a přesypávky
- Aktivní zemní tlak
- Pasivní zemní tlak
- Klidový zemní tlak



$$\sigma_p = \gamma \cdot H \cdot k_p + 2c \sqrt{k_p}$$

Součinitel pasivního zemního odporu k_p :

$$k_p = \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Stálá zatížení

- **Zatížení zeminou (Z)**

- Zásypy a přesypávky
- Aktivní zemní tlak
- Pasivní zemní tlak
- Klidový zemní tlak

Součinitel zemního tlaku v klidu k_r :

- dle Jákyho (pro zeminy)

$$k_r = 1 - \sin\varphi$$

- dle Terzaghiho (pro horniny)

$$k_r = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

Tlaku v klidu σ_r :

$$\sigma_r = \gamma \cdot H \cdot k_r$$

Klimatická zatížení

- **Zatížení větrem (W)**



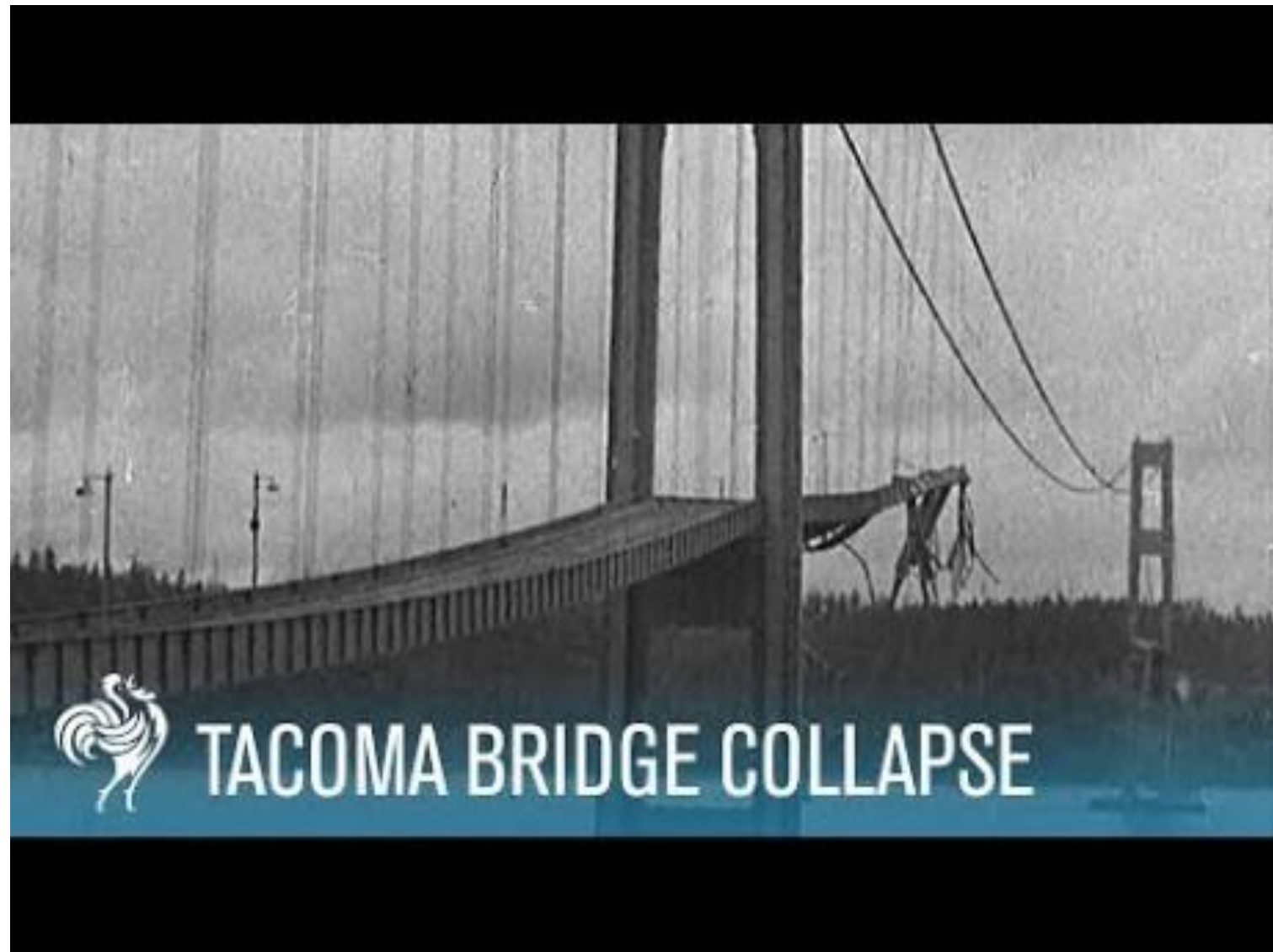
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení větrem obecně
 - Statická a dynamická složka
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - Ztráty dynamické stability



Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)



Klimatická zatížení

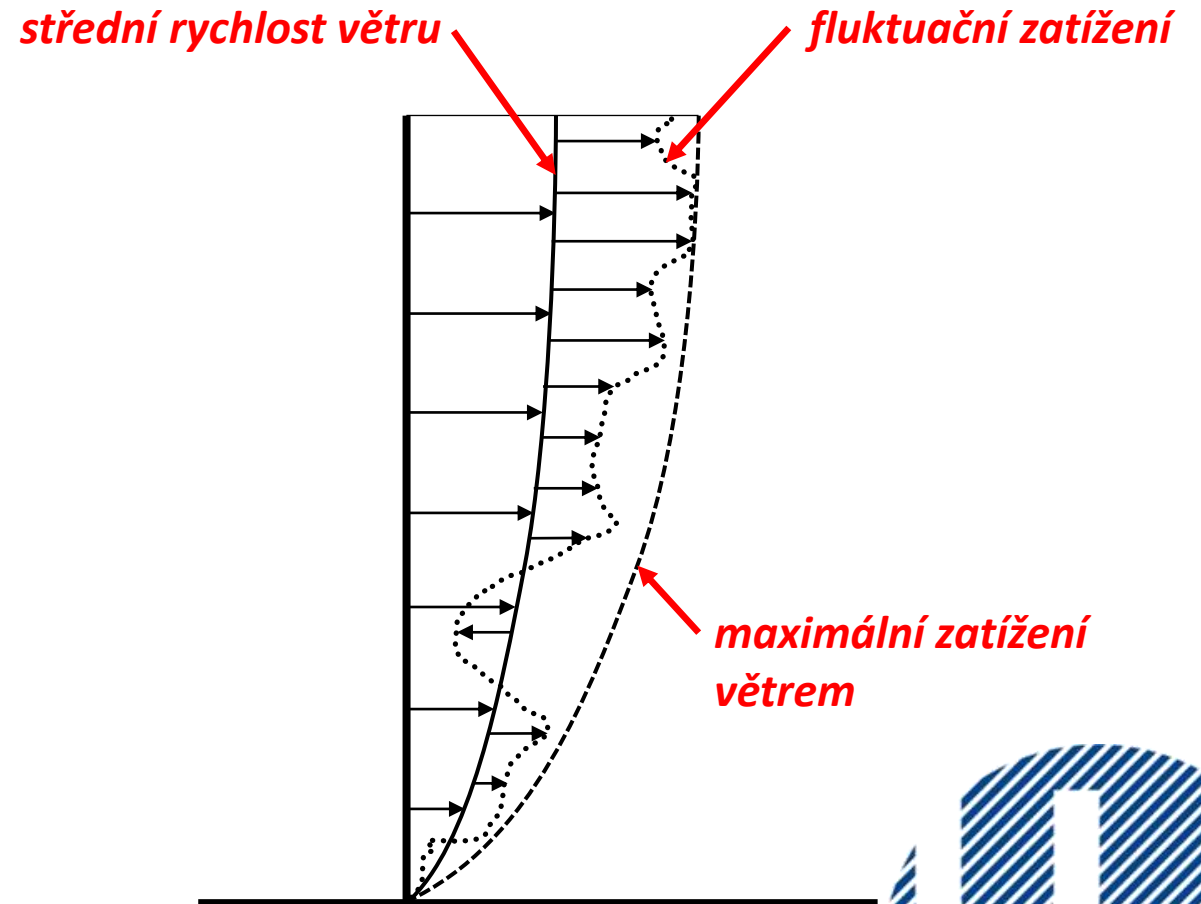
- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení větrem obecně
 - Vítr - vzniká vyrovnáváním tlaků v atmosféře, která je nerovnoměrně ohřátá Sluncem nebo Zemí, popisuje pohyb částic hmoty vzduchu
 - Statická složka
 - Fluktuační/dynamická složka

Beaufortova stupnice rychlosti větru

stupeň	rychlost větru (m/s)	slovní označení	účinky
0	0–0,2	bezvětří	kouř stoupá svisle vzhůru
1	0,3–1,5	vánek	kouř už nestoupá úplně svisle, korouhev nereaguje
2	1,6–3,3	slabý vítr	vítr je cítit ve tváři, listí šelestí, korouhev se pohybuje
3	3,4–5,4	mírný vítr	listy a větvičky v pohybu, vítr napíná prapory
4	5,5–7,9	dosti čerstvý vítr	vítr zvedá prach a papíry, pohybuje větvičkami a slabšími větvemi
5	8,0–10,7	čerstvý vítr	hýbe listnatými keři, malé stromky se ohýbají
6	10,8–13,8	silný vítr	pohybuje silnějšími větvemi, je obtížné používat deštník
7	13,9–17,1	prudký vítr	pohybuje celými stromy, chůze proti větru obtížná
8	17,2–20,7	bouřlivý vítr	láme větve, vzpřímená chůze proti větru je již nemožná
9	20,8–24,4	vichřice	menší škody na stavbách
10	24,5–28,4	silná vichřice	na pevnině se vyskytuje zřídka, vyvrací stromy a ničí domy
11	28,5–32,6	mohutná vichřice	rozsáhlé zrušení plochy
12	> 32,7	orkán	ničivé účinky odnáší domy, pohybuje těžkými hmotami

Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - Neplatí pro zavěšené mosty
 - Střední doba návratu 50 let (roční pravděpodobnost překročení 0,02)
 - Rychlost větru a dynamický tlak se skládá z:
 - střední rychlost v_m
 - flukтуаční složky (intenzita turbulence) I_v



Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)

- Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4

- základní rychlost větru v_b
 - referenční výška z_e
 - kategorie terénu
 - charakteristický maximální dynamický tlak q_p
 - intenzita turbulence I_v
 - střední rychlost větru v_m
 - součinitel orografie $c_o(z)$
 - součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$



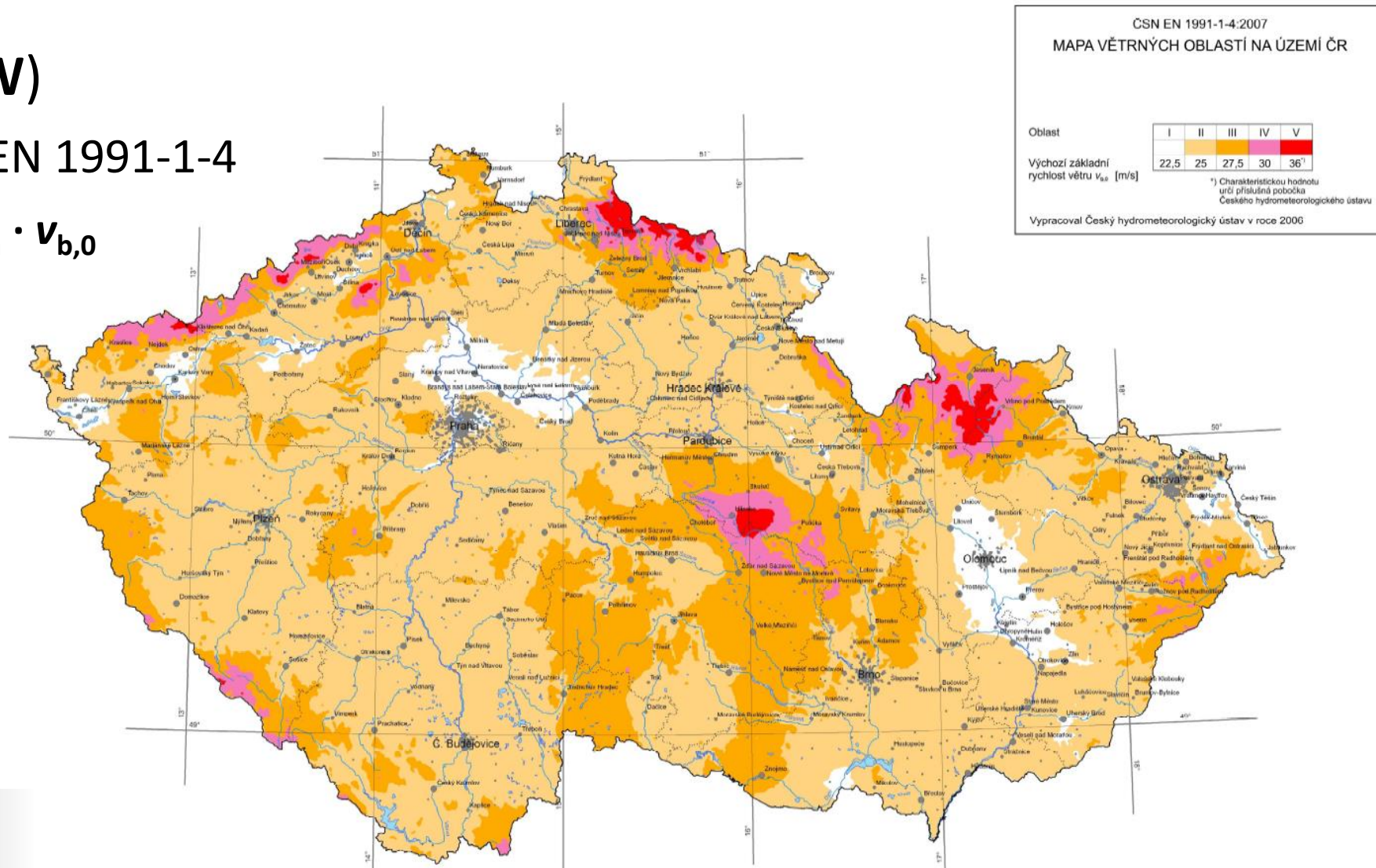
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$
 - v_b základní rychlost větru ve výšce 10m nad zemí
 - c_{dir} součinitel směru větru (doporučená hodnota 1,0)
 - c_{season} součinitel ročního období (doporučená hodnota 1,0)
 - $v_{b,0}$ charakteristická desetiminutová střední rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí v terénu bez překážek s nízkou vegetací a izolovanými překážkami



Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - $V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}$

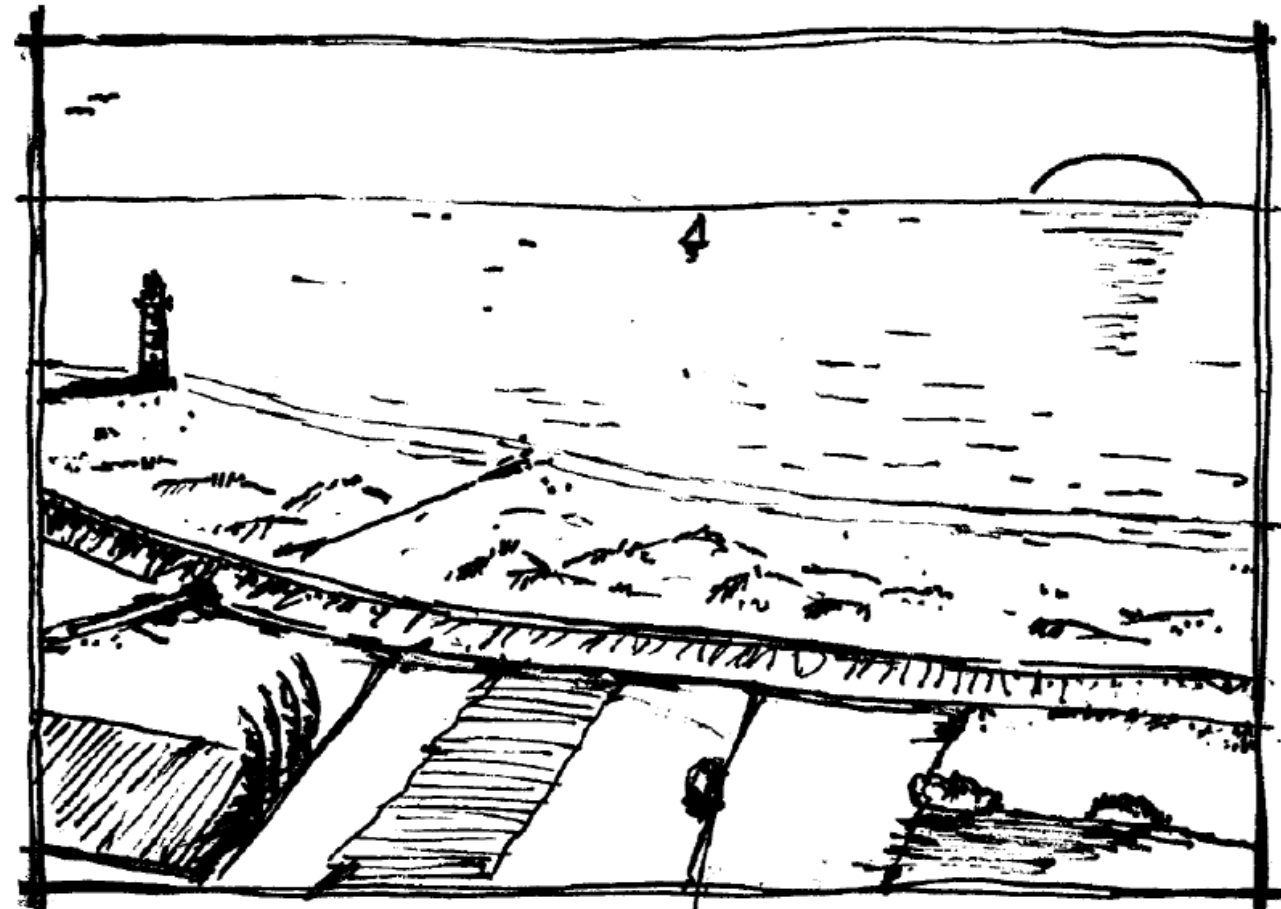


Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - **kategorie terénů**
 - 0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři
 - I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek
 - II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20násobek výšky překážek
 - III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)
 - IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m

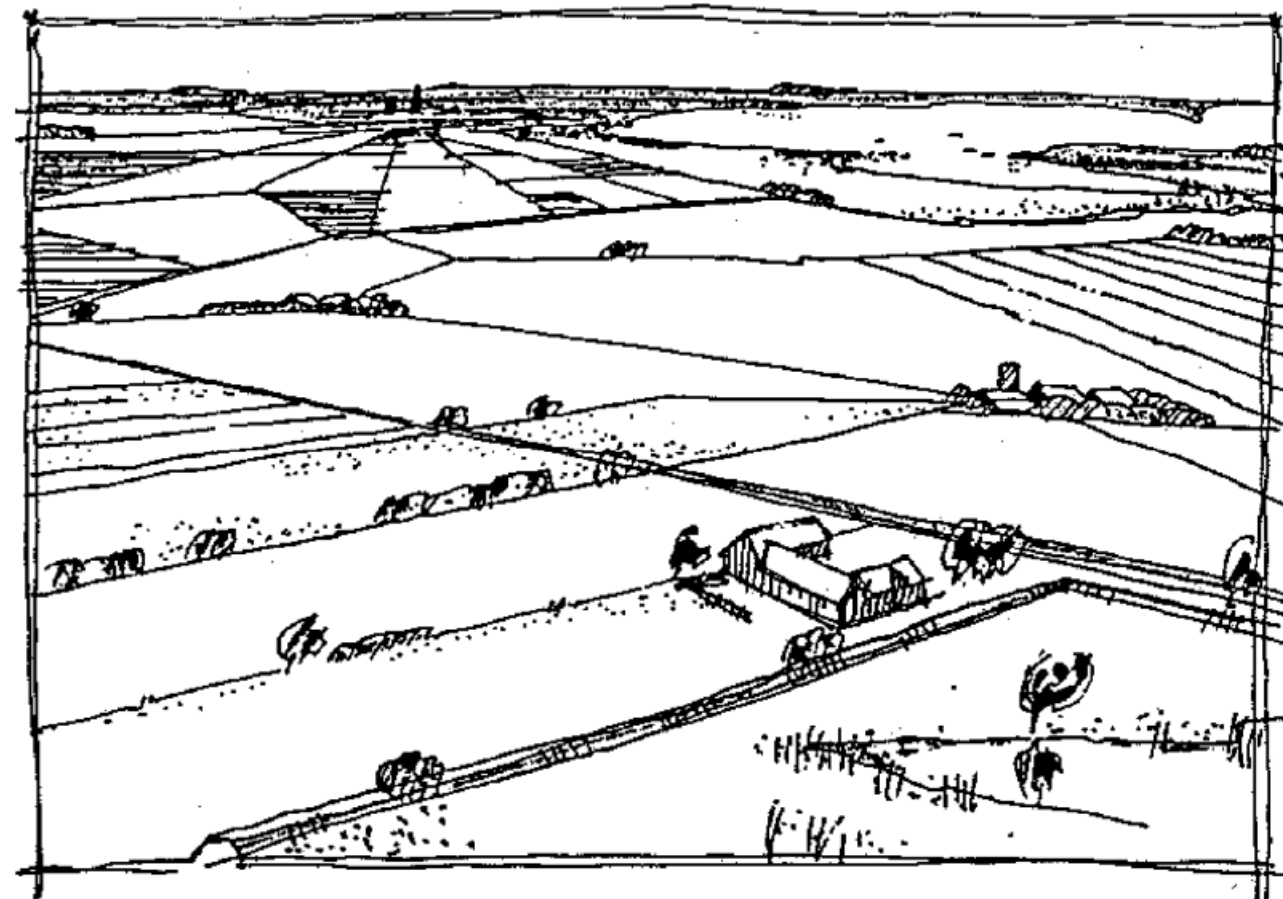
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - **kategorie terénů**
 - 0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři



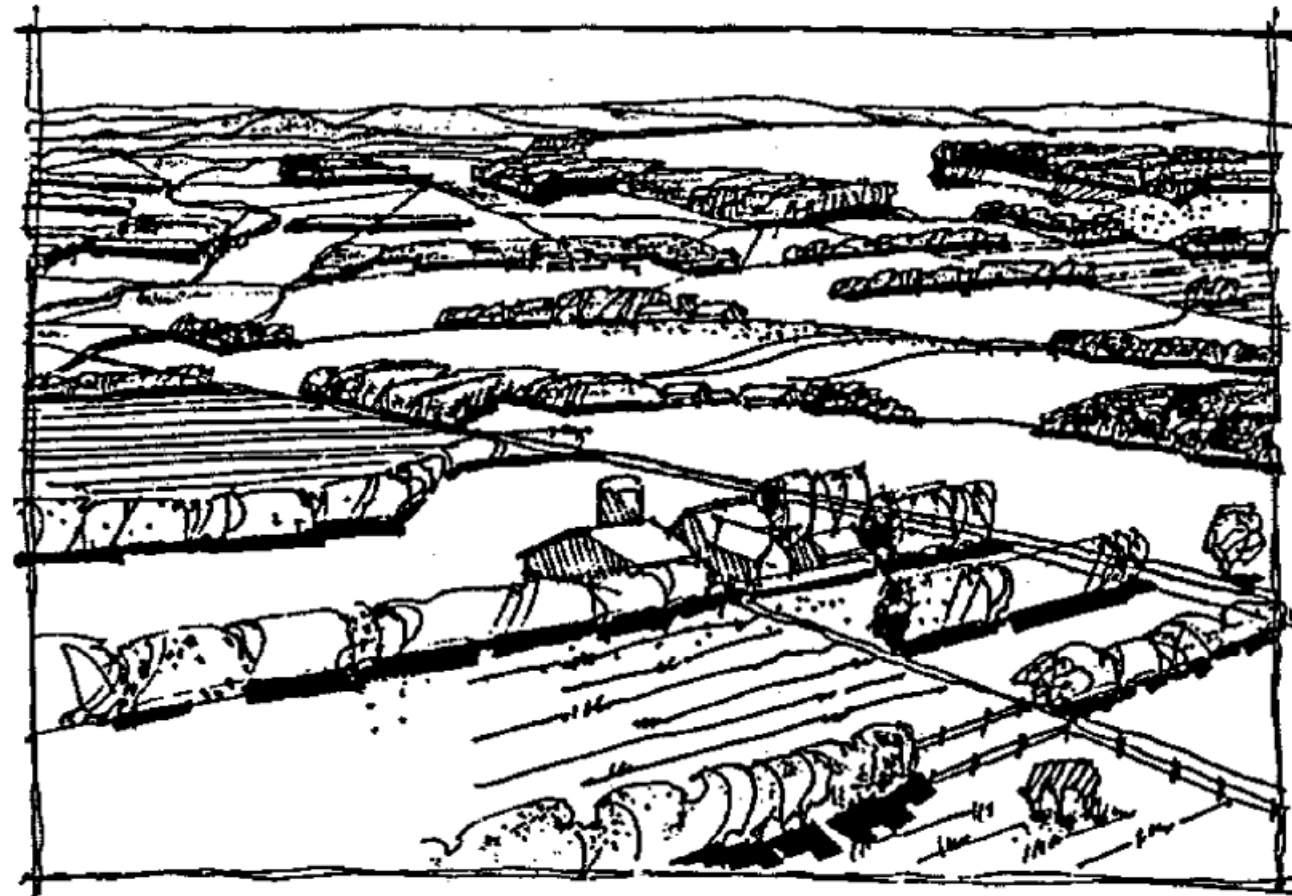
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - **kategorie terénů**
 - I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek



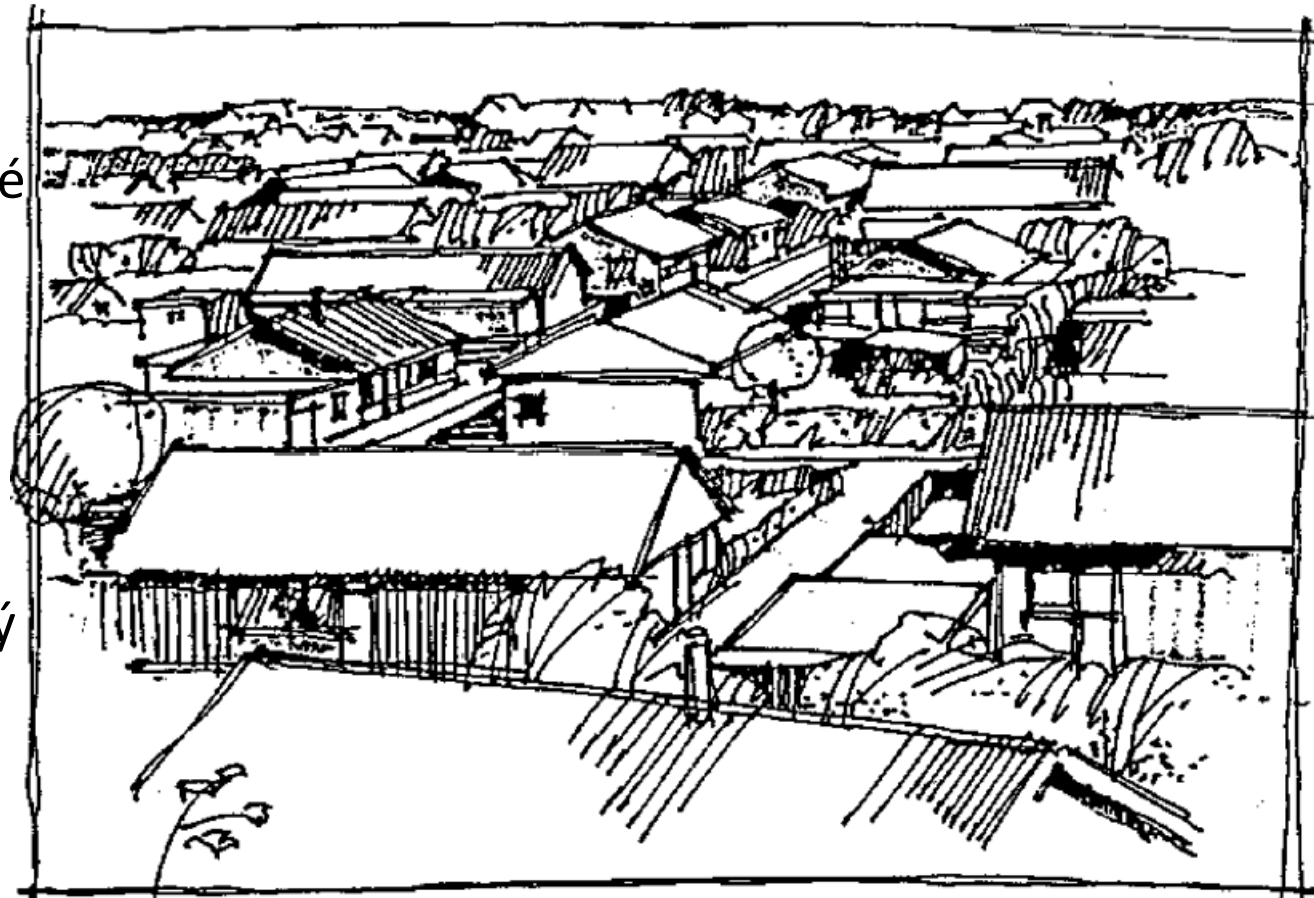
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - **kategorie terénů**
 - II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20násobek výšky překážek



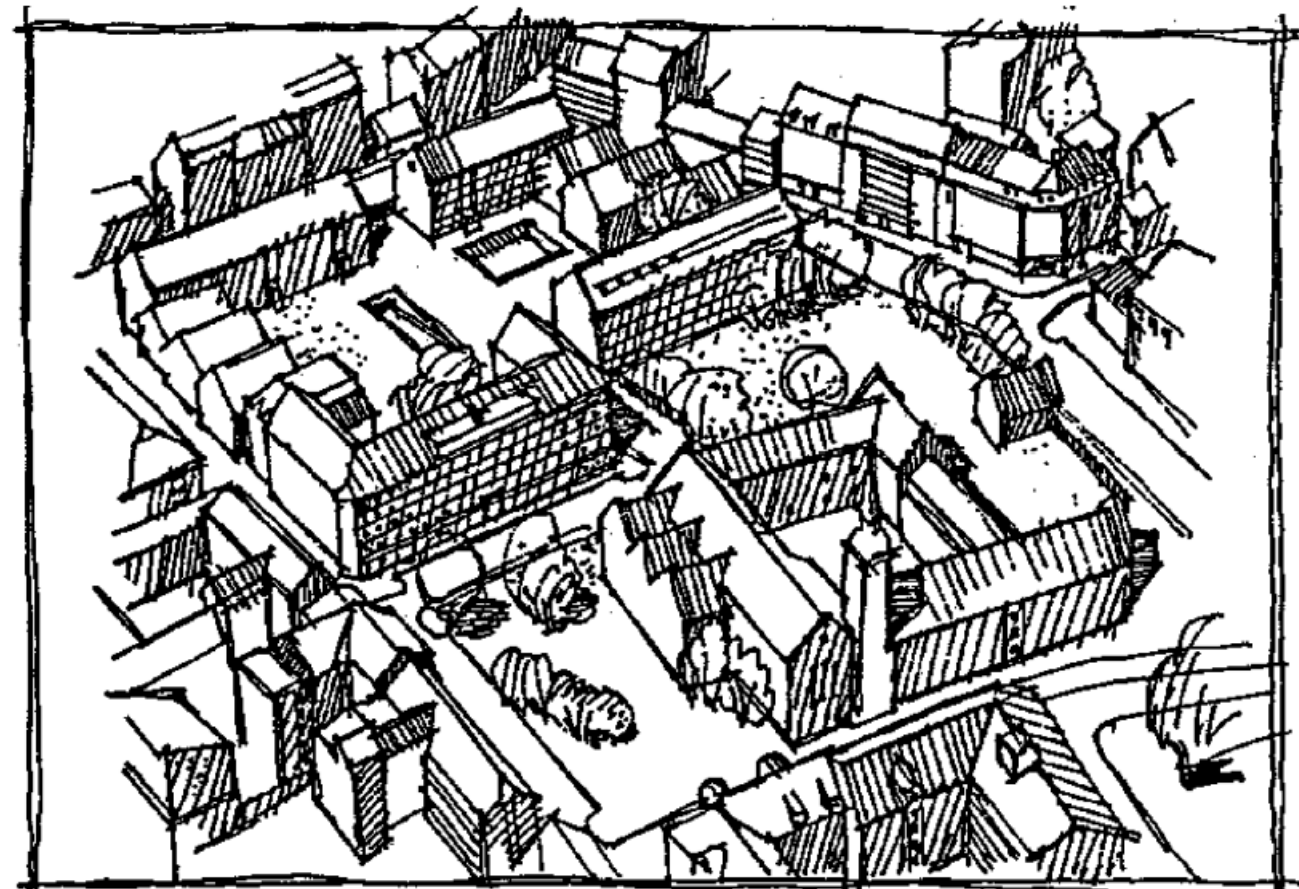
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - **kategorie terénů**
 - III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)



Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - **kategorie terénů**
 - IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m



Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - Střední rychlost větru $v_m(z)$ ve výšce z nad terénem
 - Závisí na drsnosti terénu, orografii a základní rychlosti větru v_b
 - $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$
 - $c_r(z)$ součinitel drsnosti terénu
 - $c_o(z)$ součinitel orografie (doporučená hodnota 1,0)



Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)

- Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4

- $c_r(z)$ součinitel drsnosti terénu

- $c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0)$ pro $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

- $c_r(z) = c_r(z_{\min})$ pro $z \leq z_{\min}$

- $k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07}$

- z_0 parametr drsnosti terénu

- z_{\min} minimální výška

- z_{\max} 200 m

Kategorie terénu	z_0 [m]	z_{\min} [m]
0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	1
II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20násobek výšky překážek	0,05	2
III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)	0,3	5
IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m	1,0	10
POZNÁMKA Kategorie terénu jsou zobrazeny v A.1.		

Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - Intenzita turbulence – poměr směrodatné odchylky turbulence a střední rychlosti větru
 - $I_v(z)$ Intenzita turbulence
 - $I_v(z) = \sigma_v / v_m(z)$
 - $\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$
 - $k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07}$
 - k_l součinitel turbulence (doporučená hodnota 1,0)



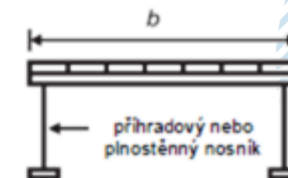
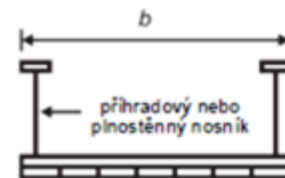
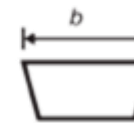
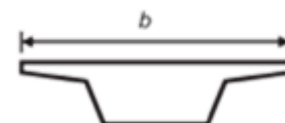
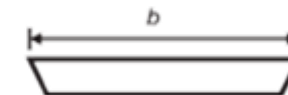
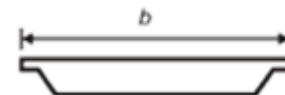
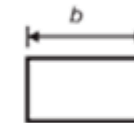
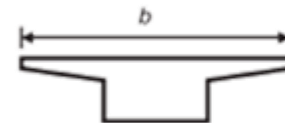
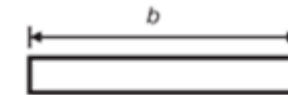
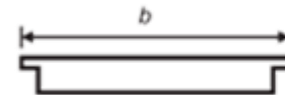
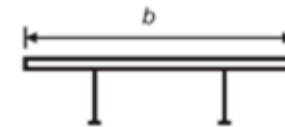
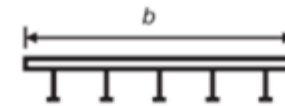
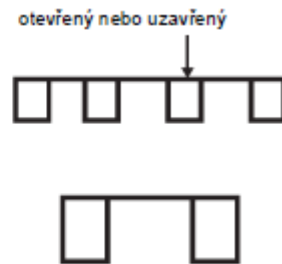
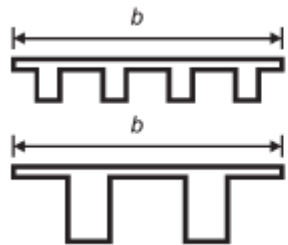
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-4
 - Maximální dynamický tlak
 - $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$
 - ρ měrná hmotnost vzduchu (1,25 kg/m³)



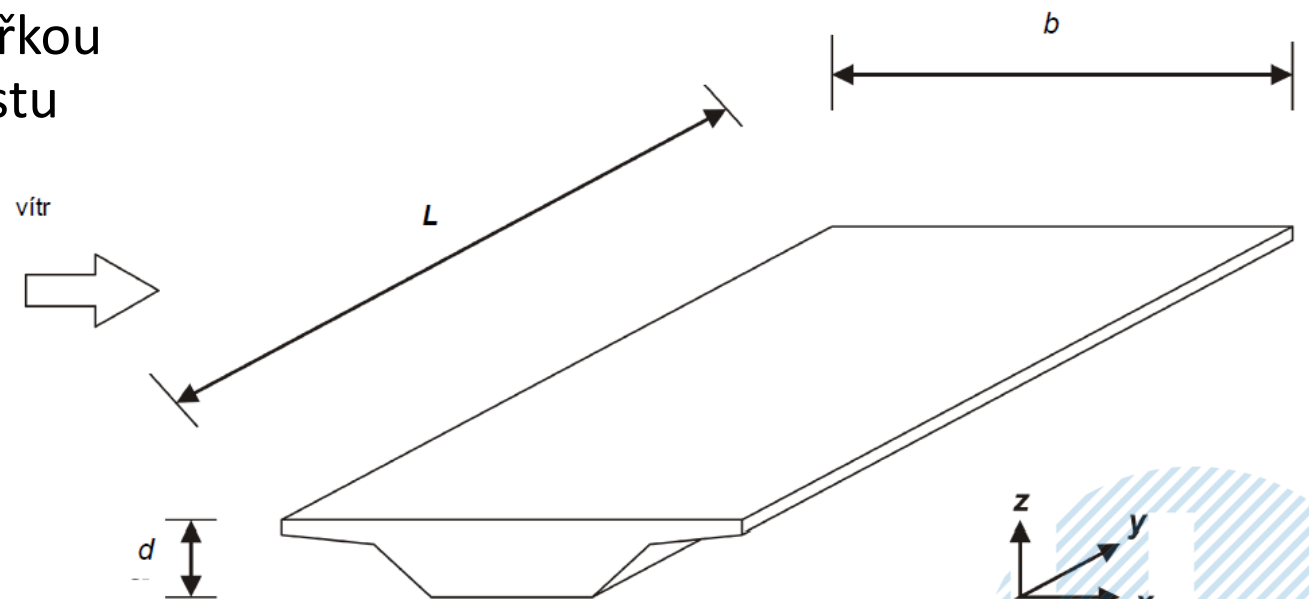
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení **mostů** dle ČSN EN 1991-1-4
 - Mosty konstantní šířky
 - NK o jednom nebo více polí
 - Ostatní kce vyžadují **individuální** posouzení



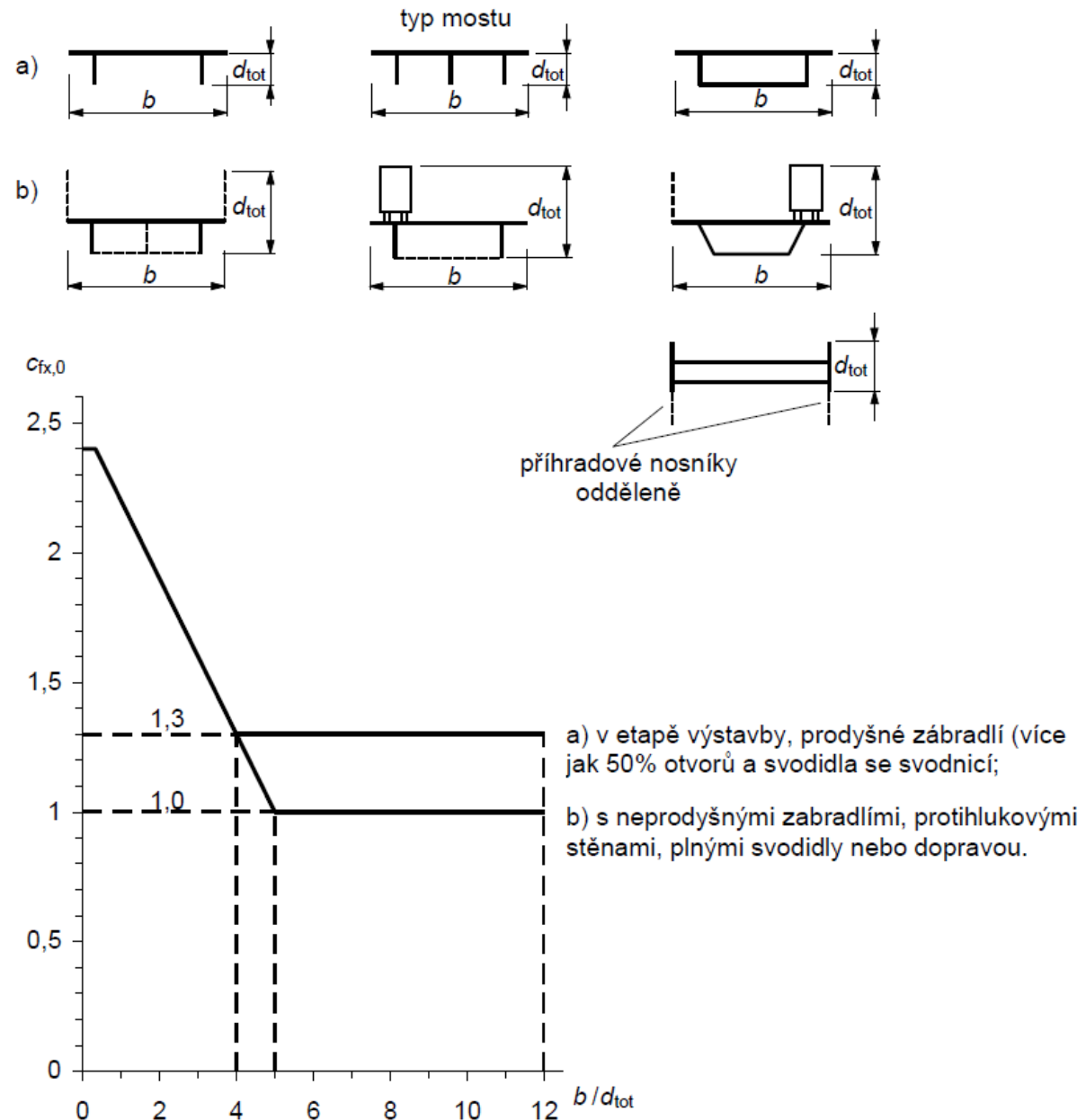
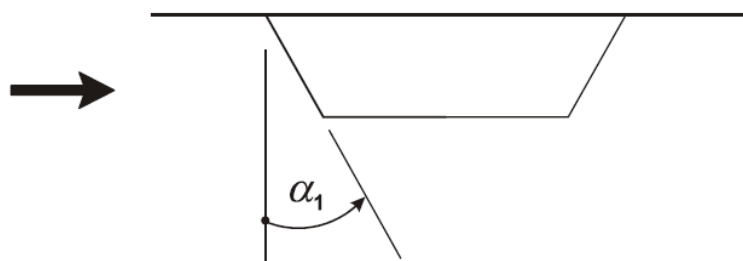
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení **mostů** dle ČSN EN 1991-1-4
 - směr **X** – směr rovnoběžný se šířkou konstrukce, kolmý k rozpětí mostu
 - směr **Y** – ve směru rozpětí
 - směr **Z** – směr kolmý k nosné konstrukci
 - f_w zatížení **bez** dopravy
 - f_w^* zatížení se **silniční** dopravou
 - $v_{b,0}^* = 23 \text{ m/s}$
 - f_w^{**} zatížení s **železniční** dopravou
 - $v_{b,0}^{**} = 25 \text{ m/s}$



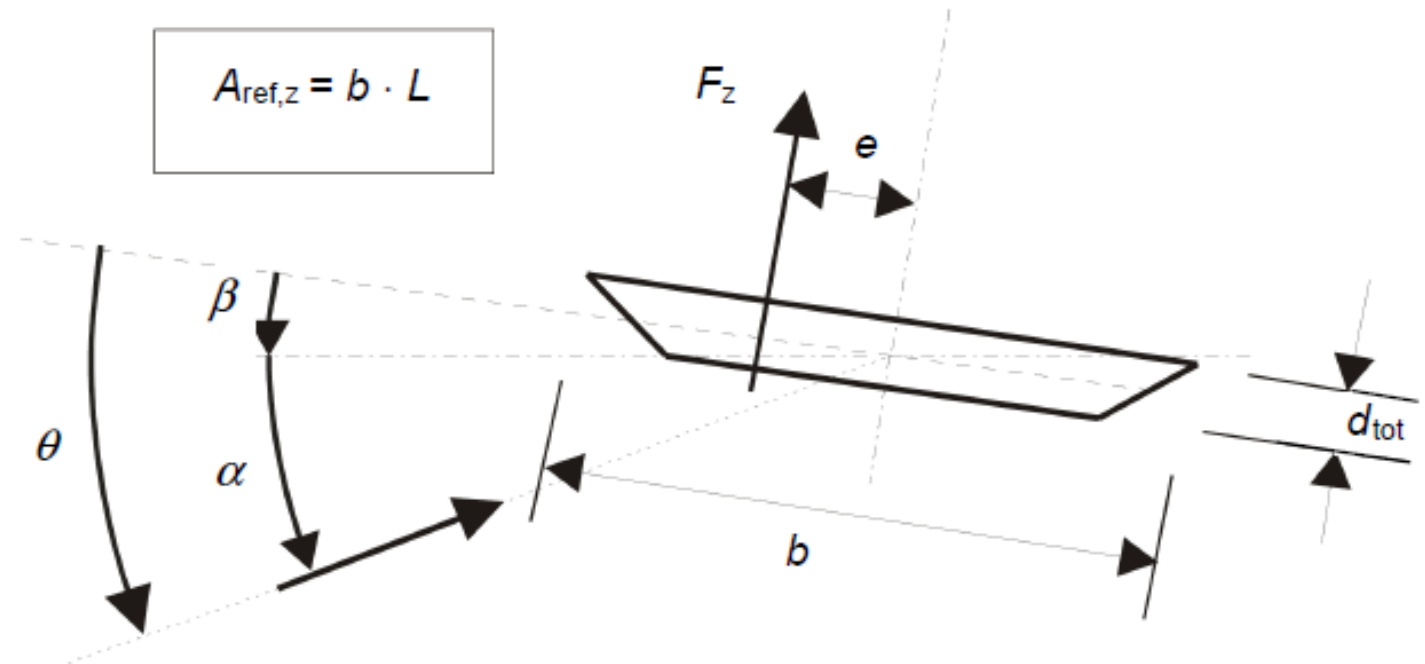
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení **mostů** dle ČSN EN 1991-1-4
 - součinitele síly
 - $C = c_e \cdot c_f$
 - $c_{f,x}, c_{f,y}, c_{f,z}$
 - $c_e = q_p(z) / q_b$
 - $q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2$



Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení **mostů** dle ČSN EN 1991-1-4
 - součinitele síly
 - $C = c_e \cdot c_f$
 - $c_{f,x}, c_{f,y}, c_{f,z}$
 - $c_e = q_p(z) / q_b$
 - $q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2$

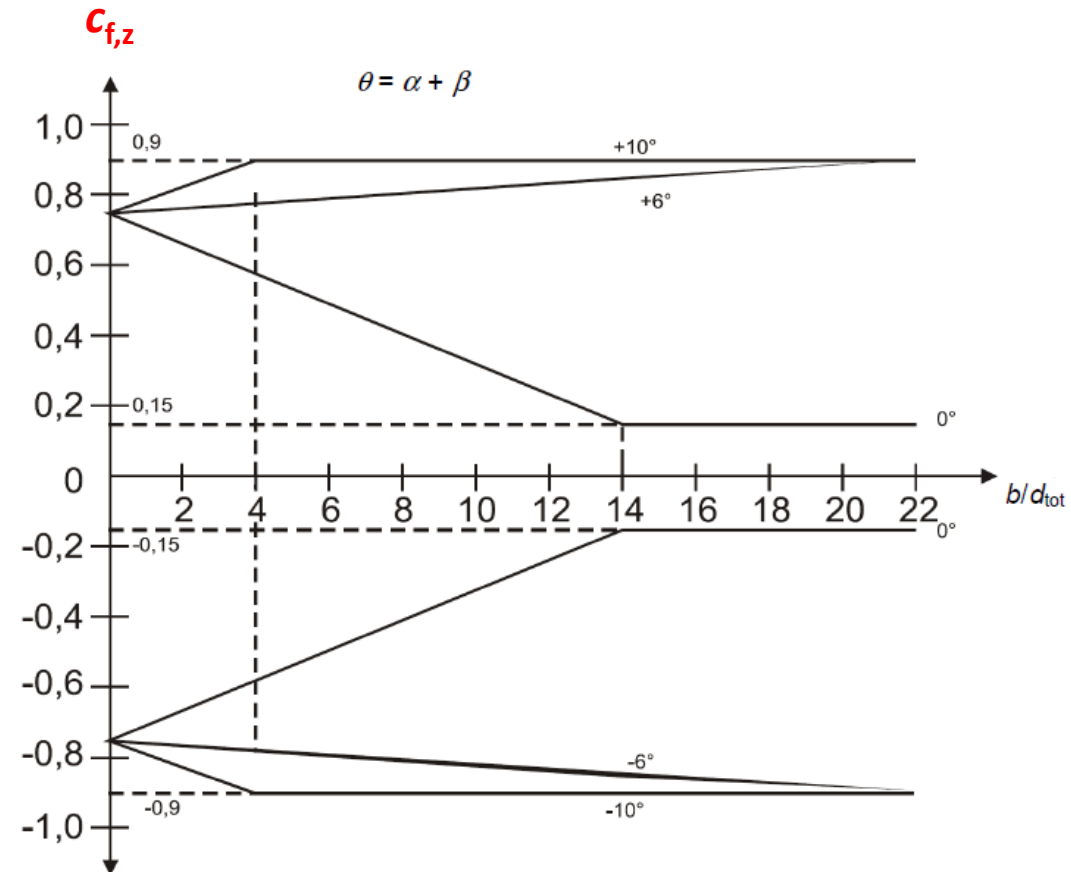
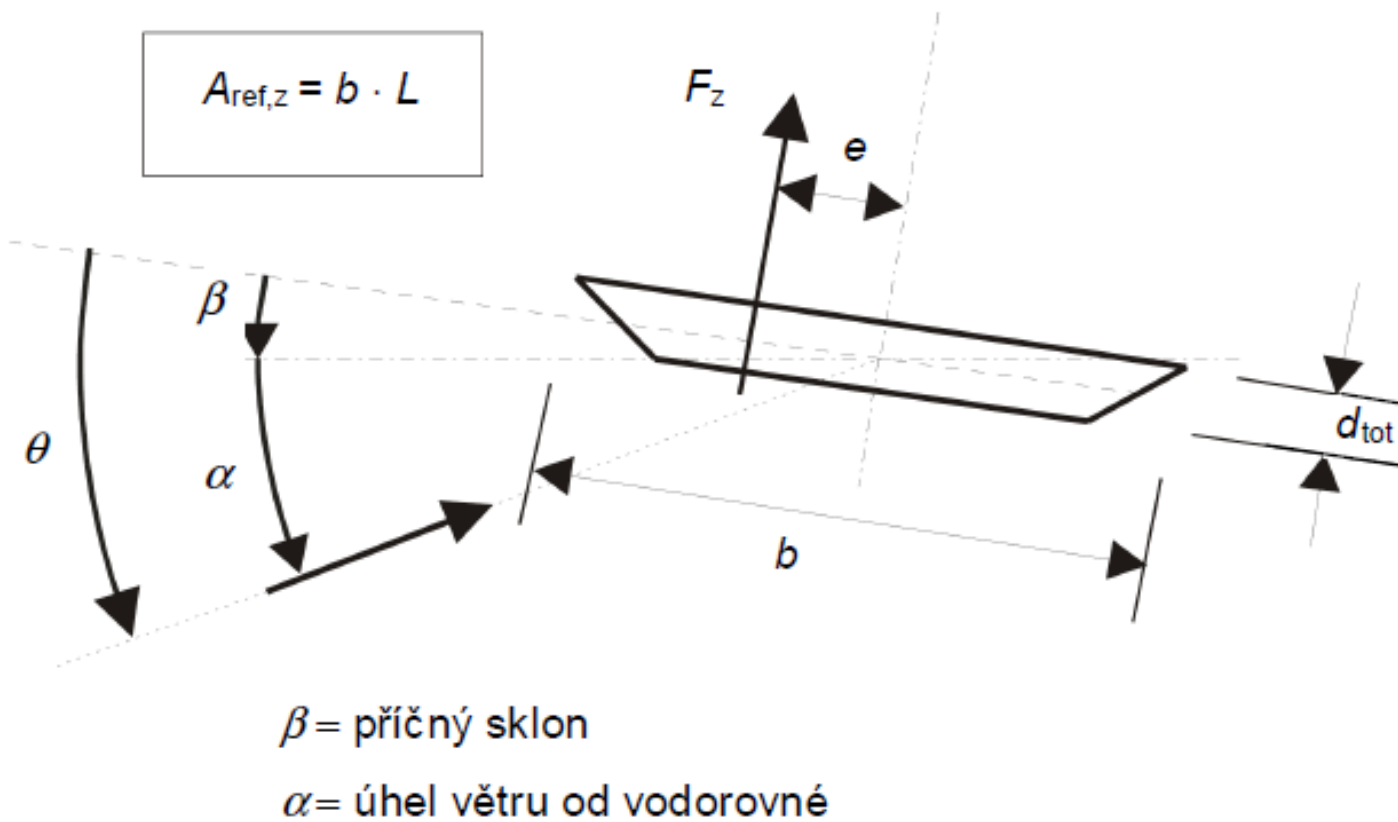


β = příčný sklon

α = úhel větru od vodorovné

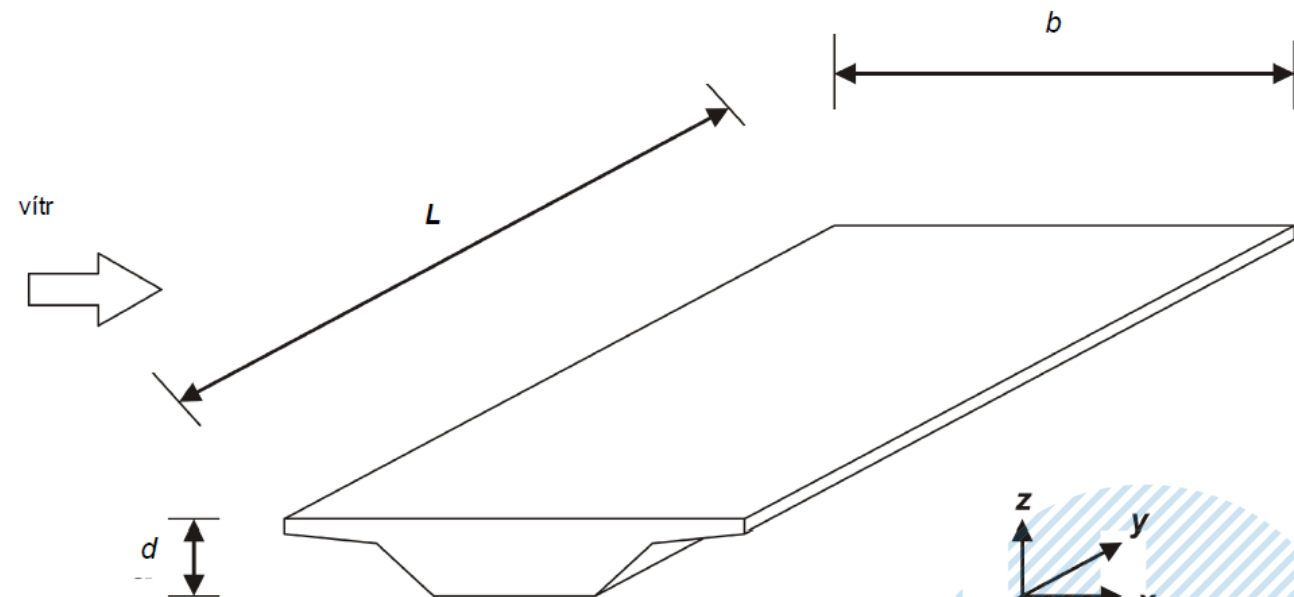
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)



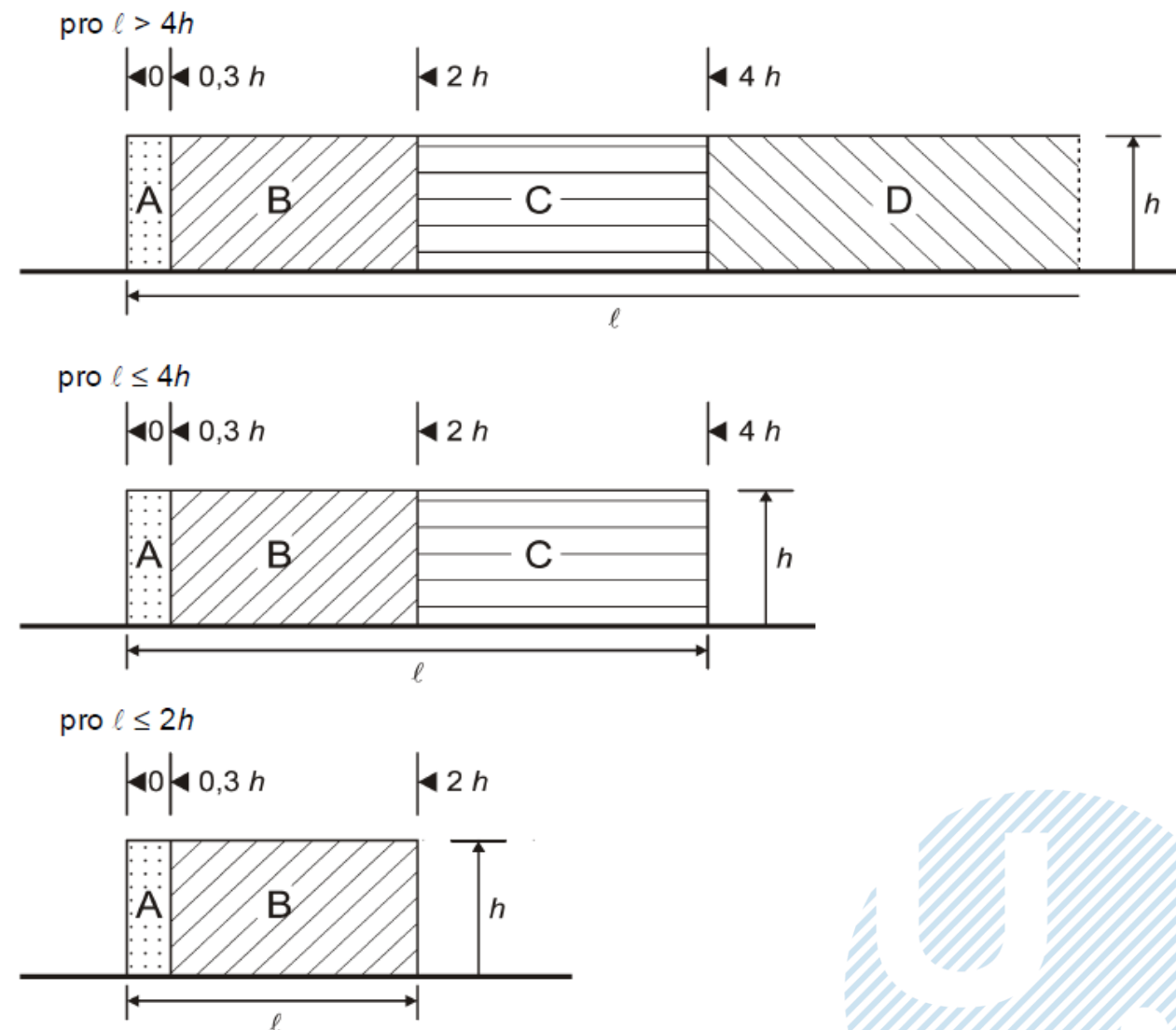
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení **mostů** dle ČSN EN 1991-1-4
 - směr **Y** – ve směru rozpětí
 - **25 %** sil od větru ve směru **X** pro **plnostěnné** nosníky
 - **50 %** sil od větru ve směru **X** pro **příhradové** nosníky



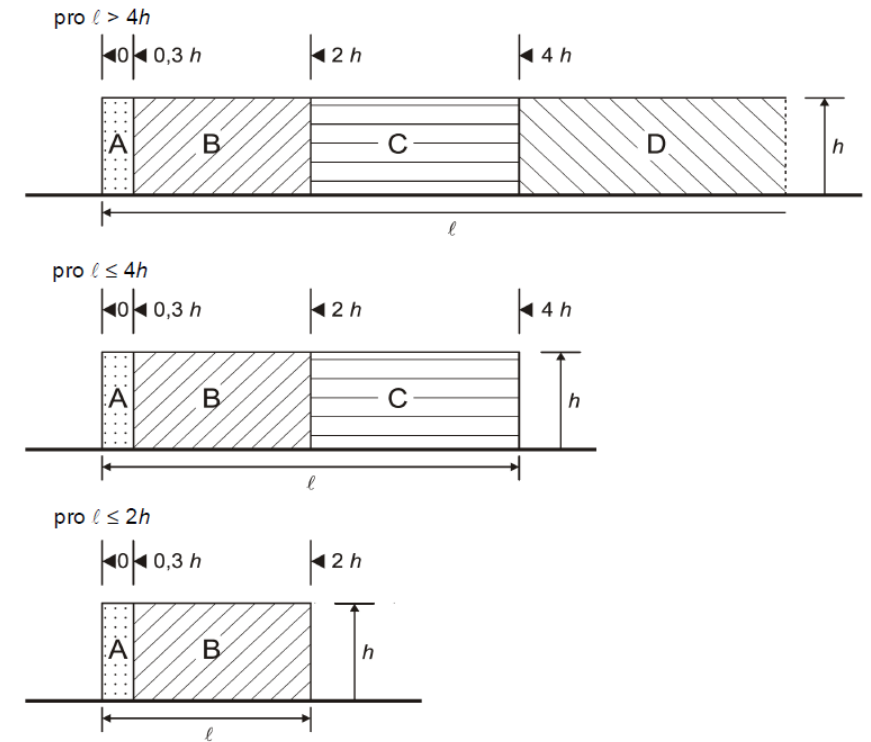
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení **stěn** dle ČSN EN 1991-1-4



Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Zatížení **stěn** dle ČSN EN 1991-1-4



Součinitel plnosti	Oblast		A	B	C	D
$\varphi = 1$	Bez vedlejšího průčelí	$\ell/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
		$\ell/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$\ell/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
	S vedlejšími průčelími s délkou $\geq h^a$	2,1	1,8	1,4	1,2	
$\varphi = 0,8$			1,2	1,2	1,2	1,2

^a Pro vedlejší průčelí s délkami mezi $0,0$ a h lze použít lineární interpolaci.

Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Ztráty dynamické stability
 - Příčné kmitání
 - Oválování
 - Galloping
 - Galloping lan
 - Úplavový galloping
 - Kroutivě ohybový flutter
 - Divergence a flutter
 - Buffeting
- Ztráty dynamické stability
 - pokud se po náhodném malém vychýlení konstrukce v proudu vzduchu převrhne, zřítí nebo se amplitudy kmitů začnou dále zvětšovat, dojde k **aerodynamické nestabilitě**
 - ČSN EN 1991-1-4, **příloha E**



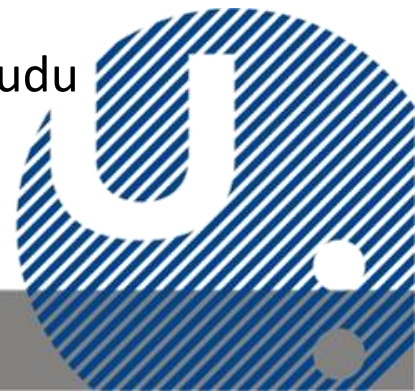
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Ztráty dynamické stability
 - **Příčné kmitání**
 - rychlé okem nepozorovatelné kmitání
 - při obtékání některých těles (profilů) se vytvářejí víry, které se za vhodných podmínek oddělují střídavě na obou stranách
 - vzniklá periodická síla má snahu těleso rozkmitat v rovině kolmé ke směru větru frekvence odtrhávání vírů musí být shodná s některou vlastní frekvencí štíhlé konstrukce



Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Ztráty dynamické stability
 - **Oválnění**
 - kruhový příčný řez tenkostěnných těles tvaru válce (nejspíše kruhového, např. ocelové komíny, nádrže) se při kmitání vyvolaném odtrháváním Strouhalových vírů mění v ovál
 - **Galloping lan**
 - pomalé kmitání v základním tvaru s velkými amplitudami
 - námraza, déšť
 - **Úplavový galloping**
 - Vyskytuje se u štíhlých těles umístěných za sebou, kdy druhé těleso kmitá v proudu vzduchu rozvířeného prvním tělesem, a to i když první těleso samo nekmitá.



Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Ztráty dynamické stability
 - **Galloping lan**



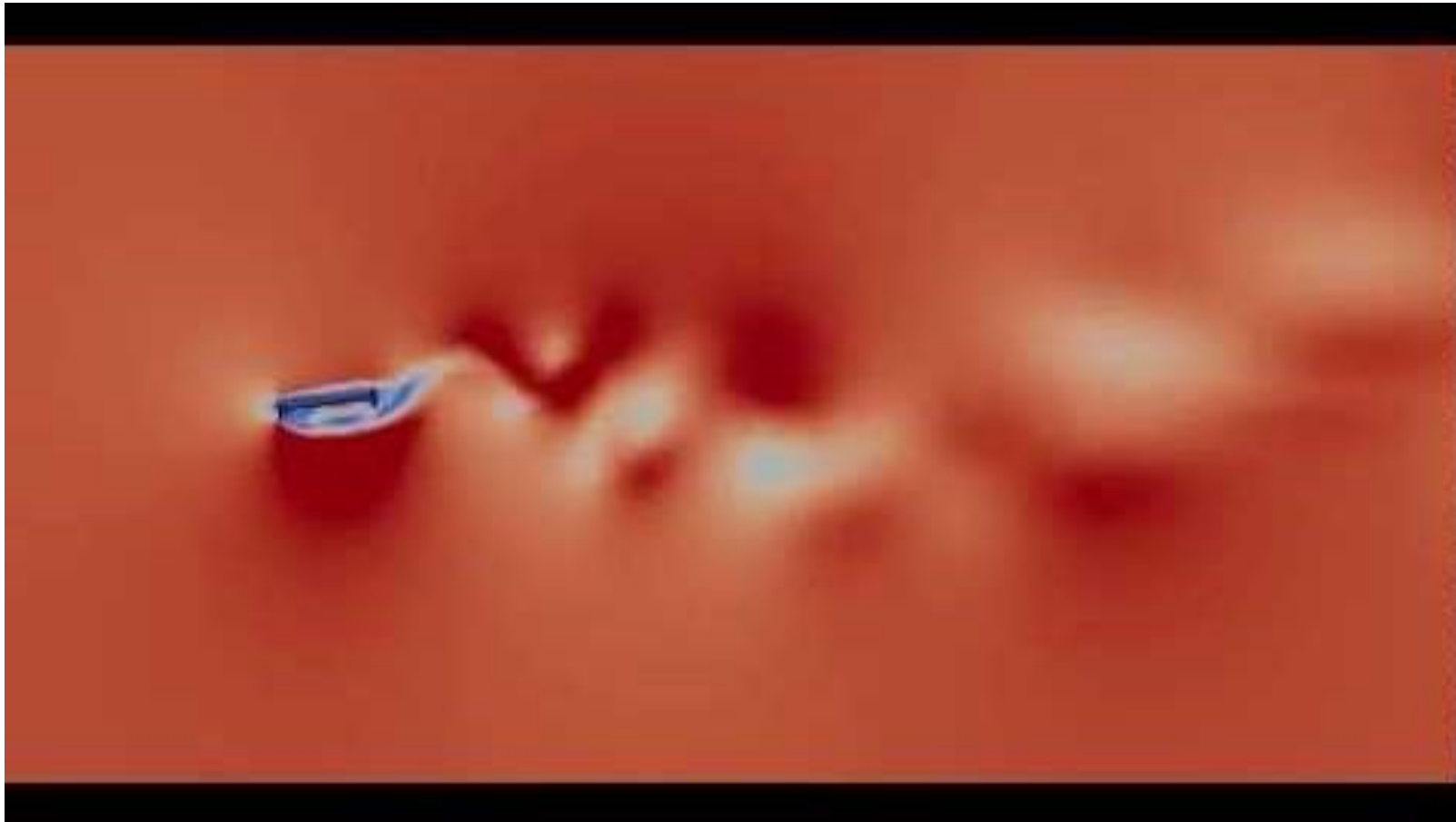
Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Ztráty dynamické stability
 - **Kroutivě ohybový flutter**
 - mosty a lávky pro pěší; kroutivě ohybové harmonické kmitání při kritické rychlosti větru
 - ohybové a kroutivé frekvence jsou si blízké
 - **Divergence**
 - plošné konstrukce; vybočení
 - **Flutter**
 - plošné konstrukce; kmitání ve směru kolmém na směr větru
 - **Buffeting**
 - komíny ve skupině, mostní stojky; kmitání v závětrí
 - vlastní frekvence blízké frekvenci vzdušného proudu



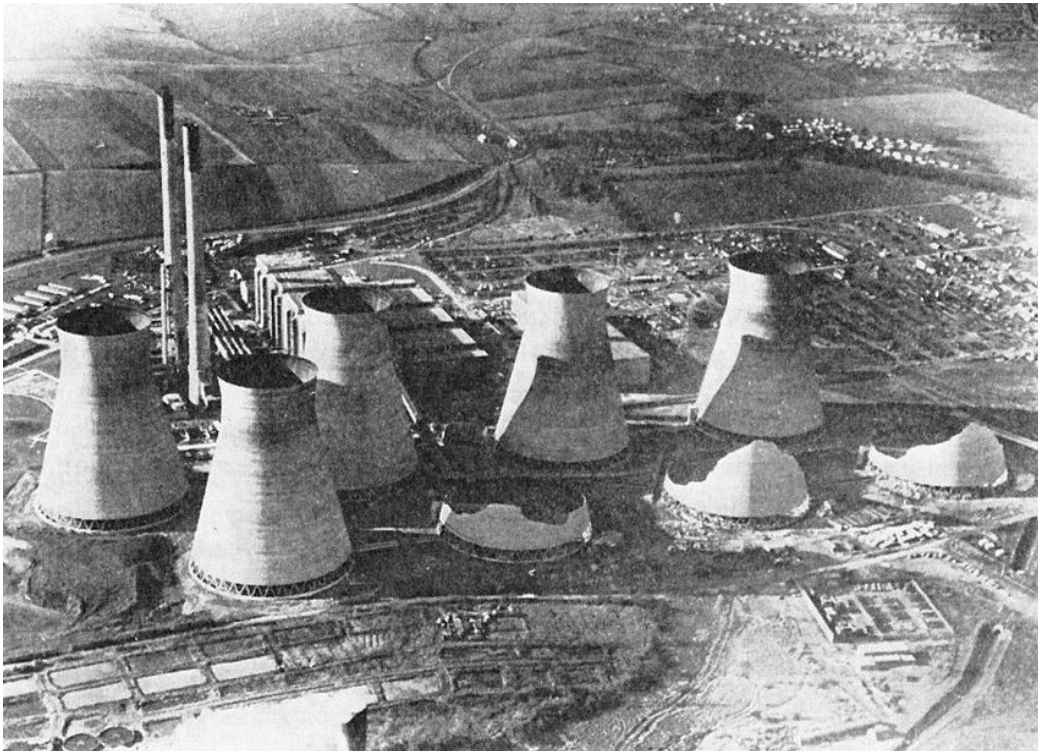
Klimatická zatížení

- Kroutivě ohybový flutter



Klimatická zatížení

- Zatížení větrem (**W**)
 - Ztráty dynamické stability
 - **Buffeting**



Klimatická zatížení

- **Zatížení teplotou (T)**



Klimatická zatížení

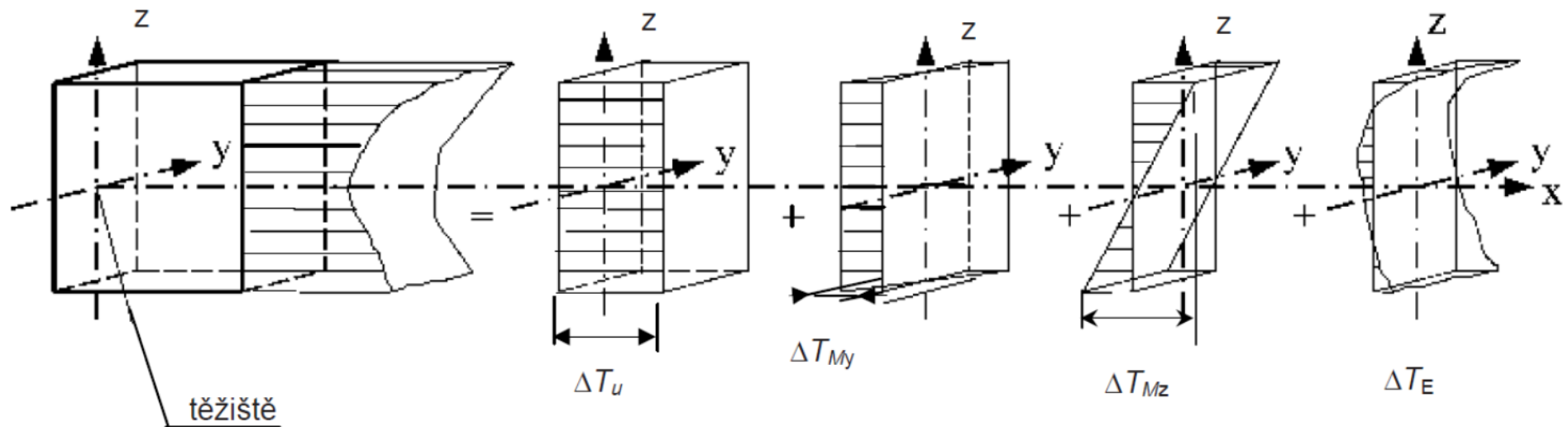
- Zatížení teplotou (**T**)
 - Zatížení dle ČSN EN 1991-1-5
 - Charakteristické hodnoty zatížení
 - Střední doba návratu 50 let (roční pravděpodobnost překročení 0,02)



Klimatická zatížení

- Zatížení teplotou (**T**)

- Rovnoměrná složka ΔT_u
- Lineárně proměnná rozdílová složka ΔT_M
- Nelineární rozdílová složka ΔT_E



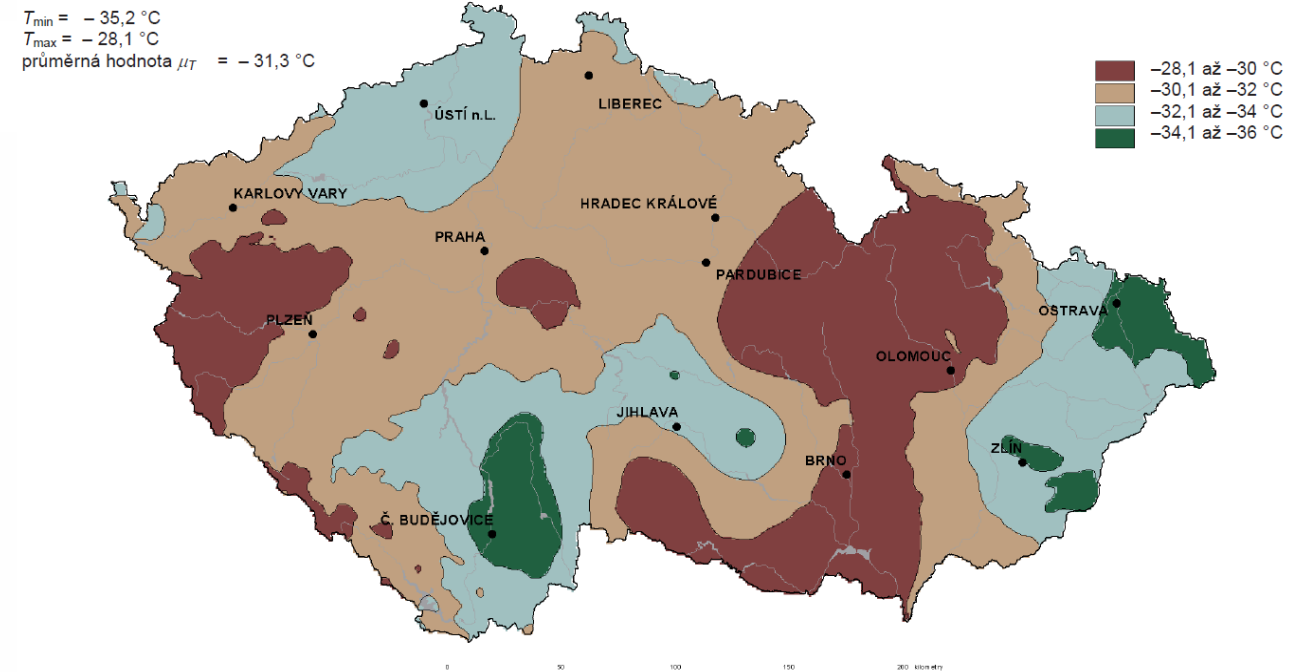
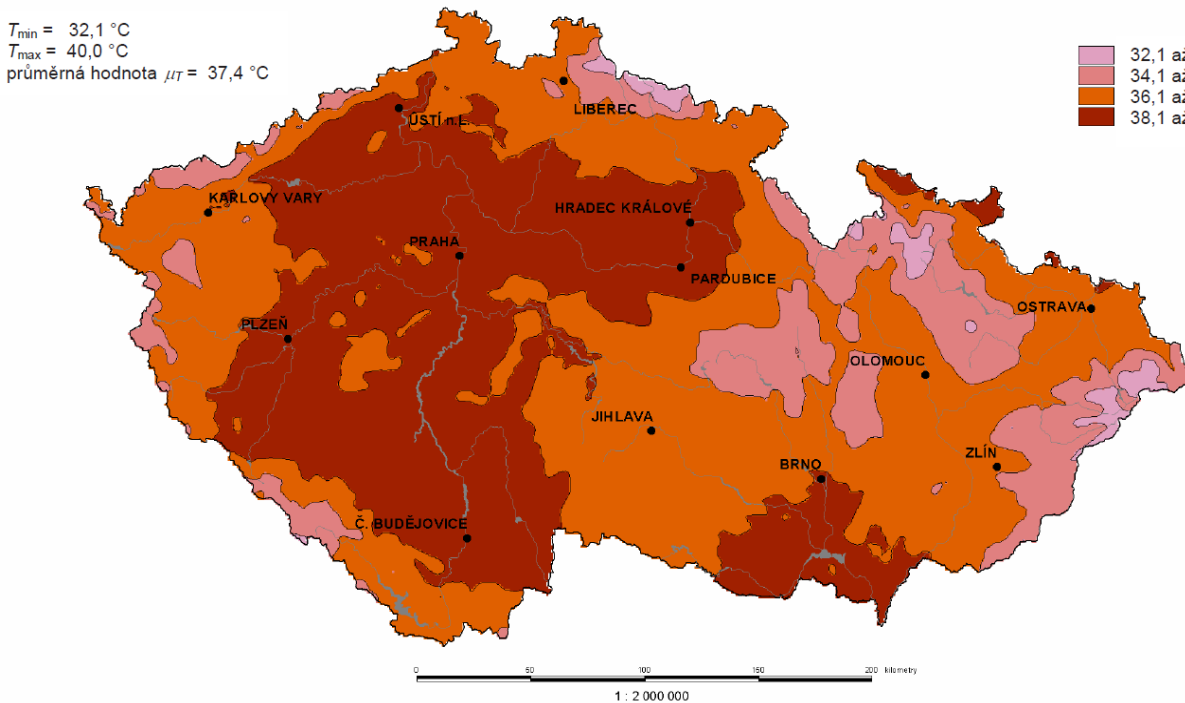
Klimatická zatížení

- Zatížení teplotou (**T**)
 - Typy nosných konstrukcí mostů
 - 1. typ: ocelová nosná konstrukce
 - ocelový komorový nosník
 - ocelový příhradový nebo plnostěnný nosník
 - 2. typ: ocelobetonová nosná konstrukce
 - 3. typ: betonová nosná konstrukce
 - betonová deska
 - betonový nosník
 - betonový komorový nosník



Klimatická zatížení

- Zatížení teplotou (T)
 - Rovnoměrná složka teploty (teplota vzduchu ve stínu)



Klimatická zatížení

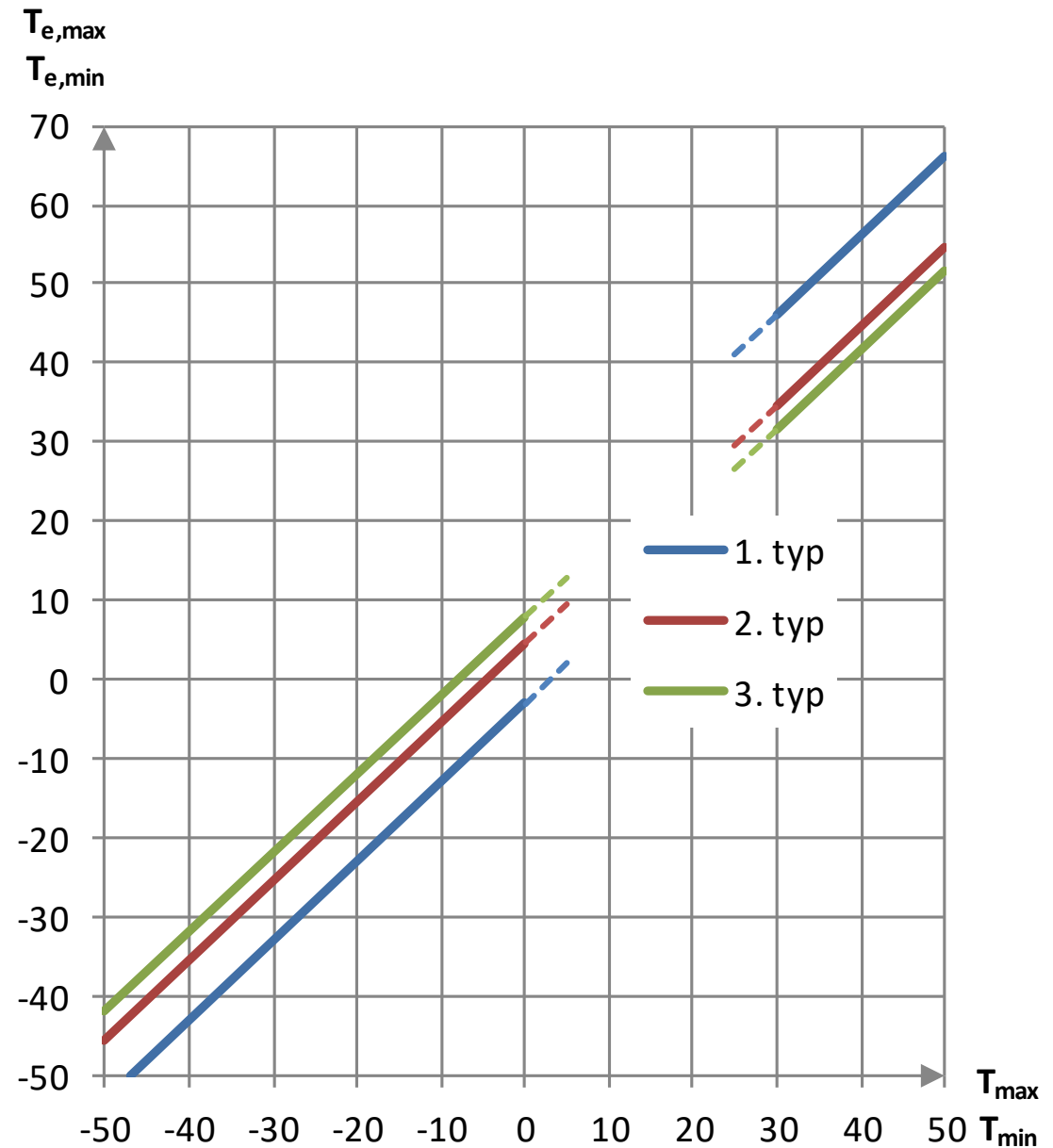
- Zatížení teplotou (**T**)
 - Rovnoměrná složka teploty
 - Rovnoměrné zkrácení

$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_0 - T_{e,\text{min}}$$

- Rovnoměrné prodloužení

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\text{max}} - T_0$$

T_0 výchozí teplota mostu v okamžiku zabudování konstrukce



Klimatická zatížení

- Zatížení teplotou (**T**)
 - Rozdílová složka teploty
 - Postup 1 – svislá lineární složka
 - Postup 2 – svislá složka teploty s nelineárními účinky



Klimatická zatížení

- Zatížení teplotou (**T**)
 - Rozdílová složka teploty
 - **Postup 1** – svislá lineární složka

Typ nosné konstrukce	Horní povrch teplejší než dolní	Dolní povrch teplejší než horní
	$\Delta T_{M,heat} (^{\circ}C)$	$\Delta T_{M,cool} (^{\circ}C)$
1. typ: ocelová nosná konstrukce	18	13
2. typ: ocelobetonová nosná konstrukce	15	18
3. typ: betonová nosná konstrukce		
– betonový komorový nosník	10	5
– betonový nosník	15	8
– betonová deska	15	8

POZNÁMKA 1 Hodnoty uvedené v tabulce jsou horními mezními hodnotami lineárně proměnné složky teploty pro reprezentativní vzorek geometrie mostů.

POZNÁMKA 2 Hodnoty uvedené v tabulce pro mosty pozemních komunikací, lávky a pro železniční mosty vycházejí z 50 mm tloušťky mostního svršku. Pro jiné tloušťky mostního svršku se mají tyto hodnoty vynásobit součinitelem k_{sur} . Doporučené hodnoty součinitele k_{sur} jsou uvedené v tabulce 6.2.

Klimatická zatížení

- Zatížení teplotou (**T**)

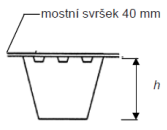
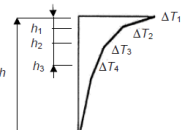
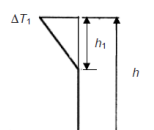
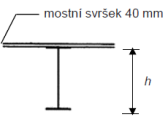
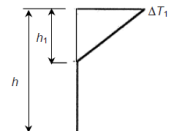
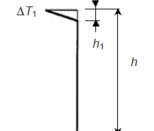
Mosty pozemních komunikací, lávky pro chodce a železniční mosty						
Tloušťka mostního svršku	1. typ		2. typ		3. typ	
	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní
[mm]	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
bez svršku	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
vodotěsná izolace ¹⁾	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0
štěrkové lože (750 mm)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

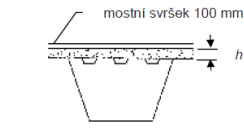
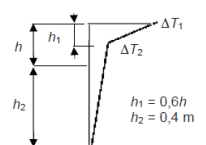
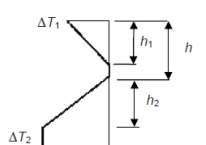
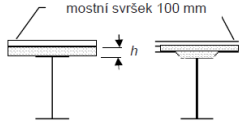
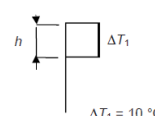
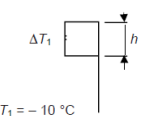
¹⁾ Tyto hodnoty představují horní mezní hodnoty pro tmavé barvy.



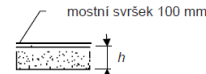
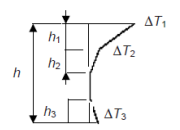
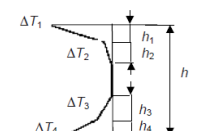

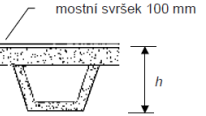
Klimatická zatížení

- Zatížení teplotou (**T**)
 - **Postup 2** – svislá složka teploty s nelineárními účinky

Typ konstrukce	Rozdíly teplot ΔT	
	(a) oteplení	(b) ochlazení
 <p>Typ 1.a: ocelová mostovka na ocelových komorových nosnících</p>	 <p> $h_1 = 0,1 \text{ m}$ $h_2 = 0,2 \text{ m}$ $h_3 = 0,3 \text{ m}$ </p> <p> $\Delta T_1 = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ $\Delta T_2 = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ $\Delta T_3 = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ $\Delta T_4 = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ </p>	 <p> $\Delta T_1 = -6 \text{ }^\circ\text{C}$ $h_1 = 0,5 \text{ m}$ </p>
 <p>Typ 1.b: ocelová mostovka na ocelových příhradových nebo plnostěnných nosnících</p>	 <p> $h_1 = 0,5 \text{ m}$ $\Delta T_1 = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ </p>	 <p> $\Delta T_1 = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ $h_1 = 0,1 \text{ m}$ </p>

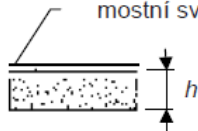
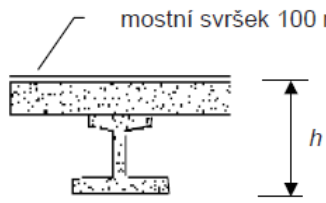
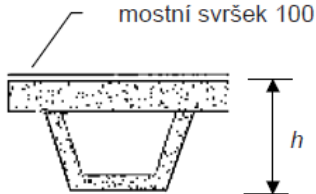
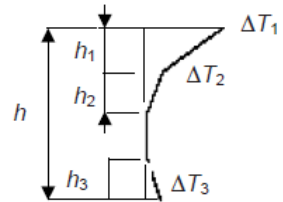
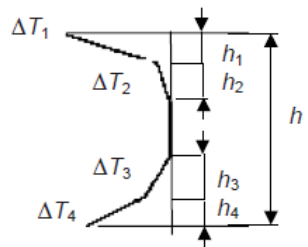
Typ konstrukce	Rozdíly teplot ΔT																			
	(a) oteplení	(b) ochlazení																		
 <p>2. Betonová mostovka na ocelových komorových, příhradových nebo plnostěnných nosnících</p>	<p>Běžný postup</p>  <p> $h_1 = 0,6h$ $h_2 = 0,4 \text{ m}$ </p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>h m</th> <th>ΔT_1 °C</th> <th>ΔT_2 °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 m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C	0,2	13	4	0,3	16	4	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>h m</th> <th>ΔT_1 °C</th> <th>ΔT_2 °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 m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C	0,2	-3,5	-8	0,3	-5,0	-8
h m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C																		
0,2	13	4																		
0,3	16	4																		
h m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C																		
0,2	-3,5	-8																		
0,3	-5,0	-8																		
 <p>Zjednodušený postup</p>	 <p> $\Delta T_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ </p>	 <p> $\Delta T_1 = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ </p>																		

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 národních příloze uvedeny konkrétní hodnoty.

Typ konstrukce	Rozdíly teplot ΔT																																																								
	(a) oteplení	(b) ochlazení																																																							
 <p>Typ 3.a: betonová desková konstrukce</p>	 <p> $h_1 = 0,3 h$, avšak $\leq 0,15 \text{ m}$ $h_2 = 0,3 h$, avšak $\geq 0,10 \text{ m}$ avšak $\leq 0,25 \text{ m}$ $h_3 = 0,3 h$, avšak $\leq (0,10 + \text{tloušťka mostního svršku v m})$ pro tenké desky je h_3 omezeno $h - h_1 - h_2$ </p>	 <p> $h_1 = h_4 = 0,20 h$, avšak $\leq 0,25 \text{ m}$ $h_2 = h_3 = 0,25 h$, avšak $\leq 0,20 \text{ m}$ </p>																																																							
 <p>Typ 3.b: betonový nosník</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>h m</th> <th>ΔT_1 °C</th> <th>ΔT_2 °C</th> <th>ΔT_3 °C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\leq 0,2$</td> <td>8,5</td> <td>3,5</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>12,0</td> <td>3,0</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>13,0</td> <td>3,0</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 0,8$</td> <td>13,0</td> <td>3,0</td> <td>2,5</td> </tr> </tbody> </table>	h m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C	ΔT_3 °C	$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5	0,4	12,0	3,0	1,5	0,6	13,0	3,0	2,0	$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>h m</th> <th>ΔT_1 °C</th> <th>ΔT_2 °C</th> <th>ΔT_3 °C</th> <th>ΔT_4 °C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\leq 0,2$</td> <td>-2,0</td> <td>-0,5</td> <td>-0,5</td> <td>-1,5</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>-4,5</td> <td>-1,4</td> <td>-1,0</td> <td>-3,5</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>-6,5</td> <td>-1,8</td> <td>-1,5</td> <td>-5,0</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>-7,6</td> <td>-1,7</td> <td>-1,5</td> <td>-6,0</td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>-8,0</td> <td>-1,5</td> <td>-1,5</td> <td>-6,3</td> </tr> <tr> <td>$\geq 1,5$</td> <td>-8,4</td> <td>-0,5</td> <td>-1,0</td> <td>-6,5</td> </tr> </tbody> </table>	h m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C	ΔT_3 °C	ΔT_4 °C	$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5	0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5	0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0	0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0	1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3	$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5
h m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C	ΔT_3 °C																																																						
$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5																																																						
0,4	12,0	3,0	1,5																																																						
0,6	13,0	3,0	2,0																																																						
$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5																																																						
h m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C	ΔT_3 °C	ΔT_4 °C																																																					
$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5																																																					
0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5																																																					
0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0																																																					
0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0																																																					
1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3																																																					
$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5																																																					
 <p>Typ 3.c: betonový komorový nosník</p>																																																									

Klimatická zatížení

- Zatížení teplotou (**T**)

Typ konstrukce	Rozdíly teplot ΔT																																																								
	(a) oteplení	(b) ochlazení																																																							
<p>mostní svršek 100 mm</p>  <p>Typ 3.a: betonová desková konstrukce</p> <p>mostní svršek 100 mm</p>  <p>Typ 3.b: betonový nosník</p> <p>mostní svršek 100 mm</p>  <p>Typ 3.c: betonový komorový nosník</p>	 <p> $h_1 = 0,3 h$, avšak $\leq 0,15$ m $h_2 = 0,3 h$, avšak $\geq 0,10$ m avšak $\leq 0,25$ m $h_3 = 0,3 h$, avšak $\leq (0,10 +$ tloušťka mostního svršku v m) pro tenké desky je h_3 omezeno $h - h_1 - h_2$) </p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>h m</th> <th>ΔT_1 °C</th> <th>ΔT_2 °C</th> <th>ΔT_3 °C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\leq 0,2$</td> <td>8,5</td> <td>3,5</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>12,0</td> <td>3,0</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>13,0</td> <td>3,0</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 0,8$</td> <td>13,0</td> <td>3,0</td> <td>2,5</td> </tr> </tbody> </table>	h m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C	ΔT_3 °C	$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5	0,4	12,0	3,0	1,5	0,6	13,0	3,0	2,0	$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5	 <p> $h_1 = h_4 = 0,20 h$, avšak $\leq 0,25$ m $h_2 = h_3 = 0,25 h$, avšak $\leq 0,20$ m </p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>h m</th> <th>ΔT_1 °C</th> <th>ΔT_2 °C</th> <th>ΔT_3 °C</th> <th>ΔT_4 °C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\leq 0,2$</td> <td>-2,0</td> <td>-0,5</td> <td>-0,5</td> <td>-1,5</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>-4,5</td> <td>-1,4</td> <td>-1,0</td> <td>-3,5</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>-6,5</td> <td>-1,8</td> <td>-1,5</td> <td>-5,0</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>-7,6</td> <td>-1,7</td> <td>-1,5</td> <td>-6,0</td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>-8,0</td> <td>-1,5</td> <td>-1,5</td> <td>-6,3</td> </tr> <tr> <td>$\geq 1,5$</td> <td>-8,4</td> <td>-0,5</td> <td>-1,0</td> <td>-6,5</td> </tr> </tbody> </table>	h m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C	ΔT_3 °C	ΔT_4 °C	$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5	0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5	0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0	0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0	1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3	$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5
h m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C	ΔT_3 °C																																																						
$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5																																																						
0,4	12,0	3,0	1,5																																																						
0,6	13,0	3,0	2,0																																																						
$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5																																																						
h m	ΔT_1 °C	ΔT_2 °C	ΔT_3 °C	ΔT_4 °C																																																					
$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5																																																					
0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5																																																					
0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0																																																					
0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0																																																					
1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3																																																					
$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5																																																					

Klimatická zatížení

- Zatížení teplotou (T)
 - **Postup 2** – svislá složka teploty s nelineárními účinky

Tloušťka desky (výška) (h)	Tloušťka mostního svršku	Rozdíly teplot						
		oteplování			ochlazování			
		ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4
m	mm	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0,2	bez svršku	12,0	5,0	0,1	4,7	1,7	0,0	0,7
	vodotěsná izolace ¹⁾	19,5	8,5	0,0	4,7	1,7	0,0	0,7
	50	13,2	4,9	0,3	3,1	1,0	0,2	1,2
	100	8,5	3,5	0,5	2,0	0,5	0,5	1,5
	150	5,6	2,5	0,2	1,1	0,3	0,7	1,7
	200	3,7	2,0	0,5	0,5	0,2	1,0	1,8
0,4	bez svršku	15,2	4,4	1,2	9,0	3,5	0,4	2,9
	vodotěsná izolace ¹⁾	23,6	6,5	1,0	9,0	3,5	0,4	2,9
	50	17,2	4,6	1,4	6,4	2,3	0,6	3,2
	100	12,0	3,0	1,5	4,5	1,4	1,0	3,5
	150	8,5	2,0	1,2	3,2	0,9	1,4	3,8
	200	6,2	1,3	1,0	2,2	0,5	1,9	4,0

0,6	bez svršku	15,2	4,0	1,4	11,8	4,0	0,9	4,6
	vodotěsná izolace ¹⁾	23,6	6,0	1,4	11,8	4,0	0,9	4,6
	50	17,6	4,0	1,8	8,7	2,7	1,2	4,9
	100	13,0	3,0	2,0	6,5	1,8	1,5	5,0
	150	9,7	2,2	1,7	4,9	1,1	1,7	5,1
0,8	bez svršku	15,4	4,0	2,0	12,8	3,3	0,9	5,6
	vodotěsná izolace ¹⁾	23,6	5,0	1,4	12,8	3,3	0,9	5,6
	50	17,8	4,0	2,1	9,8	2,4	1,2	5,8
	100	13,5	3,0	2,5	7,6	1,7	1,5	6,0
	150	10,0	2,5	2,0	5,8	1,3	1,7	6,2
1,0	bez svršku	15,4	4,0	2,0	13,4	3,0	0,9	6,4
	vodotěsná izolace ¹⁾	23,6	5,0	1,4	13,4	3,0	0,9	6,4
	50	17,8	4,0	2,1	10,3	2,1	1,2	6,3
	100	13,5	3,0	2,5	8,0	1,5	1,5	6,3
	150	10,0	2,5	2,0	6,2	1,1	1,7	6,2
1,5	bez svršku	15,4	4,5	2,0	13,7	1,0	0,6	6,7
	vodotěsná izolace ¹⁾	23,6	5,0	1,4	13,7	1,0	0,6	6,7
	50	17,8	4,0	2,1	10,6	0,7	0,8	6,6
	100	13,5	3,0	2,5	8,4	0,5	1,0	6,5
	150	10,0	2,5	2,0	6,5	0,4	1,1	6,2
200	7,5	2,1	1,5	5,0	0,3	1,2	5,6	

¹⁾ Tyto hodnoty představují horní mezní hodnoty pro tmavé barvy.

Klimatická zatížení

- Zatížení teplotou (**T**)

- Současné působení rovnoměrné a rozdílové složky teploty

(1) Jestliže je nutné uvažovat současně rozdíl teplot $\Delta T_{M,heat}$ (nebo $\Delta T_{M,cool}$) a maximální rozsah rovnoměrné složky teploty mostu $\Delta T_{N,exp}$ (nebo $\Delta T_{N,con}$), např. u rámových konstrukcí, lze použít následující vztahy (které se mohou považovat za kombinace zatížení)

$$\Delta T_{M, heat} \text{ (nebo } \Delta T_{M, cool}) + \omega_N \Delta T_{N,exp} \text{ (nebo } \Delta T_{M, con}) \quad (6.3)$$

nebo

$$\omega_M \Delta T_{M, heat} \text{ (nebo } \Delta T_{M, cool}) + \Delta T_{N, exp} \text{ (nebo } \Delta T_{N, con}) \quad (6.4)$$

a zvolit ten, který dává nejnepříznivější účinek.

POZNÁMKA 1 Numerické hodnoty ω_N a ω_M se mohou stanovit v národní příloze. Pokud nejsou k dispozici další informace, doporučené hodnoty pro ω_N a ω_M jsou: ^{NP12)}

$$\omega_N = 0,35$$

$$\omega_M = 0,75$$

POZNÁMKA 2 Pokud se používají jak lineární, tak nelineární svislé teplotní rozdíly (viz 6.1.4.2), pak se má ΔT_M nahradit ΔT , který zahrnuje ΔT_M a ΔT_E .

