

# Zatížení štíhlých konstrukcí větrem podle evropských norem

**Nové evropské normy pro zatížení větrem a stanovení jeho účinků na stavební konstrukce představují významnou změnu oproti normám stávajícím.**

Změna norem se dotkne nejenom projektantů, ale také investorů zvýšením ceny díla. Příspěvek popisuje základní rozdíly mezi normami ČSN (ČSN 730035 [1] a ČSN 731430 [2]) a novými evropskými normami ČSN EN (ČSN EN 1991-1-4 [3], ČSN EN 1993-3-1 [4] a ČSN EN 1993-3-2 [5]). Pozornost je zaměřena zejména na štíhlé konstrukce, jako jsou stožáry a komíny, u nichž je vítr rozhodujícím zatížením.

## Rychlost a maximální tlak větru

Hodnoty tlaku větru v Evropských normách vycházejí ze základních rychlostí větru, které jsou definovány jako průměrné hodnoty rychlosti větru s integrační dobou 10 minut a dobou návratu 50 let. Charakteristické (normové) hodnoty maximálního dynamického tlaku větru odpovídají nárazové rychlosti větru, kdy integrační doba činí cca 1 s. Podle této nové definice byla pro normu ČSN EN 1991-1-4 zpracována nová mapa větrných oblastí, podrobněji viz Král, Hostýnek [7].

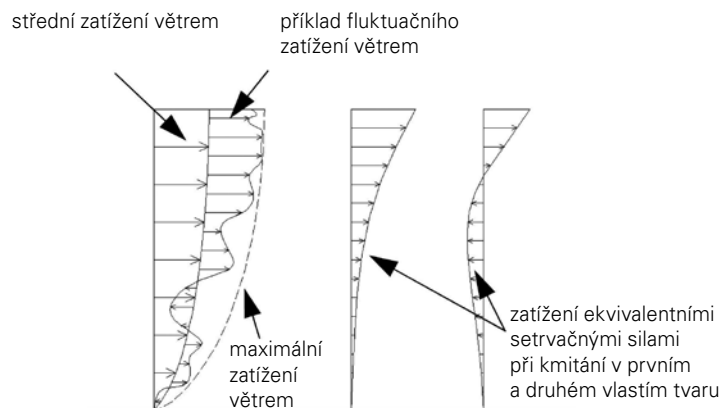
Rychlosti větru ve stávající normě ČSN 730035 byly stanoveny pro integrační dobu deset vteřin a dobu návratu 80 let. Takto stanoveným rychlostem odpovídají návrhové (výpočtové) hodnoty základního tlaku větru působícího na konstrukci.

Nejvýznamnější rozdíl mezi hodnotami zatížení větrem ve stávajících a nových normách vyplývá ze skutečnosti, že zatímco maximální náraz větru je v normě ČSN 730035 uvažován jako zatížení návrhové, v normě ČSN EN 1991-1-4 se jedná pouze o zatížení charakteristické. Tento rozdíl vede k tomu, že se návrhové zatížení zvyšuje minimálně součinitelem zatížení  $\gamma_{Mr}$ , který je pro většinu staveb roven 1,5 [7]. Podle řady srovnávacích výpočtů se zatížení větrem po přechodu na nové normy zvýší často i více než o 50 % v závislosti na typu konstrukce.

## Metody stanovení odezvy na zatížení větrem dle ČSN EN a kritéria pro jejich použití

Zatížení konstrukce větrem může být děleno na zatížení způsobené střední složkou rychlosti větru, na zatížení způsobené fluktuální složkou rychlosti bez vlivu rezonance (tzv. background) a na zatížení ekvivalentními setrvačnými silami při kmitání konstrukce v rezonanci způsobené fluktuální složkou zatížení větrem. Jednotlivé složky zatížení větrem jsou zobrazeny na obr. 1.

Stávající norma ČSN 730035 dělí zatížení větrem na statické a dynamické. Statické zatížení, které je používáno pro konstrukce s velmi malou dynamickou odezvou, je součtem středního a maximálního fluktuálního zatížení větrem, tj. max. zatížení



▲ Obr. 1. Střední složka zatížení větrem, fluktuální složka zatížení větrem a zatížení ekvivalentními setrvačnými silami při kmitání konstrukce

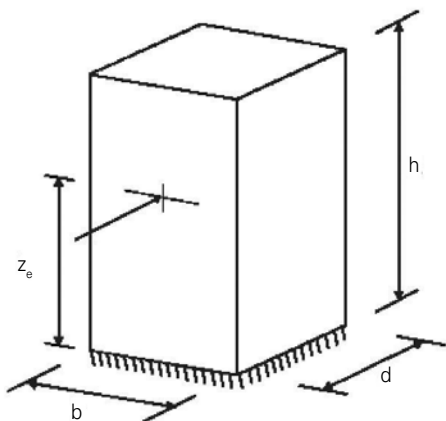
větrem podle obr. 1. Dynamická složka zatížení větrem představuje zatížení od všech složek zobrazených na obr. 1. Uvažuje se pouze pro některé, zejména štíhlé konstrukce, jako jsou vysoké budovy, stožáry, komíny nebo lávky. Součástí normy jsou poměrně přesná kritéria, určující kdy je nutné dynamickou složku zatížení větrem uvažovat. Odezvu na dynamickou složku větru lze řešit kvazistatickým nebo dynamickým výpočtem. Kvazistatický výpočet využívající nárazového (poryvového) součinitele proměnného po výšce objektu a je používán pro řadu běžných staveb. Dynamický výpočet s využitím rozkladu řešení do vlastních tvarů kmitání umožňuje analýzu velmi štíhlých, složitějších anebo netypických konstrukcí.

Autoři norem ČSN zavedli velmi účinné nástroje pro navrhování staveb zatížených větrem. Řešení explicitně uvedená v nových normách EN naopak od metodiky přesnějších dynamických výpočtů ustupují.

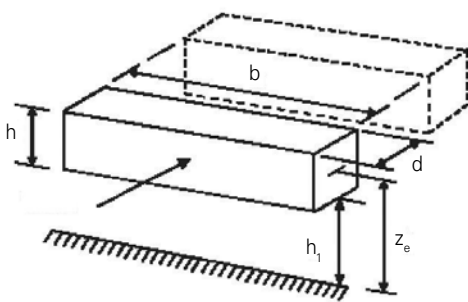
Norma ČSN EN 1991-1-4 používá kvazistatickou metodu pro stanovení odezvy na zatížení větrem. Konstrukce je zatěžována maximálním zatížením větrem násobeným tzv. součinitelem konstrukce  $c_{sc}$ . Tento součinitel zohledňuje vliv současnosti výskytu maximálních hodnot fluktuální složky zatížení větrem a zároveň vliv kmitání konstrukce. Součinitel již není proměnný s ohledem na výšku konstrukce a je uvažován jednou konstantní hodnotou. Protože zatížení ekvivalentními setrvačnými silami má odlišné rozložení oproti maximálnímu zatížení větrem, přináší obecně použití konstantního součinitele větší nepřesnost, případně větší omezení pro použití této metody oproti kvazistatickému výpočtu s proměnným součinitelem po výšce. Je zřejmé, že nedosahuje přesnosti ani dynamického výpočtu pomocí rozkladu do vlastních tvarů kmitání.

Použití kvazistatické metody dle ČSN EN 1991-1-4 je omezeno na konstrukce, které odpovídají jednomu z obecných tvarů uvedených na obr. 2 a současně na konstrukce, u nichž je významné kmitání pouze v základním tvaru, přičemž výchylky v tomto tvaru mají stejné znaménko.

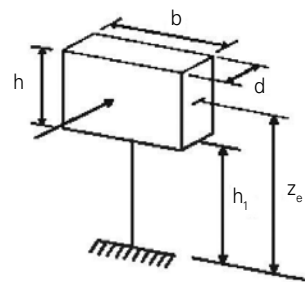
a) vertikální konstrukce, jako jsou pozemní stavby apod.



b) vodorovně orientované stavební konstrukce, jakou jsou nosníky apod.

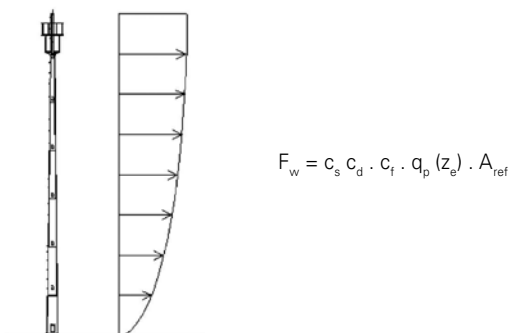


c) bodově působící stavební objekty, jako jsou informační tabule apod.



▲ Obr. 2. Obecné tvary konstrukcí ([3], obr. 6.1)

▼ Obr. 3. Zatěžovací schéma konstrukce dle ČSN EN 1991-1-4



Jestliže jsou tato kritéria splněna, je konstrukce zatížena pouze jedním zatěžovacím stavem, jak je znázorněno na obr. 3.

Zatížení je zobrazeno pro rourou konstrukci, pro kterou platí norma ČSN EN 1993-3-2. Tato norma však neřeší odezvu konstrukce na zatížení větrem a odkazuje projektanta na ČSN EN 1991-1-4.

Na rozdíl od normy pro navrhování komínů, norma pro navrhování stožárů ČSN EN 1993-3-1 odezvu na zatížení větrem řeší. Přestože se jedná o konstrukce s podobnými dynamickými vlastnostmi, jsou příhradové stožáry řešeny pomocí přesnějších ekvivalentních metod. Ekvivalentní statické metody zavádí sérii zatěžovacích stavů. Jeden zatěžovací stav přísluší vždy jedné úrovni stožáru (viz obr. 4). Tímto způsobem je přesněji postihnuta celková odezva složená s rozdílných tvarů zatížení (obr. 1).

Pro použití metody je uvedeno kritérium:

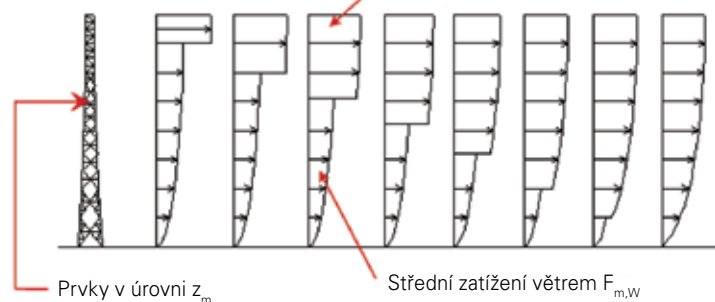
$$\frac{7m_T}{\rho_s c_{ff} A_T \sqrt{d_B \tau_o}} \left( \frac{5}{6} - \frac{h_T}{h} \right) < 1 \quad (\text{B.12 [4]})$$

Kritérium je pouze návodné, s nutností dbát opatrnosti u jiných než typických stožárů.

Pro kotvené stožáry je zavedena ekvivalentní statická metoda, která je založena na postupném zatěžování konstrukce sledem náhradních zatížení (patch load). Součinitel maximální hodnoty  $k_s$  pro stanovení náhradních zatížení byl stanoven kalibrační na řadě kotvených stožárů pomocí přesnějších dynamických metod. Použití jednoho součinitele pro všechny prvky stožáru je konzervativní.

Odezvu konstrukcí, které leží mimo obor platnosti uvedených metod, nelze pomocí norem ČSN EN stanovit. Jedná se o například o konstrukce s výrazně nerovnoměrně rozmístěnou návětrnou plochou, konstrukce sestavené z průřezů výrazně odlišných tuhostí (například z různých materiálů) a dále o štíhlé komíny, štíhlé lávky a další. Normy ČSN EN se v takovýchto případech odkazují na přesnější dynamické metody, například spektrální analýzu. Podrobnosti ovšem

Ekvivalentní nárazové zatížení  $F_{T,W}$  pro prvky v úrovni  $z_m$



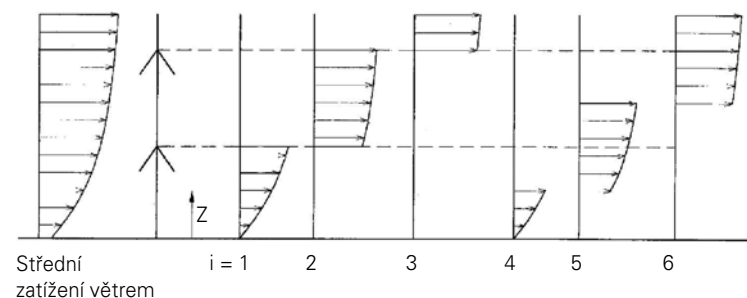
$$F_{T,W}(z) = F_{m,W}(z) \left[ 1 + (1 + 0.2(z_m/h)^2) \frac{[1 + 7I_v(z_e)] c_s c_d - 1}{c_o(z_m)} \right] (\text{B.14b [4]})$$

▲ Obr. 4. Zatížení příhradových stožárů – ekvivalentní statická metoda podle ČSN EN 1993-3-1

neuvádějí. Změna norem tak přináší zúžení oboru jejich platnosti a odkazuje na značně složitější výpočty velmi štíhlých nebo atypických konstrukcí.

Problémem pro projektanta jsou v některých případech nepříliš jasná kritéria pro použití statických metod. Například zda bude významné kmitání také v jiném než základním vlastním tvaru, případně zda může docházet k významným dynamickým účinkům, zjistí projektant často až po provedení složitějšího dynamického výpočtu. Pro některé typy konstrukcí bude proto zřejmě nutné provést řadu srovnávacích výpočtů a ověřit rozsah platnosti nově zaváděných metod.

▼ Obr. 5. Schémata náhradních zatížení pro kotvené stožáry [4]



Střední zatížení větrem

## Dynamické metody pro řešení odezvy na zatížení větrem

Nejčastěji používanou metodou, která je doporučena také normami ČSN EN, je spektrální analýza. Jedná se o řešení vynuceného, tlumeného a neharmonického kmitání ve frekvenční oblasti při zatížení náhodným procesem. Vychází se ze znalosti frekvenčního složení náhodného procesu zatížení (tj. jmenovitě výkonových spektrálních hustot

zatížení). Principem je výpočet řady ustálených harmonických odezev na jednotlivé frekvenční složky zatížení. Výsledkem je frekvenční složení náhodného procesu odezvy (tj. jmenovitě výkonové spektrální hustoty odezvy). Celková odezva se potom získá superpozicí jednotlivých složek odezvy. Toto řešení se používá od 60. let minulého století. Začátek jeho používání pro stavební konstrukce zatížené větrem je spojen zejména se jménem A. G. Davenport. Vychází z něj i převážná většina zjednodušených metod a norem pro navrhování včetně ČSN a ČSN EN.

Vzhledem k principu výpočtu lze teoreticky spektrální analýzu použít pouze pro lineární konstrukce. Výpočet se přesto často používá i pro nelineární kotvené stožáry s vědomím určité nepřesnosti řešení. Norma ČSN EN dovoluje výpočet použít pro rezonanční složku odezvy kotvených stožárů. V dnešní době jsou propracovány také metody pro stanovení odezvy na zatížení větrem nelineárních konstrukcí pomocí přímé integrace pohybové rovnice v časové oblasti.

## Spektrální analýza

Hlavními vstupními veličinami pro spektrální analýzu jsou výkonová spektrální hustota rychlosti větru a koherenční funkce turbulence. Protože fluktuální zatížení větrem působí nejenom ve směru větru, ale také ve směru kolmém na směr větru, je nutná znalost spektrálních hustot a koherenčních funkcí pro oba tyto směry. Z těchto veličin je v normě uvedena pouze spektrální hustota rychlosti větru pro turbulenci ve směru větru, tj. (B.2) [3]. Ostatní veličiny nutné k dostatečnému statistickému popisu turbulentního pole větru byly pro účely níže popsaných srovnávacích výpočtů zvoleny následujícím způsobem.

Výkonová spektrální hustota rychlosti větru pro turbulenci kolmou na směr větru podle Kaimala [8]:

$$\frac{f \cdot S_v(z, f)}{v_*^2} = \frac{C_1 \cdot f_L(z, f)}{(1 + C_2 \cdot f_L(z, f))^{5/3}}$$

$$\text{kde } f_L(z, f) = \frac{f \cdot z}{v_m(z)}$$

$C_1 = 15$ ,  $C_2 = 9.5$  a  $v_*$  značí smykovou rychlost větru.

Koherenční funkce turbulence:

$$\text{coh}(y, z; y', z'; f) = \exp\left(-\frac{f \cdot \sqrt{C_y^2 (y - y')^2 + C_z^2 (z - z')^2}}{\frac{1}{2} (v_m(z_1) + v_m(z_2))}\right)$$

kde  $C_y = 11.5$  a  $C_z = 11.5$  (odpovídá (C.3) [3]) pro turbulenci ve směru větru

a  $C_y = 6.7$  a  $C_z = 10$  pro turbulenci kolmou na směr větru.

Směrodatná odchylka celkové odezvy se získá superpozicí jednotlivých frekvenčních složek odezvy ze vztahu

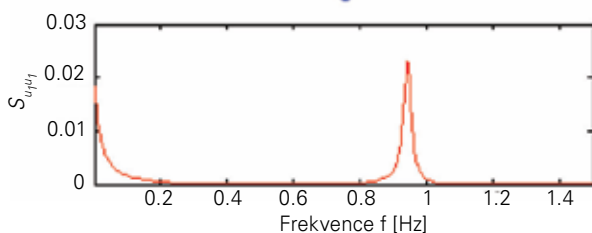
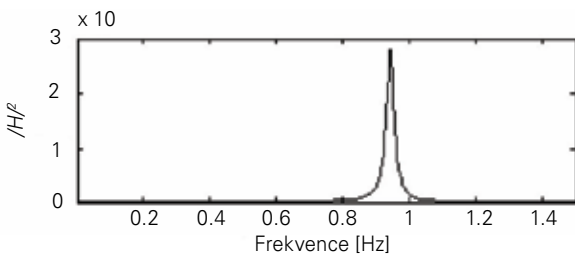
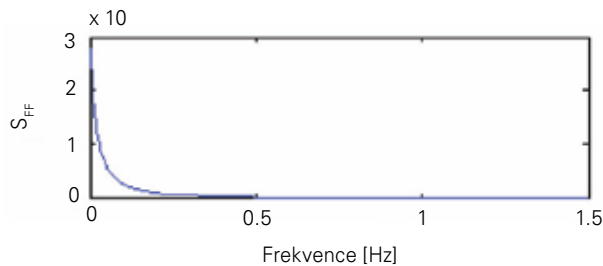
$$\sigma_{u_i}^2 = \int_0^{\infty} S_{u_i u_i}(f) \cdot df$$

a maximální hodnota fluktuální části odezvy  $u_{ii} = k_p \cdot \sigma_{u_i}$

$$\text{kde } k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,5772}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \quad \text{a} \quad v = \frac{\int_0^f S_{uu}(f) \cdot df}{\int_0^{\infty} S_{uu}(f) \cdot df}$$

Je zřejmé, že provedení spektrální analýzy vyžaduje hluboké teoretické znalosti a použití speciálního software.

▼ Obr. 6. Princip výpočtu spektrální hustoty odezvy konstrukce: kde  $\chi$  značí aerodynamickou admitanci,  $\text{coh}_{ij}(f)$  koherenční funkci pro body  $i$  a  $j$ ,  $S_{v_i v_i}(x, f)$  spektrální hustotu rychlosti větru v bodě  $i$ ,  $S_{F_i F_j}(x, x', f)$  vzájemnou spektrální hustotu zatížení pro body  $i$  a  $j$ ,  $m_k$  zobecněnou hmotnost konstrukce,  $\xi_k$  poměrný útlum,  $f_k$  vlastní frekvenci a  $S_{u_i u_j}(f)$  spektrální hustotu fluktuální odezvy konstrukce.



Výkonová spektrální hustota zatížení větrem:

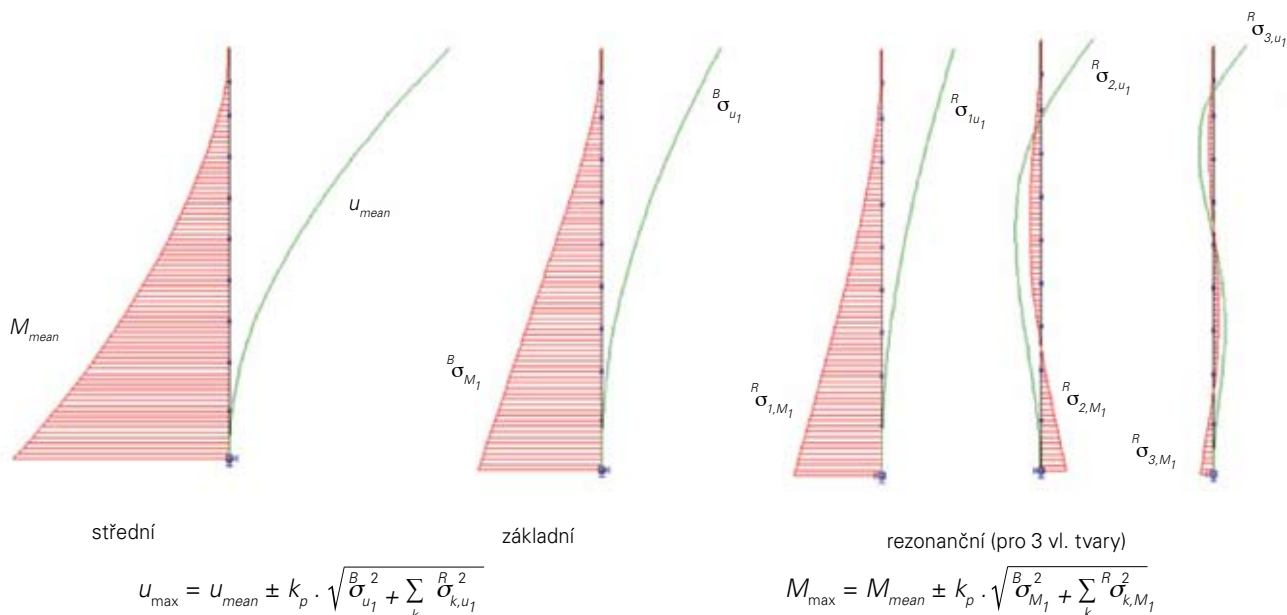
$$S_{F_1 F_2}(x_1, x_2, f) = \rho^2 \cdot v_{m,1} \cdot v_{m,2} \cdot c_{W,1} \cdot c_{W,2} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \chi_1(f) \cdot \chi_2(f) \cdot \sqrt{S_{v_1 v_1}(x_1, f)} \cdot \sqrt{S_{v_2 v_2}(x_2, f)} \cdot \text{coh}_{1,2}(f)$$

Frekvenční charakteristika konstrukce:

$$H_{u_i p_i}(if) = \sum_k \frac{\phi_{k,i} \cdot \phi_{k,j}}{m_k \cdot 4\pi^2 (f_k^2 - f^2 + 2i\xi_k f_k)}$$

Výkonová spektrální hustota odezvy:

$$S_{u_i u_j}(f) = \sum_i \sum_j H_{u_i F_i}(if) \cdot H_{u_j F_j}(if) \cdot S_{F_i F_j}(f)$$



▲ Obr. 7. Jednotlivé složky odezvy konstrukce na zatížení větrem a stanovení celkové odezvy

## Zjednodušený dynamický výpočet

Popisovaný zjednodušený dynamický výpočet byl autory odvozen ze spektrální analýzy s použitím předpokladů a zjednodušení používaných v normách ČSN EN. Pro porovnání a ověření byl tento výpočet zahrnut do zpracovaných srovnávacích výpočtů.

Flukтуаční složka odezvy se s výhodou rozděluje na základní část, která je způsobena pulsacemi větru bez příspěvu rezonančního kmitání konstrukce, a na rezonanční část, která vzniká za rezonance konstrukce s flukтуаční složkou zatížení větrem. Spektrální hustoty rychlosti větru se zjednodušují tak, že jsou konstantní v celém frekvenčním spektru a mají hodnoty příslušné jednotlivým vlastním frekvencím.

Kvazistatické metody ČSN EN dále převádí konstrukci na soustavu o 1° volnosti a pro ni odvozují součinitel konstrukce  $c_{s,d}$ . Jestliže toto zjednodušení nezavedeme, můžeme řešit soustavu s mnoha stupni volnosti následujícím způsobem a mnohem přesněji tak postihnout chování konstrukce zatížené větrem.

Základní část odezvy představují „pomalé“ pohyby konstrukce a lze ji proto s dostatečnou přesností stanovit kvazistatickým výpočtem. Zatížení, které vyvolá směrodatnou odchylku základní části odezvy, vyplývá ze vzorce 6.2 [3].

$$F_{fl,OB}(z) = F_m(z) \cdot 2 \cdot I_v(z_{s,i}) \cdot \sqrt{B^2(z_{s,i})}$$

kde  $I_v(z_{s,i})$  a  $B(z_{s,i})$  přísluší uvažované poloze nárazu větru na konstrukci.

Směrodatné odchylky rezonanční části odezvy lze řešit pomocí rozkladu do vlastních tvarů kmitání. Modální souřadnici  $q_k$  příslušnou k-tému vlastnímu tvaru kmitání je možné vyjádřit jako:

$$q_k = \left( \frac{1}{16\pi^4 \cdot m_k^2 \cdot f_k^4} \cdot \frac{\pi \cdot f_k}{4\xi_k} \cdot \sum_i \sum_j \phi_{k,i} \cdot \phi_{k,j} \cdot S_{F_{F_i}}(f_k) \right)^{0.5}$$

Význam veličin je shodný s obr. 6. Vyčíslení modální souřadnice je proveditelné pomocí standardních tabulkových software (pracuje se se čtvercovou maticí o rozměru rovném počtu polí konstrukce). Směrodatná odchylka rezonanční části odezvy příslušná k-tému vlastnímu tvaru kmitání je potom rovna:

$$R \sigma_k = q_k \cdot \phi_k$$

Stanovení celkové odezvy je patrné z obr. 7.

Součinitel maximální hodnoty  $k_p$  je v tomto případě určován pro:

$$v = \sqrt{\frac{\sum_k f_k^2 \cdot R \sigma_{k,u_1}^2}{B \sigma_{u_1}^2 + \sum_k R \sigma_{k,u_1}^2}}$$

## Numerické porovnání jednotlivých metod – příhradový a rourový stožár

V rámci přípravy na změnu norem a zejména pro možnost navrhování štíhlých a nestandardních konstrukcí zpracováváme nyní v EXCONu vlastní výpočetní procedury pro výpočet odezvy štíhlých konstrukcí na zatížení větrem (s použitím programového prostředí Matlab). Výhodou procedur je možnost parametrického zadávání stožárů, případně také možnost parametrických studií a poměrně rychlé optimalizace konstrukce.

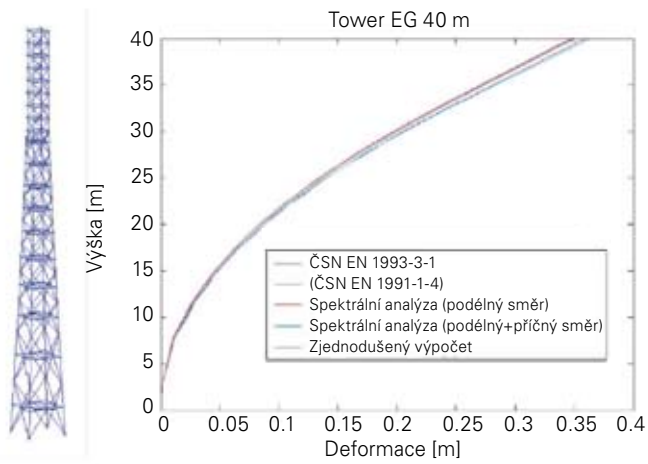
Jednotlivé výše popsané metody jsou porovnány na dvou typech, v současné době velmi běžných telekomunikačních stožářech, jednom příhradovém a druhém rourovém, viz obr. 8. Pro příhradový stožár je splněno kritérium pro použití ekvivalentní statické metody (B.12 [4]). O rourovém stožáru není předem známo, nakolik kritéria normy ČSN EN 1991-1-4 splňuje nebo nespĺňuje.

Deformace a vnitřní síly byly vypočteny pěti různými metodami:

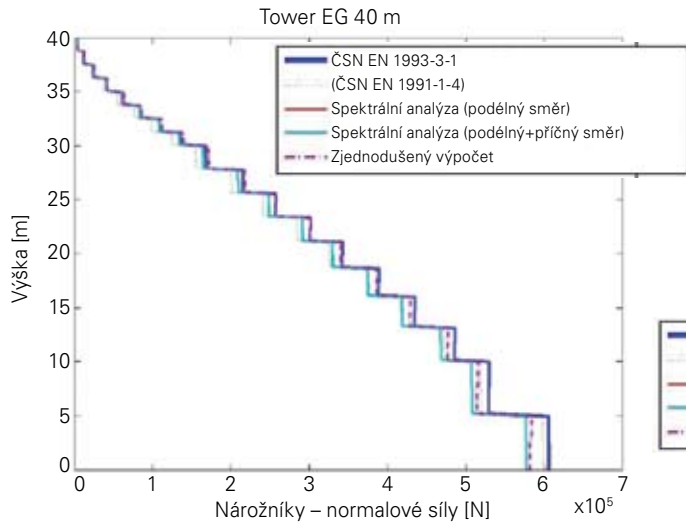
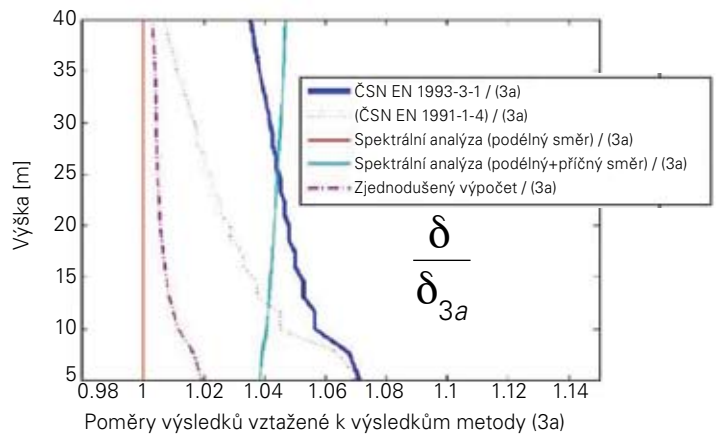
- 1) Ekvivalentní statická metoda podle ČSN EN 1993-3-1;
- 2) Výpočet dle ČSN EN 1991-1-4;
- 3a) Spektrální analýza s uvážením turbulence pouze ve směru větru;

▼ Obr. 8. Telekomunikační stožáry zvolené pro numerické porovnání metod – příhradový a rourový stožár

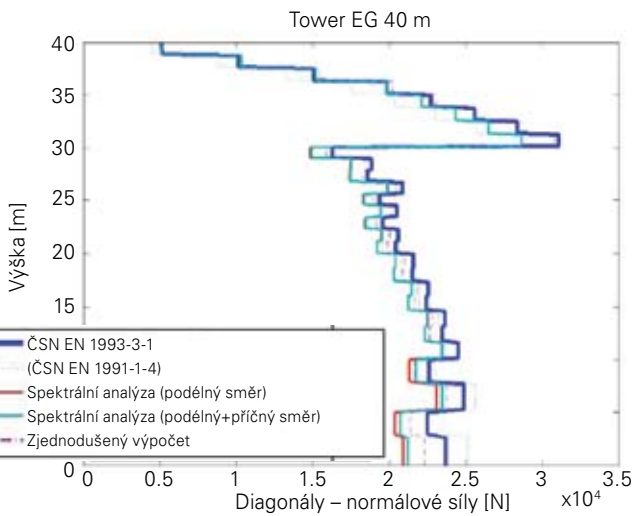
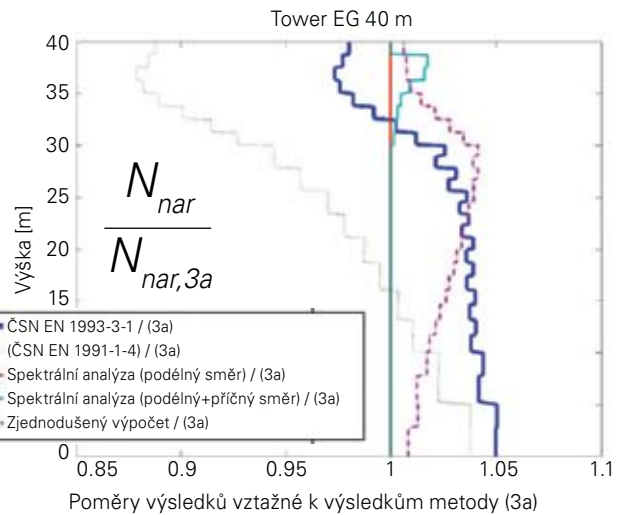
	Příhradový stožár EG 40 m		Rourový stožár ERE 30 m
	Šířka v patě ... 4 m		TR Ø 920x16 ... z = 0 – 7 m
	Šířka ve výšce = 10 m ... 3 m		TR Ø 711x16 ... z = 7 – 19 m
	Šířka ve výšce 30 m ... 1,5 m		TR Ø 508x16 ... z = 19 – 25 m
	Šířka ve vrcholu ... 1,5 m		TR Ø 324x12 ... z = 25 – 30 m
	Návětrná plocha antén ... 12 m <sup>2</sup> (v blízkosti vrcholu)		Návětrná plocha antén ... 10 m <sup>2</sup> (v blízkosti vrcholu)



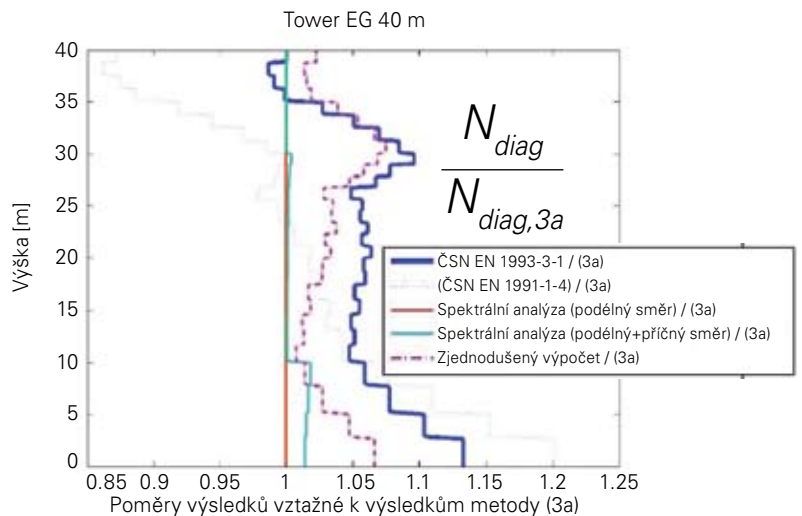
▲ Přhradový stožár 40 m. Deformace [mm].



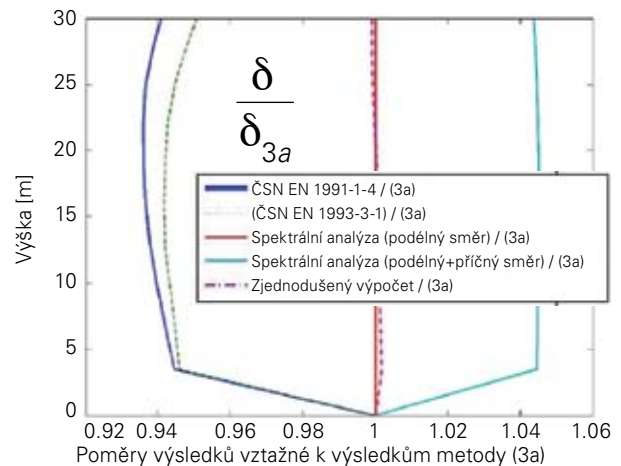
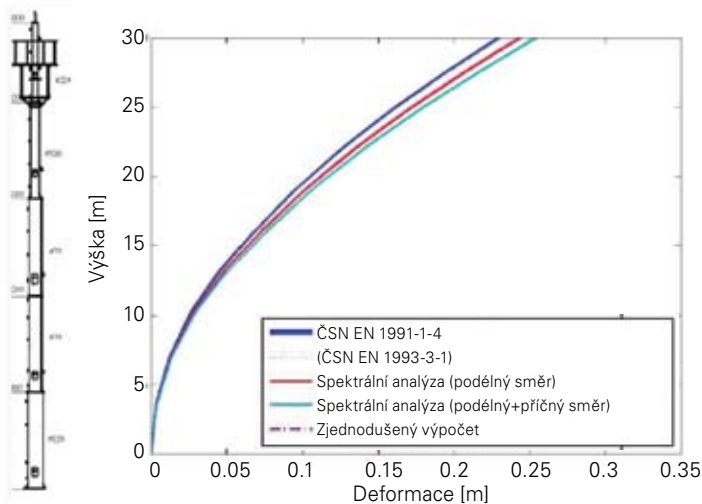
▲ Přhradový stožár 40 m. Normálové síly v nárožnicích [N].

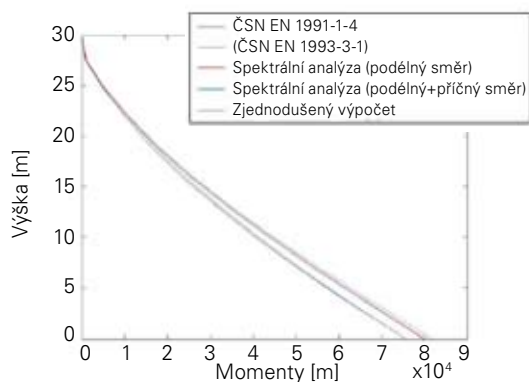


▲ Přhradový stožár 40 m. Normálové síly v diagonálách [N].

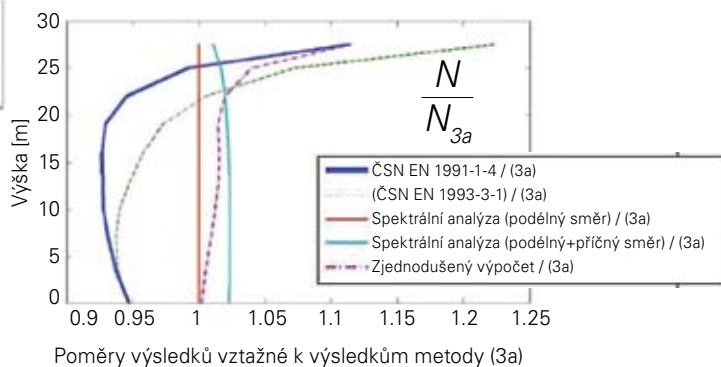


▼ Rourový stožár 30 m. Deformace [m].

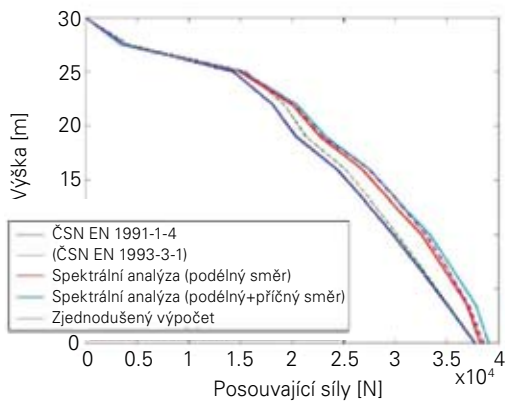




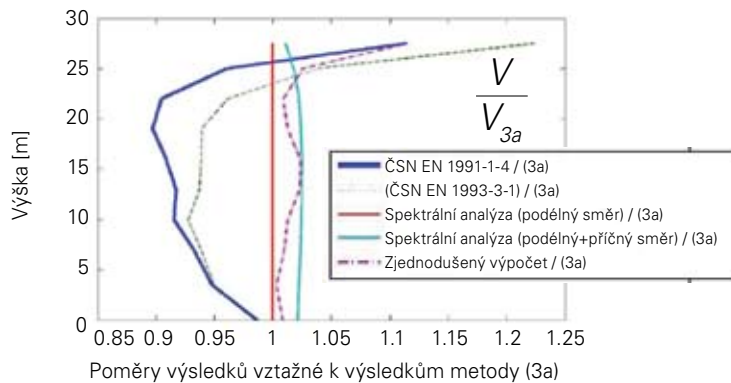
▲ Rourový stožár 30 m. Momenty [Nm].



Poměry výsledků vztahné k výsledkům metody (3a)



▲ Rourový stožár 30 m. Posouvající síly [N]. Pozn.: Poměry vnitřních sil v blízkosti vrcholu a poměry deformací v blízkosti podpory, tedy v blízkosti svých nulových hodnot jsou ovlivněny určitou numerickou chybou. Pro porovnání výsledků ovšem nejsou poměry v těchto místech důležité.



Poměry výsledků vztahné k výsledkům metody (3a)

- 3b) Spektrální analýza s uvážením turbulence ve směru větru i ve směru kolmém;
- 4) Zjednodušený dynamický výpočet s uvážením turbulence pouze ve směru větru.

Výsledky jsou uspořádány do dvojic grafů. Levý graf znázorňuje vždy průběhy jednotlivých veličin, tj. deformací a vnitřních sil. Pravý graf zobrazuje poměr výsledků jednotlivých metod k výsledkům výpočtu 3a, tj. spektrální analýzy pro turbulenci pouze ve směru větru.

## Porovnání výsledků

- 1) Ze srovnávacích výpočtů je patrné, že výsledky ekvivalentní statické metody dle ČSN EN 1993-3-1 jsou pro běžné příhradové stožáry v dobré shodě s výsledky spektrální analýzy. Odchytky dosahují +5 % pro nárožníky a +12 % pro diagonály. Odchytky jsou na straně bezpečné.
- 2) Výsledky výpočtu dle ČSN EN 1991-1-4 pro standardní rourový stožár jsou nižší než výsledky spektrální analýzy. Odchytky byly vypočteny jako -8 % pro momenty a -12 % pro smykové síly. **Odchytky jsou na straně nebezpečné.** Porovnáváný rourový stožár je příkladem konstrukce, která je již mírně za hranic požadavků pro použití výpočtu dle ČSN EN 1991-1-4.
- 3a,b) Výsledky zjednodušeného dynamického výpočtu jsou v dobré shodě s výsledky spektrální analýzy. Odchytky dosahují +4 % pro nárožníky, resp. momenty, a +8 % pro diagonály, resp. smykové síly oproti výsledkům spektrální analýzy s uvážením turbulence pouze ve směru větru.
- 4) Příspěvek turbulence kolmo na směr větru na celkovou odezvu je v uvedených příkladech velmi malý, až zanedbatelný.

## Závěr

Zrušením stávajících norem ČSN 730035 a ČSN 731430 v březnu 2010 dojde k významné změně navrhování konstrukcí zatížených větrem.

Kromě navýšení zatížení bude možné metody pro stanovení odezvy na zatížení větrem, které normy popisují, použít pro méně typů konstrukcí. Pro některé konstrukce bude proto nezbytné používat složité dynamické výpočty. Jejich použití vyžaduje v mnoha případech znalost rozsáhlé teorie a často předpokládá vytváření vlastního specializovaného software. K těmto výpočtům nejsou v normách k dispozici téměř žádné informace, a lze proto očekávat i určitý rozptyl výsledků způsobený zejména volbou různých vstupních parametrů. ■

Poděkování: příspěvek vznikl a čerpá z poznatků hospodářské spolupráce EXCON a ÚTAM AV ČR v.v.i., při stanovení dynamické odezvy štíhlých konstrukcí.

### Použitá literatura:

- [1] ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí, 1986
- [2] ČSN 73 1430 Navrhování ocelových konstrukcí stožárů, 1984
- [3] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení stavebních konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [4] ČSN EN 1993-3-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 3-1: Stožáry a komíny – Stožáry
- [5] ČSN EN 1993-3-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 3-1: Stožáry a komíny – Komíny
- [6] Fischer, O., Koloušek, V., Pirner, M.: Aeroelasticita stavebních konstrukcí, Academia, Praha 1977
- [7] Král, J.: Navrhování staveb na zatížení větrem podle ČSN EN 1991-1-4, Časopis Stavebnictví, číslo 02/2007
- [8] Kaimal, J.C., Wymgaard, J.C., Ozimi, Y., Coté, O.R.: Spectral characteristics of surface-layer turbulence, Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Vol. 98, pp. 563–589, 1972
- [9] Pirner, M., Fischer, O.: Zatížení staveb větrem, ČKAIT, Praha 2003
- [10] Simiu, E., Scanlan, R.H.: Wind effects on structures, 3. vydání, John Wiley and sons, inc., New York, 1996

### Autoři:

Ing. Jiří Lahodný, Ing. Vladimír Janata, CSc.,  
Ing. Stanislav Pospíšil, Ph.D.  
EXCON a.s., ÚTAM AV ČR