

Zaťaženie vetrom podľa Eurokódu 1 a STN 73 0035

Vladimír Budinský *

(*Ing. Vladimír Budinský, Aut. Ing., Banská Bystrica)

Úvod

V nasledujúcom príklade predkladáme porovnanie výpočtu vysokej betónovej budovy podľa STN 73 0035 (86) [1] (ďalej len STN) a podľa STN P ENV 1991-2-4 (Eurocode 1) (október 2001) [2] v zmysle NAD pre Slovenskú republiku (ďalej len EC).

Príspevok nemá všeobecnú platnosť pre iné typy konštrukcií a nemá za cieľ podrobne popisovať normu.

K jednotlivým normám

Teoretický model, z ktorého vychádza EC, je veľmi podobný v ako STN, avšak formulácia vzorcov a postupov je odlišná. Návrhové situácie a kombinácie zaťaženia s príslušnými súčinitel'mi popisuje iná časť Eurokódu – ENV 1991-1. Predbežná norma EC slúži na alternatívne experimentálne používanie spolu so súvisiacimi normami STN a na zasielanie pripomienok. Hlavná časť normy sa zaoberá účinkami zaťaženia vetrom ako súborom kvázistatických tlakov alebo síl, ktorých účinky sú ekvivalentné extrémnym účinkom vetra. Dynamické účinky od fluktuácie, resp. turbulencie v smere vetra nie sú počítané oddelene od statického pôsobenia vetra, ktorého účinky na konštrukciách sa prejavujú odozvou v čase nepremennou, na rozdiel od STN, kde sa dynamické účinky počítajú oddelene a nezávisle od statickej zložky, ako súčet stredného zaťaženia vetra a fluktuatívneho zaťaženia vetra.

Konkrétne pre pravidelné vysoké budovy (tiež komíny, veže), kde $h/b > 2$ platí

$$F_{wi} = q_{ref} c_e(z_i) c_d c_{fi} A_i$$

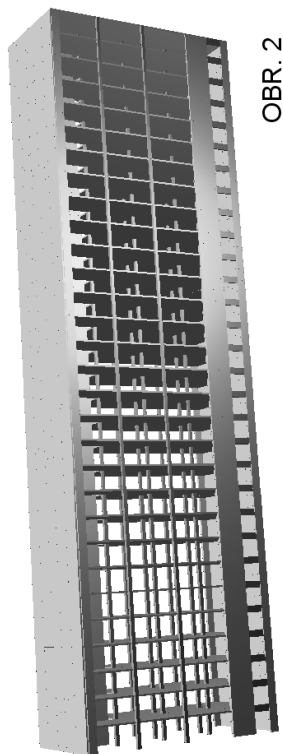
kde

- h – výška budovy
- b – náveterná šírka budovy
- F_{wi} – sila na prírastkovú plochu
- q_{ref} – referenčný stredný tlak vetra
- z_i – výška ťažiska prírastkovej plochy
- $c_e(z_i)$ - súčiniteľ vystavenia vetru (vplyv terénu a výška nad zemou)
- c_d – dynamický súčiniteľ
- c_{fi} – aerodynamický súčiniteľ pre prírastkovú plochu
- A_i – prírastková plocha

Dynamický súčiniteľ c_d má dve funkcie. Vyjadruje zmenšenie účinkov vplyvom korelácie a zväčšenie účinkov vplyvom dynamického pôsobenia vetra na konštrukciu. Podľa hodnoty dynamického súčiniteľa možno postupovať v zásade dvojako: Jednoduchým postupom sa určí c_d podľa grafov. Pokiaľ je hodnota c_d väčšia ako 1, odporúča sa podrobnejší postup určenia c_d podľa prílohy B. Pokiaľ je hodnota c_d väčšia ako 1.2, musí sa použiť podrobnejší postup. Jednoduchým postupom sa dosiahnu obvykle vyššie, konzervatívnejšie hodnoty zaťaženia, oproti tomu podrobnejším postupom podľa prílohy B môžeme dosiahnuť zníženie zaťaženia. Podrobnejší postup je však niekoľkonásobne pracnejší. Norma vcelku uvažuje len s výpočtom podľa základnej (prvej) vlastnej frekvencie pre definované konštrukcie, avšak nepatria sem napr. priehradové a kotvené stožiare, zavesené mosty,

chladiace veže a pod. Pre tieto konštrukcie sa odvoláva na iné diely Eurokódov, ktoré sú, alebo len budú spracované.

V prílohe C norma EC pomerne podrobne popisuje pravidlá pre priečne rezonančné kmitanie a navyše oproti STN uvádza orientačne jednoduché kritériá pre ďalšie javy aerodynamickej nestability. Ak nie sú tieto kritériá splnené, je nutné podrobnejšie overovanie vo forme vhodného teoretického a experimentálneho hodnotenia.



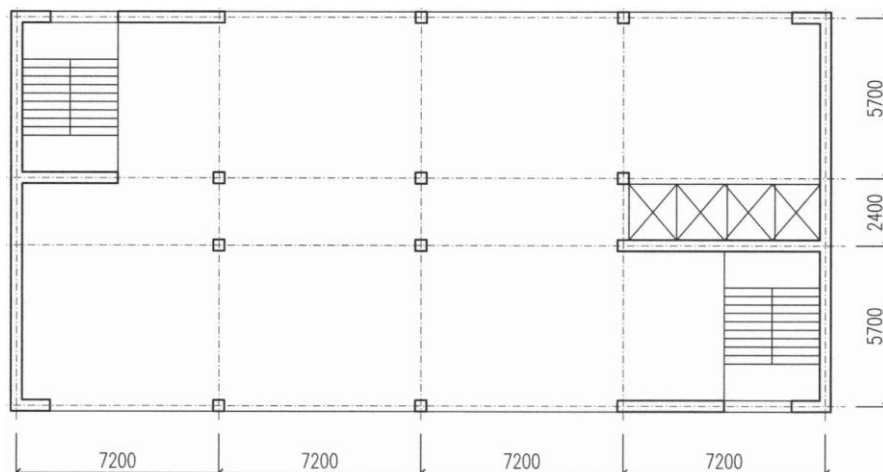
OBR. 2

Norma EC pripúšťa použitie iných alternatívnych postupov, ktoré musia byť založené na dobrej výpočtovej a experimentálnej technike, vrátane meraní a skúšok vo veterných tuneloch.

V predkladanom prípade sme posudzovali len účinky turbulentného vetra a fluktučných tlakov v smere vetra, teda stochastickú a rezonančnú odozvu v smere vetra. Náveternú stranu sme volili širšiu časť pôdorysu (najnepriaznivejšie pôsobenie) kolmo k veternému prúdeniu, pričom účinky na bočné steny sme zanedbali. Zanedbali sme tiež tuhosť základu a počítali sme s dokonalým votknutím. Kategóriu terénu sme uvažovali II. a referenčnú rýchlosť vetra 26 m/s, čomu zodpovedá podľa NAD normová hodnota $w_o = 0.55 \text{ kN/m}^2$ v zmysle STN. Súčinitele zaťaženia sú 1.4 pre EC a 1.3 pre STN.

Popis budovy

Budovu z betónu B40 tvorí 30-podlažný monolitický (resp. polomontovaný) skelet s bezprievlakovými stropmi. Hrúbka stropných dosiek je 24 cm. Budova je stužená žb stenami, stĺpy sa na vodorovnej tuhosti nepodieľajú. Pôdorysné rozmery stĺpov sú pre prvých desať podlaží 50x50 cm, ostatné 40x40 cm. Hrúbky stužujúcich stien (liaty betón) sú odstupňované po 10 podlaží odspodu 40 cm, 30 cm a 24 cm. V tom istom delení sme uplatnili redukciiu tuhosti stien 0.8, 0.9 a 1. Rozmery budovy $h \times b \times l$ sú 99 x 29 x 13.8 m, výška podlažia je 3.3 m. Schému pôdorysu vid' **Obr. 1**.



OBR. 1

Prvá vlastná frekvencia budovy v uvažovanom smere je 0.46 Hz. Ako porovnávaciu hodnotu sme zvolili celkový výpočtový moment od vetra v úrovni terénu, resp. maximálne tlakové napätie v stužujúcej stene (seizmický a dynamický výpočet) pre kombináciu zvislého zaťaženia a vetra.

Výsledky

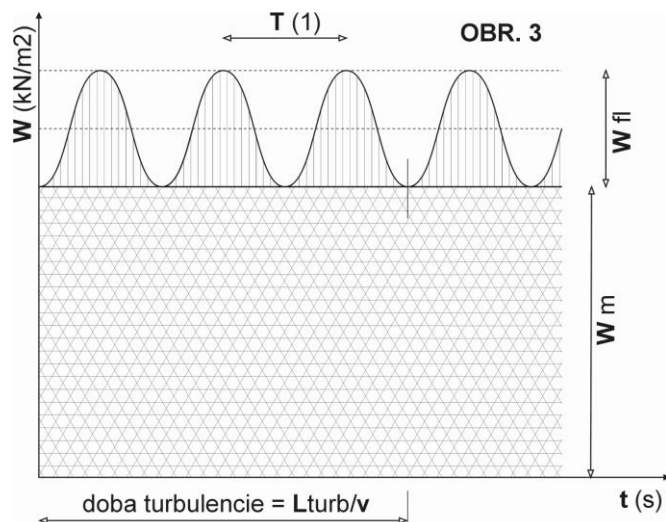
Výsledky sú nasledovné :

	M_w	σ_{w+st}	
1. Vietor podľa EC	280 854 kNm	-	118 %
2. Statický vietor podľa STN	236 646 kNm	-	99 %
3. Dynamický vietor STN Príloha 2	237 753 kNm	11 334 kN/m ²	100 %
4. Seizmická EC 8 (len pre porovnanie)	-	9 637 kN/m ²	85 %

Poznámky k jednotlivým výpočtom

(podľa čísla tabuľky výsledkov)

- Vietor podľa EC : Kvázistatický výpočet podľa vzorca uvedeného vyššie. Uvádzame niektoré medzivýsledky : $q_{ref} = 0.4225 \text{ kN/m}^2$, topografický súčiniteľ $c_t(z) = 1$, $c_{fi} = 0.8+0.3 = 1.1$, $c_d = 0.965$ pre jednoduché grafické odčítanie, $c_d = 0.924$ pre podrobný výpočet (aplikované), merná integračná dĺžka turbulencie $L_i(z_{equ}) = 190 \text{ m}$, očakávaná frekvencia vetra $v = 0.242 \text{ Hz}$
- Statický vietor podľa STN Bez komentára
- Dynamický vietor STN Príloha 2 : Odozva sa stanoví rozkladom podľa vlastných tvarov kmitania pomocou sústavy sústredených bremien po výške budovy. Medzivýsledky : $C_w = 0.8+0.6=1.4$, logaritmický dekrement útlmu uvažovaný zmluvnou hodnotou 0.3, $\varepsilon(1) = 0.0433$, súčiniteľ korelácie po interpolácii $v = 0.47$, dynamický súčiniteľ $\delta(1) = 6.62$, súčiniteľ pulzácie $\delta_w = (0.24 \div 0.35)$. Bol uvažovaný len prvý tvar kmitania. Pri riešení budovy podobných rozmerov nepresiahol účinnosť 2.tvaru kmitania v zmysle čl. P 2.3. normy 2%.
- Seizmický výpočet EC 8 : (uvádzaný len pre orientačné porovnanie) $a_g = 0.45 \text{ m/s}^2$, podložie typu B, $\alpha = 0.045$, súčiniteľ správania $q = 1.5$, smer ako vietor. Ako vidíme, pri daných parametroch pri dodržaní pravidiel triedy odolnosti „L“ nemá rozhodujúci význam. (85% účinnosť z vetra). V kolmom smere predpokladáme výraznejší účinok, avšak so súčiniteľom správania môžeme ísť ešte na priaznivejšiu hodnotu $q = 2.0$ vzhľadom na pravidelné usporiadanie budovy v pôdoryse a po výške. V prípade väčších zrýchlení podľa lokalizácie objektu máme možnosť zvyšovať q zmenou triedy odolnosti konštrukčnými úpravami na „M“ alebo „H“, čo však vedie ku zdraženiu konštrukcie. Uvažovaných bolo prvých 12 vlastných tvarov metódou CQC pri tlmení 5%.



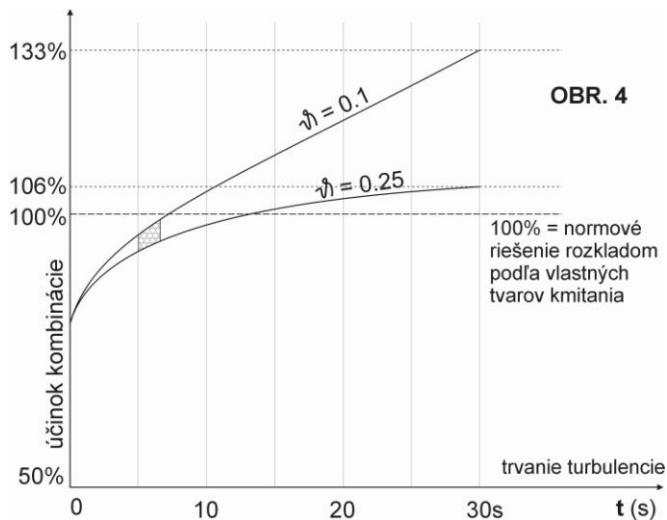
Priamy dynamický výpočet

Priamy dynamický výpočet bol realizovaný v zmysle rozdelenia zaťaženia podľa modelu STN v Prílohe 2, kde sa uvažuje rozdelenie účinkov vetra na stredné zaťaženie W_m , vyvolávajúce statickú odozvu (tá ostala bez zmeny) a na fluktučné zaťaženie W_{fl} , ktoré bolo riešené ako odozva na deterministické budenie konštrukcie. V konštrukcii bol vybudovaný rezonančný

režim v dôsledku turbulencie vetra. Výsledky posúdenia uvádzame tiež len pre orientačné porovnanie, lebo odbočujú od hlavnej témy, ale ukazujú na šírku problému. Flukтуаčné zaťaženie bolo v tomto prípade aproximované harmonickou premennou silou

$$F_i(t) = F_i \sin(\omega t + \pi/2)$$

kde F_i je amplitúda $W_{(i)fl}/2$, a $\omega = 2\pi f(1)$ kvôli dosiahnutiu najnepriaznivejších účinkov, kde $f(1)$ je základná (prvá) frekvencia konštrukcie v uvažovanom smere. $W_{(i)fl}$ je už plne



korelované zaťaženie a tak bola sila $F_i(t)$ rozložená po celej výške prvého tvaru. Pri takto koncipovanom výpočte narážame na dva hlavné problémy : a) chýbajúce normové (a teda právne) podklady b) chýbajúca databáza vierohodných podkladov vo forme údajov pre tlmenie konštrukcie, dĺžku turbulentného poryvu vetra, aerodynamické súčinitele apod. Model zaťaženia je naznačený na **Obr. 3** a výsledky pre dva hraničné dekrementy útlmu udáva **Obr. 4**, kde zvislá os udáva výsledný účinok kombinácie, v tomto prípade napätie v konkrétnom

najnepriaznivejšom bode votknutia, vzhľadom na normové riešenie 3. Vyšrafovaná časť je riešenie pre zvolený interval útlmu a doby trvania turbulencie, menovite pre L_{turb} (130m-190m), t.j. t (5 s - 7.3 s), kde $190m / 26m/s = 7.3$ sekundy. Spresňovaním vstupných podkladov dosiahneme zmenšenie plochy riešenia.

Zhodnotenie

Pri výpočte podľa EC sme dosadili za aerodynamický súčiniteľ súčet pre náveternú a záveternú stranu hodnotu 1.1, čo je dosť nízka hodnota. Podľa STN je táto hodnota 1.4, pokiaľ ideme tiež cez súčet tlakov, čo je podstatne vyššia hodnota. Iná možnosť je realizovať výpočet cez celkový súčiniteľ sily (podľa STN je to $C_x = 1.3$, Tab.24.4, ale s odporúčaním, že pre budovy tohoto tvaru platí Tab.20, teda súčet plôch). Podľa meraní viacerých autorov a podľa ich nomogramov sa táto hodnota pohybuje okolo $1.3 \div 1.35$. Norma DIN uvádza pre súčet plôch hodnotu 1.3 a pre celkový súčiniteľ vychádza hodnota 1,407. Metodika určenia tohoto celkového súčiniteľa bola zjavne prebraná aj do EC v zjednodušenej forme pod odsek 10.5 pod názvom *Konštrukčné prvky pravouhlého prierezu*, nikde však nie je uvedené, či platí aj pre budovy. Pri zohľadnení redukčného súčiniteľa štíhlosti vyjde $c_f = 1.5$, čo je však oproti hodnote 1.1 dosť veľký nárast. Pri jeho aplikácii by o tento pomer narástol celkový moment.

Pri pokuse zaviesť priamy dynamický výpočet neposkytujú zatiaľ žiadne normové údaje dostatok informácií a tým chýba právny podklad. Pri zložitejších tvaroch budovy pri dynamicky citlivých konštrukciách sú preto vhodné skúšky vo veternom tuneli s modelovaním aj okolitého terénu. Projektant by mal mať k dispozícii dostatočnú databázu údajov merania na podobných skutočných konštrukciách, kvalitnú výpočtovú techniku a primerané množstvo skúseností. Tieto podmienky spĺňa len málo špecializovaných pracovísk.

Treba si uvedomiť, že EC je ešte živý a neuzavretý systém. Pripomienky možno posielat' na adresy, uvedené v [2].

Výpočty v príklade boli realizované pri podpore programového systému STRAP.

Záver

Nakoniec si dovoľím citáciu [4] : „*Veľkosť charakteristických i návrhových hodnôt zaťaženia je podľa EC nezanedbateľne vyššia. Všeobecne je možné konštatovať zvýšenie charakteristického zaťaženia a dieľčích súčiniteľov vzhľadom k platnej STN*“.

Ďakujem recenzentovi článku za ochotu a za cenné pripomienky a rady k uvedenému článku.

Literatúra

- [1] STN 73 0035 (86) Zaťaženie stavebných konštrukcií
- [2] STN P ENV 1991-2-4 (Eurocode 1) (október 2001) Časť 2-4 : Zaťaženie vetrom
- [3] O.Fišer, V.Koloušek, M.Pirner : Aeroelasticita stavebných konštrukcií, Academia 1977
- [4] J.Král : Zaťaženie vetrom 1 : Účinky turbulentného vetra, Seminár Eurocodes 1, 2, 6 PROCON Praha 1993
- [5] J.Král, O.Fischer : Zatížení stavebních ocelových konstrukcí podle ČSN 73 0035, Výber článkov zo zborníka prednášok, Seminár Pardubice 1989
- [6] V.Krištofovič : Riešenie konštrukcií zaťažených účinkom vetra uvažovaným ako deterministický proces, Zborník z konferencie „*Využitie výpočtovej techniky pri statickom riešení stavebných konštrukcií*“, hotel Bellevue, november 1986
- [7] J.Rückschloss, A.Tesár : Niektoré simulačné modely rázov vetra na stavebné konštrukcie, Stavebnícky časopis, 6/1985

Recenzoval : Doc. Ing. Vladimír Krištofovič, CSc.

Anotácia

Vladimír Budinský - Zaťaženie vetrom podľa Eurokódu 1 a STN 73 0035

Stavebný inžinier – statik má v súčasnosti možnosť navrhovať konštrukcie nielen podľa STN, ale aj podľa Eurokódov. Vstupom zahraničných investorov bude stúpať tlak na riešenie konštrukcií podľa európskych parametrov, aj keď to v konečnom dôsledku nemusí nutne znamenať skvalitnenie alebo zlacnenie konštrukcie. Západný investor, zväčša obchodník zastúpený právnikom, pozerá s nedôverou na systém STN, nerozumie mu. Rozhodujúce budú zmluvy, v ktorých budú definované požiadavky na zhotovenie diela. Predkladaný článok sa snaží priblížiť zásady navrhovania podľa oboch noriem, podložené praktickým príkladom s konkrétnymi číselnými hodnotami.

Annotations

Wind load according to Eurocode 1 and Slovak standard STN 73 0035

A structural engineer can currently design structures not only in accordance with Slovak technical standards (STN), but also in accordance with Eurocodes. By the entry of foreign investors the pressure on the solution of structures in compliance with European parameters shall increase, although it may not automatically mean the improvement of the quality or reduction of price of the structure. A west investor, mostly trader represented by a lawyer has low confidence in the system of Slovak standard because he does not understand it. Contract defining requirements for the execution of work shall be key importance. The article tries to describe the rules of design in compliance with both types of standards, supported by a practical example concrete numeric values.