

ZÁKLADY STAVITELSTVÍ

6. Přednáška

**Principy navrhování stavebních
konstrukcí a stavební normy**

Ing. Tomáš Kadlíček, Ph.D.

OBSAH

- **METODY NÁVRHU STAVEBNÍ KONSTRUKCE**
- **SPOLEHLIVOST**
- **ZATÍŽENÍ**
- **MEZNÍ STAVY**

- **METODY NÁVRHU STAVEBNÍ KONSTRUKCE**
- **SPOLEHLIVOST**
- **ZATÍŽENÍ**
- **MEZNÍ STAVY**

ČESKÉ TECHNICKÉ NORMY

- Novela zákona 22/1997 Sb. uvádí:

§4 České technické normy

(1) Česká technická norma je dokument schválený Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (dále jen "Úřad") pro opakované nebo stálé použití vytvořený podle tohoto zákona a označený písmenným označením ČSN, jehož vydání bylo oznámeno ve Věstníku Úřadu. **Česká technická norma není obecně závazná.**

(2) Soustavu českých technických norem tvoří

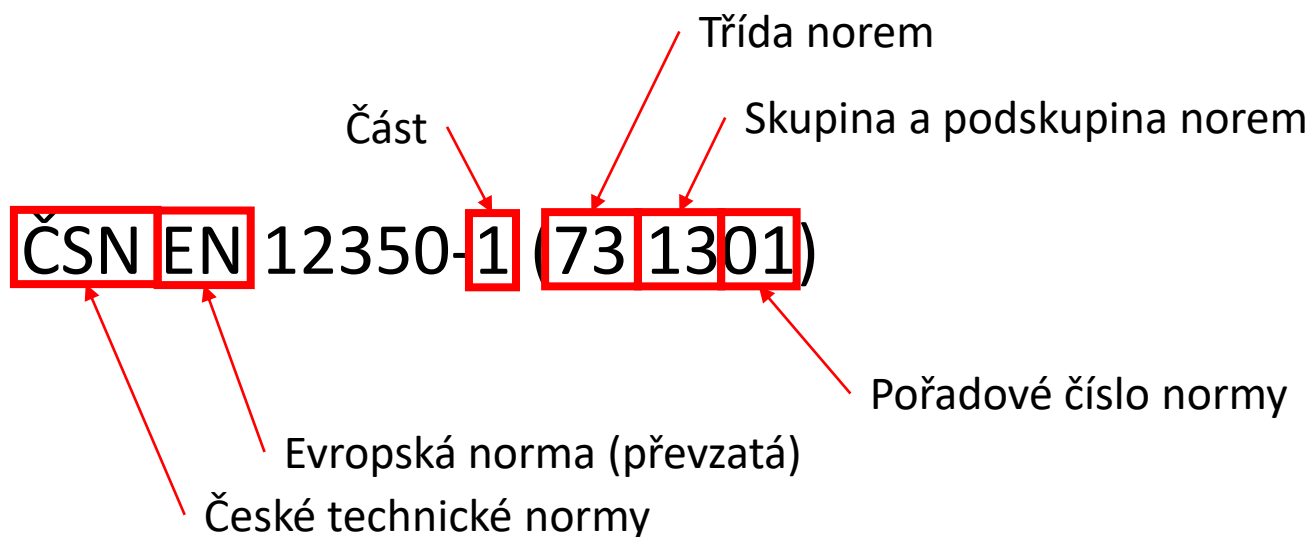
- a) původní české technické normy,
- b) evropské či mezinárodní normy přejaté překladem a
- c) evropské či mezinárodní normy přejaté v původním jazyce nebo přejaté schválením k přímému používání.

- I když nejsou České stavební normy obecně závazné, může být jejich dodržování vynuceno **právním předpisem, smlouvou, rozhodnutím právního orgánu**. Jejich dodržování je doporučeno, jelikož je tak zaručeno dosažení minimálních požadavků na stavbu.
- Stavební **normy nejsou volně dostupné**. Jejich distribuci řídí Česká agentura pro standardizaci vzhledem k aktuálnímu ceníku.

Zkoušení čerstvého betonu - Část 1: Odběr vzorků a zkušební zařízení

ČSN EN 12350-1 (73 1301)

Zkoušení čerstvého betonu - Část 1: Odběr vzorků a zkušební zařízení



ČESKÉ TECHNICKÉ NORMY

- Komise evropského společenství se v roce 1975 usnesla na vytvoření programu z oboru stavebnictví, který vycházel z článku 95 Římské smlouvy. Cílem programu bylo odstranění technických překážek bránících obchodu a harmonizaci technických požadavků.
- **Eurokódy** tvoří soubor technických pravidel pro návrh pozemních a inženýrských staveb, které v konečném důsledku nahradily technické normy jednotlivých členských států.
- Evropská komise s pomocí Řídicího výboru po 15 let vedla vývoj Eurokódů, které vedly k jejím prvním vydání v 80. letech. V roce 1989 se usnesla Evropská komise s CEN na Zvláštní dohodě (BC/CEN/03/89) jenž stanovila, že Eurokódy budou sloužit jako referenční dokument, který bude uznáný správními orgány členských států.
- Zamýšlenými přínosy Eurokódů je:
 - Poskytnout jednotné porozumění a přístup k návrhu konstrukce mezi vlastníkem, obsluhou, uživatelem, projektantem, stavitelem a výrobcem
 - Poskytnout jednotné projekční kritéria a metody užité pro splnění předepsaných požadavků pro mechanickou odolnost, stabilitu a požární odolnost.
 - Usnadnit prodej a použití konstrukčních součástí a vybavy v členských státech
 - Usnadnit prodej a použití materiálů a produktů jejich vlastnosti vstupují do výpočtů
 - Společný základ pro výzkum a vývoj
 - Usnadnit přípravu jednotných návrhových pomůcek a programů
 - Pomoci podnikům, evropského stavebního průmyslu, dodavatelům, projektantům a výrobcům v jejich celosvětových aktivitách a zvýšit jejich konkurenceschopnost

ČESKÉ TECHNICKÉ NORMY

Technické stavební normy sloužící pro návrh a posouzení stavebních konstrukcí:

- ČSN-EN 1990 – Eurocode 0: Zásady navrhování
- ČSN-EN 1991 - Eurocode 1: Zatížení konstrukcí
- ČSN-EN 1992 - Eurocode 2: Navrhování betonových konstrukcí
- ČSN-EN 1993 - Eurocode 3: Navrhování ocelových konstrukcí
- ČSN-EN 1994 - Eurocode 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí
- ČSN-EN 1995 - Eurocode 5: Navrhování dřevěných konstrukcí
- ČSN-EN 1996 - Eurocode 6: Navrhování zděných konstrukcí
- ČSN-EN 1997 - Eurocode 7: Navrhování geotechnických konstrukcí
- ČSN-EN 1998 - Eurocode 8: Návrh konstrukcí odolných vůči zemětřesení
- ČSN-EN 1999 - Eurocode 9: Návrh hliníkových konstrukcí

*ČSN – Česká verze evropské normy. EN normy mají společný obsah. Specifické požadavky, hodnoty zatížení a bezpečností součinitelé jsou stanoveny v **národních přílohách (NA)** jako tzv. **národně stanovené parametry**. To je možné pouze u parametrů, jejichž hodnoty byly přenechány na členských státech.*

METODY NÁVRHU STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

- Dovolená namáhání
- Stupně bezpečnosti
- Pravděpodobnostní metody
- Metoda dílčích součinitelů (Eurokódy)

METODY NÁVRHU STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ:

METODA DOVOLENÝCH NAMÁHÁNÍ

- Jednalo se o první světově rozšířenou návrhovou metodu, jenž byla založena na teorii lineární elasticity.
- Základní návrhovou rovnicí tohoto přístupu je

$$\sigma_{max} \leq \frac{\sigma_{pov}}{k}$$

- Koeficient k ($k > 1$) je jediným přímým opatřením majícím za cíl zahrnout všechny možné nejistoty spojené s návrhem konstrukce.
- Jelikož se material při návrhu konstrukce pohybuje pouze v **elastických mezích**, je návrh konstrukce často konzervativní, a tedy nehospodárný.
- Velkým nedostatkem této metody je neschopnost vyhodnotit variability, které se mohou vyskytnout u veličin spojených s návrhem (variabilita zatížení, proměnlivost materiálu, proměnlivost v geometrii,...)

METODY NÁVRHU STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ:

METODA STUPNĚ BEZPEČNOSTI

- Metoda je založena na podmínce spojující odolnosti konstrukce R a zatížení konstrukce E

$$s = \frac{R}{E} > s_0$$

- Určený stupeň bezpečnosti s tak musí být vyšší než požadovaný **stupeň bezpečnosti** s_0 , který se liší jak pro konstrukce, tak pro způsoby namáhání.
- Odolnost konstrukce R bylo možné stanovit pro prvek nebo průřez
- Bezpečnost prvku je určena jediným stupněm bezpečnosti s_0 . Stupeň bezpečnosti tak rovněž nemůže zohlednit variabilitu ve vlastnostech materiálu, geometrie atd.

METODY NÁVRHU STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ:

PRAVDĚPODOBNOSTNÍ METODY

- Pravděpodobnostní metody jsou založeny na předpokladu, že **pravděpodobnost porušení** konstrukce P_f , která je definovaná na celou životnost konstrukce, nepřekročí její návrhovou hodnotu P_d

$$P_f < P_d$$

- Podmínku je rovněž možno definovat pomocí **indexu spolehlivosti** β jako (β_d a P_f jsou vzájemně závislé)

$$\beta < \beta_d$$

- U životnosti konstrukce 50 let vycházejí **Eurokódy** z indexu spolehlivosti pro **stavy spojené s porušením konstrukce** $\beta_d = 3,8$, což odpovídá pravděpodobnosti porušení

$$P_d = 7,2 \times 10^{-5}$$

- pro **stavy spojené s použitelností konstrukce** $\beta_d = 1,5$, což odpovídá pravděpodobnosti ztráty použitelnosti

$$P_d = 6,7 \times 10^{-2}$$

METODY NÁVRHU STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ:

METODA DÍLČÍCH SOUČINITELŮ (ang. Partial safety factors method)

- Tato metoda bývá často označována jako **Metoda mezních stavů**, se kterými je v *Eurokódech* aplikována
- Jedná o kvazi-pravděpodobnostní metodu, která je obecně definována jako nerovnost mezi **návrhovými** hodnotami působících vlivů E_d a **návrhové** odolnosti konstrukce R_d jako

$$E_d(F_d, f_d, a_d, \theta_d) < R_d(F_d, f_d, a_d, \theta_d),$$

kde návrhové hodnoty veličin F_d, f_d, a_d a θ_d vycházejí z jejich **charakteristických** hodnot. Typickým příkladem výpočtu **návrhové** hodnoty zatížení F_d je

$$F_d = \psi \gamma_F F_k,$$

kde F_k je charakteristická hodnota zatížení, γ_F dílčí součinitel zatížení a ψ kombinační součinitel. **Návrhové** hodnoty materiálu f_d jsou určeny jako

$$f_d = f_k / \gamma_f,$$

kde f_k reprezentuje **charakteristickou** hodnotu materiálu a γ_f dílčí součinitel materiálu.

- Obsah přednášky je věnován právě této metodě návrhu konstrukce.

- **METODY NÁVRHU STAVEBNÍ KONSTRUKCE**
- **SPOLEHLIVOST**
- **ZATÍŽENÍ**
- **MEZNÍ STAVY**

- METODY NÁVRHU STAVEBNÍ KONSTRUKCE
- **SPOLEHLIVOST**
- ZATÍŽENÍ
- MEZNÍ STAVY

SPOLEHLIVOST

Je všeobecně známo, že stavební díla jsou složité technické systémy, které trpí řadou významných nejistot ve všech fázích provádění a užívání. V závislosti na povaze stavby, podmínkách prostředí a použitých činnostech se různé typy nejistot stávají významnějšími než ostatní. Následující typy nejistot lze obecně identifikovat:

- přirozená náhodnost akcí (např. zatížení), materiálových vlastností a geometrických dat
- statistické nejistoty způsobené omezeným rozsahem dostupných údajů
- nejistoty modelů odolnosti a účinků zatížení v důsledku zjednodušení skutečných podmínek
- neurčitost v důsledku nepřesných definic požadavků na výkon
- hrubé chyby v návrhu, při provádění a používání
- nedostatek znalostí o chování nových materiálů a činností ve skutečném prostředí podmínkách

SPOLEHLIVOST

Schopnost konstrukce splnit dané požadavky za stanovených podmínek během **doby její předpokládané životnosti**. V kvantitativním smyslu může být spolehlivost definována jako doplněk **pravděpodobnosti poruchy**.

SPOLEHLIVOST

Teorie strukturální spolehlivosti považuje všechny základní veličiny za náhodné veličiny $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ s příslušnými typy rozdělení pravděpodobnosti. Různé typy rozdělení se uvažují pro působení zatížení, materiálových vlastností a geometrické údaje. Kromě toho, by se měli zohlednit nejistoty plynoucí z nepřesností použitých statistických modelů.

SPOLEHLIVOST

Teorie strukturální spolehlivosti považuje všechny základní veličiny za náhodné veličiny $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ s příslušnými typy rozdělení pravděpodobnosti. Různé typy rozdělení se uvažují pro působení zatížení, **materiálových vlastností a geometrické údaje**. Kromě toho by se měli zohlednit nejistoty plynoucí z nepřesností použitých statistických modelů.

Výsledky tahové zkoušky, Zdroj: Handbook 1: Basis of structural design

n	d	σ_Y	σ_m	n	d	σ_Y	σ_m	n	d	σ_Y	σ_m	n	n	σ_Y	σ_m
1	7,98	816	924	13	7,98	832	949	25	8	818	907	37	7,98	829	930
2	8	845	944	14	7,98	811	932	26	7,98	828	940	38	7,98	810	904
3	8	832	948	15	7,97	840	937	27	7,99	817	941	39	7,96	832	925
4	7,99	830	925	16	8	839	934	28	7,97	851	959	40	7,99	823	916
5	7,98	846	969	17	8	855	943	29	7,98	855	970	41	7,98	826	957
6	7,95	821	937	18	7,98	830	928	30	7,99	847	947	42	8	829	931
7	7,98	826	928	19	8	833	934	31	7,98	822	921	43	7,98	815	910
8	7,99	822	934	20	7,98	826	934	32	7,98	836	925	44	7,98	826	942
9	7,96	841	956	21	7,98	836	942	33	7,97	830	945	45	8	823	932
10	7,99	807	946	22	7,98	843	948	34	7,99	830	938				
11	7,97	831	942	23	7,98	840	937	35	7,98	845	945				
12	7,98	830	926	24	8	847	928	36	8	829	934				

SPOLEHLIVOST

Teorie strukturální spolehlivosti považuje všechny základní veličiny za náhodné veličiny $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ s příslušnými typy rozdělení pravděpodobnosti. Různé typy rozdělení se uvažují pro působení zatížení, **materiálových vlastností a geometrické údaje**. Kromě toho by se měli zohlednit nejistoty plynoucí z nepřesností použitých statistických modelů.

Výsledky tahové zkoušky, Zdroj: Handbook 1: Basis of structural design

<i>n</i>	<i>d</i>	σ_Y	σ_m	<i>n</i>	<i>d</i>	σ_Y	σ_m	<i>n</i>	<i>d</i>	σ_Y	σ_m	<i>n</i>	<i>n</i>	σ_Y	σ_m
1	7,98	816	924	13	7,98	832	949	25	8	818	907	37	7,98	829	930
2	8	845	944	14	7,98	811	932	26	7,98	828	940	38	7,98	810	904
3	8	832	948	15	7,97	840	937	27	7,99	817	941	39	7,96	832	925
4	7,99	830	925	16	8	839	934	28	7,97	851	959	40	7,99	823	916
5	7,98	846	969	17	8	855	943	29	7,98	855	970	41	7,98	826	957
6	7,95	821	937	18	7,98	830	928	30	7,99	847	947	42	8	829	931
7	7,98	826	928	19	8	833	934	31	7,98	822	921	43	7,98	815	910
8	7,99	822	934	20	7,98	826	934	32	7,98	836	925	44	7,98	826	942
9	7,96	841	956	21	7,98	836	942	33	7,97	830	945	45	8	823	932
10	7,99	807	946	22	7,98	843	948	34	7,99	830	938				
11	7,97	831	942	23	7,98	840	937	35	7,98	845	945				
12	7,98	830	926	24	8	847	928	36	8	829	934				

Náhodné veličiny se často zobrazují pomocí spojitého **normálního rozdělení**, jehož funkce je popsána

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

μ – střední hodnota
 σ – směrodatná odchylka

funkce je symetrická.

SPOLEHLIVOST

Teorie strukturální spolehlivosti považuje všechny základní veličiny za náhodné veličiny $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ s příslušnými typy rozdělení pravděpodobnosti. Různé typy rozdělení se uvažují pro působení zatížení, **materiálových vlastností a geometrické údaje**. Kromě toho by se měli zohlednit nejistoty plynoucí z nepřesností použitých statistických modelů.

Výsledky tahové zkoušky, Zdroj: Handbook 1: Basis of structural design

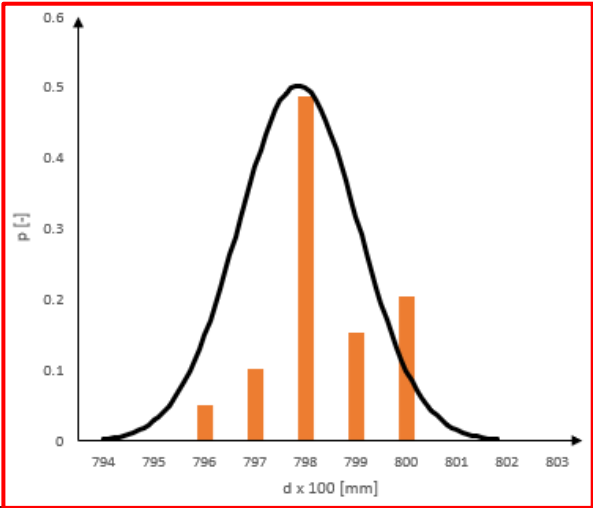
<i>n</i>	<i>d</i>	σ_Y	σ_m	<i>n</i>	<i>d</i>	σ_Y	σ_m	<i>n</i>	<i>d</i>	σ_Y	σ_m	<i>n</i>	<i>n</i>	σ_Y	σ_m
1	7,98	816	924	13	7,98	832	949	25	8	818	907	37	7,98	829	930
2	8	845	944	14	7,98	811	932	26	7,98	828	940	38	7,98	810	904
3	8	832	948	15	7,97	840	937	27	7,99	817	941	39	7,96	832	925
4	7,99	830	925	16	8	839	934	28	7,97	851	959	40	7,99	823	916
5	7,98	846	969	17	8	855	943	29	7,98	855	970	41	7,98	826	957
6	7,95	821	937	18	7,98	830	928	30	7,99	847	947	42	8	829	931
7	7,98	826	928	19	8	833	934	31	7,98	822	921	43	7,98	815	910
8	7,99	822	934	20	7,98	826	934	32	7,98	836	925	44	7,98	826	942
9	7,96	841	956	21	7,98	836	942	33	7,97	830	945	45	8	823	932
10	7,99	807	946	22	7,98	843	948	34	7,99	830	938				
11	7,97	831	942	23	7,98	840	937	35	7,98	845	945				
12	7,98	830	926	24	8	847	928	36	8	829	934				

Náhodné veličiny se často zobrazují pomocí spojitého **normálního rozdělení**, jehož funkce je popsána

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

μ – střední hodnota
 σ – směrodatná odchylka

funkce je symetrická.



SPOLEHLIVOST

Teorie strukturální spolehlivosti považuje všechny základní veličiny za náhodné veličiny $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ s příslušnými typy rozdělení pravděpodobnosti. Různé typy rozdělení se uvažují pro působení zatížení, **materiálových vlastností a geometrické údaje**. Kromě toho by se měli zohlednit nejistoty plynoucí z nepřesností použitých statistických modelů.

Výsledky tahové zkoušky, Zdroj: Handbook 1: Basis of structural design

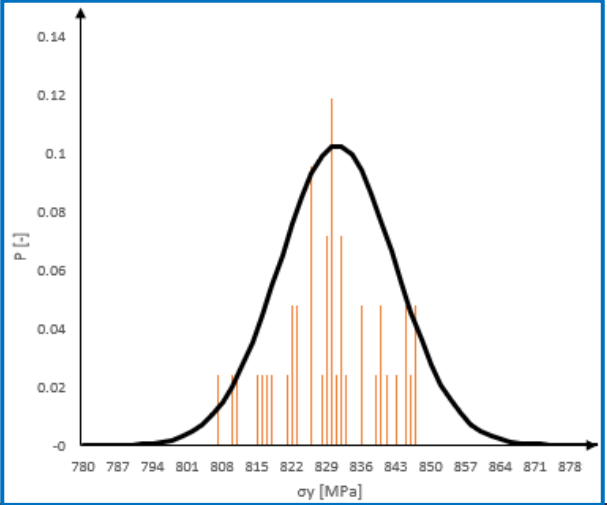
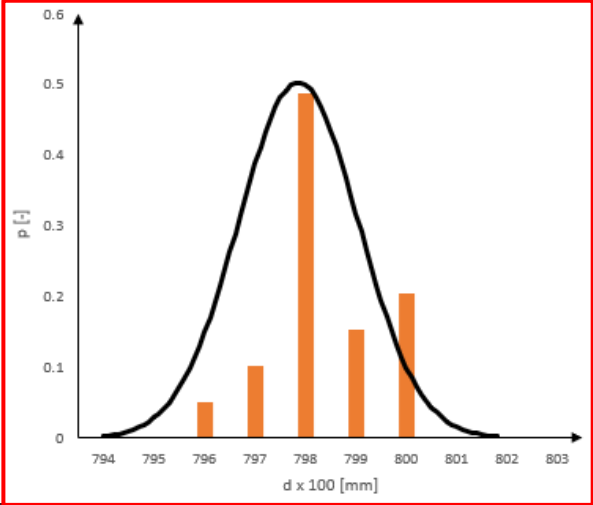
<i>n</i>	<i>d</i>	σ_Y	σ_m	<i>n</i>	<i>d</i>	σ_Y	σ_m	<i>n</i>	<i>d</i>	σ_Y	σ_m	<i>n</i>	<i>n</i>	σ_Y	σ_m
1	7,98	816	924	13	7,98	832	949	25	8	818	907	37	7,98	829	930
2	8	845	944	14	7,98	811	932	26	7,98	828	940	38	7,98	810	904
3	8	832	948	15	7,97	840	937	27	7,99	817	941	39	7,96	832	925
4	7,99	830	925	16	8	839	934	28	7,97	851	959	40	7,99	823	916
5	7,98	846	969	17	8	855	943	29	7,98	855	970	41	7,98	826	957
6	7,95	821	937	18	7,98	830	928	30	7,99	847	947	42	8	829	931
7	7,98	826	928	19	8	833	934	31	7,98	822	921	43	7,98	815	910
8	7,99	822	934	20	7,98	826	934	32	7,98	836	925	44	7,98	826	942
9	7,96	841	956	21	7,98	836	942	33	7,97	830	945	45	8	823	932
10	7,99	807	946	22	7,98	843	948	34	7,99	830	938				
11	7,97	831	942	23	7,98	840	937	35	7,98	845	945				
12	7,98	830	926	24	8	847	928	36	8	829	934				

Náhodné veličiny se často zobrazují pomocí spojitého **normálního rozdělení**, jehož funkce je popsána

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

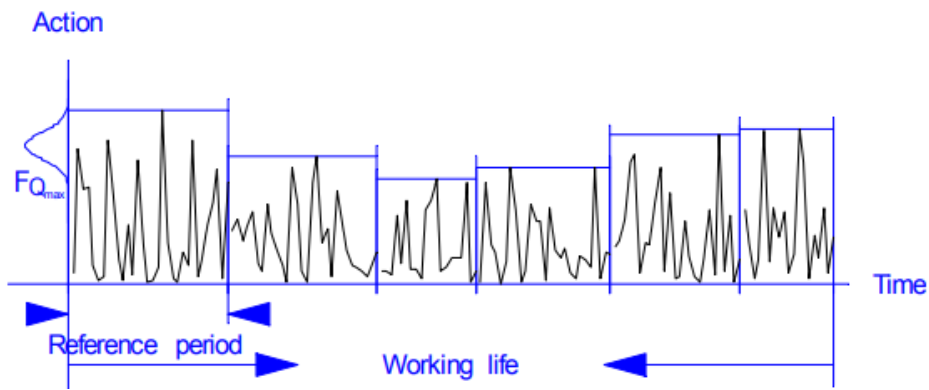
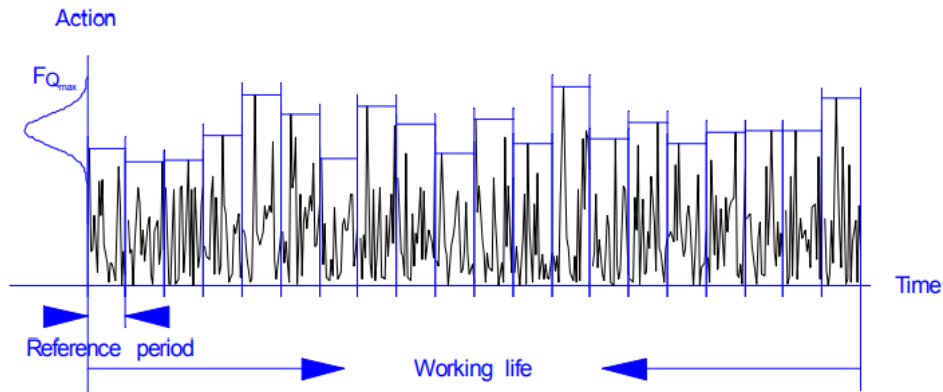
μ – střední hodnota
 σ – směrodatná odchylka

funkce je symetrická.



SPOLEHLIVOST

Teorie strukturální spolehlivosti považuje všechny základní veličiny za náhodné veličiny $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ s příslušnými typy rozdělení pravděpodobnosti. Různé typy rozdělení se uvažují pro **působení zatížení**, materiálových vlastností a geometrické údaje. Kromě toho by se měli zohlednit nejistoty plynoucí z nepřesností použitých statistických modelů.

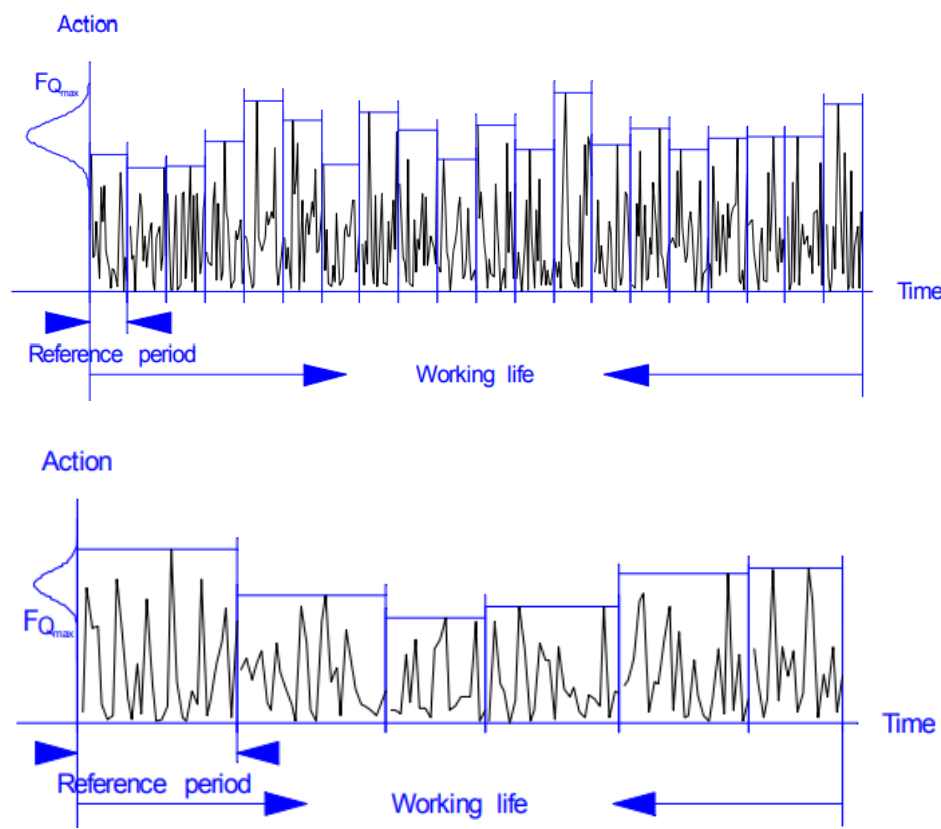


Průběh působení zatížení v průběhu životnosti konstrukce

Zdroj: Handbook 1: Basis of structural design

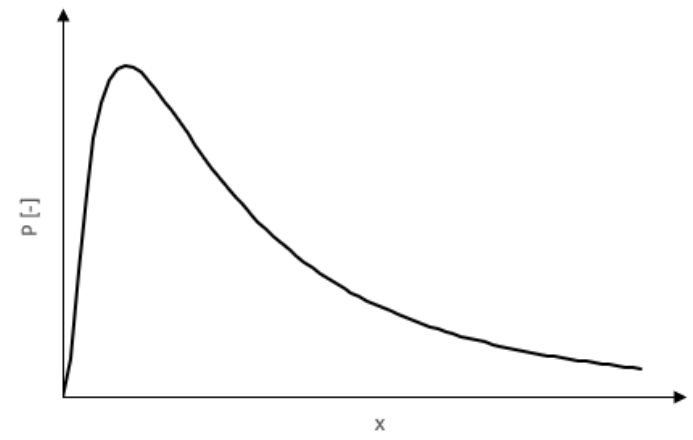
SPOLEHLIVOST

Teorie strukturální spolehlivosti považuje všechny základní veličiny za náhodné veličiny $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ s příslušnými typy rozdělení pravděpodobnosti. Různé typy rozdělení se uvažují pro **působení zatížení**, materiálových vlastností a geometrické údaje. Kromě toho by se měli zohlednit nejistoty plynoucí z nepřesností použitých statistických modelů.



Průběh působení zatížení v průběhu životnosti konstrukce
Zdroj: Handbook 1: Basis of structural design

Pro nesymetrická data lze použít více sofistikovanější rozdělení, která dokáží tuto vlastnost zahrnout.
Například Logaritmicko-normální rozdělení



SPOLEHLIVOST

Teorie strukturální spolehlivosti považuje všechny základní veličiny za náhodné veličiny $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ s příslušnými typy rozdělení pravděpodobnosti. Různé typy rozdělení se uvažují pro působení zatížení, materiálových vlastností a geometrické údaje. Kromě toho by se měli zohlednit nejistoty plynoucí z nepřesností použitých statistických modelů.

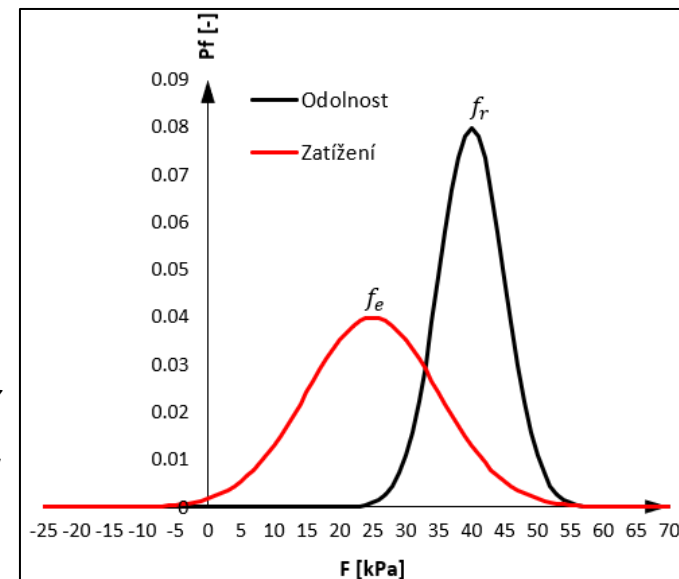
Teorie strukturální spolehlivosti se zabývá základním požadavkem definovaný vztahem mezi účinkem zatížení E (effect of load) a odolností konstrukce R (resistance), který je zapsaný ve formě nerovnosti

$$E \leq R$$

Rozlišení mezi žádoucím (bezpečným) a nežádoucím (poruchový) stavem konstrukce je dán vztahem

$$E - R = 0,$$

který představuje základní formu hranice poruchy. Tato hranice se nazývá **funkce mezního stavu** a definuje tak mezní stav (únosnost, použitelnost, trvanlivost nebo únava), který konstrukce nesmí překročit.



SPOLEHLIVOST

Spolehlivost S lze vyjádřit jako **pravděpodobnost** P , že únosnost je vyšší než účinek zatížení

$$S = P(R \geq E)$$

Náhodné veličiny E a R se nahrazují vhodnou náhodnou veličinou nazývanou **rezerva spolehlivosti**

$$Z = R - E$$

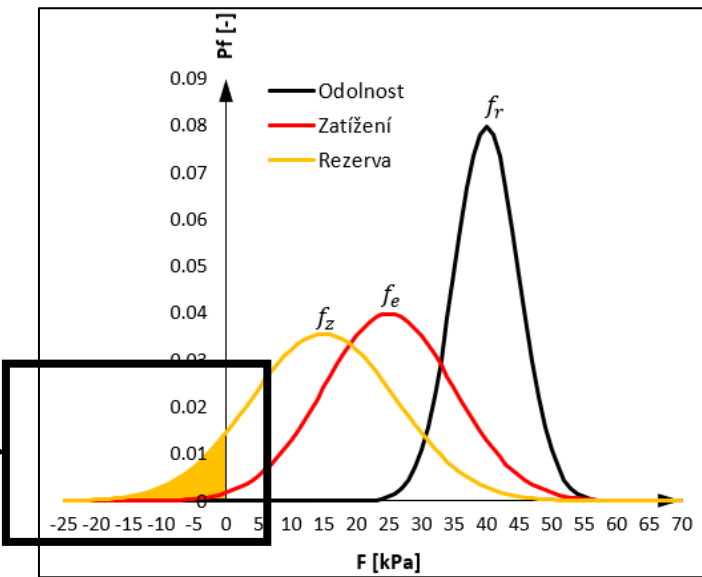
- Spolehlivá konstrukce $Z > 0$
- Nespolehlivá konstrukce $Z < 0$

Spolehlivost lze pak upravit na

$$S = P(Z \geq 0)$$

V inženýrské praxi se osvědčila **pravděpodobnost poruchy** P_f

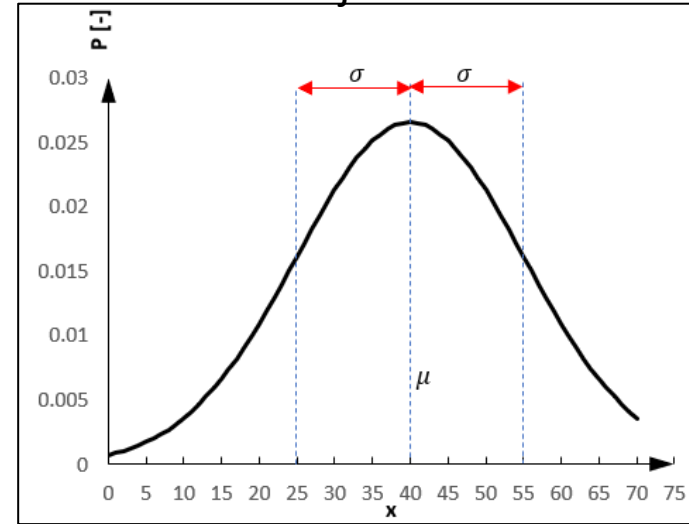
$$P_f = P(Z < 0) = 1 - S = \int_{-\infty}^0 f_Z(z) dz$$



SPOLEHLIVOST

V případě, že E a R jsou dvě statisticky nezávislé normálně rozdělené náhodné veličiny lze střední hodnotu μ_Z a směrodatnou odchylku σ_Z rezervy spolehlivosti definovat jako

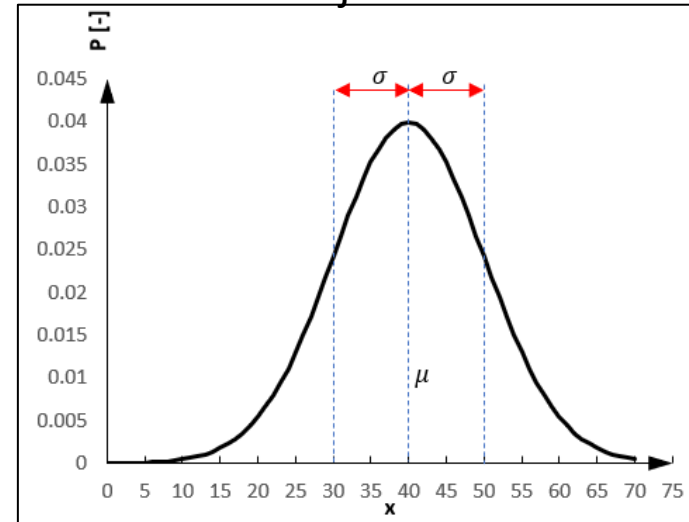
$$\begin{aligned}\mu_Z &= \mu_R - \mu_E \\ \sigma_Z &= \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}\end{aligned}$$



SPOLEHLIVOST

V případě, že E a R jsou dvě statisticky nezávislé normálně rozdělené náhodné veličiny lze střední hodnotu μ_Z a směrodatnou odchylku σ_Z rezervy spolehlivosti definovat jako

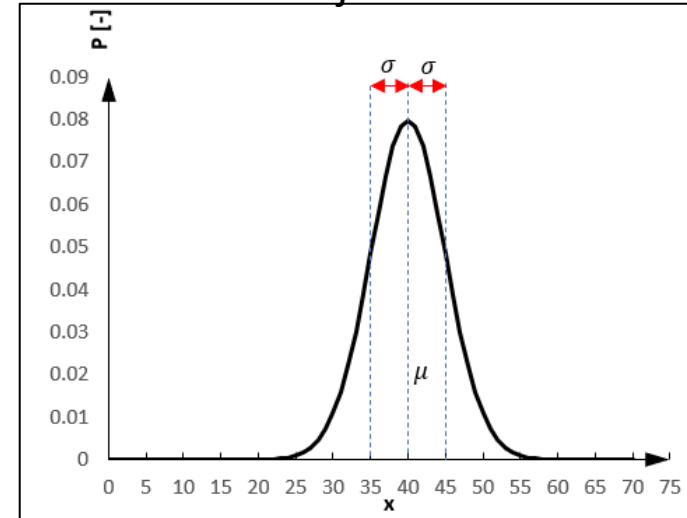
$$\begin{aligned}\mu_Z &= \mu_R - \mu_E \\ \sigma_Z &= \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}\end{aligned}$$



SPOLEHLIVOST

V případě, že E a R jsou dvě statisticky nezávislé normálně rozdělené náhodné veličiny lze střední hodnotu μ_Z a směrodatnou odchylku σ_Z rezervy spolehlivosti definovat jako

$$\begin{aligned}\mu_Z &= \mu_R - \mu_E \\ \sigma_Z &= \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}\end{aligned}$$



SPOLEHLIVOST

V případě, že E a R jsou dvě statisticky nezávislé normálně rozdělené náhodné veličiny lze střední hodnotu μ_Z a směrodatnou odchylku σ_Z rezervy spolehlivosti definovat jako

$$\begin{aligned}\mu_Z &= \mu_R - \mu_E \\ \sigma_Z &= \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}\end{aligned}$$

Rezervu Z lze dále zjednodušit z normálního rozdělení na **standardní normální rozdělení**

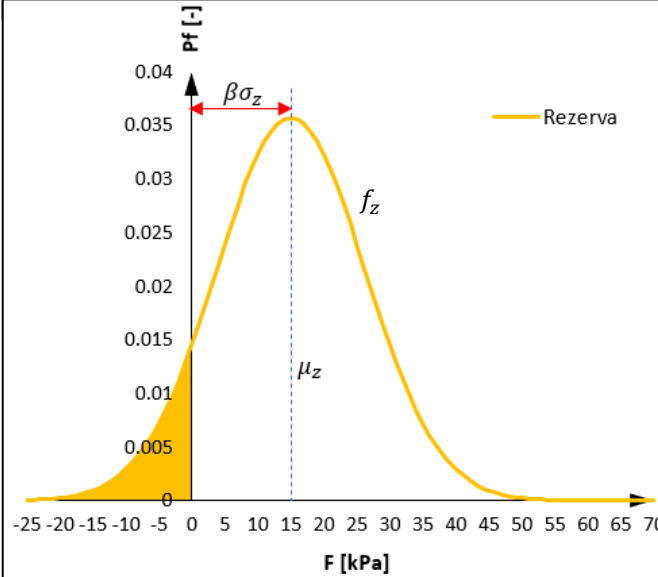
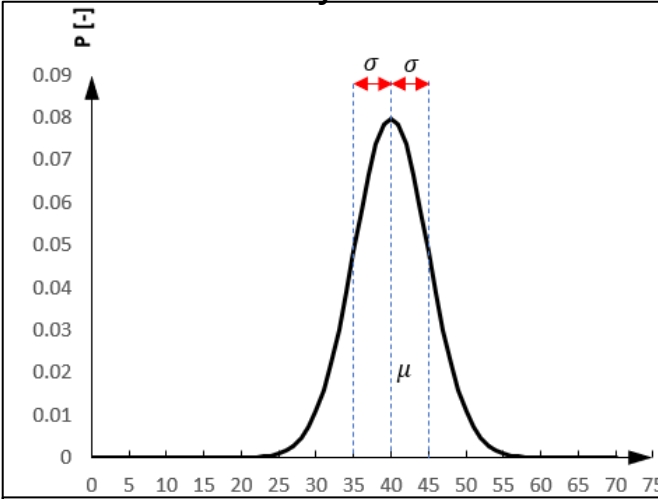
$$\bar{Z} = \frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z}, \quad \bar{\mu}_Z = 0, \bar{\sigma}_Z = 1$$

funkční hodnoty **standardního normálního rozdělení** jsou tabulované a tak lehce přístupné.

Jeden z takto upravených bodů je počátek 0, jehož upravená hodnota definuje tzv. **index spolehlivosti β**

$$-\beta = \frac{0 - \mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{-\mu_Z}{\sigma_Z}$$

Index spolehlivosti tak říká, kolikrát je možno násobit směrodatnou odchylku σ_Z než nastane $E > R$.



SPOLEHLIVOST

V případě, že E a R jsou dvě statisticky nezávislé normálně rozdělené náhodné veličiny lze střední hodnotu μ_Z a směrodatnou odchylku σ_Z rezervy spolehlivosti definovat jako

$$\begin{aligned}\mu_Z &= \mu_R - \mu_E \\ \sigma_Z &= \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}\end{aligned}$$

Rezervu Z lze dále zjednodušit z normálního rozdělení na **standartní normální rozdělení**

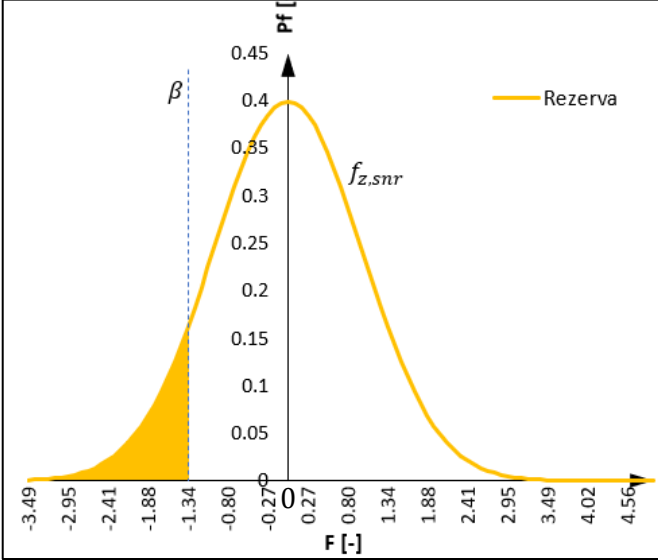
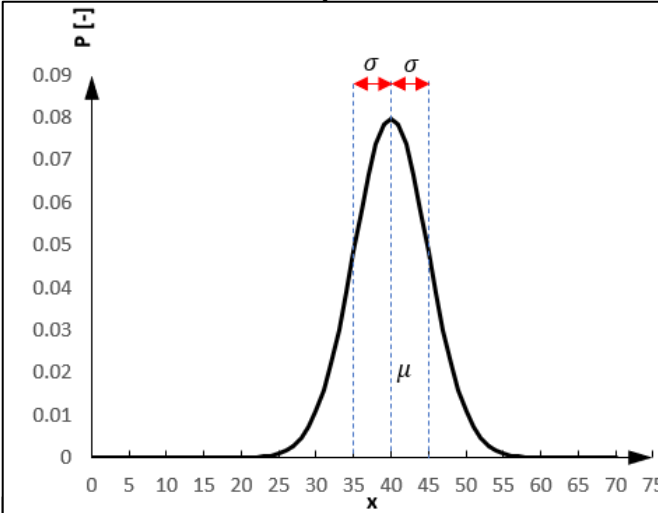
$$\bar{Z} = \frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z}, \quad \bar{\mu}_Z = 0, \bar{\sigma}_Z = 1$$

funkční hodnoty **standartního normálního rozdělení** jsou tabulované a tak lehce přístupné.

Jeden z takto upravených bodů je počátek 0, jehož upravená hodnota definuje tzv. **index spolehlivosti β**

$$-\beta = \frac{0 - \mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{-\mu_Z}{\sigma_Z}$$

Index spolehlivosti tak říká, kolikrát je možno násobit směrodatnou odchylku σ_Z než nastane $E > R$.

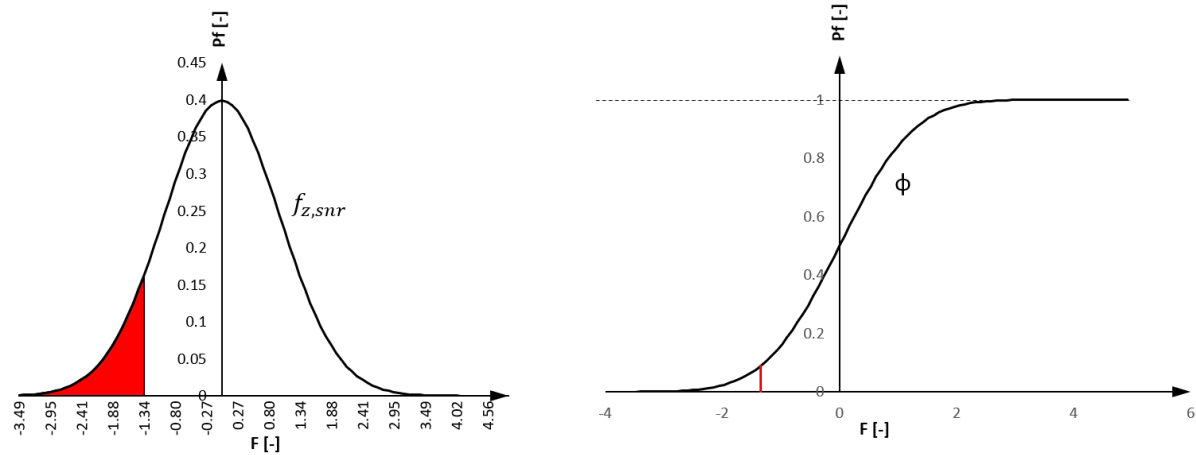


SPOLEHLIVOST

Jelikož jsou hodnoty standartního normálního rozdělení $f_{z,snr}$ tabulované, lze psát

$$P_f = \int_{-\beta}^{-\infty} f_{z,snr} dz = \Phi(-\beta)$$

kde $\Phi(-\beta)$ je hodnota distribuční funkce standartního normálového rozdělení pro hodnotu $-\beta$ (plocha pod grafem po hodnotu $-\beta$).



Mezi pravděpodobností poruchy a indexem spolehlivosti je tak přímý vztah.

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,3	2,3	3,1	3,7	4,2	4,7	5,2

Zdroj: Handbook 1: Basis of structural design

SPOLEHLIVOST

Eurokód ČSN EN 1990 uvádí pro **návrhovou životnost konstrukce** $T_d = 50$ let:

- Pro mezní stavy únosnosti – index spolehlivosti $\beta_d = 3,8$, který odpovídá návrhové pravděpodobnosti selhání $P_d = 7,2 \times 10^{-5}$
- Pro mezní stavy použitelnosti – index spolehlivosti $\beta_d = 1,5$, který odpovídá a pravděpodobnost selhání $P_d = 6,7 \times 10^{-2}$.
- Při analýze návrhu konstrukce je nutné posoudit:

$$P_f \leq P_d, \quad \beta \geq \beta_d$$

- **Návrhová životnost** T_d je předpokládaná doba, po kterou má být konstrukce nebo její část používána k určenému účelu a s předpokládanou údržbou, ale bez nutnosti větších oprav.

Pokud jsou některé z náhodných veličin $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ časově závislé, pak je rovněž i pravděpodobnost poruchy P_f časově závislá. Z tohoto důvodu se pracuje s tzv. referenčním obdobím T_1 (referenční období je obvykle měsíc nebo rok). Návrhová pravděpodobnost poruchy P_d vztažená k referenční době se pak uvažuje jako

$$T_d = n T_1$$

pravděpodobnost poruchy

$$P_d = 1 - (1 - P_1)^n$$

index spolehlivosti

$$\Phi(-\beta_d) = [\Phi(-\beta_1)]^n$$

SPOLEHLIVOST

Table 2. Indicative design working life T_d .

Category	Design working life T_d (years)	Examples
1	10	Temporary structures
2	10 to 25	Replaceable structural parts, bearings, girders
3	15 to 30	Agricultural and similar structures
4	50	Building structures and common structures
5	100 and more	Monumental building or civil structures, bridges

Table 1. Reliability classification in accordance with CEN [5]

Reliability classes	Consequences for loss of human life, economical, social and environmental consequences	Reliability index β		Examples of buildings and civil engineering works
		β_a for $T_a=1$ year	β_d for $T_d=50$ years	
3 – high	High	5,2	4,3	Bridges, public buildings
2 – normal	Medium	4,7	3,8	Residential and office buildings
1 – low	Low	4,2	3,3	Agricultural buildings, greenhouses

Zdroj: Handbook 1: Basis of structural design

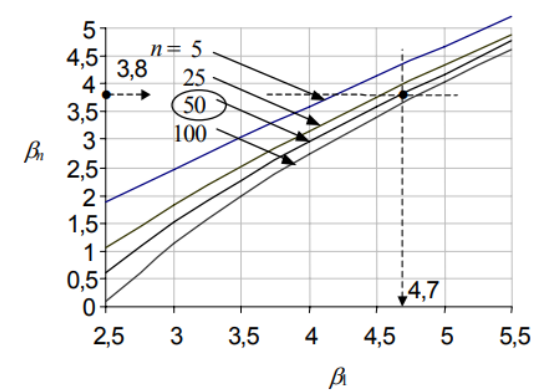


Figure 1. Variation of β_n with β_1 for $n = 5, 25, 50, 100$

SPOLEHLIVOST

Pro charakteristické hodnoty pevnosti materiálu se většinou používá dolní 5% kvantil, kterému při normálně rozdělení veličině odpovídá $\beta = 1,64$. Veličina je pak určena jako

$$R_k = \mu_R - 1,64\sigma_r$$

Návrhové hodnoty pevnosti materiálu odpovídají méně než 0,01% kvantilu, a tedy $\beta = 3,09$ (při normální distribuci)

$$R_d = \mu_R - \beta_d\sigma_r$$

Dílčí součinitel je pak určen jako:

$$\gamma_R = \frac{R_k}{R_d}$$

Charakteristické hodnoty materiálu R_k jsou tabulované. Dílčí součinitel γ_R se různí nejen pro jednotlivé materiály, ale také pro různé způsoby zatížení nebo použití. Návrhové hodnoty materiálu se určí:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

Jednotlivé veličiny jsou ve většině případů rozděleny nesymetricky. Pak je nutné toto rozdělení zohlednit.

- METODY NÁVRHU STAVEBNÍ KONSTRUKCE
- **SPOLEHLIVOST**
- ZATÍŽENÍ
- MEZNÍ STAVY

- METODY NÁVRHU STAVEBNÍ KONSTRUKCE
- SPOLEHLIVOST
- ZATÍŽENÍ
- MEZNÍ STAVY

ZATÍŽENÍ

Zatížení může být rozděleno vzhledem k několika kritériím:

- Vzhledem k jejich rozdělení v čase (stálé, nahodilé, mimořádné)
- Vzhledem k jejich původu (přímé-od konstrukce, nepřímé-teplota, vnesená deformace)
- Vzhledem k jejich prostornému uspořádání (pevné, pohyblivé)
- Vzhledem k jejich působení na konstrukci (statické, dynamické)

VZHLEDEM K JEJICH ROZDĚLENÍ V ČASE

- Stálé zatížení (G) – působí v průběhu celé životnosti konstrukce jen se zanedbatelnými rozdíly a ve stejném směru (vlastní tíha konstrukce, trvale instalované zařízení, vlivy smrštění, nerovnoměrného sedání).
- Nahodilé zatížení (Q) – proměnnost v čase není zanedbatelná nebo nepůsobí ve stejném směru (zatížení působící na podlahy budov, střechy, působení větru a sněhu)
- Mimořádná zatížení (A) – zatížení krátkého rozsahu, které nepravděpodobně nastane v průběhu životnosti konstrukce, ale jejích dopady mohou být katastrofální (zemětřesení, požár, exploze, náraz vozidla)

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – UŽITNÁ ZATÍŽENÍ ČSN EN 1991-1-1

- Zatížení vzniká užíváním objektu, tj. osoby, nábytek a přemístitelné předměty, vozidla
- Nahodilá zatížení dělí se do těchto kategorií:
 - A – obytné plochy a plochy pro domácí činnosti
 - B – kancelářské plochy
 - C – plochy kde může docházet ke shromažďování lidí (mimo A ,B a D)
 - D – plochy obchodní
 - E – plochy pro skladovací účely a průmyslové plochy
 - F – dopravní a parkovací plochy pro lehká vozidla
(celková tíha vozidla do 30 kN a méně než 8 míst k sezení kromě řidiče)
 - G – dopravní a parkovací plochy pro těžká vozidla
(celková tíha vozidla do 160 kN na dvě nápravy)
 - H – střechy nepřístupné s výjimkou běžných oprav a údržby
 - I – střechy přístupné (pochozí), s užíváním podle kategorií A-D
 - K – střechy pro zvláštní provoz, např. pro přistávání vrtulníků

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – UŽITNÁ ZATÍŽENÍ ČSN EN 1991-1-1

Tabulka 6.1 – Užitné kategorie

Kategorie	Stanovené použití	Příklad
A	obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	místnosti obytných budov a domů; lůžkové pokoje a čekárny v nemocnicích; ložnice hotelů a ubytoven, kuchyně a toalety
B	kancelářské plochy	
C	plochy, kde může docházet ke shromažďování lidí (kromě ploch uvedených v kategoriích A, B a D ¹⁾)	C1: plochy se stoly atd., např. plochy ve školách, kavárnách, restauracích, jídelnách, čítárnách, recepcích. C2: plochy se zabudovanými sedadly, např. plochy v kostelech, divadlech nebo kinech, v konferenčních sálech, přednáškových nebo zasedacích místnostech, nádražních a jiných čekárnách. C3: plochy bez překážek pro pohyb osob, např. plochy v muzeích, ve výstavních síních a přístupové plochy ve veřejných a administrativních budovách, hotelích, nemocnicích, železničních nádražních halách. C4: plochy určené k pohybovým aktivitám, např. taneční sály, tělocvičny, jeviště, atd. 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.
D	obchodní plochy	D1: plochy v malých obchodech D2: plochy v obchodních domech

¹⁾ Pozor na odstavec 6.3.1.1(2)P, zejména pro C4 a C5. Pokud je nutno uvažovat dynamické účinky, viz EN 1990. Kategorie E je v tabulce 6.3.

POZNÁMKA 1 V závislosti na předpokládaném účelu používání mohou být plochy zařazeny do kategorie C5 místo do kategorií C2, C3 a C4, a to na základě rozhodnutí klienta a/nebo podle národní přílohy.

POZNÁMKA 2 V národní příloze mohou být uvedeny podkategorie ke kategoriím A, B, C1 až C5, D1 a D2.

POZNÁMKA 3 Plochy pro skladování a průmyslovou činnost, viz 6.3.2.

Zdroj: ČSN EN 1991

Tabulka 6.2(CZ) – Užitná zatížení stropních konstrukcí, balkónů a schodišť pozemních staveb

Kategorie zatěžovaných ploch	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
kategorie A		
– 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

Zdroj: ČSN EN 1991

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – UŽITNÁ ZATÍŽENÍ ČSN EN 1991-1-1

Tabulka 6.3 – Kategorie ploch pro skladování a průmyslovou činnost

Kategorie	Stanovené použití	Příklad
E1	plochy, kde může dojít k hromadění zboží, včetně přístupových ploch	plochy pro skladování včetně skladů knih a dalších dokumentů
E2	průmyslová činnost	

Tabulka 6.4 – Užitná zatížení stropních konstrukcí od skladování

Kategorie zatěžovaných ploch	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorie E1	7,5	7,0

Zatížení pro kategorii E2 se určí individuálně dle provozu. Zatížení jeřáby se určí dle normy ČSN EN 1991-3. Zatížení vysokozdvíhnými vozíky se uvažuje jako soustředěné zatížení.

Tabulka 6.6 – Nápravová síla u vysokozdvíhných vozíků

Třída vysokozdvížného vozíku	Nápravová síla Q_k [kN]
FL1	26
FL2	40
FL3	63
FL4	90
FL5	140
FL6	170

Zdroj: ČSN EN 1991

Svislá statická síla Q_k se zvýší dynamickým součinitelem φ :

$$Q_{k,dyn} = \varphi Q_k$$

$\varphi = 1,4$ pro vzduchové pneumatiky
 $\varphi = 2$ pro plné pneumatiky

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – UŽITNÁ ZATÍŽENÍ ČSN EN 1991-1-1

Tabulka 6.8(CZ) – Užitná zatížení garáží a dopravních ploch pro vozidla

Kategorie dopravních ploch	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorie F Celková tíha vozidla: ≤ 30 kN	2,5	20
Kategorie G 30 kN < celková tíha vozidla ≤ 160 kN	5,0	120

Tabulka 6.10(CZ) – Užitná zatížení střech kategorie H

Střecha	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorie H	0,75	1,0

Zdroj: ČSN EN 1991

Redukční součinitele užitého zatížení:

Zatížení stropních konstrukcí (kategorie A-E)

$$\alpha_a = \frac{5}{7} \psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1$$

$$A_0 = 10 \text{ m}^2$$

A – zatížená plocha

Pro kategorie C a D $\alpha_a \geq 0,6$

Zatížení svislých konstrukcí (kategorie A-D)

$$\alpha_n = \frac{2 + (n - 2) \psi_0}{n}$$

n – počet podlaží

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – UŽITNÁ ZATÍŽENÍ ČSN EN 1991-1-1

Tabulka 6.10 – Užitná zatížení střech kategorie H

Střecha	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorie H	q_k	Q_k
POZNÁMKA 1 Pro kategorii H mohou být hodnoty q_k vybrány v rozmezí od 0,00 kN/m ² do 1,0 kN/m ² a hodnoty Q_k v rozmezí od 0,9 kN do 1,5 kN. Tam, kde je uvedeno rozmezí hodnot, mohou se hodnoty určit v národní příloze. Doporučené hodnoty jsou: $q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$, $Q_k = 1,0 \text{ kN}$ POZNÁMKA 2 q_k se může v národní příloze měnit v závislosti na sklonu střechy. POZNÁMKA 3 Lze předpokládat, že q_k působí na ploše A , která může být stanovena v národní příloze. Doporučená hodnota $A = 10 \text{ m}^2$, v rozmezí od nuly až do celkové plochy střechy. POZNÁMKA 4 Viz také 3.3.2(1).		

Tabulka 6.10(CZ) – Užitná zatížení střech kategorie H

Střecha	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorie H	0,75	1,0

Tabulka 6.11 – Užitná zatížení střech kategorie K pro vrtulníky

Třída vrtulníku	Startovací zatížení vrtulníku Q	Startovací zatížení Q_k	Rozměry zatěžovací plochy [m × m]
HC 1	$Q \leq 20 \text{ kN}$	$Q_k = 20 \text{ kN}$	0,2 × 0,2
HC 2	$20 \text{ kN} < Q \leq 60 \text{ kN}$	$Q_k = 60 \text{ kN}$	0,3 × 0,3

Zdroj: ČSN EN 1991

Pro uvažování rázových účinků startovacího zařízení Q_k je možno použít dynamický součinitel $\varphi = 1,4$

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – UŽITNÁ ZATÍŽENÍ ČSN EN 1991-1-1

Tabulka 6.12(CZ) – Vodorovná zatížení zábradlí a dělicích stěn

Zatěžované plochy	q_k [kN/m]
Kategorie A	0,5
Kategorie B a C1	1,0
Kategorie C2 – C4 a D	1,0
Kategorie C5	5,0
Kategorie E	2,0 ¹⁾
Kategorie F	viz příloha B
Kategorie G	viz příloha B

¹⁾ Tato hodnota se u užitných ploch kategorie E považuje za hodnotu minimální, podle způsobu používání se zvýší.

Zdroj: ČSN EN 1991

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ SNĚHEM ČSN EN 1991-1-3

Norma neuvádí pokyny pro zvláštní aspekty zatížení sněhem:

- Zatížení rázem způsobené sklouznutím nebo pádem sněhu z vyšší úrovně střechy
 - Přídavné zatížení větrem, které může vzniknout při změně tvaru nebo velikosti stavby vlivem sněhové nebo ledové vrstvy
 - Zatížení v oblastech kde leží sníh celý rok
 - Zatížení námrazou
 - Boční zatížení sněhem
 - Zatížení mostů sněhem
-
- Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi vychází ze statistického zpracování souboru ročních maxim tíhy sněhu pro má pravděpodobnost překročení $P = 0,02$.
 - Zatížení se udává v jeho charakteristické hodnotě působící kolmo k zemskému povrchu.

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ SNĚHEM ČSN EN 1991-1-3

Zatížení sněhem na střechách se vypočítá

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

μ_i - tvarový součinitel zatížení sněhem

C_e - součinitel expozice

C_t - tepelný součinitel

s_k - charakteristická hodnota zatížení sněhem

Tabulka 5.1 – Doporučené hodnoty součinitele C_e pro různé typy krajiny

Typ krajiny	C_e
otevřená ^{a)}	0,8
normální ^{b)}	1,0
chráněná ^{c)}	1,2
^{a)} <i>Otevřený typ krajiny:</i> rovná plocha bez překážek, otevřená do všech stran, nechráněná nebo jen málo chráněná terénem, vyššími stavbami nebo stromy.	
^{b)} <i>Normální typ krajiny:</i> plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu větrem kvůli okolnímu terénu, jiným stavbám nebo stromům.	
^{c)} <i>Chráněný typ krajiny:</i> plochy, kde je uvažovaná stavba výrazně nižší než okolní terén nebo je stavba obklopena vysokými stromy a/nebo vyššími stavbami.	

Zdroj: ČSN EN 1991

Tepelný součinitel C_t lze snížit u střech, které mají vysokou tepelnou propustnost ($> 1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Součinitel však nesmí být menší než 0,8. Pro ostatní případy $C_t = 1$.

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ SNĚHEM ČSN EN 1991-1-3

Charakteristická hodnota zatížení sněhem s_k

➤ původní mapa sněhových oblastí



Zóna	I	II	III	IV	V
Charakteristická hodnota s_k [kN/m ²]	0,75	1,05	1,5	2,25	>2,25 ^{*)}

*) s_k musí být stanoveno kompetentním úřadem (ČHMÚ)

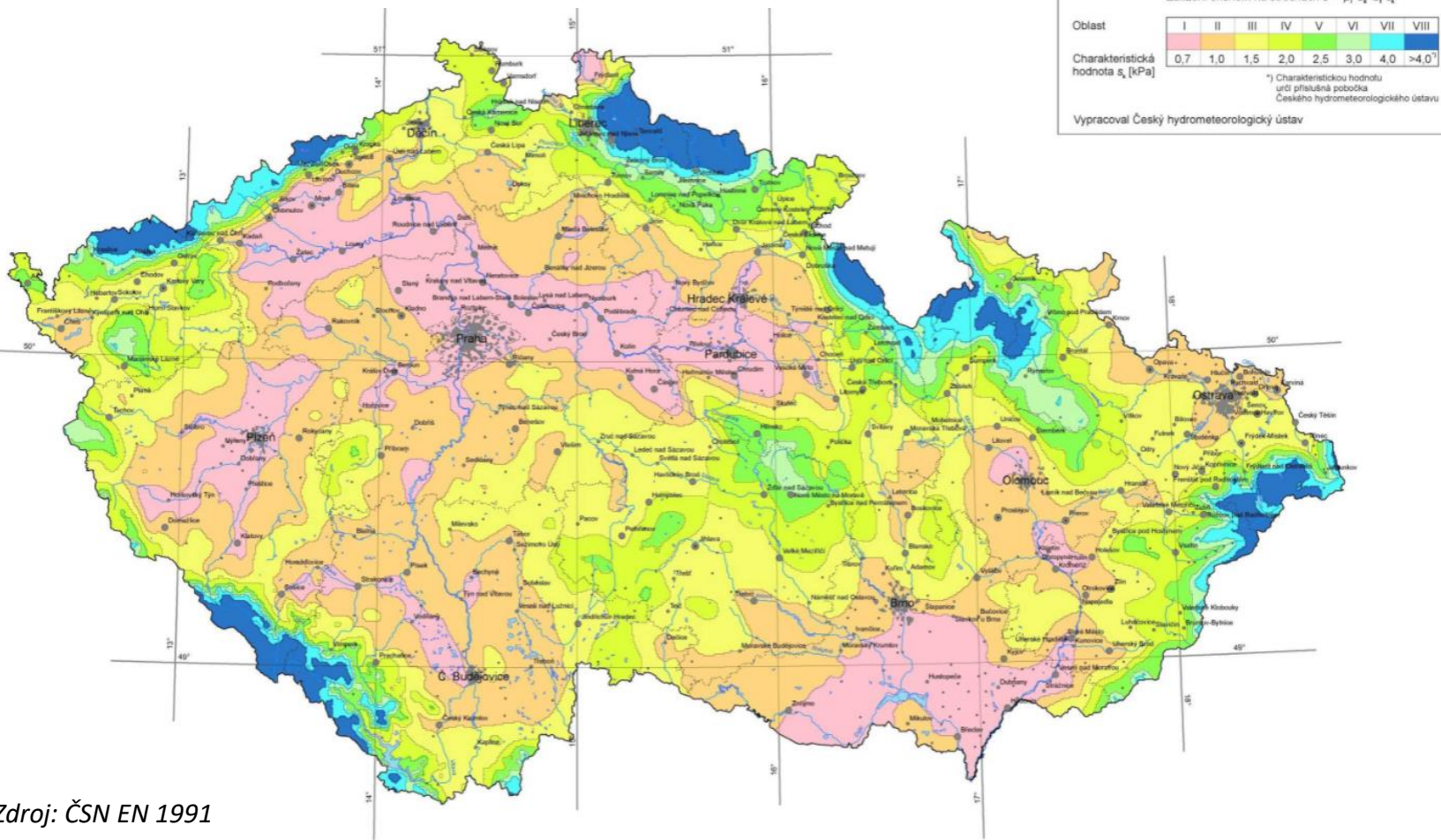
Zdroj: ČSN EN 1991

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ SNĚHEM ČSN EN 1991-1-3

Charakteristická hodnota zatížení sněhem s_k

➤ Změna Z1, prosinec 2006

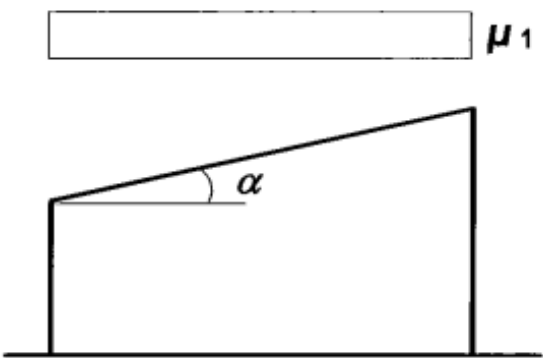
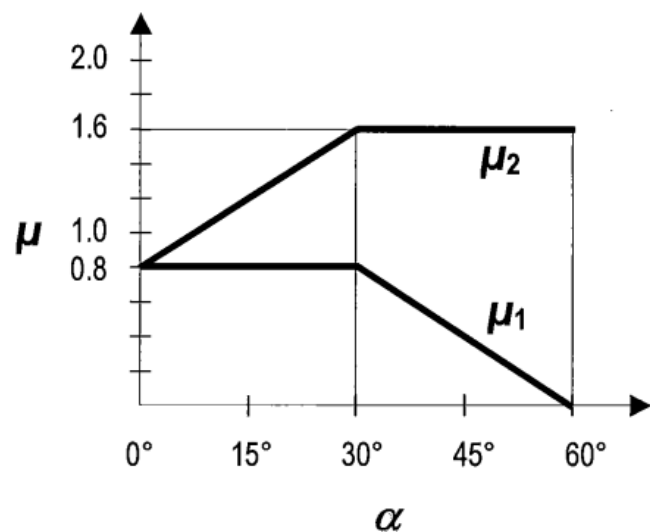


Zdroj: ČSN EN 1991

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ SNĚHEM ČSN EN 1991-1-3

Tvarový součinitel μ_i - pultové a sedlové střechy



Tvarový součinitel μ_i

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	—

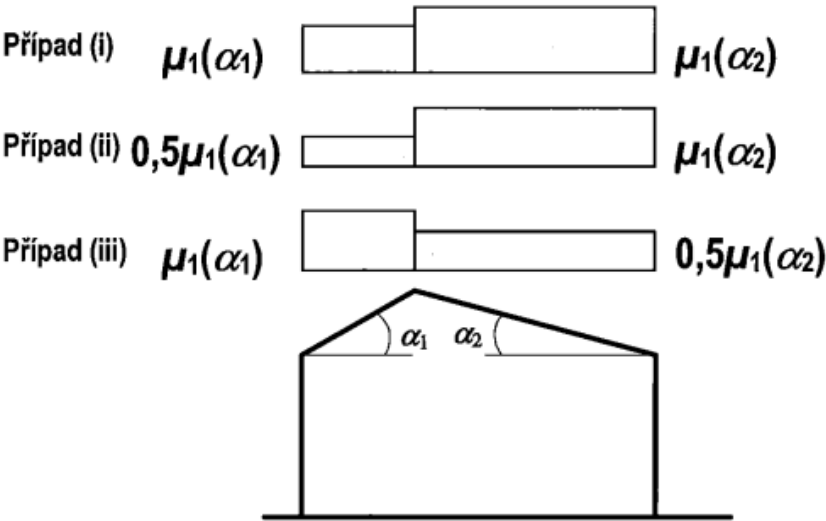
Zdroj: ČSN EN 1991

Součinitele v tabulce platí jen tehdy, není-li zabráněno sklouzávání sněhu ze střechy (atika, sněžníky). V opačném případě nesmí součinitel μ_i klesnout pod hodnotu 0,8

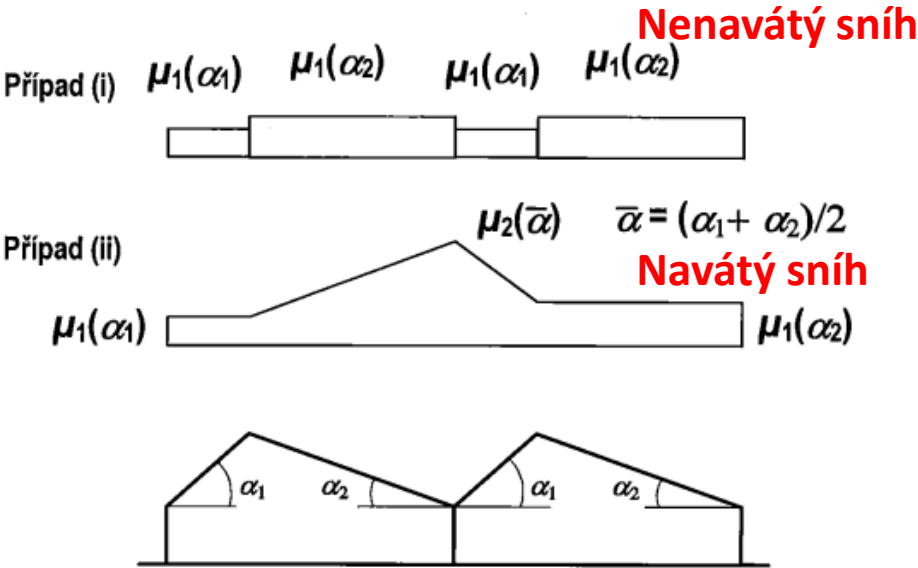
ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ SNĚHEM ČSN EN 1991-1-3

Tvarový součinitel μ_i - pultové a sedlové střechy



μ_i - více lodní střechy



Tvarový součinitel μ_i

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	—

Zdroj: ČSN EN 1991

Součinitele v tabulce platí jen tehdy, není-li zabráněno sklouzávání sněhu ze střechy (atika, sněžníky). V opačném případě nesmí součinitel μ_i klesnout pod hodnotu 0,8

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ SNĚHEM ČSN EN 1991-1-3

Návrhové situace a uspořádání zatížení pro různé lokality

(1) Tabulka A.1 shrnuje čtyři případy A, B1, B2 a B3 (viz 3.2, 3.3(1), 3.3(2) a 3.3(3)) určující návrhové situace a uspořádání zatížení, které se použijí pro každý jednotlivý případ.

Tabulka A.1 – Návrhové situace a uspořádání zatížení pro různé lokality ^{NP25)}

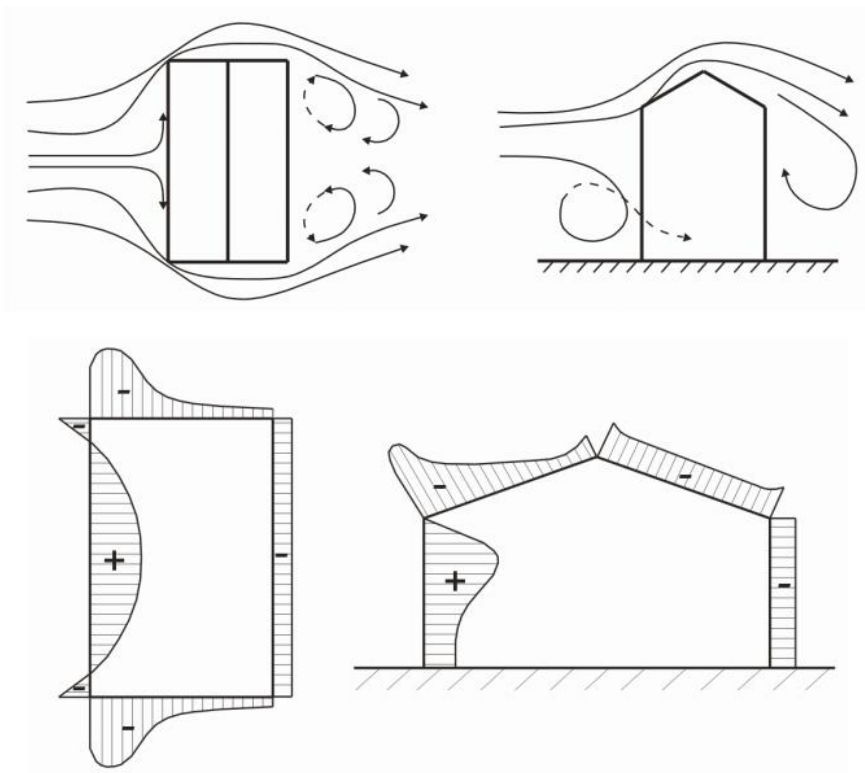
Normální podmínky	Výjimečné podmínky		
případ A	případ B1	případ B2	případ B3
nedochází k výjimečnému spadu sněhu nedochází k výjimečnému navátí sněhu	dochází k výjimečnému spadu sněhu nedochází k výjimečnému navátí sněhu	nedochází k výjimečnému spadu sněhu dochází k výjimečnému navátí sněhu	dochází k výjimečnému spadu sněhu dochází k výjimečnému navátí sněhu
3.2(1)	3.3(1)	3.3(2)	3.3(3)
<i>trvalé/dočasné návrhové situace</i>	<i>trvalé/dočasné návrhové situace</i>	<i>trvalé/dočasné návrhové situace</i>	<i>trvalé/dočasné návrhové situace</i>
[1] nenavátý sníh $\mu_i C_e C_t S_k$	[1] nenavátý sníh $\mu_i C_e C_t S_k$	[1] nenavátý sníh $\mu_i C_e C_t S_k$	[1] nenavátý sníh $\mu_i C_e C_t S_k$
[2] navátý sníh $\mu_i C_e C_t S_k$	[2] navátý sníh $\mu_i C_e C_t S_k$	[2] navátý sníh $\mu_i C_e C_t S_k$ (kromě tvarů střech uvedených v příloze B)	[2] navátý sníh $\mu_i C_e C_t S_k$ (kromě tvarů střech uvedených v příloze B)
<i>mimořádná návrhová situace (pokud je sníh mimořádným zatížením)</i>	<i>mimořádná návrhová situace (pokud je sníh mimořádným zatížením)</i>	<i>mimořádná návrhová situace (pokud je sníh mimořádným zatížením)</i>	<i>mimořádná návrhová situace (pokud je sníh mimořádným zatížením)</i>
	[3] nenavátý sníh $\mu_i C_e C_t C_{est} S_k$	[3] navátý sníh $\mu_i S_k$ (pro tvary střech uvedené v příloze B)	[3] nenavátý sníh $\mu_i C_e C_t C_{est} S_k$
	[4] navátý sníh $\mu_i C_e C_t C_{est} S_k$		[4] navátý sníh $\mu_i S_k$ (pro tvary střech uvedené v příloze B)
POZNÁMKA 1 Výjimečné podmínky jsou definovány v národní příloze.			
POZNÁMKA 2 Pro případy B1 a B3 lze v národní příloze definovat návrhové situace, které platí pro zvláštní místní účinky popsané v kapitole 6.			

Zdroj: ČSN EN 1991

^{NP25)} NÁRODNÍ POZNÁMKA Viz národní příloha, NA.2.25.

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2



Působení větru kolmo na objekt (Tichý a kol, 1987)

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2

- Zatížení větrem jsou proměnná v čase a působí přímo jako tlaky na vnější povrchy uzavřených konstrukcí.
- Tlaky působící na plochy povrchu způsobují síly kolmé k povrchu konstrukce nebo k jednotlivým prvkům pláště.
- Pokud jsou velké plochy konstrukce obtékány větrem, mohou významné třecí síly působit tečně k povrchu
- Charakteristické hodnoty zatížení jsou stanoveny s roční pravděpodobnosti překročení $P = 0,02$
- **Norma je platná pro:**
 - Konstrukce do výšky 200 m
 - Mosty do rozpětí 200 m za předpokladu, že splňují kritéria pro DYNAMICKOU odezvu
- **Norma není platná pro:**
 - Zatížení větrem na příhradové věže s nerovnými stěnami
 - Zatížení kotvených stožárů a komínů větrem
 - Kroutové kmitání, např. vysokých budov s centrálním jádrem
 - Kmitání hlavní nosní konstrukce mostu od turbulence větru v příčném směru
 - Zavěšené mosty
 - Kmitání, při kterém se musí uvažovat více tvarů kmitání

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2

Základní rychlost větru v_b

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

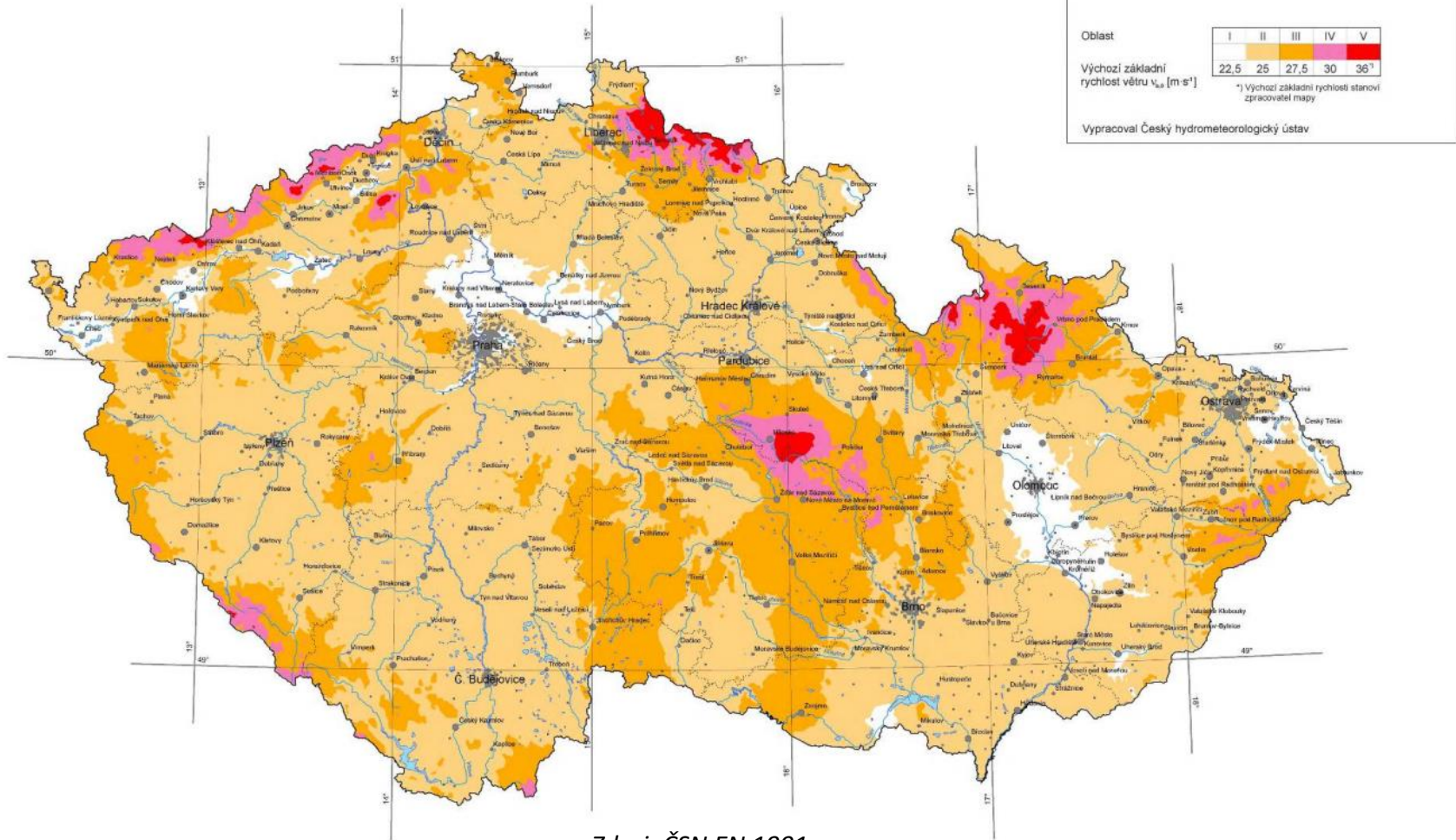
C_{dir} – součinitel směru větru, v ČR je hodnota 1

C_{season} – součinitel ročního období, v ČR je hodnota 1

$v_{b,0}$ – výchozí základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí, dle
mapy větrových oblastí na území ČR

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2



Zdroj: ČSN EN 1991

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2

Základní rychlost větru v_b

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

C_{dir} – součinitel směru větru, v ČR je hodnota 1

C_{season} – součinitel ročního období, v ČR je hodnota 1

$v_{b,0}$ – výchozí základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí, dle

mapy větrových oblastí na území ČR

Základní dynamický tlak větru q_p

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \rho v_b^2(z)$$

$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – měrná hmotnost vzduchu

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2

Základní rychlost větru v_b

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

C_{dir} – součinitel směru větru, v ČR je hodnota 1

C_{season} – součinitel ročního období, v ČR je hodnota 1

$v_{b,0}$ – výchozí základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí, dle
mapy větrových oblastí na území ČR

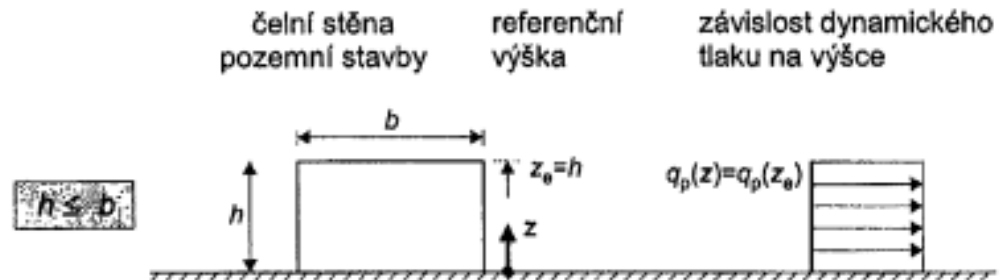
Základní dynamický tlak větru q_p

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \rho v_b^2(z)$$

$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – měrná hmotnost vzduchu

Maximální dynamický tlak větru q_p

$$q_b(z) = c_e(z) q_p$$



Zdroj: ČSN EN 1991

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2

Základní rychlost větru v_b

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

C_{dir} – součinitel směru větru, v ČR je hodnota 1

C_{season} – součinitel ročního období, v ČR je hodnota 1

$v_{b,0}$ – výchozí základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí, dle
mapy větrových oblastí na území ČR

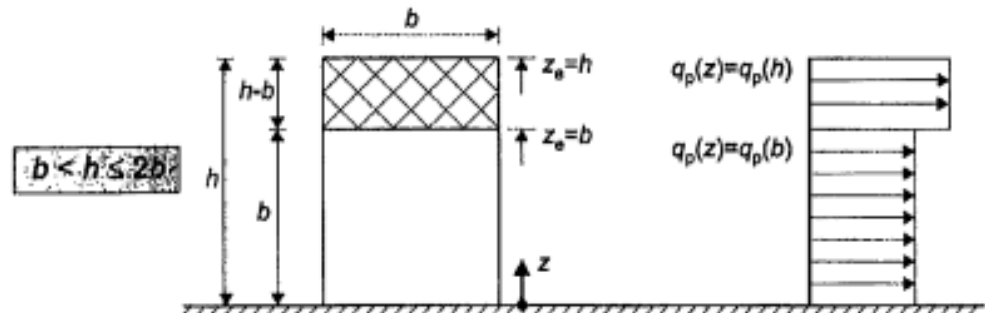
Základní dynamický tlak větru q_p

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \rho v_b^2(z)$$

$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – měrná hmotnost vzduchu

Maximální dynamický tlak větru q_p

$$q_b(z) = c_e(z) q_p$$



Zdroj: ČSN EN 1991

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2

Základní rychlost větru v_b

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

C_{dir} – součinitel směru větru, v ČR je hodnota 1

C_{season} – součinitel ročního období, v ČR je hodnota 1

$v_{b,0}$ – výchozí základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí, dle

mapy větrových oblastí na území ČR

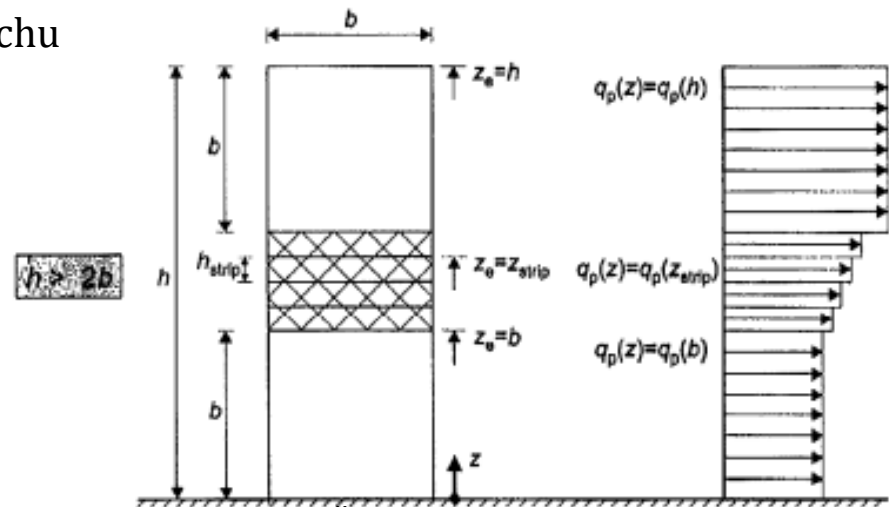
Základní dynamický tlak větru q_p

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \rho v_b^2(z)$$

$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – měrná hmotnost vzduchu

Maximální dynamický tlak větru q_p

$$q_b(z) = c_e(z) q_p$$



Zdroj: ČSN EN 1991

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2

Základní rychlost větru v_b

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

C_{dir} – součinitel směru větru, v ČR je hodnota 1

C_{season} – součinitel ročního období, v ČR je hodnota 1

$v_{b,0}$ – výchozí základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí, dle
mapy větrových oblastí na území ČR

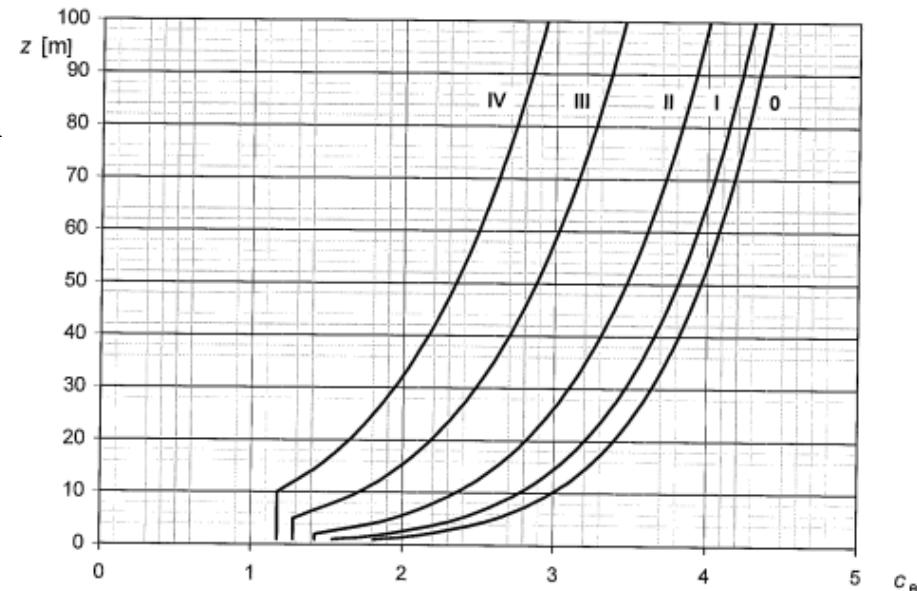
Základní dynamický tlak větru q_p

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \rho v_b^2(z)$$

$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – měrná hmotnost vzduchu

Maximální dynamický tlak větru q_p

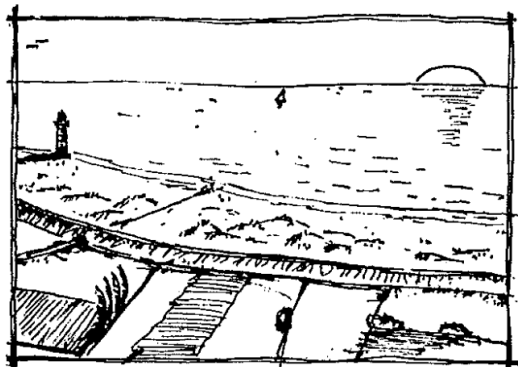
$$q_b(z) = c_e(z) q_p$$



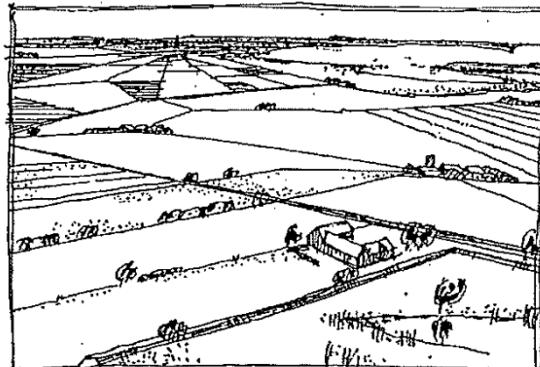
Zdroj: ČSN EN 1991

ZATÍŽENÍ

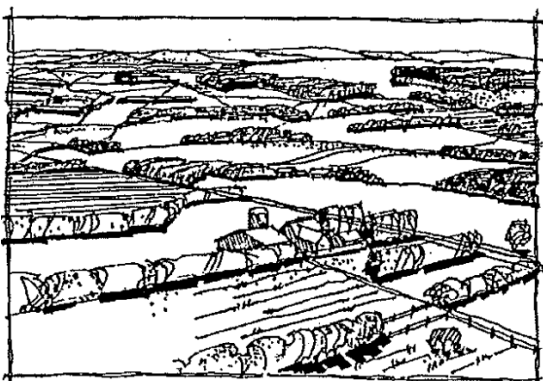
NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2



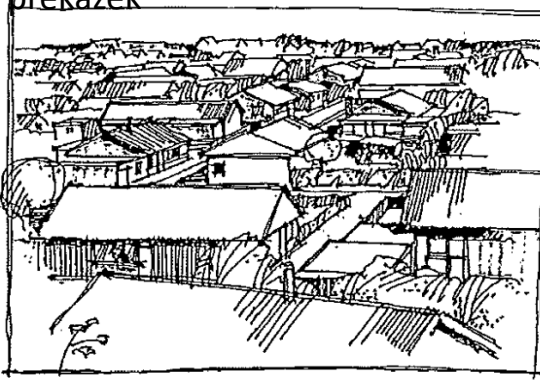
0 Moře nebo pobřežní oblasti otevřeného k moři



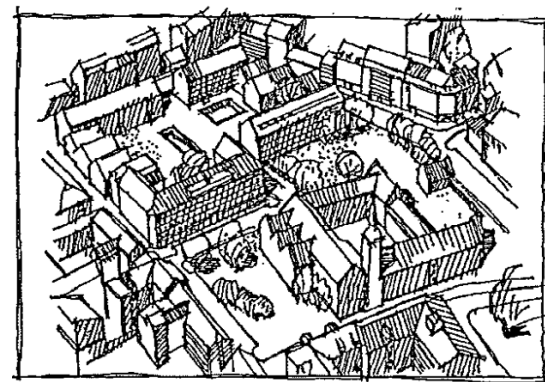
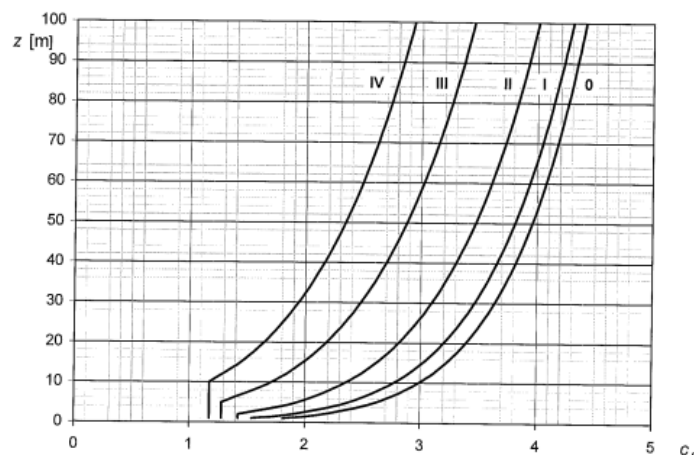
I Jezera nebo oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek



II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami vzdálenými od sebe nejméně 20násobek výšky překážek



III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací, pozemními stavbami nebo izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky



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

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2

Základní rychlost větru v_b

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

C_{dir} – součinitel směru větru, v ČR je hodnota 1

C_{season} – součinitel ročního období, v ČR je hodnota 1

$v_{b,0}$ – výchozí základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí, dle
mapy větrových oblastí na území ČR

Základní dynamický tlak větru q_p

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \rho v_b^2(z)$$

$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – měrná hmotnost vzduchu

Maximální dynamický tlak větru q_p

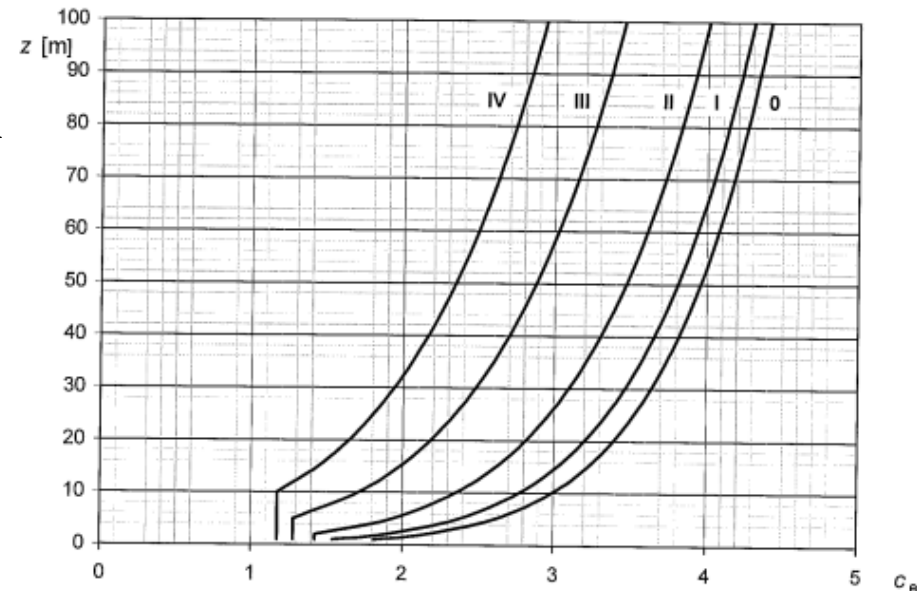
$$q_b(z) = c_e(z) q_p$$

$c_e(z)$ – součinitel expozice

Tlak větru na povrchy

$$w_e = q_p(z) c_{pe}$$

c_{pe} – součinitel vnějšího tlaku

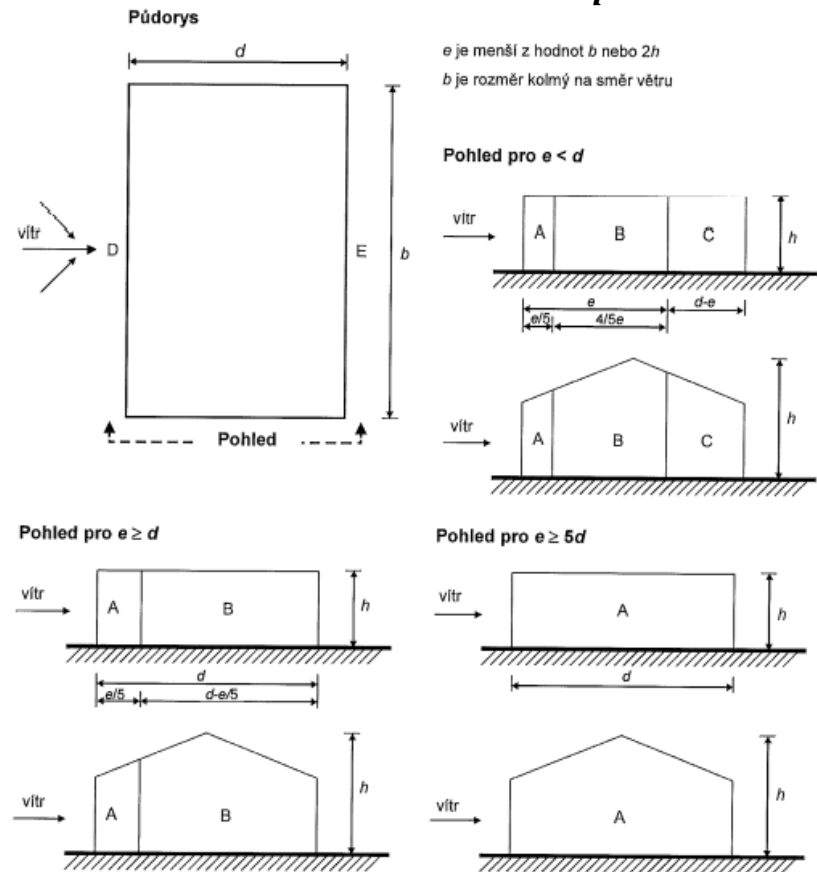


Zdroj: ČSN EN 1991

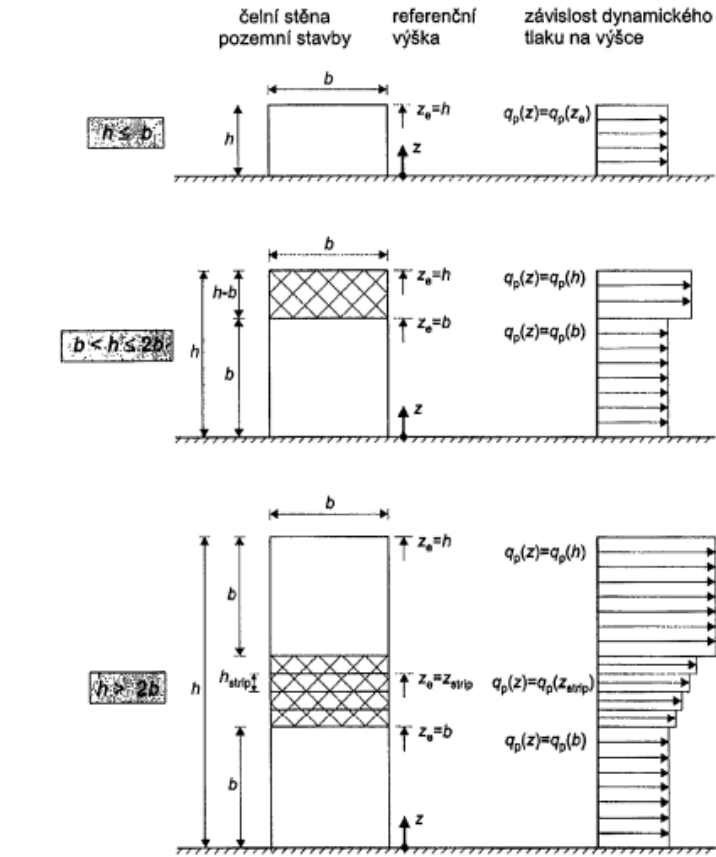
ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2

Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} – svislé stěny



Zatěžované plochy jsou rozděleny do podoblastí dle tvaru a velikosti konstrukce.



Oblast	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-1,4	-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	

Zdroj: ČSN EN 1991

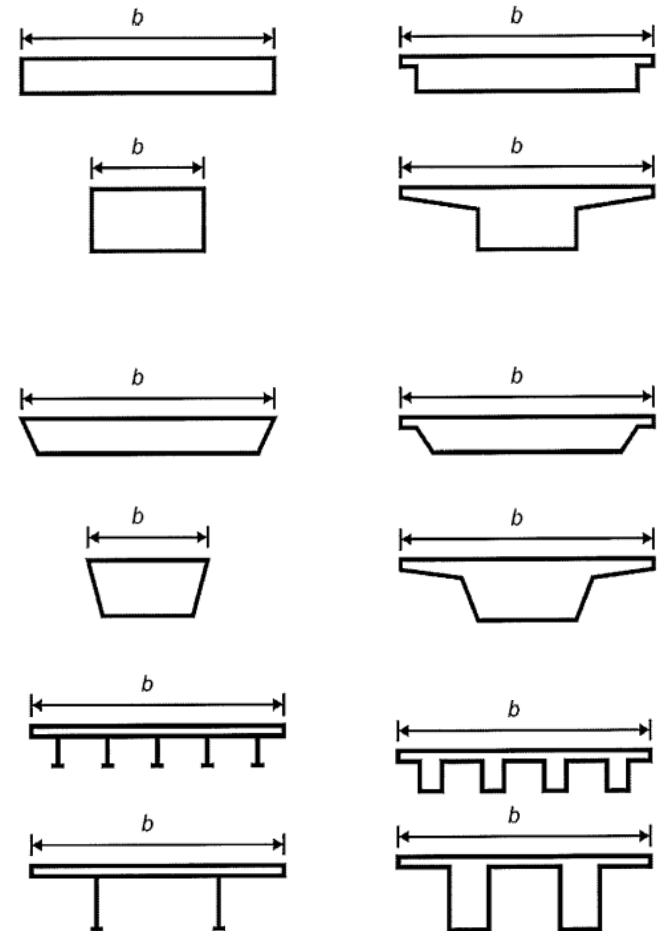
ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2

Norma dále stanovuje:

- Vícelodní střechy
- Zatížení přístřešků
- Klenbové střechy
- Volně stojící stěny
- Informační tabule
- Norné prvky
- Příhradové konstrukce a lešení
- Vlajky
- Mosty

Zatížení větrem pro obloukové mosty, visuté nebo zavěšené mosty, zastřešené mosty, pohyblivé mosty, a mosty s několikanásobnými nebo významně zakřivenými hlavními nosnými konstrukcemi vyžaduje individuální odborné posouzení.

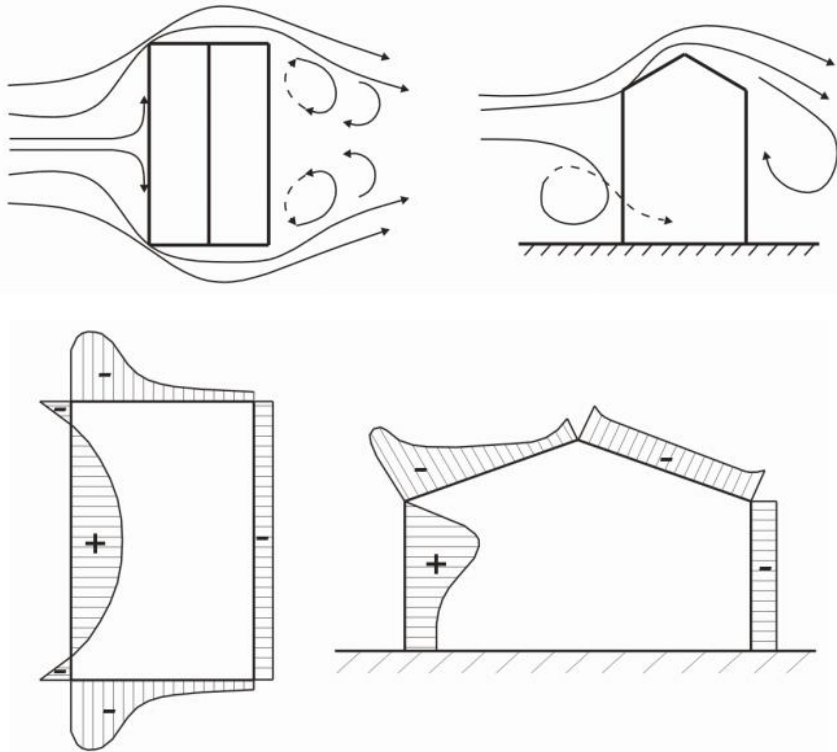


Tvary mostních konstrukcí

Zdroj: ČSN EN 1991

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2



Působení větru kolmo na objekt (Tichý a kol, 1987)

Zatížení větrem lze u malých a středně velkých objektů s dostatečnou tuhostí považovat jako quasi-statické zatížení.

U vysokých (mrakodrapy) nebo lehkých (vysuté konstrukce) je nutné zohlednit dynamické účinky větru na konstrukci pomocí numerických simulací nebo větrných tunelů.

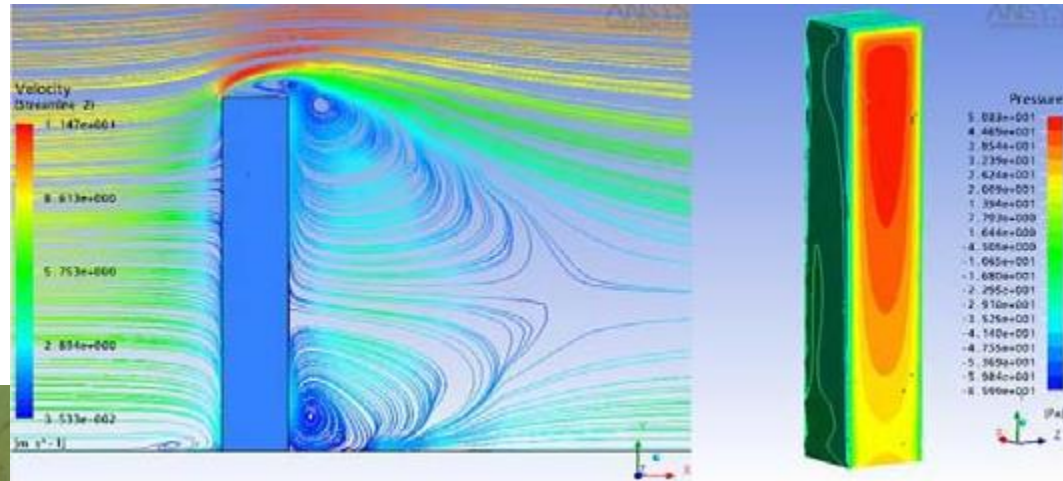
Neznalost dynamického účinku větru na konstrukce měla v minulosti katastrofální dopady na konstrukce.

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2



Zmenšený model ve větrném tunel (P. Mendis a kol, 2007)



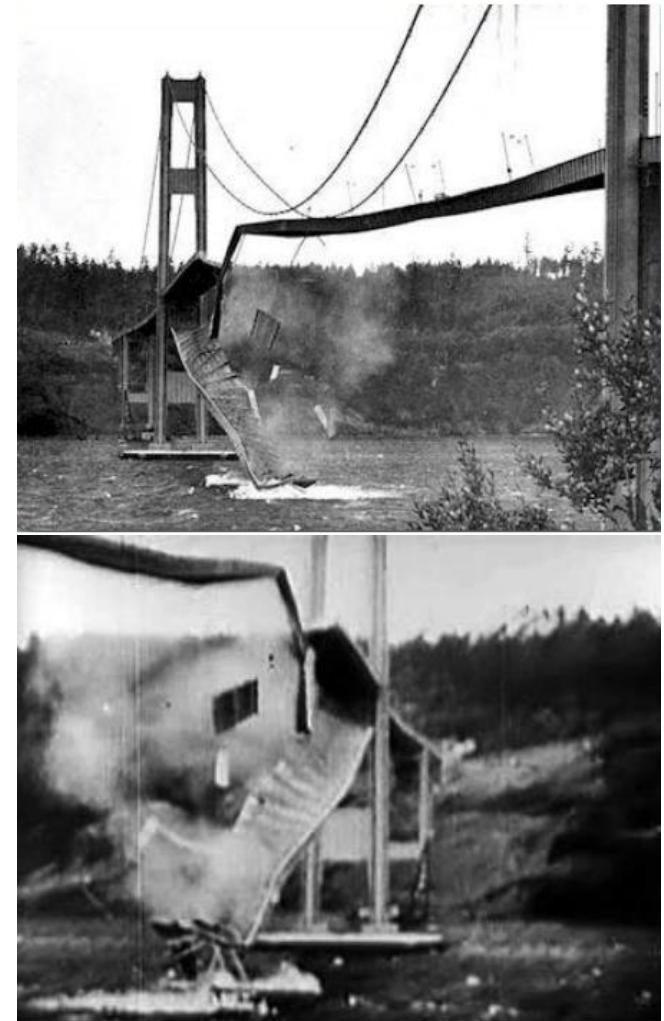
Numerický model zatížení větrem (P. Mendis a kol, 2007)

ZATÍŽENÍ

NAHODILÁ ZATÍŽENÍ – ZATÍŽENÍ VĚTREM ČSN EN 1991-1-2



Zhroucení chladících věží v Ferrybridge v roce 1965
(Melcer, 2017)



Zhroucení Tacoma Narrows Bridge v
roce 1940 (Melcer, 2017)

ZATÍŽENÍ

*DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ

Vlivem turbulentního působení větru může docházet k dynamickému zatížení větrem v podobě harmonického buzení. V případě, že se **budící frekvence** zatížení shoduje s **vlastní frekvencí** konstrukce, dohází k **rezonanci**.

Při rezonanci může i malé zatížení způsobit velké **amplitudy v kmitání** (velké deformace).

Vlastních frekvencí je velké množství. **První vlastní frekvence** má nejmenší frekvenci (kmitá pomalu) a největší amplitudy kmitání. S přibývajícími vlastními frekvencemi jejich frekvence roste a jejich amplitudy klesají.

V praxi tak mají největší význam zejména první vlastní frekvence, které mají zásadní vliv na únavu materiálu a tím na životnost konstrukce.

Vlastní frekvence je závislá na **hmotnosti** a **tuhosti** konstrukce.

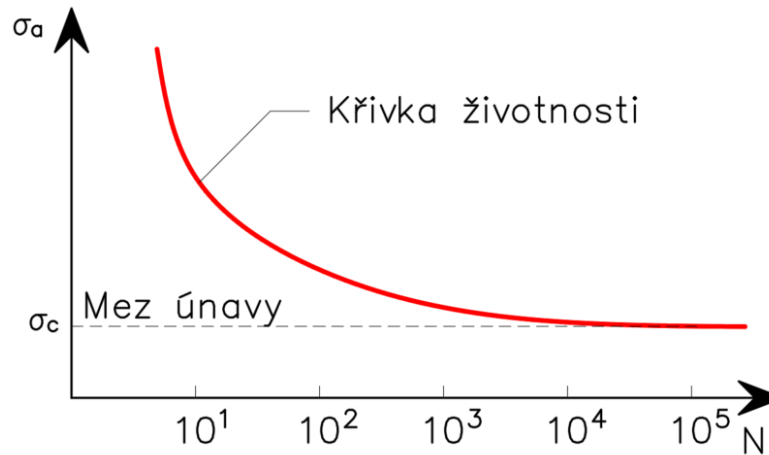
Dynamické zatížení nemusí být způsobeno pouze větrem, ale může být také způsobeno provozem nainstalovaných strojů, dopravou atd.

ZATÍŽENÍ

*DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ

Wohlerova křivka

Zobrazuje závislost pevnosti materiálu na amplitudě σ_a napětí (nebo deformace ε_a) a počtu cyklů N . Hodnota amplitudy σ_c se označuje jako mez únavy. Pod touto hodnotou amplitudy již nemá cyklické zatížení vliv na únosnost konstrukce.



- METODY NÁVRHU STAVEBNÍ KONSTRUKCE
- SPOLEHLIVOST
- ZATÍŽENÍ
- MEZNÍ STAVY

- **METODY NÁVRHU STAVEBNÍ KONSTRUKCE**
- **SPOLEHLIVOST**
- **ZATÍŽENÍ**
- **MEZNÍ STAVY**

NÁVRHOVÉ SITUACE

Soubor podmínek, kterým může být konstrukce v průběhu návrhové životnosti vystavena

- Trvalá – běžný provoz konstrukce
- Dočasně – Výstavba, přestavba
- Mimořádná – požár, výbuch, náraz
- Seizmická - zemětřesení

Návrhové životnosti

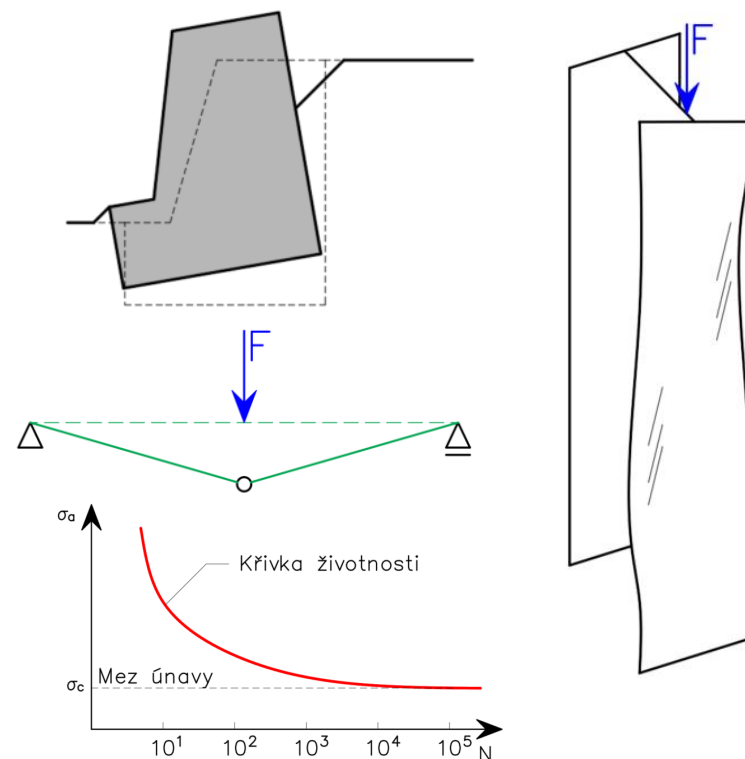
- Dočasné konstrukce 10 let
- Vyměnitelné konstrukce 10-25
- Zemědělské konstrukce 25-50
- Budovy 80 (50)
- Mosty, tunely, památníky 100 let

Zatěžovací stavy

Slučitelná kombinace různých uspořádání zatížení, deformací a imperfekcí, které se uvažují současně s pevnými proměnnými zatíženími a se stálými zatíženími. EN 1990 nenabízí žádné jasné rozlišení spojení „kombinace zatížení“ a „zatěžovací stav“. V dalším textu se používá termín „zatěžovací stav“ pro určité uspořádání zatížení podle daného kombinačního pravidla. Kombinační pravidlo může tedy vést k různým zatěžovacím stavům (například pravidlo pro mezní stav únosnosti STR popsané v EN 1990 rovnicí (6.10) nebo dvojicí rovnic (6.10a) a (6.10b))

MEZNÍ STAVY

- **Mezní stav** se definován jako stav, za kterým již konstrukce (nebo její součást(i)) nedokáže plnit funkci, pro kterou byla navržena. Základní rozlišení se provádí mezi **mezními stavy únosnosti** a **mezními stavy použitelnosti**
- **Mezní stav únosnosti** se vztahuje výhradě k únosnosti konstrukce za výskytu extrémních podmínek. Vztahuje se tedy ke všem podmínkám, za kterých může být ohrožena bezpečnost osob, konstrukcí a za mimořádných okolností i obsah konstrukce/objektu. Mezní stav únosnosti je dosažen pokud:
 - Konstrukce ztratí její stabilitu buď jako celek nebo jakákoliv její součást a překloupí se jako tuhé těleso
 - Kolaps nosné konstrukce (nebo její části) nastane kvůli vytvoření mechanismu
 - Boulení nosných konstrukcí (celkové nebo lokální boulení tlačných prvků)
 - Ztráta spojitosti mezi nosnými prvky, ztráta duktility (pružnosti) v případě seismického zatížení
 - Ztráta stability kvůli požáru, výbuchu nebo kolizi
 - Porucha únavou nebo jinými časovými účinky



MEZNÍ STAVY

- **Mezní stav použitelnosti** se vztahuje k požadavkům zahrnující funkčnost, odolnost a běžnou použitelnost konstrukce, dále pohodlí osob a vzhled konstrukce. V rámci mezního stavu použitelnosti je hodnotí tři základní aspekty:
 - Deformace – vzhled, pohoda, provozuschopnost
 - Vibrace – pohoda, provozuschopnost
 - Poškození – vzhled, trvanlivost, provozuschopnost
- Nadměrné deformace konstrukce (nebo její součásti) může narušit celistvost nenosných konstrukcí jako jsou dělící příčky nebo okenní rámy (obzvláště pokud jsou z nepružných materiálů) a spolehlivý provoz a přesnost zařízení.
- Vibrace mohou být způsobeny vlnami, větrem nebo pohybem mechanických zařízení, které tak snižují funkční efektivnost a mohou způsobit nepohodu, obavy nebo dokonce i paniku u osob užívajících objekt.

MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

EQU

STR

GEO

FAT

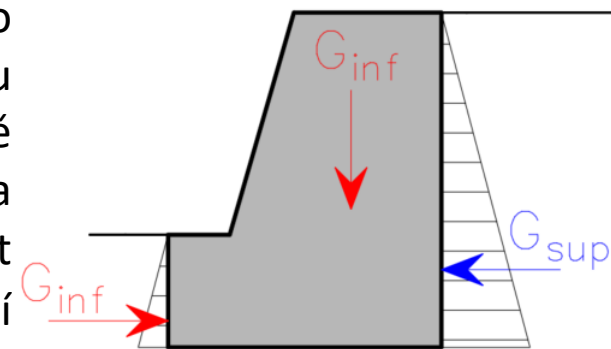
MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

EQU – tyto stavy zahrnují ztrátu rovnováhy konstrukce buď jako tuhého celku nebo kterékoliv její části. V těchto případech nejsou mechanické vlastnosti nebo odolnost materiálu obecně rozhodujícími faktory. Naopak, nejmenší rozdíly v geometrii a rozdělení sil má klíčový význam. Destabilizační síly (G_{sup}) musí být zahrnuty jejími vyššími návrhovými hodnotami, zatím co nižší návrhové hodnoty musí být použity pro stabilizační síly (G_{inf}). Návrh a posouzení by měly zahrnovat možné změny tvaru konstrukce i změny interakce s okolím jak v průběhu výstavby, tak v průběhu jejího užívání.

STR

GEO

FAT

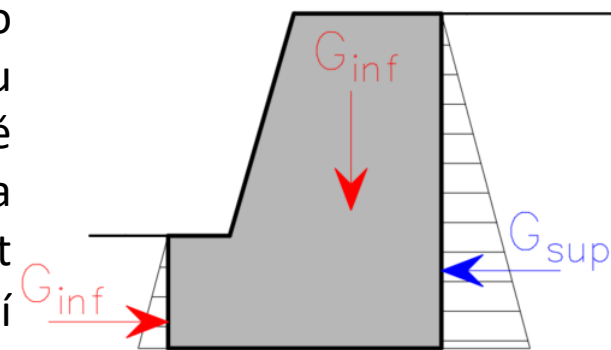


G_{inf} - inferior

G_{sup} - superior

MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

EQU – tyto stavy zahrnují ztrátu rovnováhy konstrukce buď jako tuhého celku nebo kterékoliv její části. V těchto případech nejsou mechanické vlastnosti nebo odolnost materiálu obecně rozhodujícími faktory. Naopak, nejmenší rozdíly v geometrii a rozdělení sil má klíčový význam. Destabilizační síly (G_{sup}) musí být zahrnuty jejími vyššími návrhovými hodnotami, zatím co nižší návrhové hodnoty musí být použity pro stabilizační síly (G_{inf}). Návrh a posouzení by měly zahrnovat možné změny tvaru konstrukce i změny interakce s okolím jak v průběhu výstavby, tak v průběhu jejího užívání.



G_{inf} - inferior

G_{sup} - superior

STR – tyto stavy zahrnují porušení nebo nadměrné deformace konstrukce nebo její části. V těchto případech je pevnost materiálu rozhodujícím faktorem při posuzování

GEO

FAT

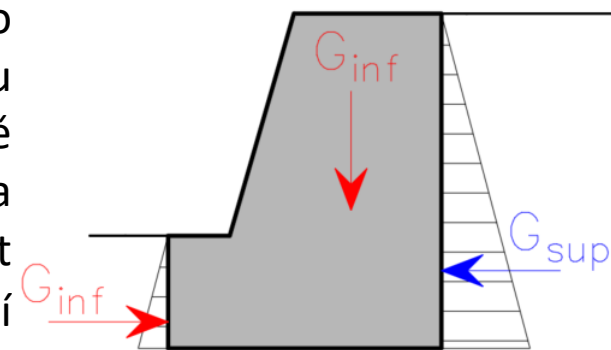
MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

EQU – tyto stavy zahrnují ztrátu rovnováhy konstrukce buď jako tuhého celku nebo kterékoliv její části. V těchto případech nejsou mechanické vlastnosti nebo odolnost materiálu obecně rozhodujícími faktory. Naopak, nejmenší rozdíly v geometrii a rozdělení sil má klíčový význam. Destabilizační síly (G_{sup}) musí být zahrnuty jejími vyššími návrhovými hodnotami, zatím co nižší návrhové hodnoty musí být použity pro stabilizační síly (G_{inf}). Návrh a posouzení by měly zahrnovat možné změny tvaru konstrukce i změny interakce s okolím jak v průběhu výstavby, tak v průběhu jejího užívání.

STR – tyto stavy zahrnují porušení nebo nadměrné deformace konstrukce nebo její části. V těchto případech je pevnost materiálu rozhodujícím faktorem při posuzování

GEO – tyto stavy zahrnují nadměrné deformace zeminy. Je kritickým faktorem pro zajištění bezpečnosti u takových limitních stavů, kde rozhodují mechanické vlastnosti zeminy. V případě návrhu konstrukčních částí (základy, piloty, opěrné stěny...) zahrnující geotechnické působení a únosnost zeminy se používá v kombinaci **STR**.

FAT



G_{inf} - inferior

G_{sup} - superior

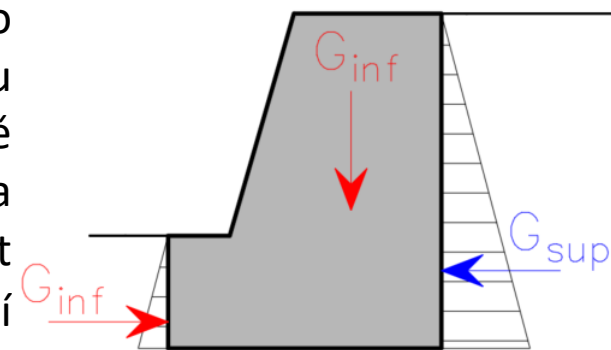
MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

EQU – tyto stavy zahrnují ztrátu rovnováhy konstrukce buď jako tuhého celku nebo kterékoliv její části. V těchto případech nejsou mechanické vlastnosti nebo odolnost materiálu obecně rozhodujícími faktory. Naopak, nejmenší rozdíly v geometrii a rozdělení sil má klíčový význam. Destabilizační síly (G_{sup}) musí být zahrnuty jejími vyššími návrhovými hodnotami, zatím co nižší návrhové hodnoty musí být použity pro stabilizační síly (G_{inf}). Návrh a posouzení by měly zahrnovat možné změny tvaru konstrukce i změny interakce s okolím jak v průběhu výstavby, tak v průběhu jejího užívání.

STR – tyto stavy zahrnují porušení nebo nadměrné deformace konstrukce nebo její části. V těchto případech je pevnost materiálu rozhodujícím faktorem při posuzování

GEO – tyto stavy zahrnují nadměrné deformace zeminy. Je kritickým faktorem pro zajištění bezpečnosti u takových limitních stavů, kde rozhodují mechanické vlastnosti zeminy. V případě návrhu konstrukčních částí (základy, piloty, opěrné stěny...) zahrnující geotechnické působení a únosnost zeminy se používá v kombinaci **STR**.

FAT – tyto stavy zahrnují porušení konstrukce nebo její části působením únavy. (nižší návrhové hodnoty o vysoké frekvenci v průběhu životnosti konstrukce)



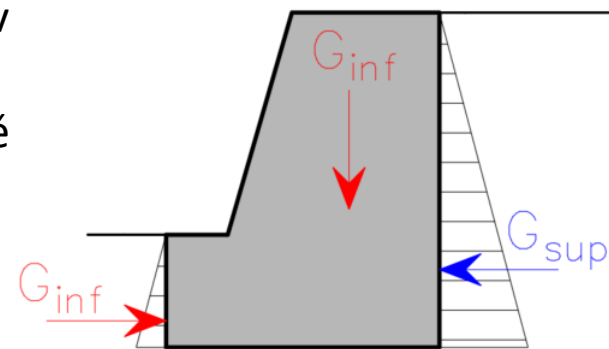
G_{inf} - inferior

G_{sup} - superior

MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

UPL – Ztráta rovnováhy v konstrukce nebo základové půdy v důsledku vztlaku vody nebo jiných svislých zatížení

HYD – Nadzdvihování dna, vnitřní eroze a sufoze v základové půdě způsobená hydraulickými spády



G_{inf} - inferior

G_{sup} - superior

MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

KOMBINACE ZATÍŽENÍ DLE NORMY 1990

Každá kombinace zatížení musí zahrnovat:

- Hlavní proměnné zatížení nebo
- Mimořádné zatížení

KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO TRVALÉ A DOČASNÉ NÁVRHOVÉ SITUACE

Kombinace zatížení v trvalých a dočasných návrhových situacích jsou založeny na:

- návrhové hodnotě vedoucí nahodilého zatížení,
- návrhové hodnotě vedlejšího nahodilého zatížení.

Součinitel stálého zatížení
 $\gamma_{G,SUP} = 1,35$
 $\gamma_{G,INF} = 1,0$

Pro EQU
 $\gamma_{G,SUP} = 1,1$
 $\gamma_{G,INF} = 0.9$

Součinitel nahodilého zatížení
 $\gamma_{Q,SUP} = 1,5$
 $\gamma_{Q,INF} = 0,0$
Kombinační součinitel zatížení
 ψ

G_k - charakteristické stálé zatížení
 Q_K - charakteristické nahodilé zatížení
 P – zatížení z předpětí

Základní kombinace pro mezní stavy únosnosti je

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

MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

KOMBINACE ZATÍŽENÍ DLE NORMY 1990

Každá kombinace zatížení musí zahrnovat:

- Hlavní proměnné zatížení nebo
- Mimořádné zatížení

KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO TRVALÉ A DOČASNÉ NÁVRHOVÉ SITUACE

Kombinace zatížení v trvalých a dočasných návrhových situacích jsou založeny na:

- návrhové hodnotě vedoucí nahodilého zatížení,
- návrhové hodnotě vedlejšího nahodilého zatížení.

Součinitel stálého zatížení
 $\gamma_{G,SUP} = 1,35$
 $\gamma_{G,INF} = 1,0$

Pro stavy STR a GEO je alternativou méně příznivá kombinace ze dvou výrazů

Součinitel nahodilého zatížení
 $\gamma_{Q,SUP} = 1,5$
 $\gamma_{Q,INF} = 0,0$
Kombinační součinitel zatížení
 ψ

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

G_k - charakteristické stálé zatížení
 Q_K - charakteristické nahodilé zatížení
 P – zatížení z předpětí

MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

KOMBINACE ZATÍŽENÍ DLE NORMY 1990

Každá kombinace zatížení musí zahrnovat:

- Hlavní proměnné zatížení nebo
- Mimořádné zatížení

KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO MIMOŘÁDNÉ NÁVRHOVÉ SITUACE

Kombinaci zatížení pro ověření konstrukce v mimořádných návrhových situacích lze symbolicky zapsat takto

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

KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO SEIZMICKÉ NÁVRHOVÉ SITUACE

Kombinace zatížení pro ověření konstrukce v seismických návrhových situacích

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Součinitel stálého zatížení
 $\gamma_{G,SUP} = 1,35$
 $\gamma_{G,INF} = 1,0$

Součinitel nahodilého zatížení
 $\gamma_{Q,SUP} = 1,5$
 $\gamma_{Q,INF} = 0,0$
Kombinační součinitel zatížení
 ψ

G_k - charakteristické stálé zatížení
 Q_k - charakteristické nahodilé zatížení
 P – zatížení z předpětí

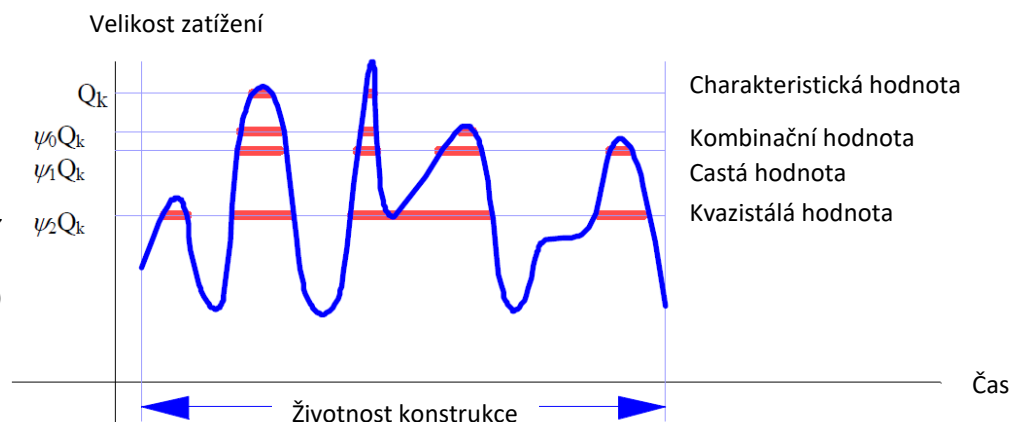
MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

REPREZENTATIVNÍ HODNOTY NAHODILÉHO ZATÍŽENÍ

Doprovázející hodnota nahodilého zatížení ($\psi Q_{k,i}$) je hodnota i-tého nahodilého zatížení, které doprovází hlavní nahodilé zatížení $Q_{k,1}$ v kombinaci zatížení ($\psi_i \leq 1$).

KOMBINAČNÍ HODNOTA ($\psi_0 Q_k$)

Používá se pro ověřování **mezních stavů únosnosti** a **nevratných mezních stavů použitelnosti**. Volí tak, aby byla pravděpodobnost překročení kombinační hodnoty zatížení přibližně stejná jako pro individuální charakteristickou hodnotu zatížení.



Schématické znázornění nahodilého zatížení

Zdroj: Handbook 1: Basis of structural design

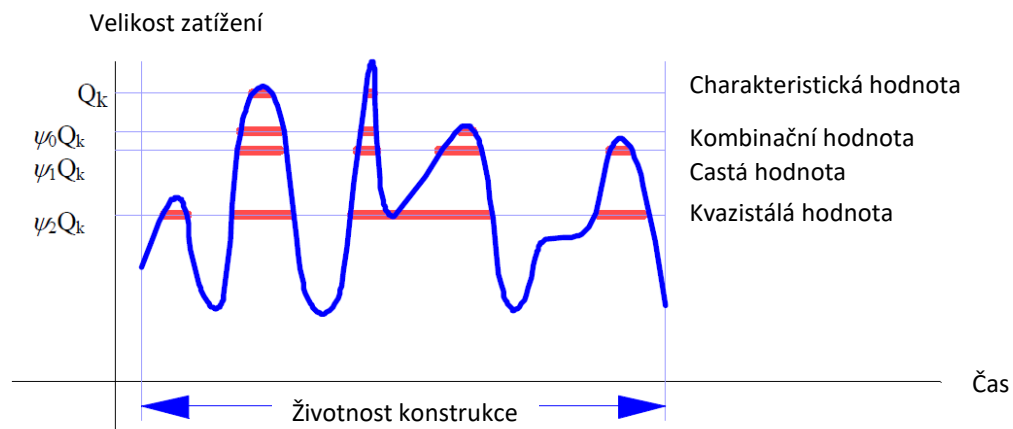
ČASTÁ HODNOTA ($\psi_1 Q_k$)

Používá se pro ověřování **mezních stavů únosnosti zahrnujících mimořádné zatížení** a pro ověřování **vratných mezních stavů použitelnosti**. Celková doba v rámci referenčního období, během níž je překročena, je jen malou částí referenčního období nebo je četnost jejího překročení omezena na určitou hodnotu. Například pro budovy se hodnota četnosti volí tak, aby doba jejího překročení činila 0,01 referenčního období.

MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

KVAZISTÁLÁ HODNOTA ($\psi_2 Q_k$)

Používá se pro ověření **mezních stavů únosnosti** zahrnujících **mimořádné zatížení** a pro ověření **vratných mezních stavů použitelnosti**. Kvazistálé hodnoty se také používají pro výpočet dlouhodobých účinků; je hodnota stanovená tak, že celková doba, po kterou bude překročena, je velkým zlomkem referenční doby.



Schématické znázornění nahodilého zatížení
Zdroj: Handbook 1: Basis of structural design

*DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ

V běžných případech lze dynamické působení považovat za statické působení, tj. kvazistatické působení, vynásobením velikosti statické části působení příslušným koeficientem. Ve většině případů je tento koeficient větší než jedna, ale pokud je doba působení dynamického působení krátká, např. nárazy vozidel, může být tento koeficient menší než jedna. Pokud dynamické působení způsobí významné zrychlení konstrukce a zjednodušení kvazistatického přístupu již neplatí, měla by se k posouzení odezvy konstrukce použít dynamická analýza systému.

MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

Základní kombinace

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

Kombinace pro mimořádné návrhové situace

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

Kombinace pro seizmické návrhové situace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

STR a GEO

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

$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Zatížení	ψ0	ψ1	ψ2
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) ^{a)}			
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 ≤ 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.			
^{a)} Pro země, které zde nejsou uvedené, se součinitele ψ stanoví podle místních podmínek.			

Doporučení hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby

MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

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

Trvalé a dočasné návrhové situace	Stálá zatížení		Hlavní proměnné zatížení	Vedlejší proměnná zatížení	
	nepříznivá	příznivá		nejúčinnější (pokud se vyskytuje)	ostatní
Výraz (6.10)	1,35 $G_{k,j,sup}$	1,00 $G_{k,j,inf}$	1,50 $Q_{k,1}$ (0 pro příznivé)		1,50 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ (0 pro příznivé)

Trvalé a dočasné návrhové situace

Trvalé a dočasné návrhové situace	Stálá zatížení		Hlavní proměnné zatížení	Vedlejší proměnná zatížení	
	nepříznivá	příznivá		nejúčinnější (pokud se vyskytuje)	ostatní
Výraz (6.10)	1,1 $G_{k,j,sup}$	0,9 $G_{k,j,inf}$	1,5 $Q_{k,1}$ (0 pro příznivé)		1,5 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ (0 pro příznivé)

Návrhové hodnoty zatížení pro EQU

MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

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

$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Trvalé a dočasné návrhové situace	Stálá zatížení		Hlavní proměnné zatížení	Vedlejší proměnná zatížení	
	nepříznivá	příznivá		nejúčinnější (pokud se vyskytuje)	ostatní
Výraz (6.10a)	1,35 G _{k,j,sup}	1,00 G _{k,j,inf}		1,5 ψ _{0,1} Q _{k,1} (0 pro příznivé)	1,5 ψ _{0,i} Q _{k,i} (0 pro příznivé)
Výraz (6.10b)	1,35 × 0,85 G _{k,j,sup}	1,00 G _{k,j,inf}	1,5 Q _{k,1} (0 pro příznivé)		1,5 ψ _{0,i} Q _{k,i} (0 pro příznivé)
Pro aplikaci součinitelů γ pro záměrně vnesená přetvoření viz EN 1991 až EN 1999.					
POZNÁMKA Charakteristické hodnoty všech stálých zatížení stejného původu se násobí γ _{G,sup} , pokud je výsledný účinek zatížení nepříznivý, a γ _{G,inf} , pokud je výsledný účinek zatížení příznivý. Například všechna zatížení od vlastní tíhy konstrukce lze považovat za zatížení stejného původu; platí to také v případě použití rozdílných materiálů.					

Návrhové hodnoty zatížení pro STR/GEO

MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI

Neověruje se únosnost, ale efekt (E_d) působícího zatížení, který musí být nižší než návrhové hodnoty (C_d). Příkladem může být posouzení průhybu konstrukce ve formě:

$$E_d < C_d$$
$$w_d < w_{max},$$

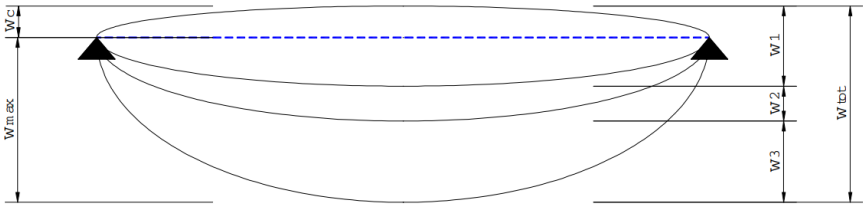
kde w_d je návrhová hodnota průhybu od působícího zatížení a w_{max} je limitní hodnota průhybu. V případě průhybu se zahrnují tyto hodnoty:

- w_c -navýšení konstrukce,
- w_1 - průhyb od stálého zatížení,
- w_2 - průhyb od dlouhodobých účinků stálého zatížení (dotvarování),
- w_3 - průhyb od variabilního zatížení,
- w_{tot} - celkový průhyb

Table 1. Indicative limiting values for particular serviceability criteria

Serviceability requirements	Serviceability Limit States		
	Vertical deflections – See figure 7 ^{(1),(2)}		
	Irreversible effects of Actions	Reversible effects of Actions	
	Characteristic Combination	Frequent Combination	Quasi-permanent Combination
	w_{tot} OR w_{max}	w_{max}	w_{max}
Function and damage to non-structural members (e.g. partition walls, claddings, etc) ⁽³⁾ • Brittle • Non-brittle	$\leq L/500$ to $L/360$ $\leq L/300$ to $L/200$		
Function and damage to structural members	$\leq L/300$ to $L/200$		
To avoid ponding of water. Roof covered with waterproof membrane		$\leq L/250$ ⁽⁴⁾	
Comfort of user or functioning of machinery		$\leq L/300$	
Crane gantry girders, deflection due to static wheel loads		$\leq L/600$	
Appearance			$\leq L/250$

- (1) See EN 1990, Clause A1.4.3.
- (2) The benefits of any pre-camber may be considered if appropriate.
- (3) These figures assume that partitions, cladding and finishes have not been specifically detailed to allow for anticipated deflections.
- (4) The deflection limit of $L/250$ is appropriate for flat roofs of 2,5% slope or greater. A more restrictive limit would apply for roofs of less than this slope.



MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI

KOMBINACE OPATŘENÍ PRO MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI

Kombinace činností, které by měly být použity pro ověření mezních stavů použitelnosti závisí na charakteru účinků akce. Existují tři různé typy účinků zatížení:

- Nevratné
- Vratné
- Dlouhodobé účinky.

Odpovídající kombinace zatížení se symbolicky zapisují jako:

a) Charakteristická kombinace zatížení, která se obvykle používá pro ověření nevratných mezních stavů

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

b) Častá kombinace, která se obvykle používá pro ověření vratných mezních stavů

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

c) Kvazistálá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kombinace	Stálá zatížení G_d		Proměnná zatížení Q_d	
	nepříznivá	příznivá	hlavní	vedlejší
Charakteristická	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Častá	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Kvazistálá	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

Návrhové hodnoty zatížení pro MS použitelnosti

KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Zatížení se kombinuje dle návrhové situace a posuzovaného mezního stavu.

Návrhová situace: Běžný provoz

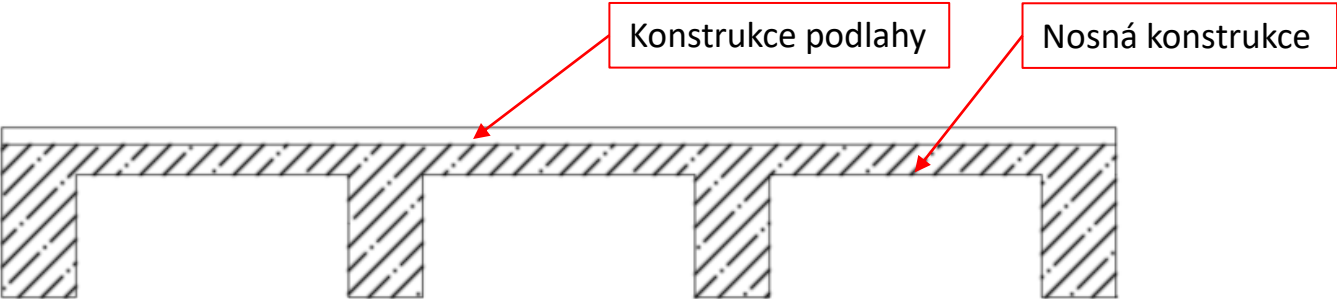
Mezní stav: Únosnosti STR/GEO

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

Trvalé a dočasné návrhové situace	Stálá zatížení		Hlavní proměnné zatížení	Vedlejší proměnná zatížení	
	nepříznivá	příznivá		nejúčinnější (pokud se vyskytuje)	ostatní
Výraz (6.10a)	1,35 G _{k, sup}	1,00 G _{k, inf}		1,5 ψ _{0,1} Q _{k,1} (0 pro příznivé)	1,5 ψ _{0,i} Q _{k,i} (0 pro příznivé)
Výraz (6.10b)	1,35 × 0,85 G _{k, sup}	1,00 G _{k, inf}	1,5 Q _{k,1} (0 pro příznivé)		1,5 ψ _{0,i} Q _{k,i} (0 pro příznivé)

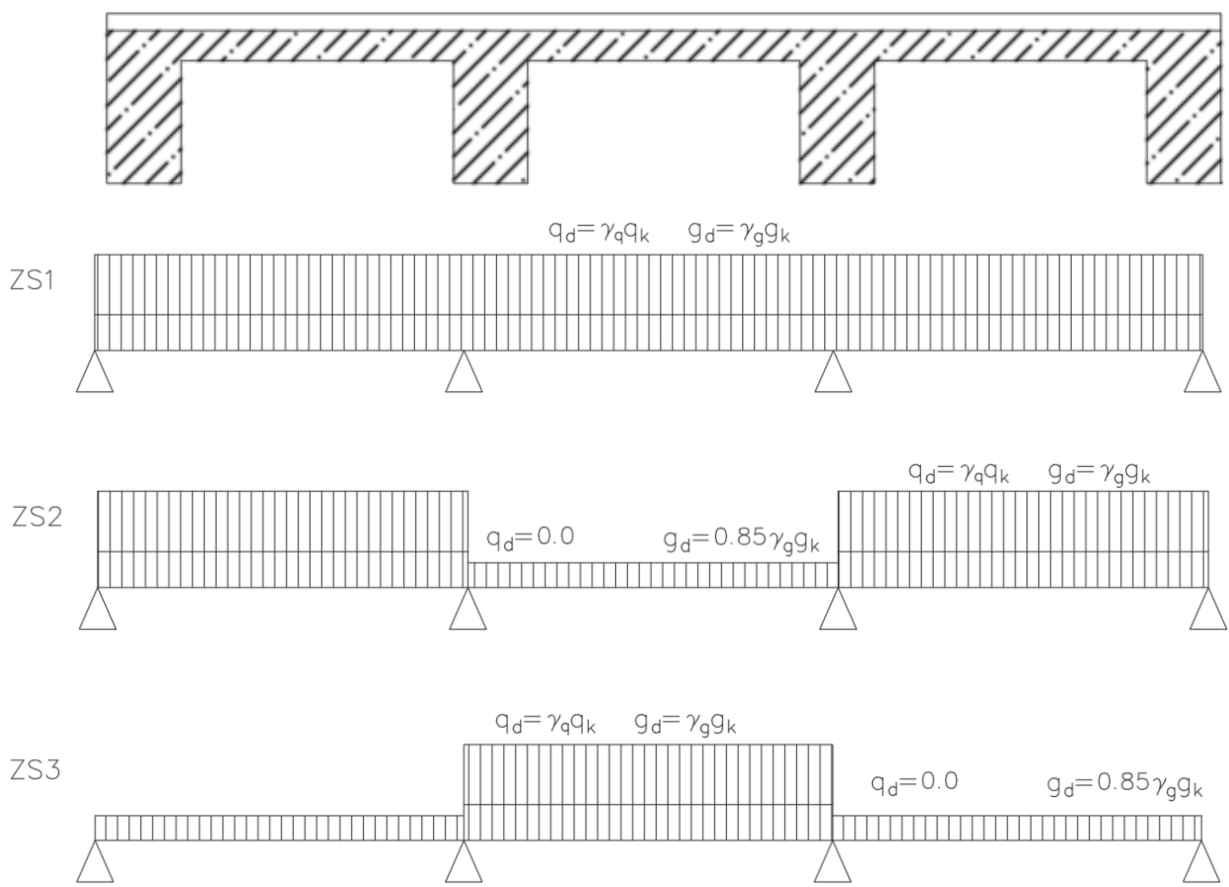
Pro aplikaci součinitelů γ pro záměrně vnesená přetvoření viz EN 1991 až EN 1999.

POZNÁMKA Charakteristické hodnoty všech stálých zatížení stejného původu se násobí γ_{G, sup}, pokud je výsledný účinek zatížení nepříznivý, a γ_{G, inf}, pokud je výsledný účinek zatížení příznivý. Například všechna zatížení od vlastní tíhy konstrukce lze považovat za zatížení stejného původu; platí to také v případě použití rozdílných materiálů.



ZATĚŽOVACÍ STAV

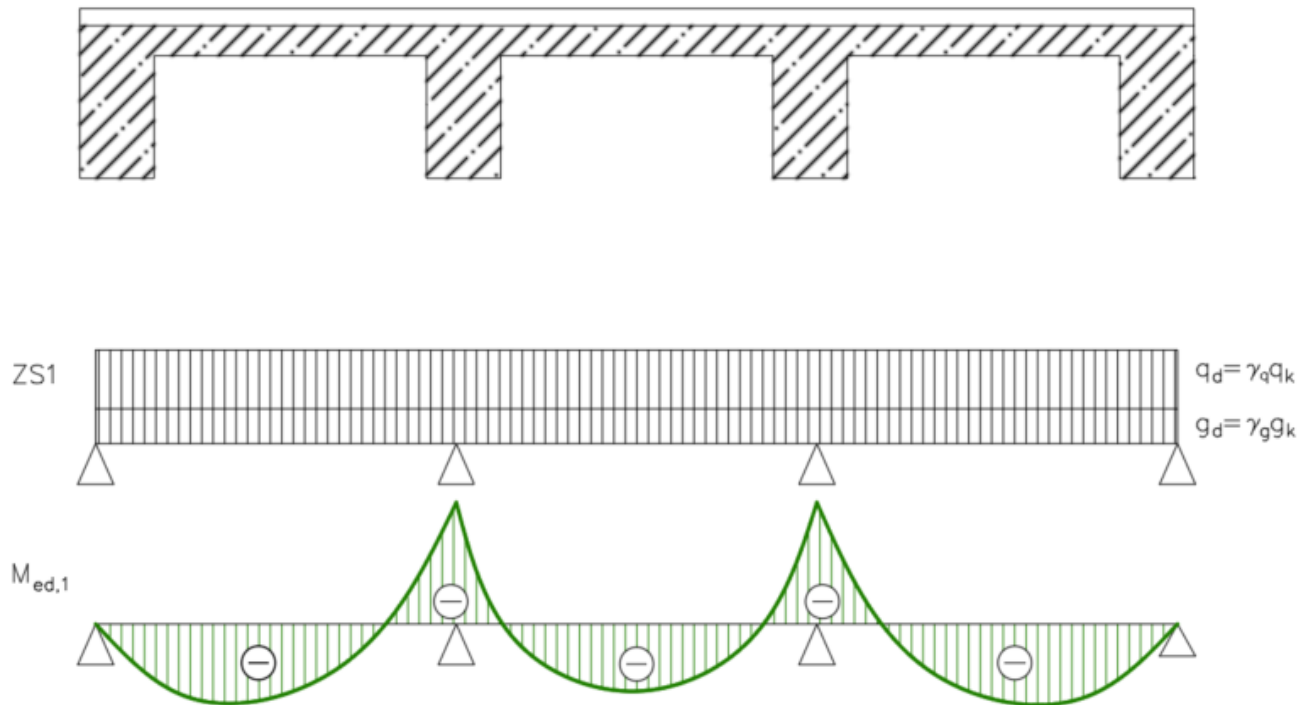
Jednotlivá zatížení jsou po statickém modelu konstrukce rozmístěny vzhledem k jejich významu. Kombinace zatížení zohledňuje přívětivé a nepřívětivé účinky zatížení. Kombinaci těchto účinků lze zohlednit v tzv. **zatěžovacích stavech**.



- q_k – charakteristická hodnota užitého zatížení
- q_d – návrhová hodnota užitého zatížení
- g_k – charakteristická hodnota stálého zatížení
- g_d – návrhová hodnota stálého zatížení
- ZS – zatěžovací stav
- $M_{ed,1}$ – návrhový moment 1. ZS

ZATĚŽOVACÍ STAV

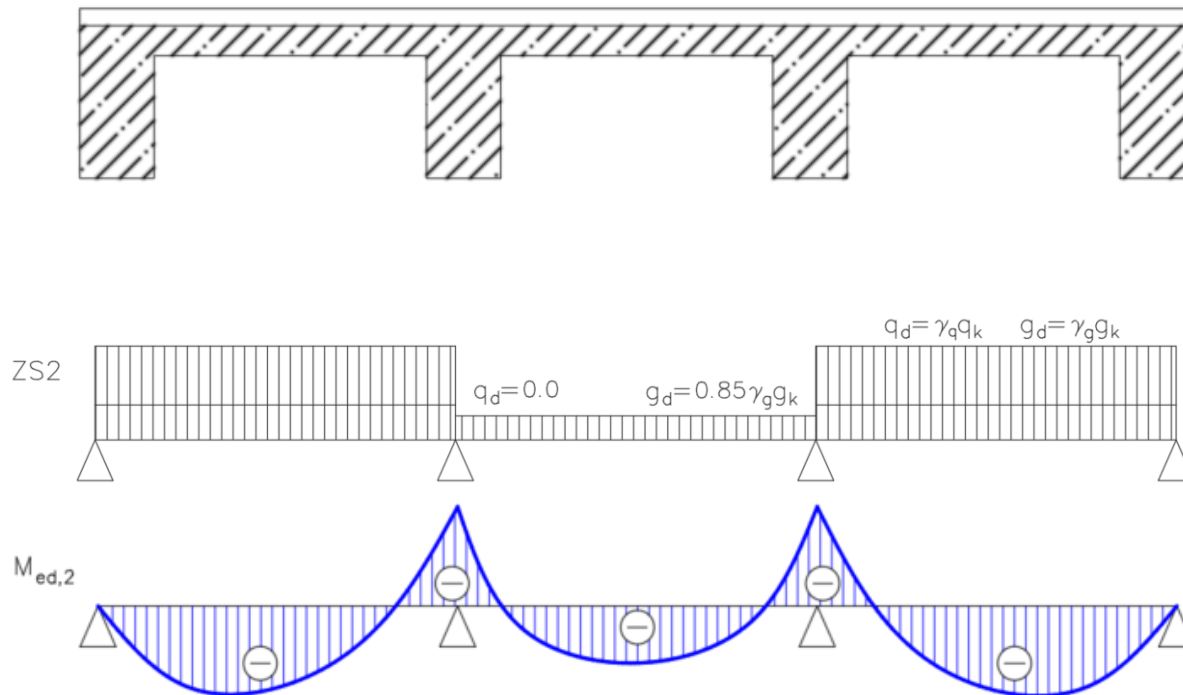
Jednotlivá zatížení jsou po statickém modelu konstrukce rozmístěny vzhledem k jejich významu. Kombinace zatížení zohledňuje přívětivé a nepřívětivé účinky zatížení. Kombinaci těchto účinků lze zohlednit v tzv. **zatěžovacích stavech**.



- q_k – charakteristická hodnota užitého zatížení
- q_d – návrhová hodnota užitého zatížení
- g_k – charakteristická hodnota stálého zatížení
- g_d – návrhová hodnota stálého zatížení
- ZS – zatěžovací stav
- $M_{ed,1}$ – návrhový moment 1. ZS

ZATĚŽOVACÍ STAV

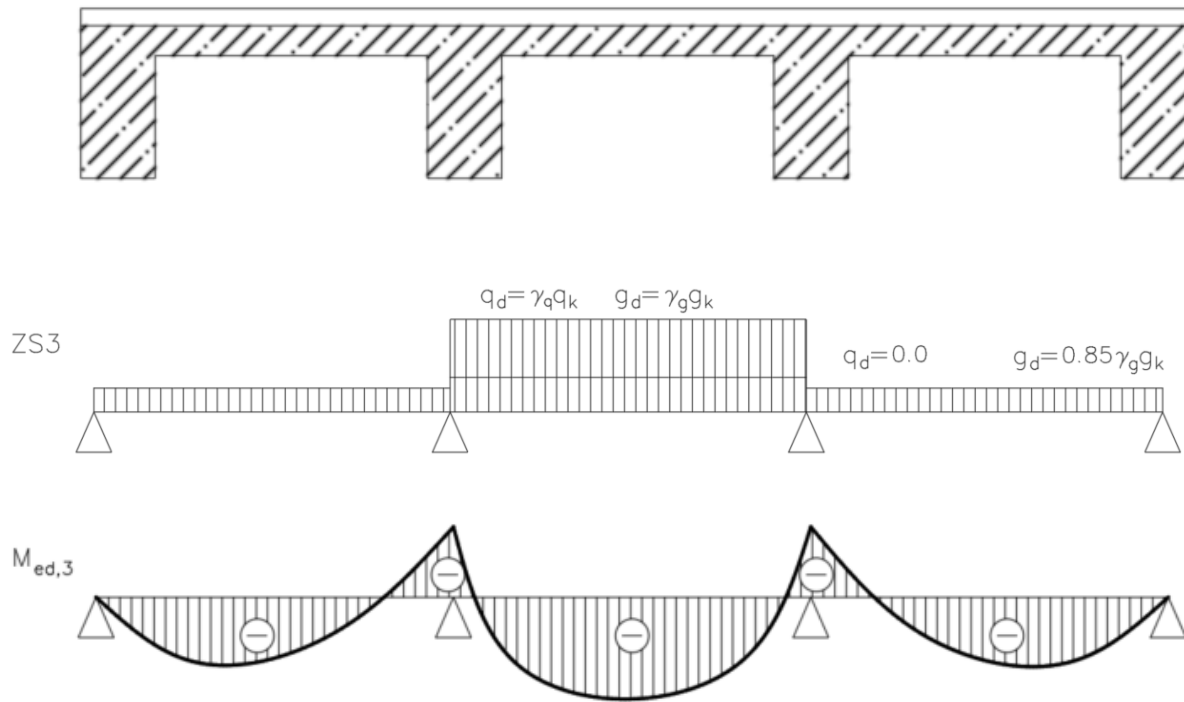
Jednotlivá zatížení jsou po statickém modelu konstrukce rozmístěny vzhledem k jejich významu. Kombinace zatížení zohledňuje přívětivé a nepřívětivé účinky zatížení. Kombinaci těchto účinků lze zohlednit v tzv. **zatěžovacích stavech**.



- q_k – charakteristická hodnota užitého zatížení
- q_d – návrhová hodnota užitého zatížení
- g_k – charakteristická hodnota stálého zatížení
- g_d – návrhová hodnota stálého zatížení
- ZS – zatěžovací stav
- $M_{ed,1}$ – návrhový moment 1. ZS

ZATĚŽOVACÍ STAV

Jednotlivá zatížení jsou po statickém modelu konstrukce rozmístěny vzhledem k jejich významu. Kombinace zatížení zohledňuje přívětivé a nepřívětivé účinky zatížení. Kombinaci těchto účinků lze zohlednit v tzv. **zatěžovacích stavech**.

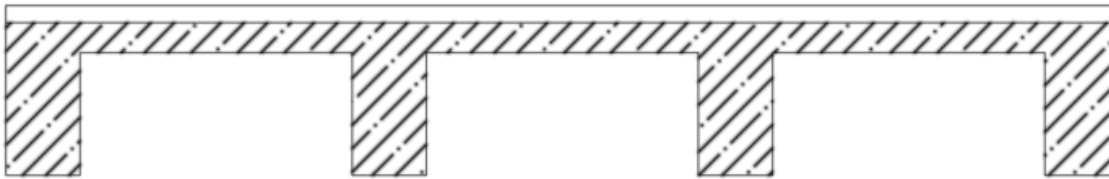


- q_k – charakteristická hodnota užitého zatížení
- q_d – návrhová hodnota užitého zatížení
- g_k – charakteristická hodnota stálého zatížení
- g_d – návrhová hodnota stálého zatížení
- ZS – zatěžovací stav
- $M_{ed,1}$ – návrhový moment 1. ZS

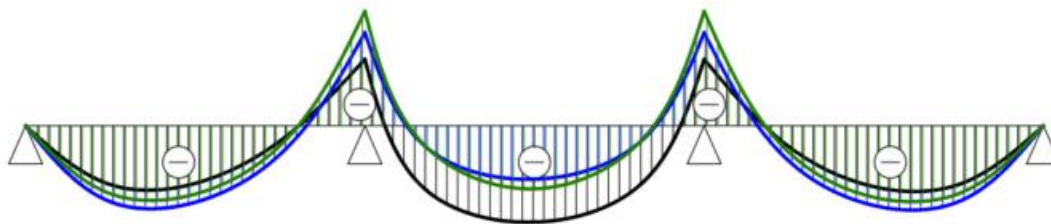
ZATĚŽOVACÍ STAV

Jednotlivá zatížení jsou po statickém modelu konstrukce rozmístěny vzhledem k jejich významu. Kombinace zatížení zohledňuje přívětivé a nepřívětivé účinky zatížení. Kombinaci těchto účinků lze zohlednit v tzv. **zatěžovacích stavech**.

Jednotlivé zatěžovací stavy jsou očíslovány. Kombinací jednotlivých zatěžovacích stavů se vytvoří tzv. **obálky vnitřních sil**, které slouží pro návrh konstrukce.



Momentové obálky

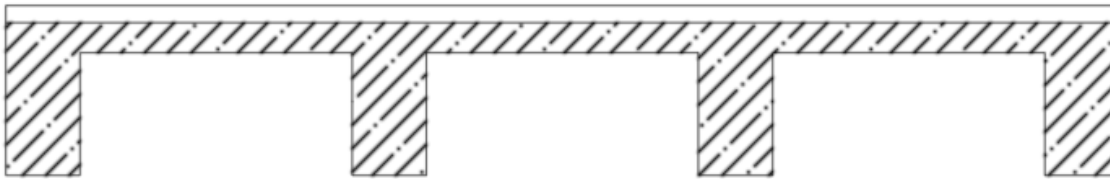


- q_k – charakteristická hodnota užitého zatížení
- q_d – návrhová hodnota užitého zatížení
- g_k – charakteristická hodnota stálého zatížení
- g_d – návrhová hodnota stálého zatížení
- ZS – zatěžovací stav
- $M_{ed,1}$ – návrhový moment 1. ZS

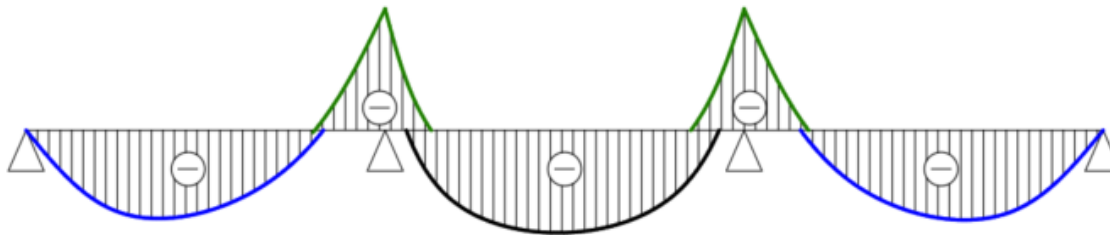
ZATĚŽOVACÍ STAV

Jednotlivá zatížení jsou po statickém modelu konstrukce rozmístěny vzhledem k jejich významu. Kombinace zatížení zohledňuje přívětivé a nepřívětivé účinky zatížení. Kombinaci těchto účinků lze zohlednit v tzv. **zatěžovacích stavech**.

Jednotlivé zatěžovací stavy jsou očíslovány. Kombinací jednotlivých zatěžovacích stavů se vytvoří tzv. **obálky vnitřních sil**, které slouží pro návrh konstrukce.



Momentové obálky



- q_k – charakteristická hodnota užitého zatížení
- q_d – návrhová hodnota užitého zatížení
- g_k – charakteristická hodnota stálého zatížení
- g_d – návrhová hodnota stálého zatížení
- ZS – zatěžovací stav
- $M_{ed,1}$ – návrhový moment 1. ZS

NÁVRHOVÉ PŘÍSTUPY DLE ČSN EN 1997-1

Návrhové přístupy slouží k výpočtu posouzení základové konstrukce pro mezní stavy STR a GEO a využívají dílčí **součinitele zatížení A** , **únosnosti (odporu) R** a **vlastností základové půdy M** . Součinitel R se liší dle typu konstrukce.

- Návrhový přístup 1:

Mimo osově zatížení piloty a kotvy

1: $A1 \text{ "+" } M1 \text{ "+" } R1$

2: $A2 \text{ "+" } M2 \text{ "+" } R1,$

Pro osově zatížené piloty a kotvy

$A1 \text{ "+" } M1 \text{ "+" } R1$

$A2 \text{ "+" } (M1 \text{ nebo } M2) \text{ "+" } R4$

- Návrhový přístup 2:

$A1 \text{ "+" } M1 \text{ "+" } R2$

Pro únosnost
pilot a kotev

Pro výpočet
nepříznivých
zatížení pilot

- Návrhový přístup 3:

$(A1^* \text{ nebo } A2^\dagger) \text{ "+" } M2 \text{ "+" } R3$

*na zatížení konstrukce

†na geotechnická zatížení

NÁVRHOVÉ PŘÍSTUPY DLE ČSN EN 1997-1

Návrhové přístupy slouží k výpočtu posouzení základové konstrukce pro mezní stavy STR a GEO a využívají dílčí **součinitele zatížení A** , **únosnosti (odporu) R** a **vlastností základové půdy M** . Součinitel R se liší dle typu konstrukce.

Zatížení		Značka	Soubor	
			A1	A2
Stálé	Nepříznivé	γ_G	1,35	1,0
	Příznivé		1,0	1,0
Proměnné	Nepříznivé	γ_Q	1,5	1,3
	Příznivé		0	0

Dílčí součinitelé A

Parametr zeminy	Značka	Soubor	
		M1	M2
Úhel vnitřního tření ^a	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Efektivní soudržnost	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Neodvodněná smyková pevnost	γ_{cu}	1,0	1,4
Pevnost v prostém tlaku	γ_{qu}	1,0	1,4
Objemová tíha	γ_t	1,0	1,0
^a Tento součinitel se použije pro tg φ'			

Dílčí součinitelé M

NÁVRHOVÉ PŘÍSTUPY DLE ČSN EN 1997-1

Návrhové přístupy slouží k výpočtu posouzení základové konstrukce pro mezní stavy STR a GEO a využívají dílčí **součinitele zatížení A** , **únosnosti (odporu) R** a **vlastností základové půdy M** . Součinitel R se liší dle typu konstrukce

Únosnost	Značka	Soubor		
		$R1$	$R2$	$R3$
Únosnost	$\gamma_{R,v}$	1,0	1,4	1,0
Usmyknutí	$\gamma_{R,h}$	1,0	1,1	1,0
Odolnost zeminy	$\gamma_{R,e}$	1,0	1,4	1,0

Dílčí součinitelé R pro opěrné konstrukce

Únosnost	Značka	Soubor		
		$R1$	$R2$	$R3$
Odolnost zeminy	$\gamma_{R,e}$	1,0	1,1	1,0

Dílčí součinitelé R pro svahy

Únosnost kotvy	Značka	Soubor			
		$R1$	$R2$	$R3$	$R4$
Dočasná	$\gamma_{a,t}$	1,1	1,1	1,0	1,1
Trvalá	$\gamma_{a,p}$	1,1	1,1	1,0	1,1

Dílčí součinitelé R pro předpjaté kotvy