

Účinky vetra na ľahké haly s valcovými strechami

Olga Hubová¹

¹ Katedra stavebnej mechaniky, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava; olga.hubova@stuba.sk

Grant: VEGA 1/1119/11 Slovenskej republiky

Název grantu: Monitoring stavu nosných konštrukcií pomocou dynamických experimentov a návrh inteligentných systémov riadiacich dynamickú odozvu konštrukcií.

Oborové zamčrení: Inžénérské stavitelství

© GRANT Journal, MAGNANIMITAS Assn.

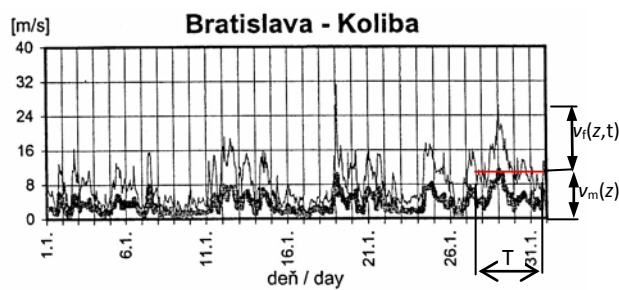
Abstrakt Účinky vetra v prízemnej vrstve sú výrazne ovplyvňované drsnosťou terénu, ktorá mení laminárne prúdenie vetra na turbulentné, ktoré dáva predpoklady pre vznik vírovej cesty s výraznými špičkovými tlakmi vetra na konštrukcie. Pre nízke ľahké haly s valcovými strechami a kupoly sú účinky od vetra dominantné. V príspevku sa budeme zaoberať ľahkými oceľovými HUPRO halami rôznych dimenzií s kruhovou a parabolickou strednicou a porovnaniu vplyvu vetra na tento typ konštrukcie.

Kľúčová slova Intenzita turbulencie, špičkový tlak vetra, súčinitele tlaku vetra, HUPRO haly, kruhová strednica, parabolická strednica

1. ÚVOD

Základné charakteristiky prúdenia v medznej vrstve ako je priebeh strednej rýchlosti vetra, intenzita turbulencie, integrálna dĺžka turbulencie a ich závislosť na výške nad terénom, výkonová spektrálna hustota príslušnej fluktuácie zložky rýchlosti vetra sa nachádzajú v prácach mnohých autorov a tiež v normách ako je EN 1991-1-4, ČSN 73 0035.

Rýchlosť a tlak vetra sa skladajú zo strednej hodnoty a fluktuácie zložky, tak ako to vidieť na (obr.1).



Obr. 1 Stredná a fluktuácia zložky rýchlosti vetra podľa meraní SHMÚ

Rýchlosť vetra vo výške z možno vyjadriť nasledovne:

$$V(z,t) = v_m(z) + v_t(z,t) \quad (1)$$

2. ÚČINKY VETRA PODĽA EN 1991-1-4

Eurokód EN 1991-1-4 prijíma model rozloženia strednej rýchlosti vetra do výšky 200 m a tento vystihuje logaritmickou funkciou v závislosti na teréne:

$$v_m(z) = c_t(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = k_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot 1 \cdot v_b = 0,19(z/z_{0,II})^{0,07} \ln(z/z_0) \cdot v_b \quad (2)$$

kde

$$c_t(z) = k_t \ln(z/z_0) \quad \text{je súčiniteľ drsnosti pre } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$k_t = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} \quad \text{je súčiniteľ terénu}$$

v_b je referenčná rýchlosť vetra vo výške 10m nad zemou v teréne FUR (Ploché terén s rovnomernou drsnosťou - Terén II).

Mapu referenčných rýchlostí vetra pre Slovensko vidieť na obr. 2.

Obr. 2 Mapa referenčných rýchlostí vetra podľa STN EN 1991-1-4/NA

Špičkový tlak vetra vo výške z podľa STN EN 1991-1-4 sa určí nasledovne:

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_s(z) \cdot q_b \quad (3)$$

kde

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2(z) \quad \text{je základný tlak vetra}$$

$$v_b \quad \text{je referenčná rýchlosť vetra (viď. obr. 2)}$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{je merná hmotnosť vzduchu}$$

$$c_s(z) \quad \text{je súčiniteľ vystavenia vetru, ktorý zohľadňuje turbulenciu vetra}$$

Intenzita turbulencie vzdušného prúdu, ktorá pri zemi pre drsný terén v centrálnych mestských zónach môže dosahovať až 43 % sa vyjadriť vzťahom (4). Intenzitu turbulencie v povrchovej vrstve sledovali na základe mikro-meteorologických meraní Kaimal, Busch, Panofsky. Pribeh intenzity turbulencie bez termálnych javov možno vyjadriť nasledovne:

$$I_z(z) = \frac{\sigma_i(z)}{v_m(z)} = \frac{A_i}{\ln(z/z_0)} = \frac{\kappa \cdot (\sigma_i / u^*)}{\ln(z/z_0)} \quad (4)$$

kde pre pozdĺžnu zložku je $A_i = 1$ pre priečnu zložku $A_i = 0,8$ a pre zvislú zložku $A_i = 0,5$.

Podobný priebeh intenzity turbulencie v smere vetra - pre pozdĺžnu zložku je aj v EN 1994-1-4 (5).

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v(z)}{v_m(z)} = \frac{k_i}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad (5)$$

Kde $c_o(z)$ je súčiniteľ orografie, zväčša rovný 1 a z_0 je dĺžka drsnosti terénu.

Experimentálnymi meraniami pri zemskom povrchu v atmosférickej povrchovej vrstve (APV) pri rôznych výškach sa získali hodnoty aerodynamickej dĺžky drsnosti povrchu z_0 - čo je výška odpovedajúca extrapolácii logaritmickéj závislosti do nulovej rýchlosti pre rôzne typy terénu. (viď Tab.1).

Tab.1 Aerodynamické dĺžky drsnosti podľa Wieringa

Typ povrchu	Dĺžka drsnosti z_0 [m]
Betón, plochý prílivový priestor	0,0002 - 0,0005
Snehové pole	0,0001 - 0,0007
Drsné ľadové pole	0,001 - 0,012
Holá zem	0,001 - 0,0004
Vysoká tráva	0,02 - 0,06
Súvislé krovie	0,35 - 0,45
Lesy	0,8 - 0,16
Hustá nízka zástavba predmestia	0,4 - 0,7
Rovnomerne zastavané veľké mestá	0,7 - 1,5

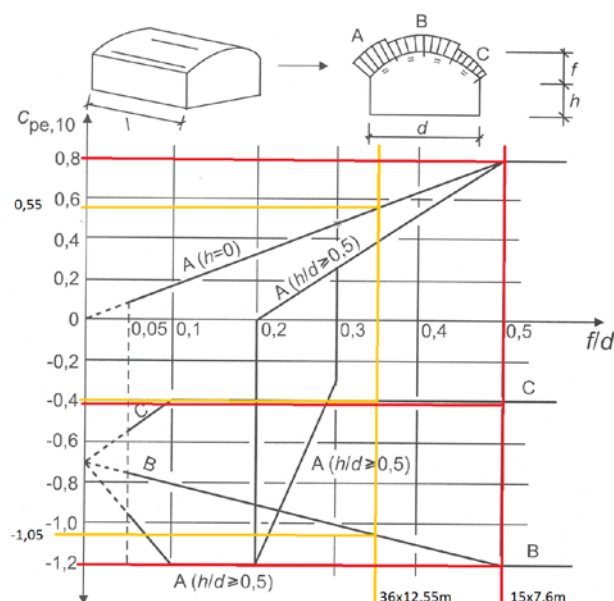
2.1 Účinky vetra na valcové strechy hál

Účinky vetra na valcové plochy oblúkových hál sa zohľadnia súčiniteľom externého tlaku vetra, ktorého hodnoty pre rôzne pomery geometrie hál vidieť na obr.3, kde sú naznačené aj jednotlivé zóny A,B,C a smer vetra. Hodnoty súčiniteľov externého tlaku $c_{pe,10}$ podľa EN a C_{e1} podľa ČSN a STN pre valcové strechy a kopuly sú definované na základe pomeru f/d a h/d .

V tab.2 je porovnanie súčiniteľov externého tlaku uvažovaných podľa EN 1991-14 ($c_{pe,10}$) a podľa STN a ČSN 73 0035 (C_{e1}). Rozdiely vidieť hlavne v zóne A (obr.3), kde sa uvažuje iné rozdelenie súčiniteľov tlakov a tiež je definované pre trochu iné pomery h/d . Celkovo sú v zóne A podľa EN 1991-1-4 hodnoty súčiniteľov externého tlaku vetra väčšie oproti STN (viď Tab.2)

Tab. 2 Porovnanie súčiniteľov externého tlaku vetra v zóne A

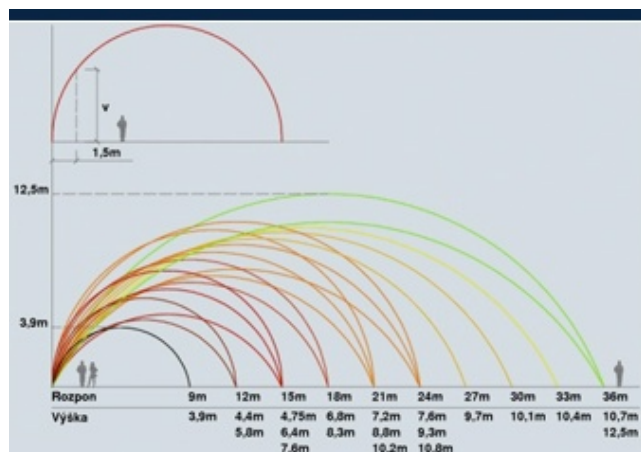
Zóna A $C_{e1}, c_{pe,10}$	h/d	f/d				
		$\leq 0,1$	0,2	0,3	0,4	0,5
STN 73 0035	0,0	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,4	+ 0,6	+ 0,7
EN 1991-1-4		+ 0,1 – + 0,15	+ 0,3	+ 0,45	+ 0,65	+ 0,8
STN 73 0035	0,2	- 0,2	- 0,1	+ 0,2	+ 0,5	+ 0,7
EN 1991-1-4	0,25	- 0,5	+ 0,15 - 0,45	+ 0,35 + 0,08	+ 0,58	+ 0,8
STN 73 0035	$\geq 1,0$	- 0,8	- 0,7	- 0,3	+ 0,3	+ 0,7
EN 1991-1-4	$\geq 0,5$	- 1,0 – - 1,2	0,0 - 1,2	+ 0,25 - 0,3	+ 0,5	+ 0,8



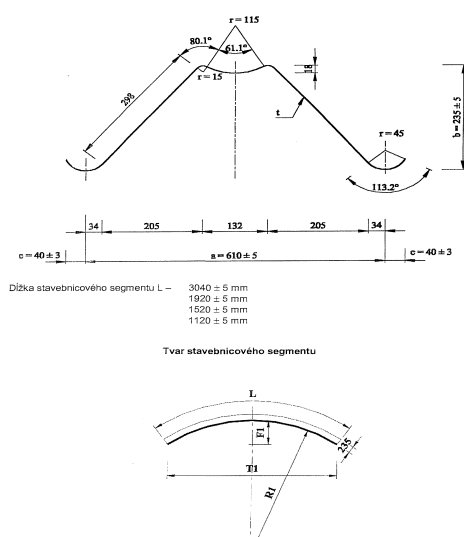
Obr. 3 Súčinitele externých tlakov vetra podľa EN 1991-1-4

3. HUPRO HALY

Konštrukčný systém pre oblúkové haly HUPRO pozostáva zo systému stavebnicových oceľových segmentov. Segmenty sú tvarované za studena z oceľového plechu S 320GD+Z 275 alebo z oceľového plechu H340LAD (obr.5). Polomer zakrivenia stavebnicových segmentov sa upravuje podľa typu halovej konštrukcie v rozmeroch priemeru od 9m do 36m (obr. 4). Jednotlivé segmenty sa spájajú skrutkovými spojmi. Povrchovú protikoróznú úpravu tvorí zinková vrstva, prípadne zinková vrstva v kombinácii s plastovou vrstvou.



Obr. 4 Variabilita rozmerov hál



Obr. 5 Segment HUPRO haly

3.1 Účel a spôsob využitia

Konstruktívny systém pre oblúkové haly HUPRO sa používa na výstavbu oceľových samonosných hál pre objekty občianskej a priemyselnej výstavby. Systém môže byť zateplený aj nezateplený v závislosti od účelu použitia. Systém umožňuje variabilitu rozmerov hál podľa typu využitia (pozri obr.5). Haly možno všestranne využívať ako sklady, výrobné priestory, ale tiež ako obchodné a výstavné priestory, športové haly, prípadne plavárne. Široké uplatnenie majú aj v poľnohospodárstve a v armáde. Niektoré spôsoby využitia hál vidieť na obr. 6 a obr. 7.

3.2 Účinky vetra na HUPRO haly

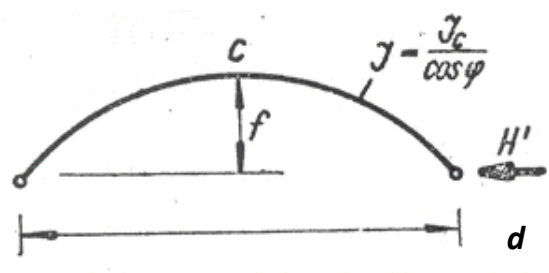
Vzhľadom na účinky vetra sme si pre výpočet vybrali halu s rozmermi 36 x 12,55m, a pre porovnanie tiež halu s rozmermi 15 x 7,6m kde je najnepriaznivejší pomer f/d a teda súčinitele tlakov vetra dosahujú najväčšie hodnoty (pozri obr.4). Uvažovali sme kruhové zakrivenie strednice haly a tiež parabolické zakrivenie strednice so zmenou tuhosti tak ako to vidieť na obr. 8.



Obr. 6 Využitie HUPRO haly (sklad)



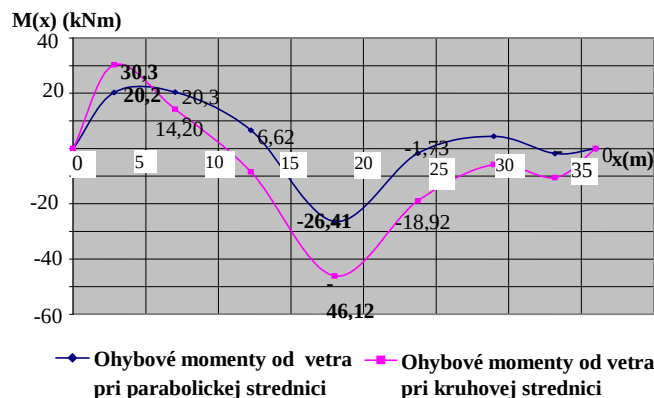
Obr. 7 Využitie HUPRO haly (plavárne)



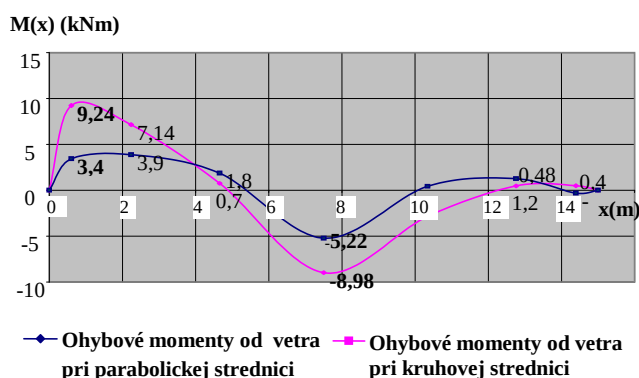
Obr. 8 Parabolické zakrivenie strednice

3.2.1 Porovnanie hodnôt ohybových momentov pre rôzne typy stredníc

Pri výpočte priebehov ohybových momentov sme v prípade kruhového zakrivenia strednice neuvažovali so zmenou tuhosti prúta pozdĺž prierezu, čo sa prejavilo na veľkosti výsledných ohybových momentov, ktoré na kruhovo zakrivenom nosníku nadobúdajú väčšie hodnoty. Najväčšie rozdiely sa prejavili pri väčšej hale v záporných hodnotách ohybových momentov, kde je rozdiel až 74,63%. Výrazný nárast vidieť pri menšej hale v oblasti maximálnych kladných aj záporných ohybových momentov. Grafické porovnanie priebehov ohybových momentov na strednici haly je vykreslené v obr. 9 a 10.



Obr. 9 Porovnanie účinkov vetra na najväčšej hale s rozmermi 36 x 12,55 m



Obr. 10 Porovnanie účinkov vetra na hale s rozmermi 15 x 7,6m

3.2.2 Porovnanie účinkov vetra podľa rôznych normových predpisov (STN EN 1994-1-4 a ČSN 73 0035)

Súčinitele externých tlakov vetra sú pre valcové strechy podľa oboch noriem rovnaké, rozdiely sú v tlaku, respektíve výslednej sile vetra. Špičkový tlak vetra vo vrchole hál dosahuje podľa STN EN 1991-1-4 pre terén kategórie III (predmestie) nasledovné hodnoty:

$$q_p(z=12,55\text{ m}) = [1 + 7I_z(z)] \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_s(z) \cdot q_b = 0,785 \text{ kPa}$$

$$q_p(z=7,6\text{ m}) = [1 + 7I_z(z)] \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_s(z) \cdot q_b = 0,648 \text{ kPa}$$

Tlak vetra podľa ČSN 73 0035 pre terén A (otvorený terén) a pre terén typu B (terén rovnomerne pokrytý prekážkami) má vo vrchole objektov nasledovné hodnoty:

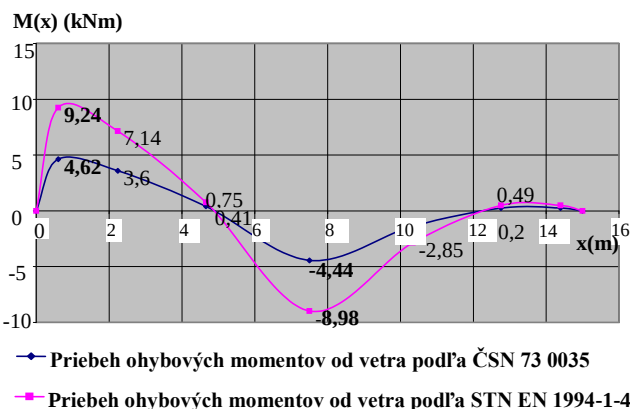
$$w_n = w_0 \cdot \chi_w = 0,583 \text{ kPa} \quad \text{pre terén A (} z = 12,55 \text{ m)}$$

$$w_n = w_0 \cdot \chi_w = 0,387 \text{ kPa} \quad \text{pre terén B (} z = 12,55 \text{ m)}$$

$$w_n = w_0 \cdot \chi_w = 0,512 \text{ kPa} \quad \text{pre terén A (} z = 7,6 \text{ m)}$$

$$w_n = w_0 \cdot \chi_w = 0,323 \text{ kPa} \quad \text{pre terén B (} z = 7,6 \text{ m)}$$

Porovnaním dvoch noriem vidíme, že účinok vetra podľa STN EN 1991-1-4 v teréne kategórie III je výrazne väčší ako podľa normy ČSN 73 0035 pre terén kategórie B. Hodnoty špičkové tlaku vetra sú dvojnásobné oproti hodnotám uvažovaným v minulosti. Týmto účinkom je potrebné venovať dostatočnú pozornosť. Porovnanie vnútorných síl (ohybových momentov) na valcovej streche vidieť na obr. 11.



Obr. 11 Porovnanie účinkov vetra na HUPRO hale 15 x 7,6m podľa rôznych normových predpisov

4. ZÁVER A ZHODNOTENIE

Cieľom príspevku bolo analyzovať účinky vetra na ľahké oceľové konštrukcie, ktoré tým, že sa nachádzajú pri zemskom povrchu sú vystavené výrazným turbulentným účinkom. Klimatické zaťaženia ako vietor a sneh sú rozhodujúce pre optimálny návrh konštrukcie.. Nové technológie výstavby umožňujú vytvárať ľahké montovateľné konštrukcie, kde je potrebné vhodne zvoliť tvar a tuhosť konštrukcie, aby bola odolná voči vetru, nielen počas životnosti, ale aj v jednotlivých štádiách výstavby. Účinky vetra podľa Eurokódov sú zohľadnené výrazne väčšími hodnotami špičkového tlaku vetra, ktorý odpovedá nárastu veterných búrok na našom území v poslednom období.

Zdroje

1. STN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zaťaženie konštrukcií, časť 1-4 Zaťaženie vetrom, SÚTN 2006
2. FISHER, O., - KOLOUŠEK, V., - PIRNER, M.: *Aeroelasticita stavebných konštrukcií*, Academia Praha 1977
3. PETERSEN, Ch.: *Dynamik der Baukonstruktionen*, Braunschweig/Wiesbaden, 1996, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag-gesellschaft mbH, ISBN 3-528-08123-6
4. HUBOVÁ, O.: *Dynamické účinky vetra s využitím noriem*. Proc. Int. Conference DYNA 2006, Brno 11-12.5.2006, ISBN 80-214-3164-4 p.107-115.
5. HUBOVÁ, O.: *The effect of the wind on the structure*. Slovak Journal of Civil Engineering 2007/3, Volume XV, ISSN 1210-3896.
6. ASCE Mannuals and Reports on Engineering Practice; no.67 *Wind tunnel studies of buildings and structures*; preklad M. Jirsák: *Studie budov a konštrukcií ve větrných tunelech*, ČKAIT, ISBN 978-80-87093-87-0, Praha 2009.
7. MEJZLÍK, L.: *Stavební mechanika II C*, Statní nakladatelství technické literatury, Praha 1965 Ut egestas vestibulum lacus fermentum consectetur. Praesent sit amet eros sit amet purus
8. 2. ČSN 73 0035: Zatížení stavebních konstrukcí, ÚNM Praha 1987
9. <http://www.huprohaly.sk/>

Pod'akovanie

Táto práca vznikla s podporou Grantovej agentúry VEGA Slovenskej republiky, číslo grantu 1/1119/11.