

B0001

KONSTRUKCE A DOPRAVNÍ STAVBY

PODKLADY DO CVIČENÍ – ČÁST KONSTRUKCE

VYPRACOVAL: Ing. MARTIN HORÁČEK, Ph.D.

AKADEMICKÝ ROK: 2019/2020, ZS

Obsah

1	Technické normy.....	- 3 -
2	Návrhová životnost konstrukce.....	- 3 -
3	Materiálové charakteristiky.....	- 4 -
4	Průřezové charakteristiky.....	- 6 -
5	Zatížení obecně.....	- 10 -
6	Stálá zatížení.....	- 11 -
7	Proměnná zatížení.....	- 11 -
8	Navrhování podle mezních stavů.....	- 24 -
9	Kombinace zatížení.....	- 27 -
	Použitá literatura.....	- 29 -
	Poděkování.....	- 29 -

1 Technické normy

Technické normy jsou dokumenty sloužící k dorozumění partnerů v oblasti techniky, vycházející v naprosté většině z konsenzu zainteresovaných stran. Představují jednak soubor ustanovení předepisující jednotnou formu uplatňování odborných znalostí, ale také užitečnou pomůcku poskytující informativní údaje a návody pro efektivní hledání inženýrských řešení. Jejich tvorba i používání podléhá platným právním předpisům (zákon č. 22/1997 Sb., zákon č. 71/2000 Sb. a zákon č. 163/2002 Sb).

V současné době platí v ČR přejeté evropské normy – tzv. **Eurokódy**

Označení: **ČSN** – Česká státní norma

EN – přejímaná Evropská norma

ČSN EN 1990 - Zásady navrhování konstrukcí

Normy pro zatížení konstrukcí:

ČSN EN 1991 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí

Normy pro navrhování:

ČSN EN 1992 - Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí

ČSN EN 1993 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí

ČSN EN 1994 - Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí

ČSN EN 1995 - Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí

ČSN EN 1996 - Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí

ČSN EN 1997 - Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí

ČSN EN 1998 - Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení

ČSN EN 1999 - Eurokód 9: Navrhování konstrukcí z hliníkových slitin

Normy pro provádění:

ČSN EN 13670 – Provádění betonových konstrukcí

ČSN EN 1090 – Provádění ocelových konstrukcí

2 Návrhová životnost konstrukce

Předpokládaná doba, po kterou má být konstrukce nebo její část používána pro stanovený účel při běžné údržbě, avšak bez nutnosti zásadnější opravy. Norma rozlišuje pět kategorií návrhové životnosti:

Kategorie návrhové životnosti	Návrhová životnost (v letech)	Příklady
1	10	dočasné konstrukce
2	10 až 25	vyměnitelné konstrukční části
3	15 až 30	zemědělské a obdobné stavby
4	50	budovy a další běžné stavby
5	100	monumentální stavby, mosty a jiné inženýrské konstrukce

3 Materiálové charakteristiky

Materiálové charakteristiky jsou veličiny popisující fyzikálně-mechanické parametry konstrukčního materiálu.

Mezi hlavní materiálové charakteristiky patří:

- **pevnost f** [MPa] - minimální hodnota mechanického napětí, při kterém nastávají definované nevratné změny struktury materiálu
- **Youngův modul pružnosti E** [MPa] - podíl normálového napětí a poměrné délkové deformace, tímto napětím způsobené
- **modul pružnosti ve smyku G** [MPa] - podíl smykového napětí a úhlové deformace (zkosení), tímto napětím způsobené
- **hustota ρ** [kg/m³] - podíl hmotnosti tělesa a jeho objemu.

3.1 Charakteristiky betonu

Pevnost betonu v tlaku

Návrhová pevnost betonu v tlaku f_{cd} je definována jako:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

α_{cc} je souč. vyjadřující vliv působení vnějšího prostředí na chování materiálu, $\alpha_{cc} = 0,85$

f_{ck} je charakteristická pevnost betonu v tlaku [MPa], hodnoty viz tabulka níže

γ_c je dílčí součinitel spolehlivosti materiálu pro beton, $\gamma_c = 1,5$

Modul pružnosti betonu v tlaku

Při praktickém výpočtu se používá pro modul pružnosti betonu hodnota E_c podle vztahu:

$$E_c = \frac{E_{cm}}{1 + \kappa \cdot \varphi}$$

E_{cm} je sečný modul pružnosti betonu [MPa], hodnoty viz tabulka níže

κ, φ jsou součinitelé smršťování a dotvarování betonu

Modul pružnosti betonu ve smyku

Pro modul pružnosti betonu ve smyku platí $G = 0,42 E$.

Objemová hmotnost

Objemová hmotnost ρ závisí na typu betonu:

- obyčejný beton $\rho = 2\,400$ kg/m³
- železobeton a předepjatý beton s netuhou výztuží $\rho = 2\,500$ kg/m³

Pevnostní třídy betonu

Pevnostní třídy betonu značíme písmenem C, po kterém následují dvě hodnoty charakteristických pevností v tlaku oddělené lomítkem, např.

C 20/25

První hodnota odpovídá charakteristické válcové pevnosti betonu v tlaku ($f_{ck,cyl} = 20$ MPa), druhá hodnota náleží charakteristické krychelné pevnosti betonu v tlaku ($f_{ck,cube} = 25$ MPa).

Ve výpočtech se uvažuje s válcovou charakteristickou pevností betonu v tlaku ($f_{ck} = f_{ck,cyl}$).

Pevnostní třída betonu	f_{ck} [MPa]	E_{cm} [MPa]	Pevnostní třída betonu	f_{ck} [MPa]	E_{cm} [MPa]
C 16/20	16	29 000	C 35/45	35	34 000
C 20/25	20	30 000	C 40/50	40	35 000
C 25/30	25	31 000	C 45/55	45	36 000
C 30/37	30	32 000	C 50/60	50	37 000

Při výpočtech betonových konstrukcí je rovněž důležitá **pevnost betonu v tahu** f_{ctm} [MPa],

3.2 Charakteristiky oceli

Mez kluzu oceli

Návrhová hodnota meze kluzu oceli f_{yd} je definována jako:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

f_y je charakteristická hodnota meze kluzu oceli [MPa], hodnoty viz tabulka níže

γ_{M0} je dílčí součinitel spolehlivosti materiálu pro ocel, $\gamma_{M0} = 1,0$

Při výpočtech ocelových konstrukcí je rovněž důležitá **mez pevnosti oceli** f_u [MPa],

Modul pružnosti oceli v tahu/tlaku

Youngův modul pružnosti oceli je shodný pro všechny pevnostní třídy, $E = 210\,000$ MPa.

Modul pružnosti oceli ve smyku

Modul pružnosti oceli ve smyku G je definovaný jako:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

E je Youngův modul pružnosti oceli v tahu [MPa]

ν je Poissonův součinitel, který udává poměr příčné a podélné deformovatelnosti; nabývá hodnot od 0 do 0,5, pro ocel je hodnota 0,3.

Po vyčíslení vztahu je modul pružnosti oceli ve smyku $G = 81\,000$ MPa.

Objemová hmotnost oceli

Objemová hmotnost oceli má hodnotu $\rho = 7\,850$ kg/m³

Pevnostní třídy oceli

Označení pevnostní konstrukčních ocelí se značí písmenem S a za ním je uvedena hodnota charakteristické meze kluzu oceli, např. **S 235**.

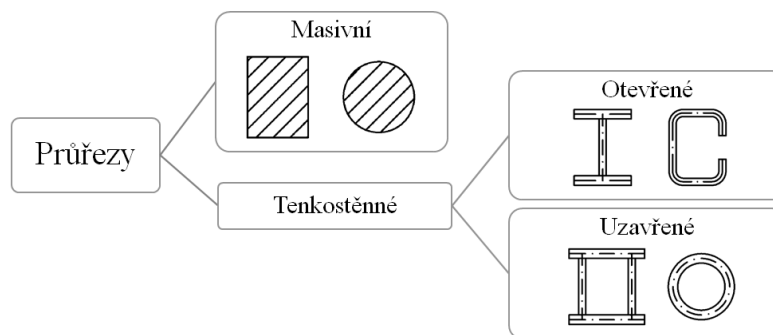
Pevnostní třída oceli	f_y [MPa]	f_u [MPa]	E [MPa]
S 235	235	360	210 000
S 355	355	490	

4 Průřezové charakteristiky

Průřez je rovinný obrazec, který vznikne myšleným řezem vedeným kolmo k podélné ose nedeformovaného prutu, přičemž průřezovými charakteristikami rozumíme veličiny popisující jeho uspořádání a mechanické parametry.

Průřezy mohou být:

- **masivní** – skládají se z jednoduchých geometrických obrazců (např. kruh, trojúhelník, obdélník), jejich jednotlivé rozměry se řádově neliší; jsou typické pro betonové konstrukce
- **tenkostěnné** – skládají se z dílčích částí (tzv. stěn), jejich tloušťka je řádově menší než jejich šířka. Tenkostěnný průřez lze schematicky znázornit pomocí střednice – čáry půlící tloušťky stěn. Rozlišujeme tenkostěnné průřezy **uzavřené** (jejich střednice tvoří uzavřenou křivku) a **otevřené** (jejich střednice netvoří uzavřenou křivku). Tenkostěnné průřezy jsou typické pro ocelové konstrukce.



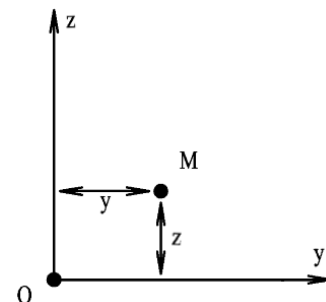
4.1 Obecné souřadnicové soustavy

V rovině průřezu zavádíme soustavy:

- **kartézských** souřadnic
- **výsečových** souřadnic

4.1.1 Kartézské souřadnice

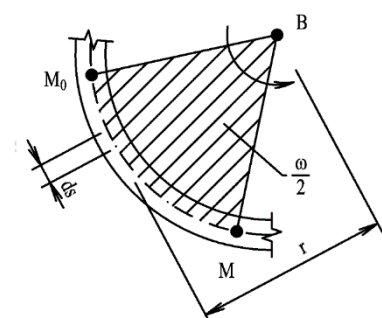
Kartézské souřadnice jsou definovány dvojicí navzájem kolmých orientovaných přímek – souřadných os y, z . Osa y vede obvykle vodorovně, s kladným smyslem zleva doprava; osa z potom vede svisle, s kladným smyslem odspoda nahoru. Průsečík os označujeme jako počátek soustavy O . Libovolnému bodu M průřezu přiřazujeme dvojici souřadnic y a z (viz obr.).



4.1.2 Výsečové souřadnice

Výsečové souřadnice jsou definovány pólem B (ležícím obecně kdekoli v rovině průřezu) a výsečovým počátkem M_0 ležícím na střednici průřezu. Libovolnému bodu M střednice průřezu přiřazujeme výsečovou souřadnici ω – dvojnásobek orientované plochy výseče omezené úsekem střednice M_0M a dvojicí průvodičů BM_0 a BM (viz obr.):

$$\omega = \int_{M_0}^M r ds$$



r je absolutní vzdálenost pólu B od tečny ke střednici

ds je diferenciál délky střednice měřené od bodu M_0

Výšečová souřadnice je kladná, jestliže ji čteme od počátečního průvodiče BM_0 proti smyslu chodu hodinových ručiček.

4.2 Základní průřezové charakteristiky

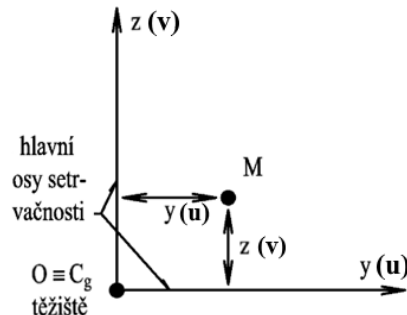
	Zn.	Jedn.	Definiční vztah	Diskrétní vztah
Plocha	A	mm^2	$A = \int_A dA$	$A = \sum A_i = \sum s_i \cdot t_i$
Statické momenty	S_y	mm^3	$S_y = \int_A z dA$	$S_y = \sum A_i \cdot z_{c,i}$
	S_z	mm^3	$S_z = \int_A y dA$	$S_z = \sum A_i \cdot y_{c,i}$
Deviační moment	D_{yz}	mm^4	$D_{yz} = \int_A zy dA$	$D_{yz} = \sum A_i \left[\frac{(z_{b,i} - z_{a,i}) \cdot (y_{b,i} - y_{a,i})}{12} + z_{c,i} \cdot y_{c,i} \right]$
Momenty setrvačnosti	I_y	mm^4	$I_y = \int_A z^2 dA$	$I_y = \sum A_i \left[\frac{(z_{b,i} - z_{a,i})^2}{12} + z_{c,i}^2 \right]$
	I_z	mm^4	$I_z = \int_A y^2 dA$	$I_z = \sum A_i \left[\frac{(y_{b,i} - y_{a,i})^2}{12} + y_{c,i}^2 \right]$
Výšečový statický moment	S_ω	mm^4	$S_\omega = \int_A \omega dA$	$S_\omega = \sum A_i \cdot \omega_{c,i}$
Výšečové deviační momenty	$D_{\omega y}$	mm^5	$D_{\omega y} = \int_A \omega z dA$	$D_{\omega y} = \sum A_i \left[\frac{(\omega_{b,i} - \omega_{a,i}) \cdot (z_{b,i} - z_{a,i})}{12} + \omega_{c,i} \cdot z_{c,i} \right]$
	$D_{\omega z}$	mm^5	$D_{\omega z} = \int_A \omega y dA$	$D_{\omega z} = \sum A_i \left[\frac{(\omega_{b,i} - \omega_{a,i}) \cdot (y_{b,i} - y_{a,i})}{12} + \omega_{c,i} \cdot y_{c,i} \right]$
Výšečový moment setrvačnosti	I_ω	mm^6	$I_\omega = \int_A \omega^2 dA$	$I_\omega = \sum A_i \left[\frac{(\omega_{b,i} - \omega_{a,i})^2}{12} + \omega_{c,i}^2 \right]$
dA je diferenciál plošného obsahu průřezu z, y jsou kartézské souřadnice elementu dA ω je výšečová souřadnice elementu dA			A_i je plocha i -té stěny o délce s_i a tloušťce t_i $y_{a,i}, z_{a,i}, \omega_{a,i}$ jsou souřadnice počátku i -té stěny $y_{b,i}, z_{b,i}, \omega_{b,i}$ jsou souřadnice konce i -té stěny $y_{c,i}, z_{c,i}, \omega_{c,i}$ jsou souřadnice středu i -té stěny	

Plochu A a momenty setrvačnosti I_y, I_z, I_ω používáme k analýze prutu. Statické momenty S_y, S_z, S_ω a deviační momenty $D_{yz}, D_{\omega y}, D_{\omega z}$ používáme k definování **hlavní vztahné soustavy**.

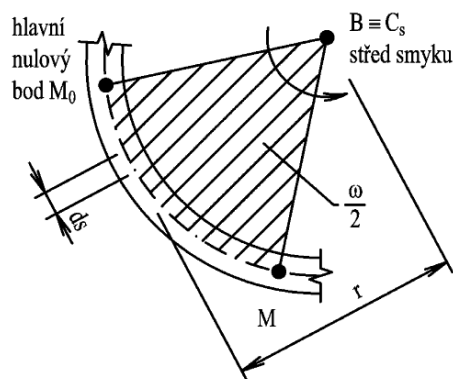
4.3 Hlavní vztážná soustava

V rámci hlavní vztážné soustavy jsou zavedeny v rovině průřezu:

– **hlavní kartézské souřadnice**, jejichž počátek leží v těžišti C_g . Souřadné osy jsou totožné s hlavními osami setrvačnosti (u symetrických průřezů značených jako y, z , u nesymetrických průřezů značených např. jako u, v).



– **hlavní výsečové souřadnice**, jejichž pól leží ve středu smyku C_s , výsečový počátek je totožný s hlavním nulovým bodem M_0 .



Těžiště C_g je jediný bod v rovině průřezu, pro který platí $S_y = S_z = 0$.

Hlavní osy setrvačnosti y, z jsou jediná dvojice navzájem kolmých přímků v rovině průřezu (s průsečíkem v těžišti), pro které platí $D_{yz} = 0$

Střed smyku C_s je jediný bod v rovině otevřeného průřezu, pro který platí $D_{\omega y} = D_{\omega z} = 0$.

Hlavní nulový bod M_0 je bod na střednici otevřeného průřezu, pro který platí $S_{\omega} = 0$.

4.4 Stanovení významných bodů průřezu

Souřadnice těžiště C_g

Pro určení polohy těžiště průřezu v jeho rovině zavedeme soustavu pomocných kartézských souřadnic definovanou libovolně zvoleným počátkem O a souřadnými osami y_0, z_0 .

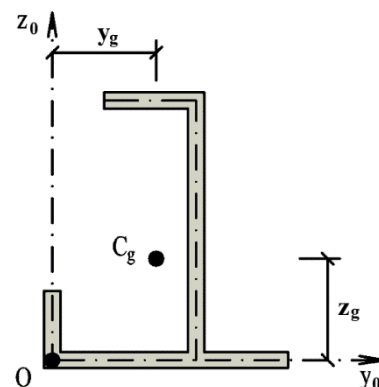
Těžiště C_g má v této soustavě souřadnice:

$$y_g = \frac{S_{z_0}}{A} \quad \text{a} \quad z_g = \frac{S_{y_0}}{A}$$

S_{y_0} je statický moment stanovený k ose y_0

S_{z_0} je statický moment stanovený k ose z_0

A je plocha průřezu



Hlavní osy setrvačnosti

Pro určení hlavních os setrvačnosti y, z zavedeme soustavu pomocných kartézských souřadnic definovanou počátkem v těžišti C_g a libovolně zvolenými osami y_1, z_1 .

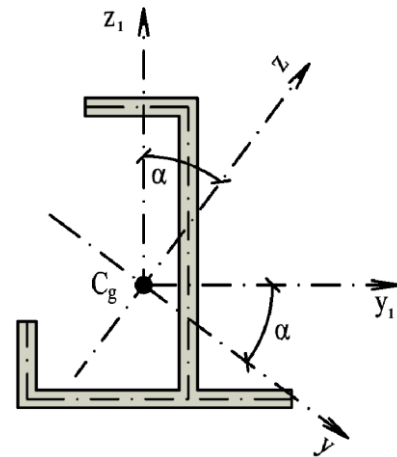
Hlavní osy setrvačnosti y, z mají počátek v těžišti průřezu C_g a s osami y_1, z_1 svírají úhel:

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctg \frac{2 \cdot D_{y_1 z_1}}{I_{z_1} - I_{y_1}}$$

$D_{y_1 z_1}$ je devisační moment setrvačnosti k osám y_1, z_1 ,

I_{y_1} je moment setrvačnosti stanovený k ose y_1 ,

I_{z_1} je moment setrvačnosti stanovený k ose z_1 .

**Souřadnice středu smyku C_s**

Pro určení polohy středu smyku je zavedena soustava hlavních kartézských souřadnic y, z a pomocná soustava výsečových souřadnic definovaná libovolně zvoleným pólem B_1 a libovolně určeným výsečovým počátkem $M_{0,1}$.

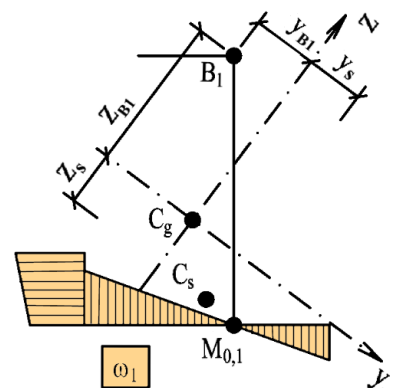
Střed smyku C_s má v této soustavě souřadnice:

$$y_s = y_{B1} + \frac{D_{\omega 1 y}}{I_y} \quad \text{a} \quad z_s = z_{B1} - \frac{D_{\omega 1 z}}{I_z}$$

$D_{\omega 1 y}, D_{\omega 1 z}$ jsou výsečové devisační momenty stanovené k hlavním osám setrvačnosti y, z

I_y, I_z jsou momenty setrvačnosti stanovené k hlavním osám setrvačnosti y, z

y_{B1}, z_{B1} jsou souřadnice pólu B_1

**Poloha hlavního nulového bodu M_0**

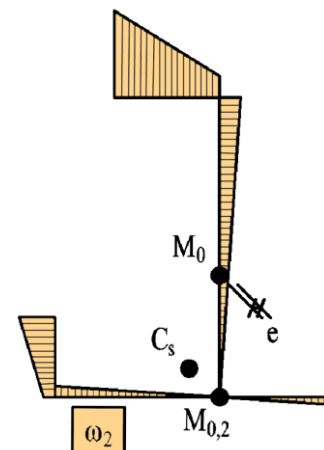
Pro určení polohy hlavního nulového bodu je zavedena soustava výsečových souřadnic ω_2 s pólem B_2 totožným s polohou středu smyku a libovolně určeným výsečovým počátkem $M_{0,2}$.

Hlavní nulový bod M_0 má v této soustavě výsečovou souřadnici o velikosti:

$$e = \frac{S_{\omega 2}}{A}$$

$S_{\omega 2}$ je výsečový statický moment v zavedené soustavě

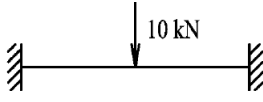
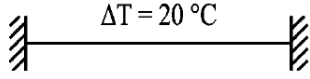
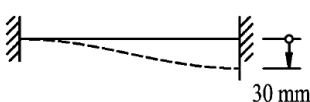
A je plocha průřezu



5 Zatížení obecně

Zatížení je jakýkoliv jev, který vyvolává změnu stavu napjatosti konstrukce.

V technické praxi se setkáváme s následujícími zatěžovacími jevy:

- působení sil na konstrukci 
- změna teploty konstrukce nebo její části 
- vynucené přemístění části konstrukce 

Dle charakteru odezvy konstrukce rozlišujeme:

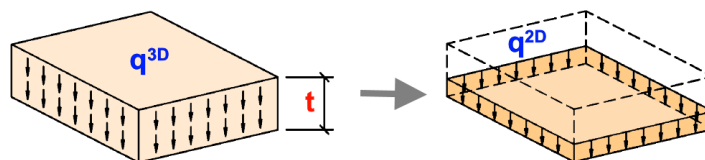
- **statické zatížení** - nevyvolává významná zrychlení konstrukce
- **dynamické zatížení** - vyvolává významná zrychlení konstrukce (je třeba počítat s vlivem setrvačných sil)

Vnější síly se podle idealizované dimenze rozlišují jako:

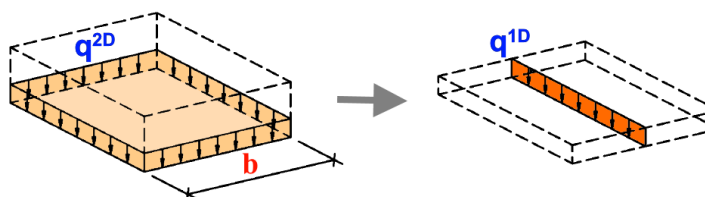
- objemové síly q_{3D} [kN/m³]
- plošné síly q_{2D} [kN/m²]
- liniové síly q_{1D} [kN/m']
- osamělé síly F [kN]

Přepočítání dimenzí vnějších sil:

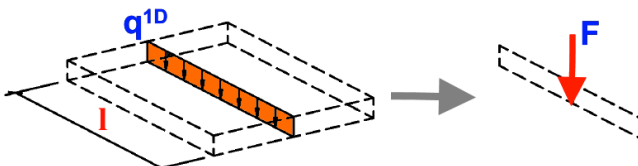
- objemové síly na plošné síly: $q^{2D} = q^{3D} \cdot t$ (t je zatěžovací tloušťka)



- plošné síly na liniové síly: $q^{1D} = q^{2D} \cdot b$ (b je zatěžovací šířka)



- liniové síly na osamělé síly: $F = q^{1D} \cdot l$ (l je zatěžovací délka)



5.1 Klasifikace zatížení

Stálá zatížení (G) – např. vlastní tíha konstrukcí, pevné vybavení, obrusná vrstva vozovek, předpětí

Proměnná zatížení (Q) – např. užitná zatížení stropů a střeš, zatížení sněhem a větrem

Mimořádná zatížení (A) – např. výbuchy, nárazy vozidel

6 Stálá zatížení

6.1 Tíha konstrukce

Tíha konstrukcí se skládá z vlastní tíhy nosné konstrukce, tíhy nenosných prvků a případně také tíhy upevněného vybavení. Normová tíha se stanoví dle geometrických a konstrukčních parametrů uvedených v projektu a podle hodnot objemové hmotnosti použitých materiálů. Norma ČSN EN 1991-1-1 obsahuje přílohu (příloha A) s objemovými tíhami γ v kN/m^3 stavebních materiálů a skladovaných materiálů (u sypkých materiálů včetně jejich vnitřního úhlu tření ϕ).

6.2 Předpětí

Zatížení předpětím P se klasifikuje jako stálé zatížení od kontrolovaných sil a /nebo vynucených přetvoření. Tyto typy předpětí se mají příslušně rozlišovat (např. předpětí předpínacími kabely, předpětí vyvolané záměrně vnesenými deformacemi v podporách).

7 Proměnná zatížení

7.1 Užitná zatížení

Užitná zatížení pozemních staveb jsou taková zatížení, která vznikají v důsledku užívání. Do užitných zatížení jsou zahrnuty zatížení od obvyklého užívání osobami, od nábytku nebo přemístitelnými předměty (přemístitelné přičky, uskladněné předměty, obsah nádrží apod.) a od vozidel.

Ve výpočtech je nahrazujeme rovnoměrným zatížením q_k v kN/m^2 a soustředěným zatížením Q_k v kN působícím samostatně na čtvercové ploše o straně a . Hodnoty zatížení závisí na příslušné užitné kategorii.

7.1.1 Užitné kategorie pro stropní konstrukce

Kategorie A – Obytné plochy a plochy pro domácí činnosti

Příklad: místnosti obytných budov a domů, lůžkové pokoje a čekárny v nemocnicích, ložnice hotelů a ubytoven, kuchyně a toalety

Kategorie B – Kancelářské plochy

Kategorie C – Plochy, kde může docházet ke shromažďování lidí

Podkategorie: **C1:** plochy se stoly (např. plochy ve školách, kavárnách, restauracích, jídelnách, čítárnách, recepcích)

C2: plochy se zabudovanými sedadly (např. plochy v kostelech, divadlech nebo kinech, konferenčních sálech, přednáškových nebo zasedacích místnostech, nádražních a jiných čekárnách)

C3: plochy bez překážek pro pohyb osob (např. plochy v muzeích, ve výstavních sálích a přístupové plochy ve veřejných a administrativních budovách, hotelích, nemocnicích, železničních nádražních halách)

C4: plochy určené k pohybovým aktivitám (taneční sály, tělocvičny, jeviště)

C5: plochy, kde může dojít k vysoké koncentraci lidí (např. budovy pro veřejné akce jako koncertní síně, sportovní haly, včetně tribun, terasy a přístupové plochy, železniční nástupiště)

Kategorie D – Obchodní plochyPodkategorie: **D1:** plochy v malých obchodech**D2:** plochy v obchodních domech**Kategorie E – Plochy pro skladování a průmyslovou činnost**Podkategorie: **E1:** plochy, kde může dojít k hromadění zboží, včetně přístupových ploch**E2:** průmyslová činnost**Kategorie F – Plochy garáží a dopravní plochy pro vozidla do 3t****Kategorie G – Plochy garáží a dopravní plochy pro vozidla od 3t do 16t**

Užitná kategorie	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	Plocha pro Q_k
Kategorie A			Čtverec 50 x 50 mm
- stropní konstrukce	1,5	2,0	
- schodiště	3,0	2,0	
- balkóny	3,0	2,0	
Kategorie B	2,5	4,0	
Kategorie C			
- C1	3,0	3,0	
- C2	4,0	4,0	
- C3	5,0	4,0	
- C4	5,0	7,0	
- C5	5,0	4,5	
Kategorie D			
- D1	5,0	5,0	
- D2	5,0	7,0	
Kategorie E			
- E1	7,5	7,0	
- E2	dle projektu	dle projektu	
Kategorie F	2,5	20	2 čtverce 100 x 100 mm
Kategorie G	5,0	120	2 čtverce 200 x 200 mm

Pozn.: Doporučené hodnoty užitných zatížení dle Národní přílohy normy ČSN EN 1991-1**7.1.2 Užitné kategorie pro střechu****Kategorie H** – Střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav**Kategorie I** – Střechy přístupné (pochůzné) s užíváním dle kategorie A až D**Kategorie K** – Střechy přístupné pro zvláštní provoz, např. pro přistávání vrtulníků

Užitná kategorie	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	Plocha pro Q_k
Kategorie H	0,75	1,0	Čtverec
Kategorie I	viz kat. A až D	viz kat. A až D	50 x 50 mm
Kategorie K	-	20 / 60	Čtverec 200 x 200 / 300 x 300

7.2 Zatížení sněhem

Postup stanovení zatížení sněhem je uveden v ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí sněhem. Zatížení sněhem na střeše se určí ze vztahu:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

μ_i je tvarový součinitel zatížení sněhem

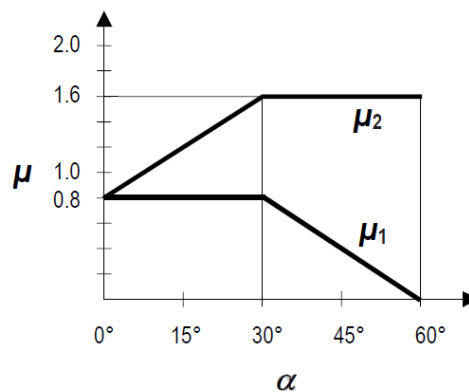
C_e je součinitel expozice

C_t je tepelný součinitel

s_k je charakteristické zatížení sněhem na zemi

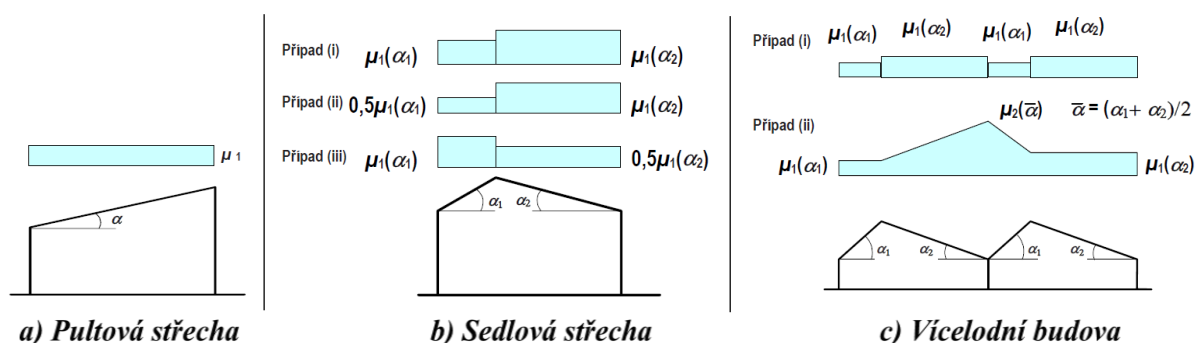
7.2.1 Tvarový součinitel zatížení sněhem pro pultové a sedlové střechy

Hodnota tvarového součinitele závisí na úhlu sklonu střechy. Určí se z následujícího grafu nebo tabulky.



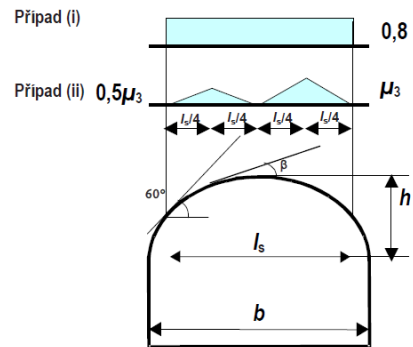
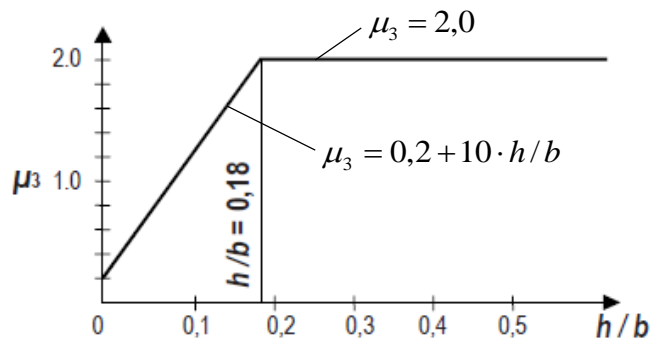
úhel sklonu střechy α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	--

Schématu případů zatížení sněhem pro jednotlivé typy střech jsou uvedeny na následujících obrázcích:



7.2.2 Tvarový součinitel zatížení sněhem pro válcové střechy

Hodnota tvarového součinitele závisí na úhlu sklonu střechy a poměru výšky vzepětí válcové střechy ku její šířce (poměr h/b).



7.2.3 Součinitel expozice

Doporučené hodnoty součinitele expozice závisí na různých typech krajiny. Norma rozeznává 3 typy krajiny:

- **otevřený typ krajiny** ($C_e = 0,8$): rovná plocha bez překážek, otevřená do všech stran, nechráněná nebo jen málo chráněná terémem, vyššími stavbami nebo stromy
- **normální typ krajiny** ($C_e = 1,0$): plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu větrem kvůli okolnímu terénu, jiným stavbám nebo stromům
- **chráněný typ krajiny** ($C_e = 1,2$): plochy, kde je uvažovaná stavba výrazně nižší než okolní terén nebo je stavba obklopena vysokými stromy a/nebo vyššími stavbami

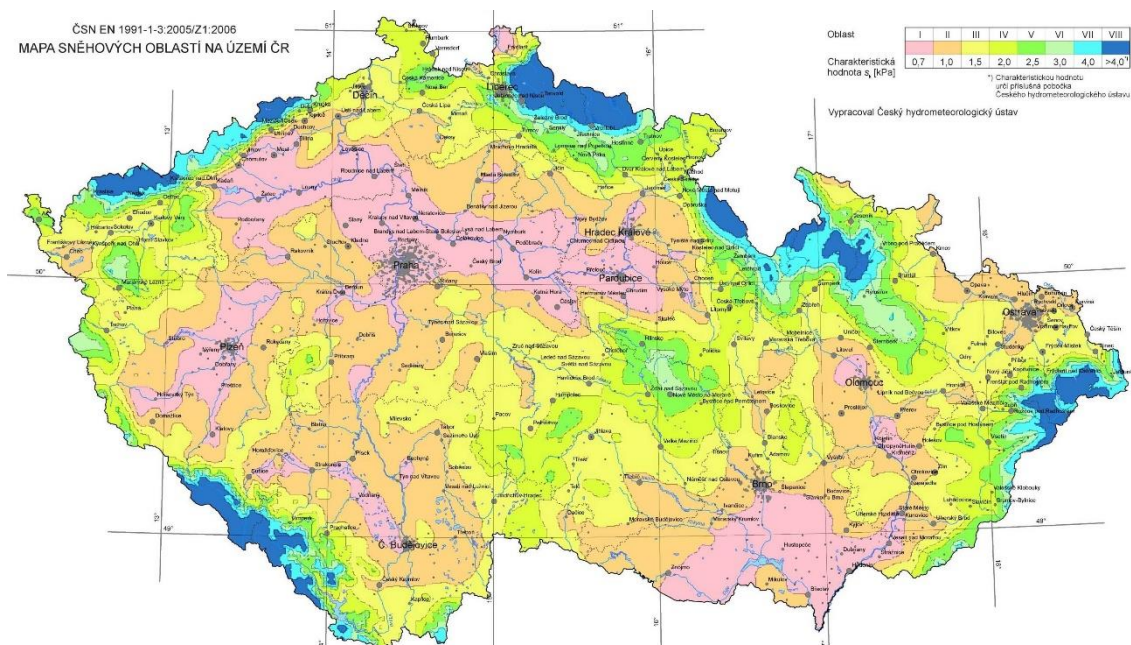
7.2.4 Tepelný součinitel

Tepelný součinitel se má použít tam, kde lze vzít v úvahu snížení zatížení sněhem na střeše, která má vysokou tepelnou propustnost ($>1 \text{ W/m}^2\text{K}$), zejména u některých skleněných střeš, kde dochází k tání sněhu vlivem prostupu tepla střechou. Pro ostatní případy je $C_t = 1,0$.

7.2.5 Charakteristické zatížení sněhem na zemi

Na základě dat Českého hydrometeorologického ústavu je zpracována mapa sněhových oblastí na území ČR. Zavedeno je celkem 8 sněhových oblastí s různou hodnotou charakteristického zatížení sněhem na zemi.

Sněhová oblast	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Charakter. zat. sněhem na zemi s_k [kN/m ²]	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	> 4,0



7.3 Zatížení větrem

Postup stanovení zatížení větrem je uveden v ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí větrem.

7.3.1 Kategorie terénu

Norma rozeznává 5 kategorií terénu:

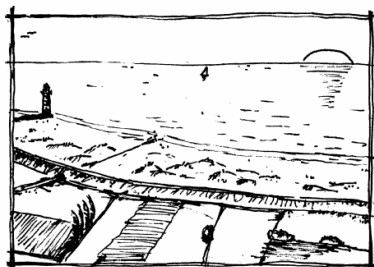
Kategorie terénu 0: Moře nebo pobřežní oblasti otevřené k moři

Kategorie terénu I: Jezera nebo oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek

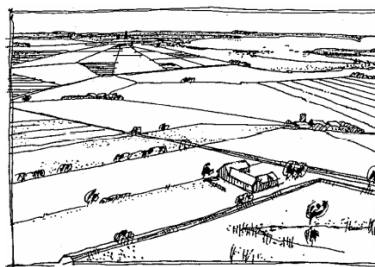
Kategorie terénu II: Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a izolovanými překážkami (stromy, budovy), vzdálenými od sebe nejméně 20násobek výšky překážek

Kategorie terénu III: Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací, pozemními stavbami nebo izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (patří sem vesnice, předměstský terén, les)

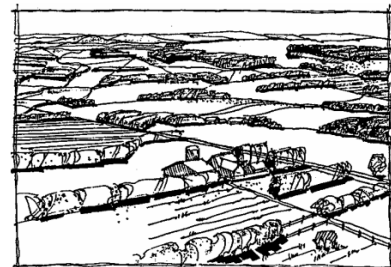
Kategorie terénu IV: Oblasti, ve kterých je nejméně 15% povrchu pokryto budovami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m.



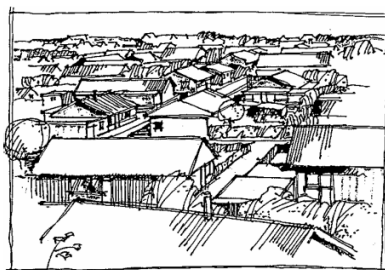
Kategorie terénu 0



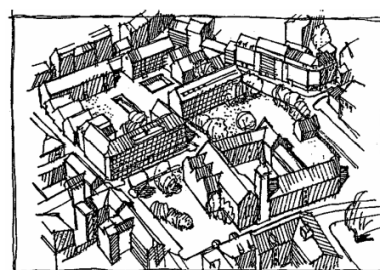
Kategorie terénu I



Kategorie terénu II



Kategorie terénu III



Kategorie terénu IV

Pozn.: Pozor, neplést si kategorii terénu s větrnou oblastí. Obojí se značí římskými číslicemi, ale kategorie terénu a větrná oblast nejsou na sobě závislé.

7.3.2 Základní rychlost větru

Základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí v terénu kategorie II se vypočte ze vzorce:

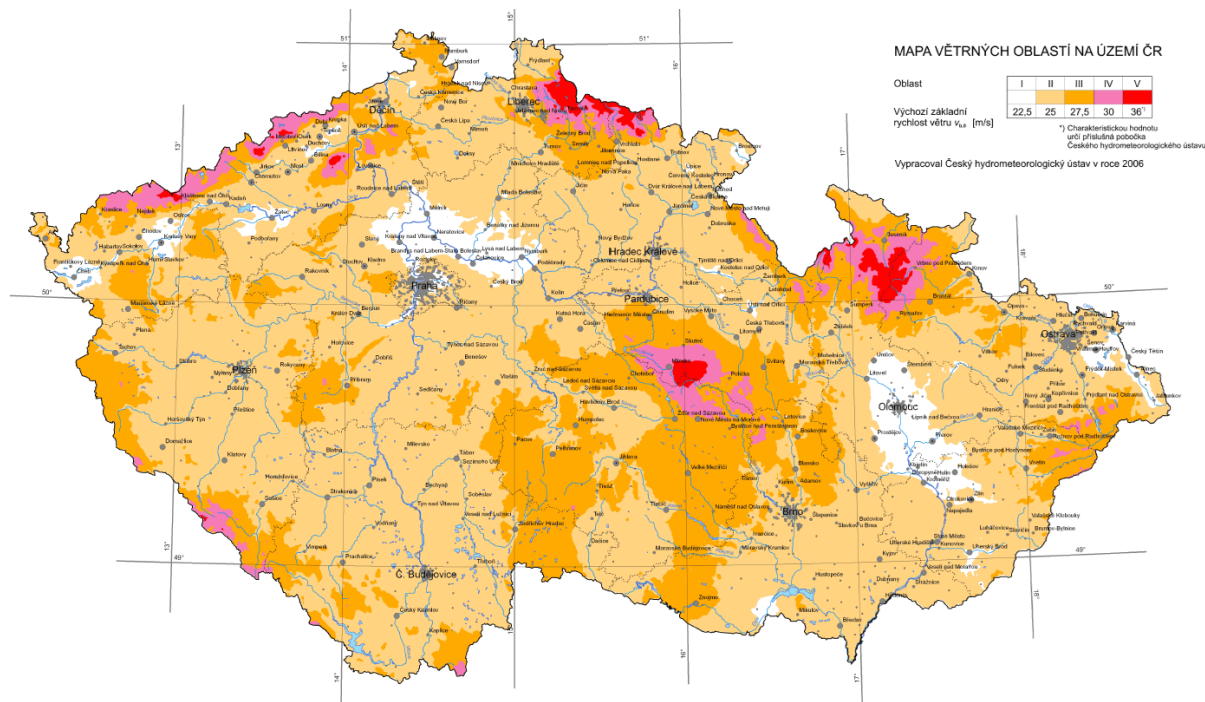
$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

C_{dir} je součinitel směru větru (doporučená hodnota pro ČR 1,0)

C_{season} je součinitel ročního období (doporučená hodnota pro ČR 1,0)

$v_{b,0}$ je výchozí základní rychlost větru dle mapy větrných oblastí

Větrná oblast	I	II	III	IV	V
Výchozí základní rychlost větru $v_{b,0}$ [m/s]	22,5	25	27,5	30	36



7.3.3 Střední rychlost větru

Střední rychlost větru ve výšce z nad zemí se vypočte ze vzorce:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

$c_r(z)$ je součinitel drsnosti terénu

$c_o(z)$ je součinitel orografie (doporučená hodnota pro ČR 1,0)

7.3.4 Součinitel drsnosti terénu

Součinitel drsnosti vyjadřuje změnu střední rychlosti větru v místě konstrukce způsobenou výškou nad úrovní terénu a drsností povrchu terénu na návětrné straně konstrukce pro uvažovaný směr větru. Vypočte se dle:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad \text{nebo} \quad c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{pro } z \leq z_{\min}$$

z_0 je parametr drsnosti terénu (viz tabulka dle kategorie terénu)

z_{\min} je minimální výška (viz tabulka dle kategorie terénu)

k_r je součinitel terénu stanovený ze vztahu $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$, kde $z_{0,II} = 0,05$

Kategorie terénu	0	I	II	III	IV
z_0 [m]	0,003	0,01	0,05	0,3	1,0
z_{\min} [m]	1	1	2	5	10

7.3.5 Turbulence větru

Intenzita turbulence větru ve výšce z nad zemí je dána vztahem:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad \text{nebo} \quad I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{pro } z \leq z_{\min}$$

k_T je součinitel turbulence (doporučená hodnota pro ČR 1,0)

$c_o(z)$ je součinitel orografie (doporučená hodnota pro ČR 1,0)

z_0 je parametr drsnosti terénu (viz tabulka dle kategorie terénu)

7.3.6 Maximální dynamický tlak větru

Maximální dynamický tlak větru ve výšce z nad zemí zahrnující střední a krátkodobé fluktuace větru se vypočte z výrazu:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad [\text{Pa}]$$

ρ je měrná hmotnost vzduchu (doporučená hodnota 1,25 kg/m³)

v_m je střední rychlost větru ve výšce z nad zemí se vypočte ze vzorce (viz výše)

$I_v(z)$ je intenzita turbulence ve výšce z nad zemí (viz výše)

7.3.7 Tlak větru na povrchy (obecně)

Tlak větru působící na vnější povrchy konstrukce se vypočte jako:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot C_{pe}$$

z_e je referenční výška pro vnější tlak (viz níže zvlášť pro svislé stěny a plochy střechy)

C_{pe} je součinitel vnějšího tlaku

$q_p(z_e)$ je maximální dynamický tlak v referenční výšce

Součinitelé vnějšího tlaku

Velikost součinitelů C_{pe} závisí na velikosti zatížení plochy A :

- pro plochy o velikosti do 1 m² platí, že $C_{pe} = C_{pe,1}$
- pro plochy o velikosti nad 10 m² platí, že $C_{pe} = C_{pe,10}$
- pro plochy o velikosti mezi 1 a 10 m² platí, že $C_{pe} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \cdot \log_{10} A$

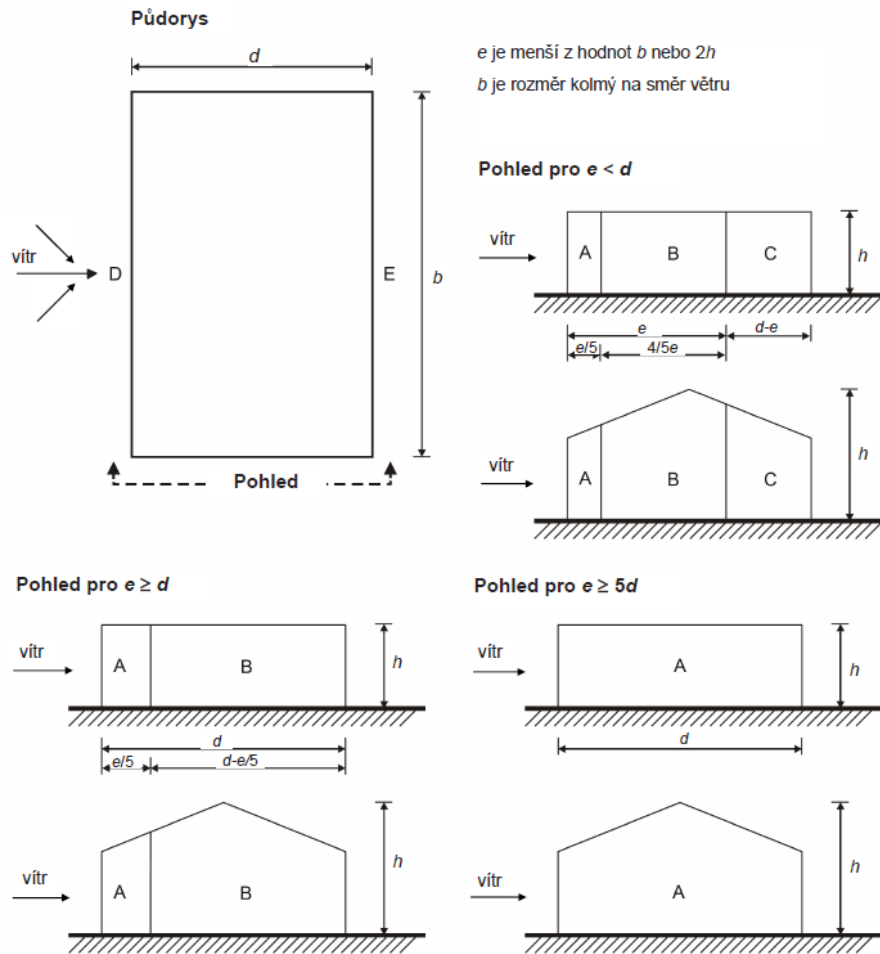
Kladné hodnoty součinitele C_{pe} značí tlak větru, záporné hodnoty sání větru.

Pozn: Z pravidla pro výpočet celkového zatížení větrem nosné konstrukce pozemních staveb se používají hodnoty $C_{pe,10}$. Hodnoty $C_{pe,1}$ slouží pro navrhování malých a upevňovacích prvků s plochou do 1 m².

7.3.8 Tlak větru na svislé stěny

Rozdělení svislých stěn do oblastí

U pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem dělíme jednotlivé svislé stěny do oblastí **A až E** (viz obrázek níže), přičemž **oblast D** tvoří zpravidla **návětrná** stěna (stěna kolmá na směr větru přímo vystavená tlaku větru) a **oblast E** tvoří **závětrná** stěna (stěna kolmá na směr větru vystavená sání větru). Oblast A (případně B a C) náleží stěnám rovnoběžným se směrem větru.

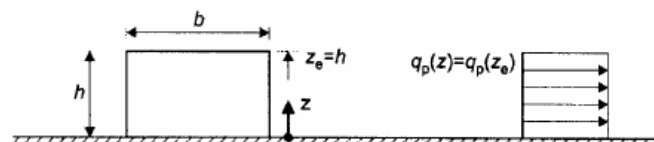


Referenční výška budovy

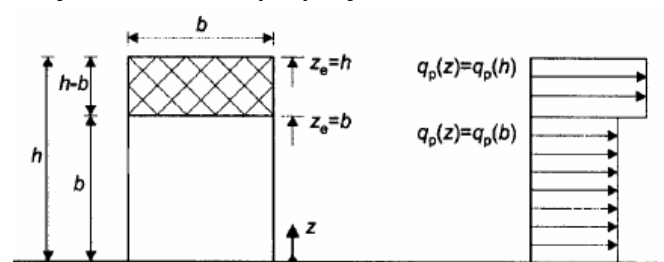
Referenční výška z_e pro návětrné stěny budov s pravoúhlým půdorysem závisí na poměru h/b (šířkou b se rozumí šířka návětrné stěny, tedy stěny kolmé na směr působení větru) a výšce h vztažené od země k hornímu okraji příslušné stěny.

Rozlišují se 3 základní případy:

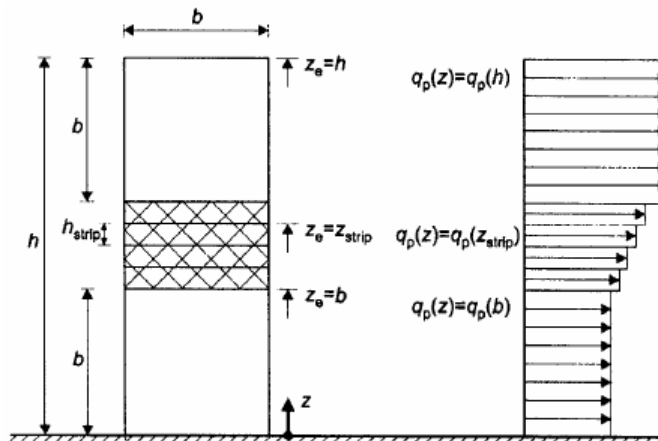
- pozemní stavby, u nichž platí, že $h \leq b$, se mají uvažovat jako jedna část s referenční výškou $z_e = h$



- pozemní stavby, u nichž platí, že $b < h \leq 2b$, se mají uvažovat jako dvě části, přičemž:
 - do výšky odpovídající šířce b je uvažována referenční výška $z_e = b$
 - od výšky odpovídající šířce b do výšky h je uvažována referenční výška $z_e = h$



- pozemní stavby, u nichž platí, že $\hat{h} > 2b$, se mají uvažovat jako dvě části, přičemž:
 - do výšky odpovídající šířce b je uvažována referenční výška $z_e = b$
 - od výšky $h-b$ do výšky h je uvažována referenční výška $z_e = h$
 - mezilehlá oblast lze rozdělit do pásů o výšce h_{strip} , přičemž referenční výška z_e jednotlivých pásů se uvažuje od úrovně terénu po horní hranu dílčího pásu



Hodnoty součinitelů C_{pe}

Doporučené hodnoty součinitelů C_{pe} pro svislé stěny jsou uvedeny v tabulce.

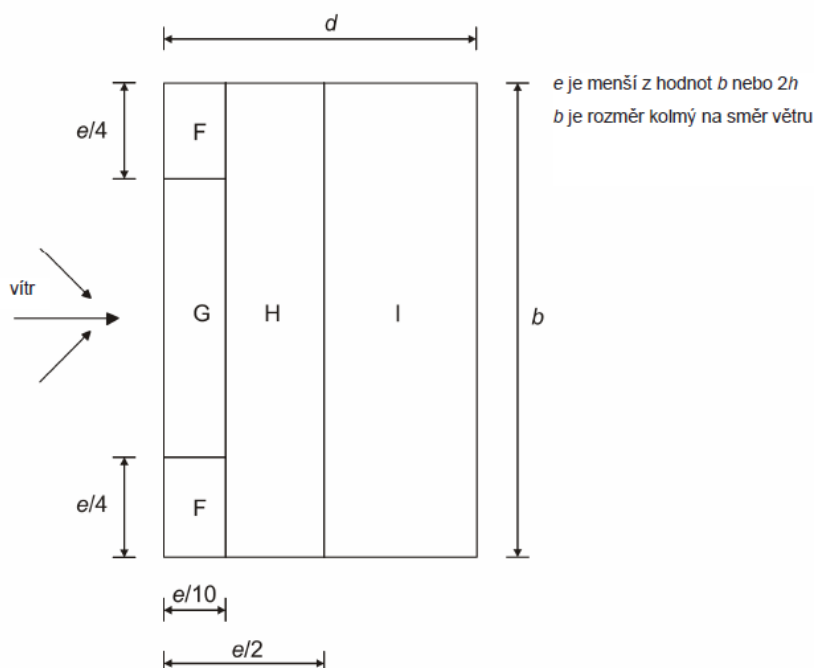
Tabulka Součinitelů C_{pe} pro svislé stěny pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem

Oblast	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

7.3.9 Tlak větru na ploché střechy

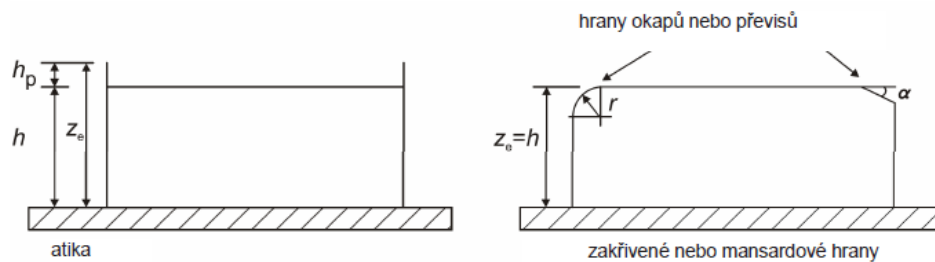
Rozdělení střešní plochy do oblastí

U pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem je plochá střecha rozdělena do oblastí **F až I**.



Referenční výška budovyReferenční výška z_e se uvažuje:

- u ploché střechy a ploché střechy se zakřivenými nebo mansardovými hranami jako $z_e = h$
- u ploché střechy s atikou o výšce h_p jako $z_e = h + h_p$

**Hodnoty součinitelů C_{pe}** Doporučené hodnoty součinitelů C_{pe} pro ploché střechy jsou uvedeny v tabulce.**Tabulka** Součinitelů C_{pe} pro ploché střechy

Typ střechy		Oblasti							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Ostré hrany		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+ 0,2	- 0,2
S atikou	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+ 0,2	- 0,2
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+ 0,2	- 0,2
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+ 0,2	- 0,2
Zakřivené hrany	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+ 0,2	- 0,2
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+ 0,2	- 0,2
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+ 0,2	- 0,2
Mansardové hrany	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+ 0,2	- 0,2
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+ 0,2	- 0,2
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+ 0,2	- 0,2

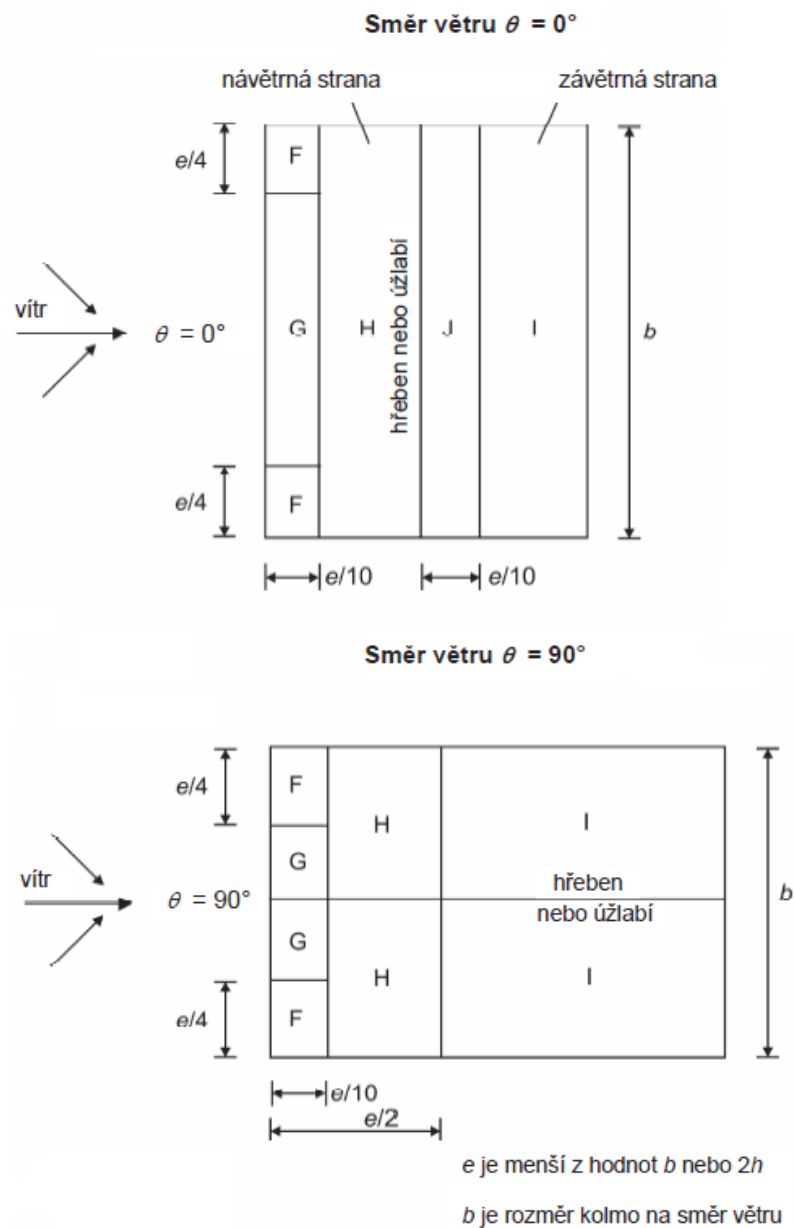
POZNÁMKY

- 1 Pro střechy s atikou nebo se zakřivenými okraji lze použít lineární interpolaci pro mezilehlé hodnoty h_p/h a r/h .
- 2 Pro střechy s mansardovými okraji lze použít lineární interpolaci mezi hodnotami $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ a $\alpha = 60^\circ$. Pro $\alpha > 60^\circ$ se lineárně interpoluje mezi hodnotami pro $\alpha = 60^\circ$ a hodnotami pro ploché střechy s ostrými hranami.
- 3 V oblasti I, kde jsou dány kladné a záporné hodnoty, musí být uváženy obě hodnoty.
- 4 Pro mansardové hrany samotné jsou součinitele vnějšího tlaku uvedeny v tabulce 7.4a „Součinitele vnějšího tlaku pro sedlové střechy: směr větru 0° “, oblast F a G, v závislosti na úhlu sklonu mansardového okraje.
- 5 Pro samotné zakřivené hrany se součinitele vnějšího tlaku stanovují lineární interpolací podél křivky mezi hodnotami na stěně a na střeše.

7.3.10 Tlak větru na sedlové střechy

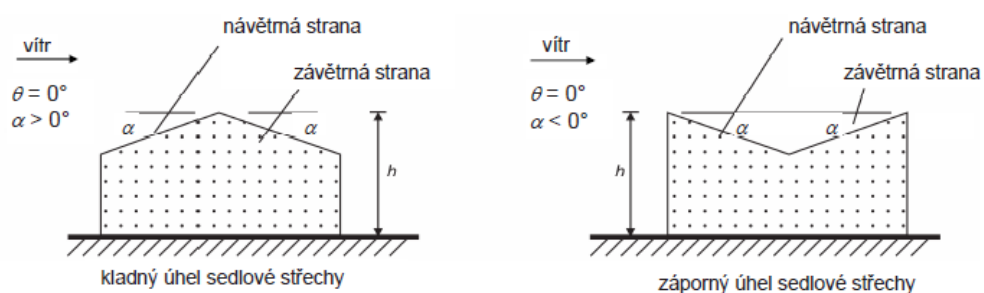
Rozdělení střešní plochy do oblastí

U pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem je sedlová střecha rozdělena do oblastí **F až I**.



Referenční výška budovy

Referenční výška z_e se uvažuje jako výška střechy v úrovni hřebene (u kladného úhlu sklonu sedlové střechy) nebo jako výška v úrovni okapu (u záporného úhlu sklonu sedlové střechy).



Hodnoty součinitelů C_{pe} Doporučené hodnoty součinitelů C_{pe} pro sedlové střechy jsou uvedeny v tabulce.**Tabulka** Součinitelů C_{pe} pro sedlové střechy

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	+0,0		+0,0		+0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

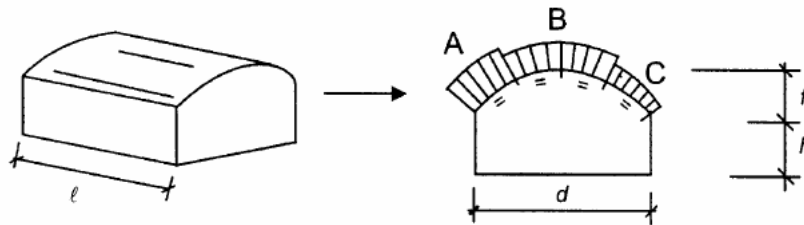
POZNÁMKA 1 Při $\theta = 0^\circ$ se tlaky prudce mění mezi kladnými a zápornými hodnotami pro úhly sklonu přibližně $\alpha = -5^\circ$ až $+45^\circ$; proto jsou uvedeny kladné a záporné hodnoty. Pro tyto střechy se mají uvažovat čtyři případy, ve kterých největší a nejmenší hodnoty ze všech oblastí F, G, a H jsou kombinovány s největšími a nejmenšími hodnotami v oblastech I a J. Na stejné straně nelze použít smíšené kladné a záporné hodnoty.

POZNÁMKA 2 Pro mezilehlé úhly sklonu se stejným znaménkem lze použít lineární interpolaci mezi hodnotami se stejným znaménkem. (Není dovoleno interpolovat mezi $\alpha = +5^\circ$ a $\alpha = -5^\circ$, ale použijí se hodnoty pro ploché střechy podle 7.2.3). Hodnoty 0,0 jsou uvedeny pro potřeby interpolace.

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

7.3.11 Tlak větru na válcové střechy**Rozdělení střešní plochy do oblastí**

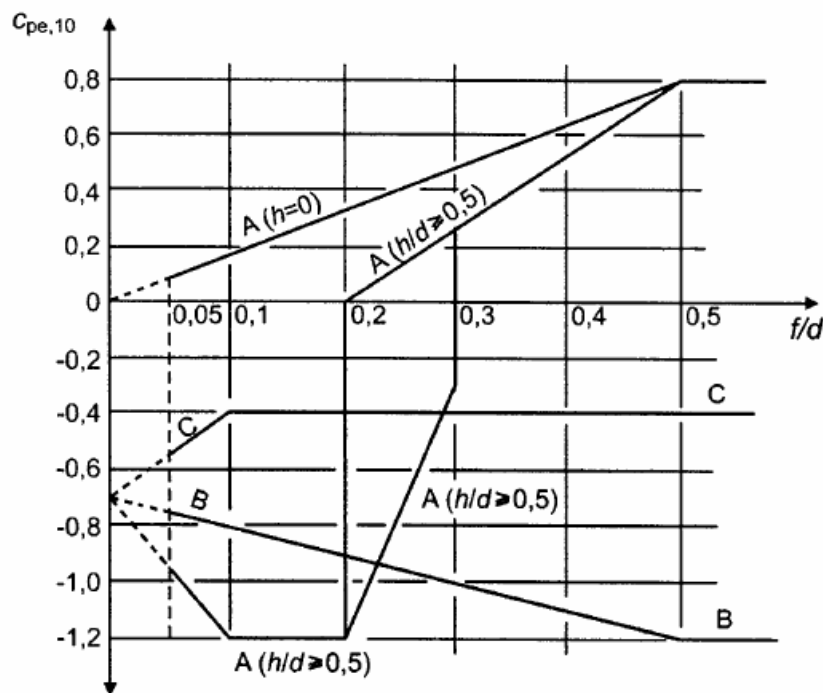
U pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem je válcová (klenbová) střecha rozdělena do oblastí **A až C** (pozor, stejné označení je i pro svislé stěny, které mají jiné součinitele).

**Referenční výška budovy**

Referenční výška z_e se uvažuje jako výška střechy v úrovni vrcholu klenby.

Hodnoty součinitelů C_{pe}

Doporučené hodnoty součinitelů C_{pe} pro válcové střechy se určí z následujícího grafu:



Pro $0 < h/d < 0,5$ se $C_{pe,10}$ získá lineární interpolací;

Pro $0,2 \leq t/d \leq 0,3$ a $h/d \geq 0,5$ musí být uváženy dvě hodnoty $C_{pe,10}$;

7.3.12 Síly od větru působící na konstrukci

Sílu od větru působící na konstrukci nebo nosný prvek lze získat ze vztahu:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

$c_s c_d$ je součinitel konstrukce

c_f je součinitel síly pro konstrukci nebo nosný prvek

$q_p(z_e)$ je maximální dynamický tlak v referenční výšce

A_{ref} je referenční plocha konstrukce nebo nosného prvku

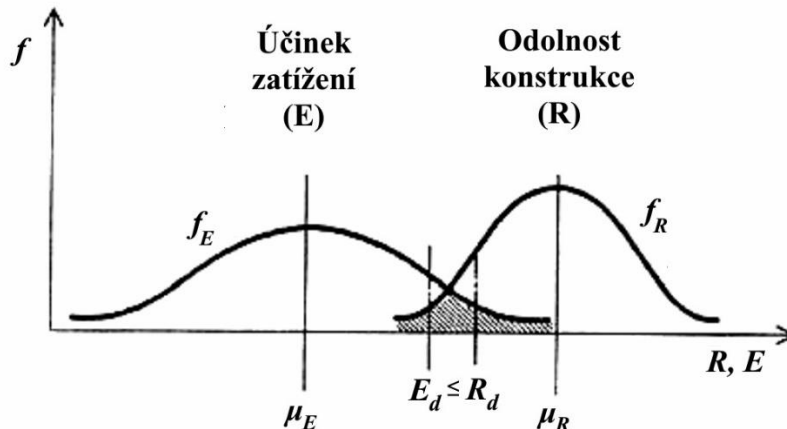
8 Navrhování podle mezních stavů

Posouzení konstrukcí dle evropských norem je založeno na metodě mezních stavů. Jedná se o koncepci posuzování spolehlivosti konstrukcí založenou na pravděpodobnostním přístupu. Konstrukce je z daného hlediska spolehlivá, jestliže je splněna následující podmínka:

$$E_d \leq R_d$$

kde E_d je návrhová hodnota účinků zatížení,

R_d je návrhová hodnota odolnosti konstrukce.



V praxi se při navrhování podle mezních stavů používá metoda dílčích součinitelů. Podmínka spolehlivosti je pak:

$$E_k \cdot \gamma_F \leq R_k / \gamma_m$$

kde E_k je charakteristická hodnota účinků zatížení,

R_k je charakteristická hodnota odolnosti konstrukce,

γ_F je dílčí součinitel vyjadřující rozptyl účinků zatížení,

γ_m je dílčí součinitel vyjadřující rozptyl odolnosti konstrukce.

Rozlišují se dva typy mezních stavů:

- mezní stavy únosnosti
- mezní stavy použitelnosti

Mezní stavy se vztahují k návrhovým situacím, které jsou klasifikovány jako trvalé, dočasné a mimořádné.

Trvalá návrhová situace se vztahuje k podmínkám běžného používání konstrukce.

Dočasná návrhová situace se vztahuje k dočasným podmínkám, kterým je konstrukce vystavena (např. během výstavby nebo opravy)

Mimořádná návrhová situace se vztahuje k výjimečným podmínkám, kterým je konstrukce vystavena (např. požár, výbuch, náraz).

Samostatnou návrhovou situací je také **seismická návrhová situace** vztahující se k podmínkám, kterým je konstrukce vystavena během seismických událostí.

8.1 Mezní stavy únosnosti

Překročení mezních stavů únosnosti má za následek porušení a/nebo zřícení konstrukce jako celku nebo její části.

Při návrhu konstrukce se musí uvažovat následující mezní stavy únosnosti:

- **EQU: Ztráta stability konstrukce jako celku** (např. překlopení opěrné zdi)
- **STR: Porušení prvků konstrukce vyčerpáním jejich pevnosti** (porušená v tlaku, přetržení, lom, ztráta stability – např. vzpěr tlačeního prutu, apod.)
- **GEO: Porušení základové půdy** (v případě, že pevnost zeminy nebo skalního podloží jsou významné pro únosnost)
- **FAT: Porucha vyvolaná únavou** (cyklické namáhání konstrukcí)

8.2 Mezní stavy použitelnosti

Mezní stavy použitelnosti reprezentují limitní namáhání konstrukcí z hlediska funkce konstrukce nebo její části za běžného provozu, pohody osob nebo vzhledu stavby.

Ověření mezních stavů použitelnosti má vycházet z kritérií týkajících se následujících hledisek:

- **deformací**, které ovlivňují vzhled konstrukce, pohodu uživatelů nebo provozuschopnost konstrukce
- **kmitání**, které způsobují nepohodu osob nebo omezují funkční způsobilost konstrukce
- **poškození**, která mohou nepříznivě ovlivnit vzhled, trvanlivost nebo provozuschopnost konstrukce

Rozlišují se **vratné mezní stavy použitelnosti** (nezůstanou překročeny po odstranění zatížení, které jejich překročení vyvolalo) a **nevratné mezní stavy použitelnosti** (zůstanou překročeny i po odstranění zatížení, které bylo příčinou tohoto překročení).

8.3 Charakteristická hodnota zatížení

Charakteristická hodnota zatížení F_k je jeho hlavní reprezentativní hodnotou.

Charakteristická hodnota je stanovena pro:

- **stálá zatížení** jako dolní hodnota $G_{k,inf}$ (5% kvantil statistického normálního rozdělení G) jako horní hodnota $G_{k,sup}$ (95% kvantil statistického normálního rozdělení G)
V případě malé proměnnosti G se může použít jedna průměrná hodnota G_k .
- **proměnná zatížení** jako **horní / dolní hodnota** s určenou pravděpodobností, která nebude překročena během určité referenční doby, nebo jako **nominální hodnota** v případech, kdy není známo statistické rozdělení

8.4 Další reprezentativní hodnoty proměnných zatížení

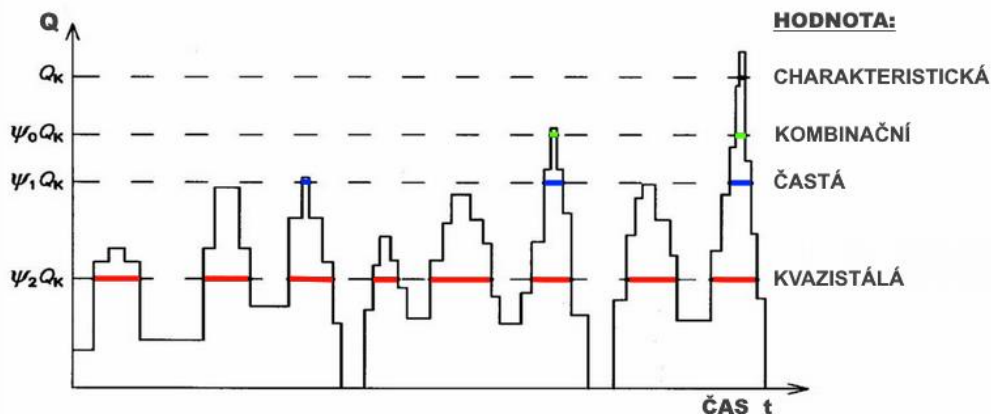
Hlavní reprezentativní hodnotou proměnného zatížení je jeho **charakteristická hodnota Q_k** .

Kombinační hodnota daná součinem $\psi_0 \cdot Q_k$ pro ověřování mezních stavů únosnosti a nevratných mezních stavů použitelnosti. Vyjadřuje redukovanou pravděpodobnost výskytu nepříznivých hodnot několika nezávislých zatížení.

Častá hodnota daná součinem $\psi_1 \cdot Q_k$ pro ověřování mezních stavů únosnosti zahrnujících mimořádná zatížení a při ověřování vratných mezních stavů použitelnosti. Daná hodnota je překročena po dobu 1% referenční doby.

Kvazistálá hodnota daná součinem $\psi_2 \cdot Q_k$ pro ověřování mezních stavů únosnosti zahrnujících mimořádná zatížení a při ověřování vratných mezních stavů použitelnosti. Daná hodnota je překročena po dobu 50% referenční doby.

Pozn.: Referenční doba je zvolený časový úsek, který je základem pro stanovení statisticky proměnných zatížení.



8.5 Návrhová hodnota zatížení

Návrhová hodnota zatížení F_d je definována pomocí **reprezentativní hodnoty zatížení** F_{rep} vynásobené **dílčím součinitelem zatížení** γ_F :

$$F_d = \gamma_F \cdot F_{rep}$$

Dílčí součinitel zatížení γ_F vyjadřuje nepříznivé odchylky hodnot zatížení od reprezentativní hodnoty. Jeho hodnota se liší podle druhu mezního stavu, který je posuzován.

Reprezentativní hodnota zatížení je vyjádřena charakteristickou hodnotou F_k vynásobenou součinitelem ψ :

$$F_{rep} = \psi \cdot F_k$$

Součinitel ψ vyjadřuje zmenšení pravděpodobnosti současného překročení návrhových hodnot u několika zatížení, v porovnání s pravděpodobností překročení návrhové hodnoty u jediného zatížení působící samostatně. Nabývá hodnot buď 1,0, nebo ψ_0 , ψ_1 , ψ_2 .

Návrhové hodnoty zatížení lze sjednocením výše uvedených vztahů určit jako:

- pro **stálá zatížení** (G): $G_d = \gamma_G \cdot G_k$

V případě rozlišování **příznivých a nepříznivých účinků** stálých zatížení se mají uvažovat dva rozdílné součinitele zatížení $\gamma_{G,inf}$ (pro příznivé účinky) a $\gamma_{G,sup}$ (pro nepříznivé účinky).

- pro **proměnná zatížení** (Q): $Q_d = \gamma_Q \cdot \psi \cdot Q_k$

9 Kombinace zatížení

Návrhové účinky zatížení (E_d) se musí pro každý rozhodující zatěžovací stav stanovit prostřednictvím kombinace zatížení, které se mohou vyskytnout současně. Každá kombinace zatížení musí obsahovat buď hlavní proměnné zatížení, nebo mimořádné zatížení.

9.1 Kombinace zatížení pro mezní stavy únosnosti

Kombinace zatížení pro trvalé nebo dočasné návrhové situace

Obecné kombinační pravidlo pro stanovení účinků zatížení:

$$E_d = E \left\{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.9a)$$

Kombinace zatížení v závorkách { } může být upravena buď jako:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

nebo alternativně pro mezní stavy STR a GEO jako méně příznivá kombinace z následujících:

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad (6.10a)$$

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad (6.10b)$$

ξ_j je redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení G

Hodnoty dílčích součinitelů zatížení γ_F :

- pro EQU: $\gamma_{Gj,sup} = 1,10$; $\gamma_{Gj,inf} = 0,90$; $\gamma_Q = 1,5$
- pro STR/GEO: $\gamma_{Gj,sup} = 1,35$; $\gamma_{Gj,inf} = 1,00$; $\gamma_Q = 1,5$; $\xi_j = 0,85$

9.1.1 Kombinace zatížení pro mimořádné návrhové situace

Obecné kombinační pravidlo pro stanovení účinků zatížení:

$$E_d = E \left\{ G_{k,j}; P; A_d; (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) Q_{k,1}; \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.11a)$$

Kombinace zatížení v závorkách { } může být upravena buď jako:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.11b)$$

9.2 Kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti

9.2.1 Charakteristická kombinace

Obecné kombinační pravidlo pro stanovení účinků zatížení:

$$E_d = E \left\{ G_{k,j}; P; Q_{k,1}; \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.14a)$$

Kombinace zatížení v závorkách { } může být upravena buď jako:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

9.2.2 Častá kombinace

Obecné kombinační pravidlo pro stanovení účinků zatížení:

$$E_d = E \left\{ G_{k,j}; P; \psi_{1,1} Q_{k,1}; \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.15a)$$

Kombinace zatížení v závorkách { } může být upravena buď jako:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

9.2.3 Kvazistálá kombinace

Obecné kombinační pravidlo pro stanovení účinků zatížení:

$$E_d = E\{G_{k,j}; P; \psi_{2,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i \geq 1 \quad (6.16a)$$

Kombinace zatížení v závorkách { } může být upravena buď jako:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.16b)$$

Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby jsou uvedeny v tab. A1.1.

Tabulka A1.1 – Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-1)			
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: dopravní plochy tíha vozidla ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy 30 kN < tíha vozidla ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: střechy	0	0	0
Zatížení sněhem (viz EN 1991-1-3) ^{*)}			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H > 1\,000$ m n.m.	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1\,000$ m n.m.	0,5	0,2	0
Zatížení větrem (viz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
POZNÁMKA Hodnoty ψ mohou být stanoveny v národní příloze.			
*) Pro země, které zde nejsou uvedené, se součinitele ψ stanoví podle místních podmínek.			

Použitá literatura

- [1] ČSN EN 1990 - Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení větrem
- [5] M. Pilgr, *Podklady do cvičení BO01*

Poděkování

Děkuji svému kolegovi Ing. Milanu Pilgrovi, Ph.D. za poskytnutí souhlasu k využití některých částí z jeho zpracovaných studijních materiálů (*Podklady do cvičení BO01* [5]), které se v upravené formě objevují v kapitolách 3, 4 a 5 tohoto dokumentu.