

# Účinky vetra na obytný súbor Poprad - Poppart

Ing. Peter Gašparovič, PhD.

2024-08-26

## Prehľad súčasných poznatkov o vetre v spodnej vrstve atmosféry

Prúdenie vzduchu, vietor, je spôsobené nerovnomerným ohrevom od zemského povrchu. Rýchlosť vetra má priebeh s výškou, ktorý má principiálny význam a nedá sa nahradiť homogénnym rozložením rýchlostí. V dôsledku viskozity je vzduch pri zemskom povrchu teoreticky v pokoji. S výškou rýchlosť vetra rastie – najvýraznejšie pri zemskom povrchu. So zväčšovaním výšky vertikálny gradient vetra slabne, až napokon vo výške rádovo 500m nad zemou vplyv trenia zemského povrchu sa stáva zanedbateľný, a rýchlosť sa už nezvyšuje. Vetrú v tejto výške sa hovorí geostrofický vietor, prúdi pozdĺž izobár tlaku a jeho rýchlosť závisí iba od tlakového gradientu globálneho a regionálneho rozsahu. Okrem takýchto globálnych príčin vetra s periódou vyjadriteľnou v dňoch až týždňoch, existujú aj lokálne príčiny vetra, s výrazným priebehom počas dňa. Štatisticky najvýznamnejšie maximá vetra sú spojené s regionálnym prúdením, hlavne pri prechode frontálnych systémov. V dlhšom období sú pre dané územie charakteristické.

Vrstva prúdiaceho vzduchu od zeme až po geostrofickú výšku, tvorí takzvanú medznú (alebo hraničnú) vrstvu, a vertikálna zmena vetra je dôsledkom silového pôsobenia medzi jednotlivými vrstvami v dôsledku šmyku rýchlostí a turbulentnej výmeny energie medzi týmito vrstvami. Dá sa odvodiť, a merania v laboratóriách aj v atmosfére to potvrdzujú [1], že rýchlosť vetra v šmykovej turbulentnej vrstve má logaritmický priebeh

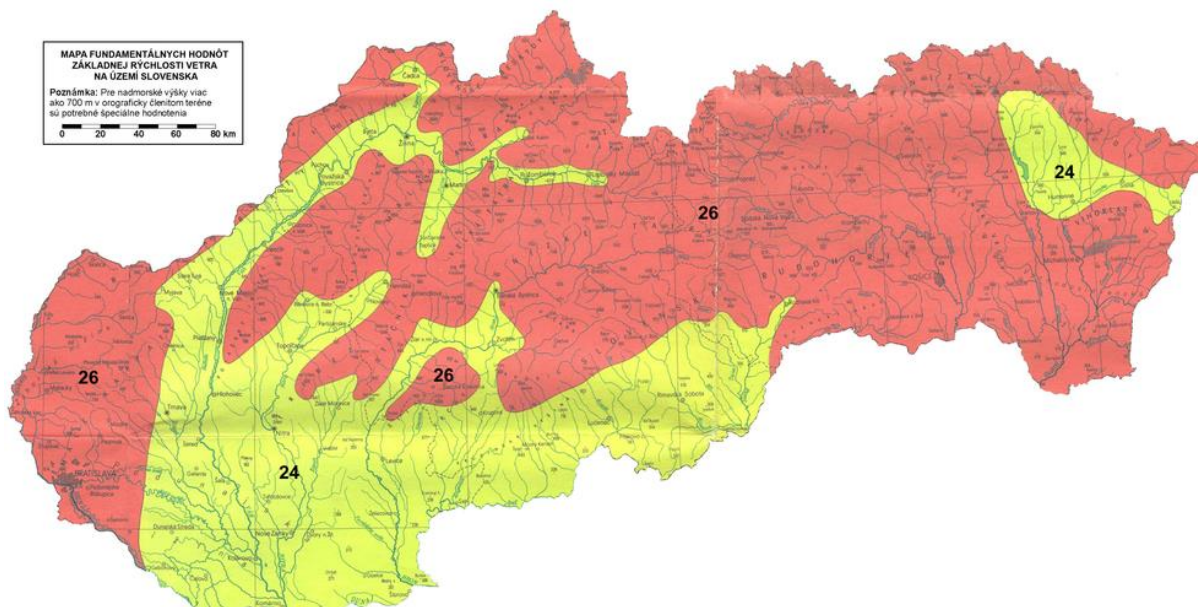
$$v = \frac{\kappa}{v_\tau} \ln\left(\frac{h}{z_0}\right),$$

kde  $\kappa$  je Kármánova konštanta,  $v_\tau$  je trecia rýchlosť, parameter závislý na trení na povrchu a  $z_0$  je parameter závislý na drsnosti povrchu, ktorému sa hovorí dĺžka drsnosti. Nie je to výška nerovností na povrchu (tzv. výška drsnosti je rádovo väčšia ako dĺžka drsnosti). Pri prúdení vetra v exteriéri, výsledná drsnosť povrchu závisí na veľkosti prekážok a vzdialenosti medzi nimi. Wieringa vo svojom systematickom prehľade [2] urobil podrobný rozbor všetkých dostupných pozorovaní v medznej vrstve a dospel k najvierohodnejším hodnotám  $z_0$  pre rôzne druhy terénu. Povrch s danou drsnosťou potrebuje pomerne veľkú vzdialenosť v smere vetra, aby profil medznej vrstvy zmenil na konečnú podobu zodpovedajúcu povrchu (zhruba stonásobok výšky). Okrem logaritmického profilu medznej vrstvy existujú aj polynomiálne modely medznej vrstvy [3], ktoré však nie sú dostatočne exaktné.

## Profil vetra podľa Eurokódu

Eurokód je súbor európskych noriem pre stavebné inžinierstvo a jedna z týchto noriem, STN EN 1991-1-4 a jej národná príloha STN EN 1991-1-49/NA, obsahuje model vetra pre rôzne kategórie terénu, podľa ktorého sa má počítať zaťaženie stavieb vetrom. Vietor je odvodený od fundamentálnej hodnoty základnej rýchlosti vetra, čo je hodnota odvodená z meteorologických meraní 10-minútového priemeru vetra v referenčnej výške 10m nad povrchom kategórie II (trávnatý terén s izolovanými stromami alebo budovami [4, s.20]). Fundamentálna je taká hodnota, ktorá by nemala byť prekročená za menej ako 50 rokov. Na základe rôznych koeficientov pre smery a ročné obdobie sa vypočíta základná rýchlosť  $v_b$ .

Podľa národnej prílohy STN EN 1991-1-49/NA [5] je základná rýchlosť zhodná s fundamentálnou rýchlosťou a podľa mapy je pre oblasť Popradu  $v_b = 26$  m/s.



Rýchlosť vo výške nad zemou, takzvaná „stredná rýchlosť vo výške“  $v_m$  zohľadňuje drsnosť terénu dvoma spôsobmi. Základná rýchlosť  $v_b$  sa násobí súčiniteľom terénu  $k_r$  a logaritmickou funkciou výšky. Prvý efekt drsnosti je zvýšenie hodnoty súčiniteľa terénu

$$k_r = 0.19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07},$$

kde  $z_{0,II}$  je tzv. drsnostná dĺžka pre referenčný terén kategórie 2 ( $z_{0,II} = 0.05\text{m}$ ). Pre informáciu, drsnostná dĺžka pre terén kategórie 3 (predmestie) je 0.3m, a pre terén kategórie 4 (stred mesta) je 1.0m.

Druhý efekt drsnosti spočíva v posunutí logaritmického profilu nadol vo výslednom vzťahu pre strednú rýchlosť vo výške:

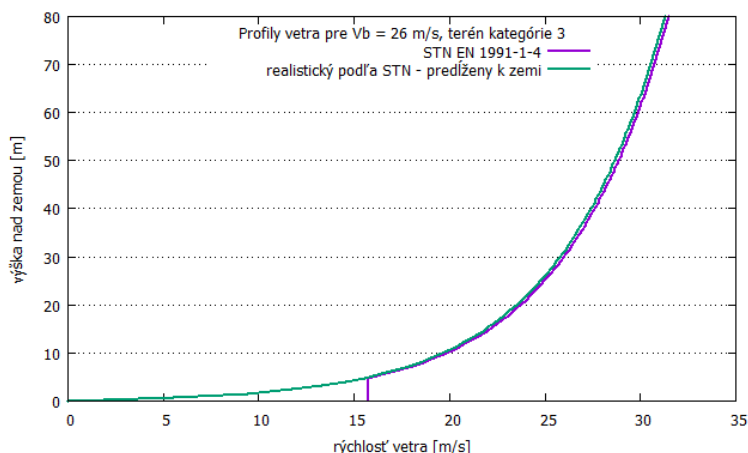
$$v_m = k_r \cdot \ln \left( \frac{h}{z_0} \right) \cdot v_b.$$

Zvýšenie drsnosti terénu má za následok výrazné zmenšenie rýchlosti v spodnej časti medznej vrstvy, kde leží aj referenčná výška, a nepatrné zmenšenie na hornej hranici medznej vrstvy.

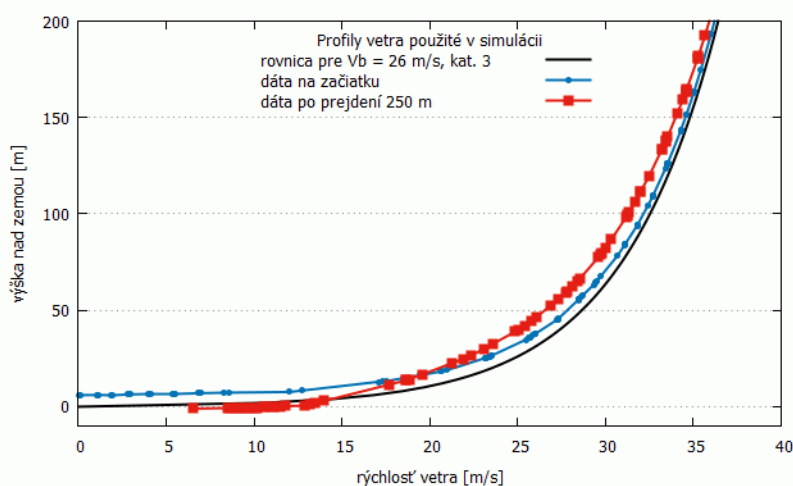
Pretože logaritmický priebeh pri zemi neplatí, Eurokód túto situáciu rieši konštantnou rýchlosťou vetra pri zemi (2m pre kategóriu 2, 5m pre kategóriu 3 a 10m pre kategóriu 4). Pre výpočet zaťaženie budovy také zjednodušenie postačuje, pre posúdenie komfortu chodcov pri numerickej simulácii a pri experimente už nie – detaily neskôr.

## Profil vetra použitý v numerickej simulácii

Pre účely posúdenia komfortu chodcov na prízemí budovy je potrebný reálnejší profil vetra. Profil podľa Eurokódu sa nedá realizovať ani v aerodynamickom tuneli ani v numerickej simulácii. Preto bol zvolený profil vetra (pre kategóriu 3) predĺžený až po zem, cez laminárnu podvrstvu, aby zodpovedal fyzickej realite prúdenia vetra (na obrázku).



Okrem profilu vetra bolo potrebné vytvoriť profil turbulentnej energie a profil turbulentnej disipácie, aby bol výsledný profil vetra v rovnováhe a nedochádzalo k jeho zmene v smere prúdu. Poslednou podmienkou rovnováhy je nájdenie vhodnej stenovej funkcie v modeli turbulencie k-epsilon. Terén vyššej kategórie s trením spôsobeným veľkými prekážkami, totiž nie je možné verne modelovať geometricky hladkým povrchom. Preto bola použitá štandardná stenová funkcia s drsnosťou, ktorá bola optimalizovaná v iných simuláciách tak, aby sa profil vetra nezrýchľoval ani nespomaľoval. Dôkaz je na obrázku, kde profil vetra navodený na okraji výpočtovej oblasti, 500 m od budov, ostáva zachovaný aj po prejení vzdialenosti 250 m. Malé spomalenie profilu je spôsobené poklesom terénu a vplyvom budov na prúdenie v okolí. Použitý profil vetra má v referenčnej výške 10 m hodnotu 19.6 m/s. Výška zemského povrchu na okraji výpočtovej oblasti je 6 m.

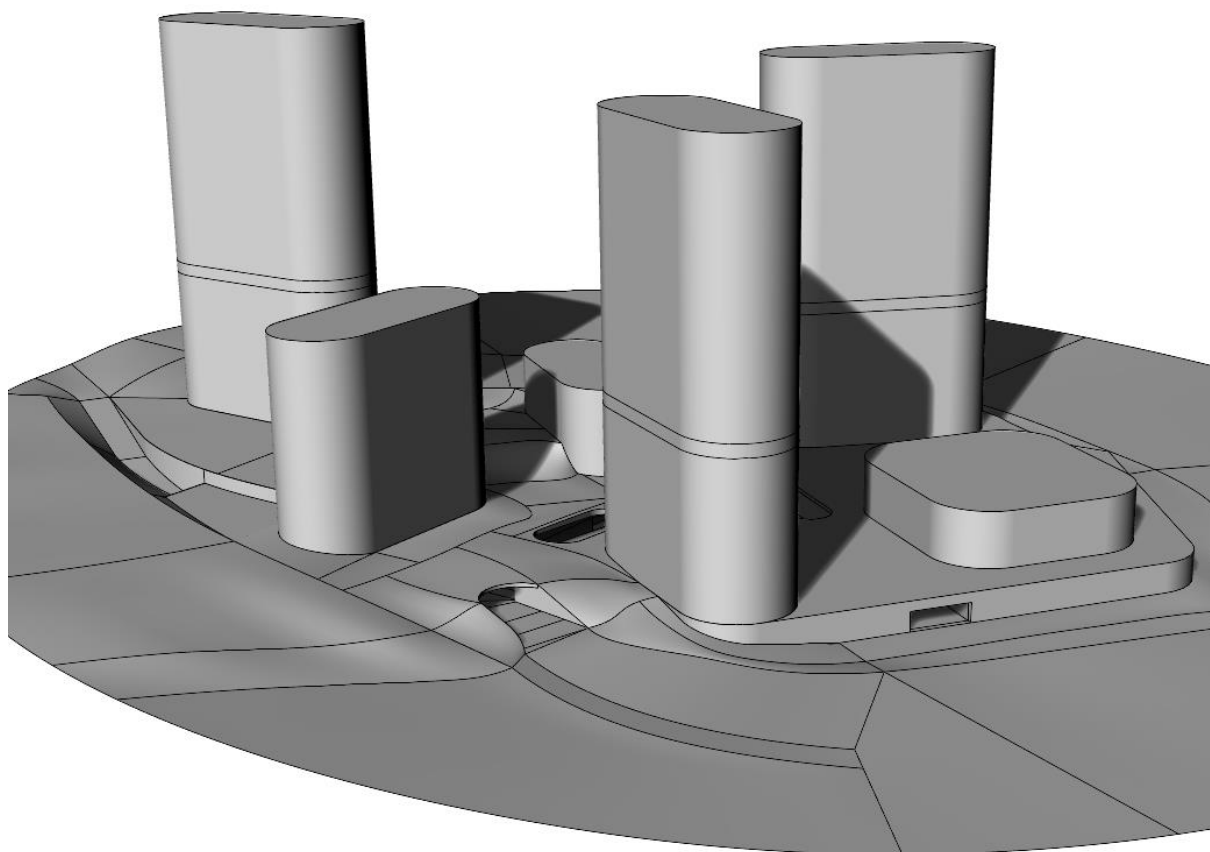


Lokalita leží v nadmorskej výške do 700 m, preto je možné použiť základnú rýchlosť 26 m/s. Podľa charakteru okolia budov bol zvolený profil vetra pre terén kategórie 3.

## Popis numerickej simulácie vetra v okolí budovy

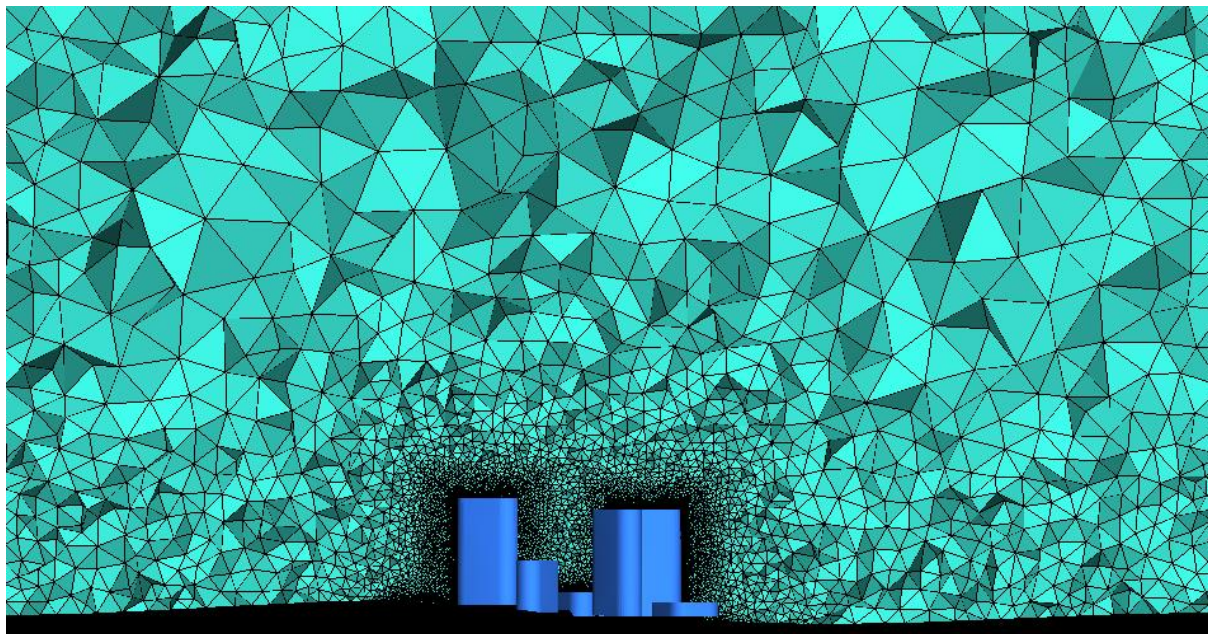
Softvér použitý na numerickú simuláciu je založený na riešení rovníc prúdenia vzduchu. Prúdenie je popísané Navier-Stokesovými rovnicami – rovnicou zachovania hybnosti a rovnicou zachovania hmoty. Pre zjednodušenie bola zanedbaná stlačiteľnosť vzduchu, čo sú aj obvyklé podmienky v aerodynamickom tuneli. Skutočná hustota vzduchu vo výške 100m je iba o 2% menšia ako počítaná. Turbulencia je parametrom v Reynoldsovsky priemerovanej podobe Navier-Stokesových rovníc (RANS) spolu so štandardným modelom turbulencie k-epsilon, ktorý je vhodný pre Reynoldsovo číslo prúdenia okolo budovy a drsnosť povrchov. Rovnice prúdenia sú riešené iteračnou numerickou metódou konečných objemov.

Geometrický model budovy je zjednodušený efektívnym vonkajším povrchom na úrovni fasády, tak aby postačoval na získanie tlakov vo výške a pre navodenie podmienok prúdenia na úrovni chodcov. Model obsahuje aj jedno podlažie podzemnej garáže, aby mohlo byť simulované prúdenie cez otvory v streche a nadväzujúci podjazd pre autá. Podstatné prvky terénu boli ohraničené kruhom s polomerom približne 172 m, ktorý plynule prechádza do horizontálnej roviny na polomere 500 m, a to je okraj výpočtovej oblasti. Tá je ohraničená výškou 500 m.

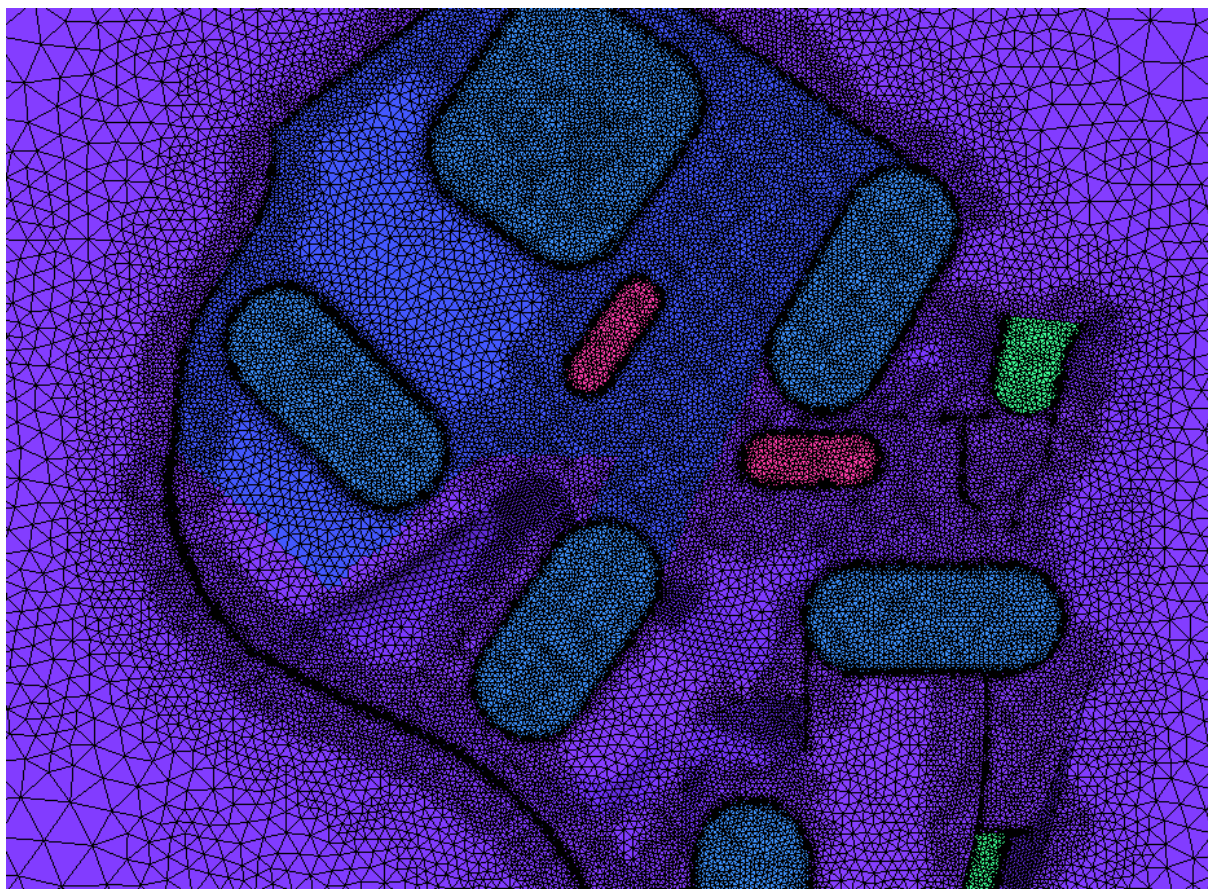


Počiatok súradnicového systému leží v úrovni zeme pod parterom, a všetky výškové údaje sa vzťahujú k tejto úrovni. Výška parteru je vo výške 6 m, a to je aj približná stredná výška okolitého terénu, preto bola použitá pre výšku roviny na okraji výpočtovej oblasti. Tri najvyššie budovy majú rovnakú relatívnu výšku 86.44 m od prízemí. Dve z nich vyrastajú z výšky partera, iba najjužnejšia budova je na vyvýšenom mieste vo výške 15.06 m, takže jej najvyšší bod je vo výške 101.50 m. Balkón najvyššej budovy má podlahu vo výške 44.50 m, pri zvyšných dvoch budovách vo výške 35.44 m.

Výpočtová oblasť bola diskretizovaná do podoby tetrahedrónovej siete s prizmatickými prvkami pri zemi a pri stenách budov a podzemných priestorov. Sieť má celkovo 4.6 milióna objemových buniek. Rez sieťou v smere JJV-SSZ, s viditeľnou hustotou siete je na obrázku.

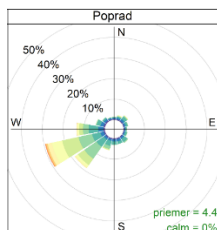


Pohľad na sieť modelu zhora je na ďalšom obrázku (sever je hore).



## Výber simulovaných prípadov vetra

Podľa štatistík SHMÚ (publikovaných napr. v bulletine Meteorológia a Klimatológia [7]) prevládajúci smer prúdenia v Poprade medzi juho-západom (kurz 225°) až západom (kurz 225°). Na konci jari a začiatkom leta je to severo-východ (kurz 45°). Rýchlosti vetra sú do 12 m/s, zriedkavo do 16 m/s. Na obrázku je štatistické rozloženie jednotlivých smerov a rýchlostí vetra počas marca 2023 [3].



Posledná veľká víchrica v roku 2004 dosahovala hodnoty vetra okolo 55 m/s.

Pre zistenie záťaže budovy tlakom vetra aj pre posúdenie komfortu chodcov bola simulovaná iba jedna rýchlosť vetra, a to podľa STN EN 1991-1-4,  $v_b=26$  m/s, čo zodpovedá hodnote 19.6 m/s pri meteorologickom meraní v referenčnej výške 10 m nad zemou.

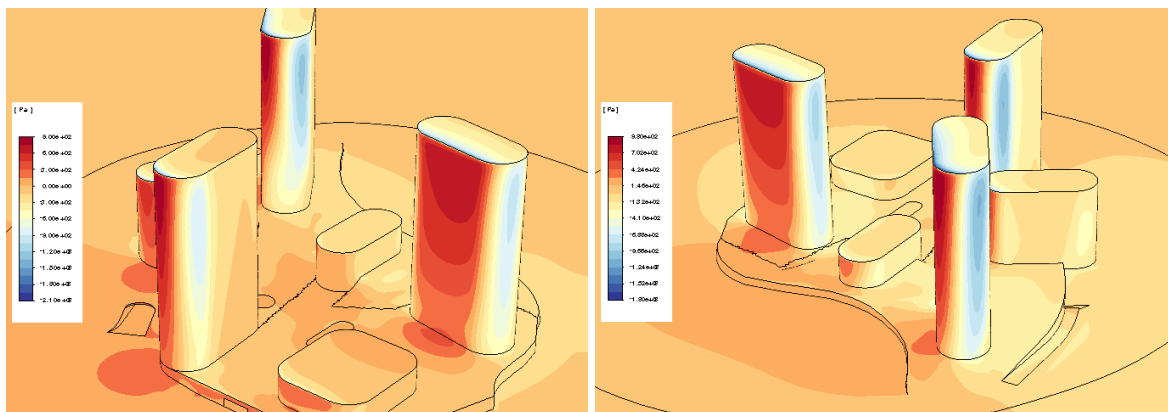
Pre výpočet bolo zvolených týchto 8 základných smerov vetra:

|              |                  |
|--------------|------------------|
| sever        | (S, kurz 000°),  |
| severovýchod | (SV, kurz 045°), |
| východ       | (V, kurz 090°),  |
| juhovýchod   | (JV, kurz 135°), |
| juh          | (J, kurz 180°),  |
| juhozápad    | (JZ, kurz 225°), |
| západ        | (Z, kurz 270°),  |
| severozápad  | (SZ, kurz 315°). |

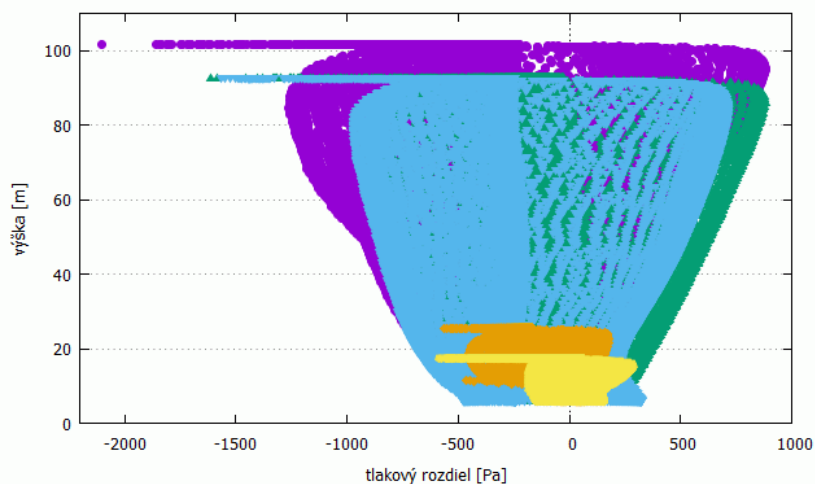
V prípade potreby je možné hodnoty zo simulácie prepočítať aj na extrémne prípady počasia. Pri prepočte z vetra 19.6 m/s na extrémny vietor 55 m/s stačí hodnoty tlaku vynásobiť koeficientom 7.9, t.j.  $(55/19.6)^2$ .

## Analýza zaťaženie tlakom vetra

Vietor vytvára tlakový rozdiel (pretlak alebo podtlak) na stenách budov, v porovnaní s tlakom atmosféry, ktorý by sme zmierali v danom mieste tlakovou sondou, ktorá nenarušuje prúdenie vzduchu. Najväčší pretlak vzniká na náveternej strane, a jeho hodnota závisí iba na rýchlosti vetra v danej výške. Tvar budovy nemá vplyv na hodnotu pretlaku, má vplyv iba na veľkosť oblasti s daným tlakom. Najväčší podtlak vzniká na bočných stenách, a jeho absolútna hodnota môže prevýšiť aj hodnotu pretlaku na náveternej strane. Na obrázku sú hodnoty tlaku v perspektíve pri najčastejších smeroch vetra SV (045°) a JZ (225°).



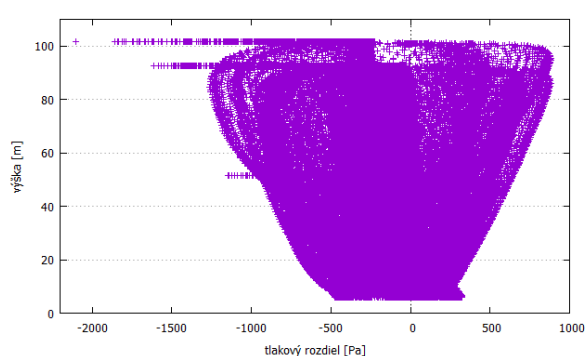
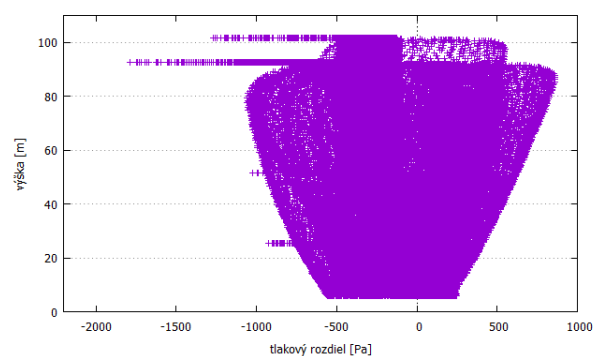
Hodnoty tlaku sa lepšie odčítavajú z grafu. Na nasledujúcom grafe pre uhol 045° sú povrchové tlaky farebne odlišené, pre každú budovu zvlášť.



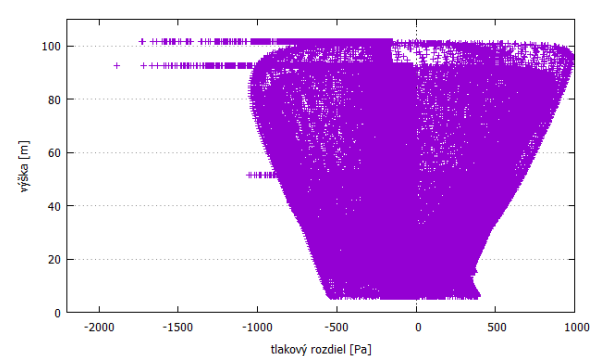
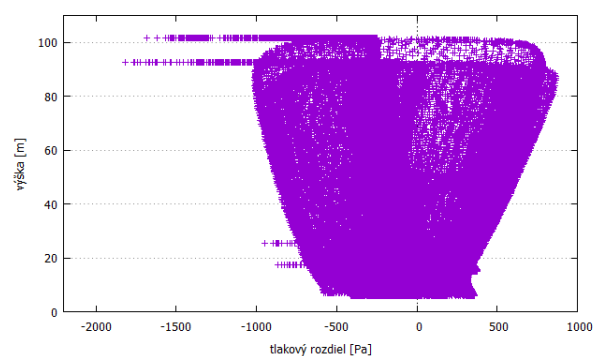
Je zrejmé, že tlaky rastú s výškou nad zemou, a mierne sa líšia od budovy k budove, pretože majú odlišnú orientáciu voči vetru. Pretože pôdorysný tvar budov je podobný, všetky budovy by mali mať podobné extrémne tlaky, iba pri rôznej orientácii voči vetru. V ďalších grafoch sú tlaky pre zjednodušenie už farebne nerozlišované, lebo aj tak si stačí všimnúť iba tlakové extrémny. Podtlakové špičky na vrchu budov sú spôsobené obtekaním striech. Netreba si ich až tak všimnúť pretože sú lokalizované iba na bezprostredné okolie hrany medzi bočnou stenou a strechou.

Hodnoty pretlaku sú do 1000 Pa, a podtlaku do -1200 Pa, a to najviac pri smeroch SV a JZ. Pri otvorení okna, tlak pri okne potom bude aj vnútri budovy, a na inej strane budovy môže potom pôsobiť tlakový rozdiel až 2200 Pa. Tento výsledok priemerného prúdenia treba podľa normy zvýšiť o vplyv turbulentných odchýlok rýchlosti. Vzorec pre špičkový tlak vyžaduje vynásobiť tlak hodnotou  $(1+7 \cdot I_v)$ , v našom prípade  $I_v$ , intenzita turbulencie vo výške 100 m, pre profil kategórie 3 je 0.172. Špičkové zaťaženie pri poryvoch teda bude 4840 Pa.

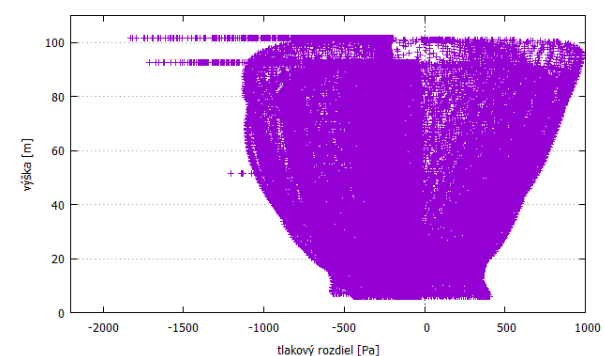
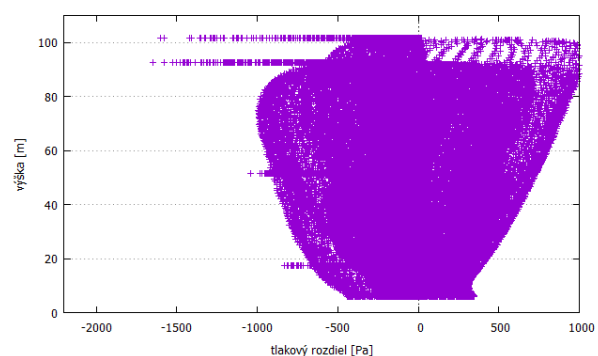
## Vietor S (000°) a SV (045°)



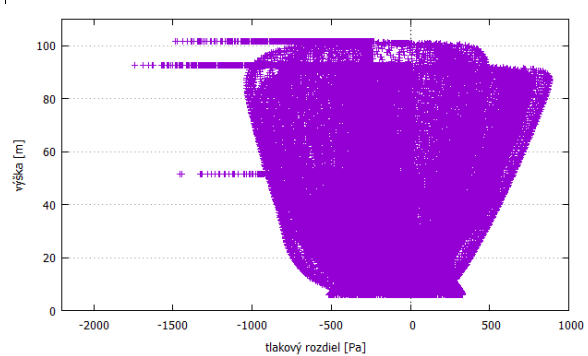
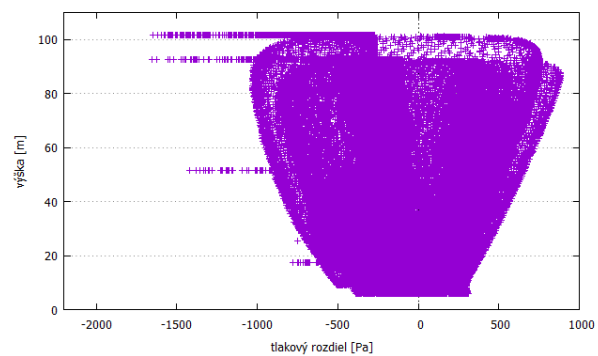
## Vietor V (90°) a JV (135°)



## Vietor J (180°) a JZ (225°)



## Vietor Z (270°) a SZ (315°)



## Analýza veterných pomerov v úrovni chodcov (1.5 m nad zemou)

Táto analýza je iba orientačná a jej závery sú iba odporúčania, pretože nie je obsahom normy STN EN 1991-1-4.

Nemá význam posudzovať komfort pri chodcov pri rýchlosti vetra 19.6 m/s (podľa STN EN 1991-1-4,  $v_b=26$  m/s), pretože norma je na iné účely, a už samotná rýchlosť vetra je na hranici bezpečnosti chodcov.

Má zmysel uvažovať obvyklú rýchlosť vetra, čo podľa pozorovaní v Poprade môže byť okolo 5 m/s, teda polovica hodnoty vetra, ktorý bol simulovaný, a pri tejto rýchlosti by nemali vznikať miesta nekomfortu, kde krátke sedenie a státie je nepríjemné.

Tiež má zmysel uvažovať, že aj pri najvyššej rýchlosti vetra, ktorá sa s pravdepodobnosťou 90% v Poprade vyskytuje, čo je okolo 12 m/s by nemali vznikať nebezpečné miesta, kde chodec má problém udržať rovnováhu, a hrozí riziko poranenia unášanými predmetmi.

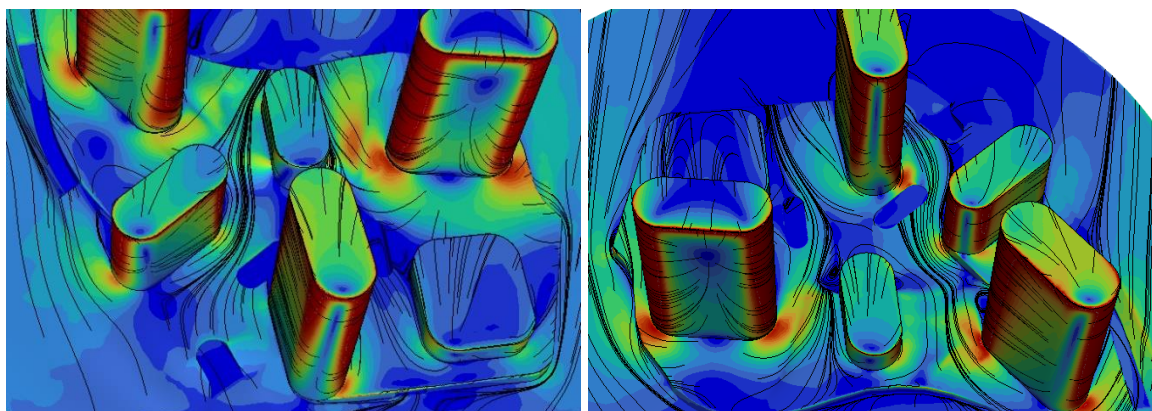
Vďaka podobnosti prúdenia pri vysokých Reynoldsových číslach, nie je potrebné robiť simuláciu aj pri menšej rýchlosti vetra. Rýchlosti stačí násobiť pomerom medzi hodnotami vetra v simulácii a v uvažovanej situácii.

Nekomfortná situácia má lokálnu hodnotu 6 m/s (podľa [7]). K tejto situácii by nemalo dochádzať pri obvyklom vetre 5 m/s, čo zodpovedá lokálnej hodnote 24 m/s v simulácii pri vetre 19.6 m/s podľa STN EN 1991-1-4. (Lebo  $6 \times 19.6/5 = 23.52$ .) Komfortné miesta na obrázkoch majú modrú a zelenú farbu. Modré miesta dovoľujú pohodlné sedenie aj na dlhú dobu.

Nebezpečná situácia, má lokálnu hodnotu 20 m/s (podľa [7]). K tejto situácii by nemalo dochádzať ani pri vetre 12 m/s, ktorý sa počas roka vyskytuje. To zodpovedá lokálnej hodnote 32 m/s v simulácii pri vetre 19.6 m/s podľa STN EN 1991-1-4. (Lebo  $20 \times 19.6/12 = 32.67$ .) Nebezpečné miesta na obrázku majú oranžovú alebo červenú farbu.

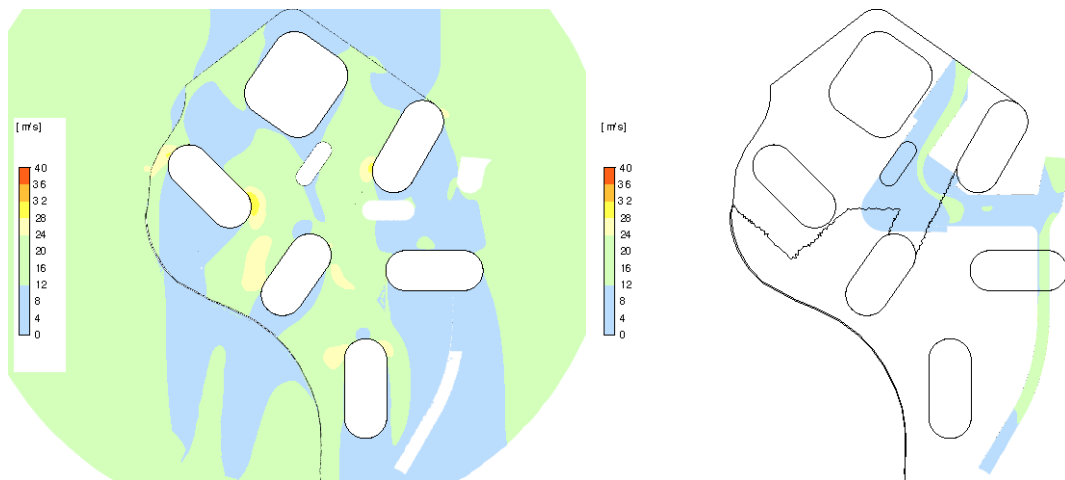
V simulácii sa objavilo iba štyri miesta, kde sa vyskytuje lokálna rýchlosť od 32 do 36 m/s, čo je tesne za hranicou bezpečnosti. Miest s rýchlosťou za hranicou komfortu je viac, ale všetky sú iba pri okrajových častiach budov, a zasahujú blízke okolie stien do vzdialenosti väčšinou 10 m. Rýchlosť v týchto miestach bude znížená použitím lamíel na fasáde, prípadne umiestnením chodníkov a lavičiek ďalej od steny.

Na nasledujúcich obrázkoch pre smery vetra SV a JZ sú zobrazené prúdnicie a povrchové trecie napätie, kde červená farba približne zodpovedá lokálnej rýchlosti 24 m/s nad zemou.

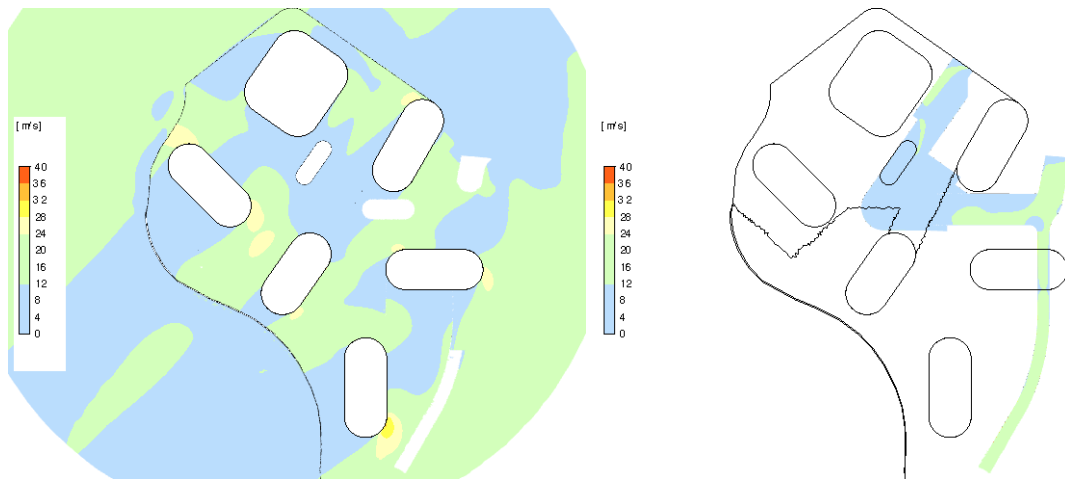


Menej názorné, ale presnejšie sú farebné mapy lokálnej rýchlosti prúdenia vo výške 1.5 m nad zemou, alebou nad podlahou podzemnej garáže.

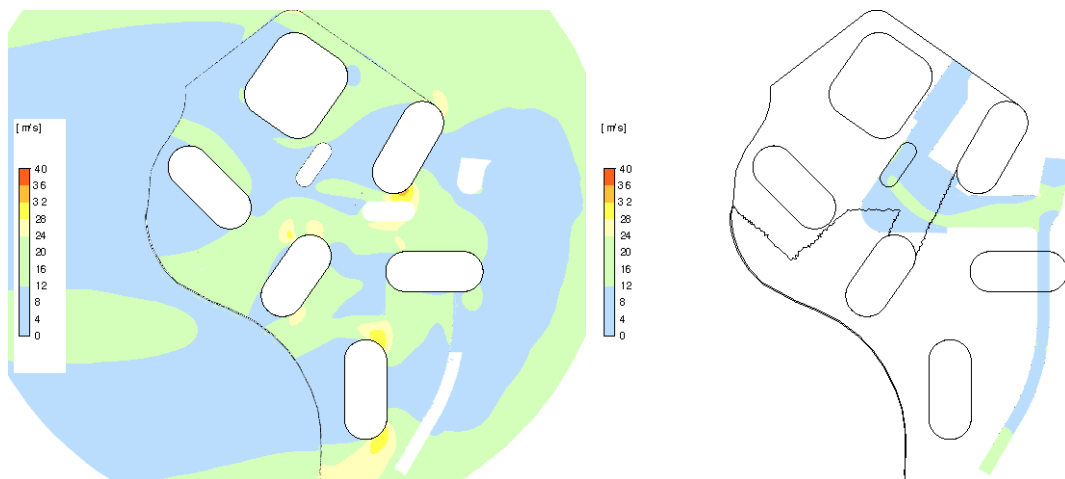
Vietor S (000°)



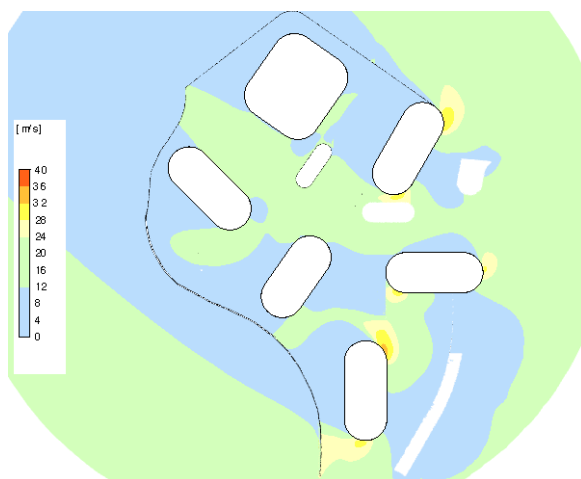
Vietor SV (45°)



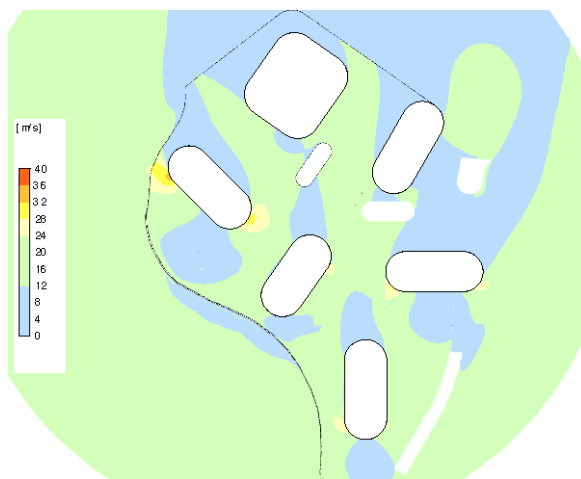
Vietor V (90°)



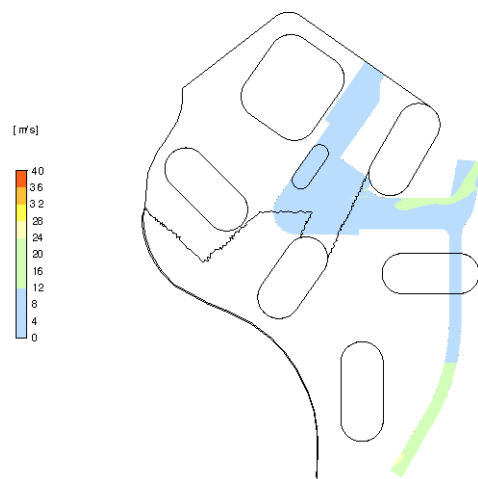
Victor JV (135°)



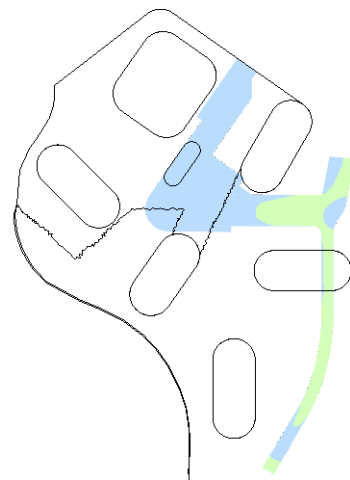
Victor J (180°)



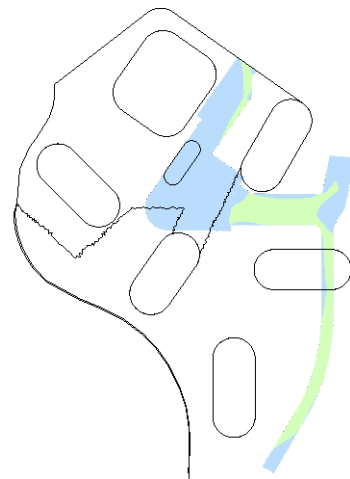
Victor JZ (225°)



Victor Z (270°)



Victor SZ (315°)

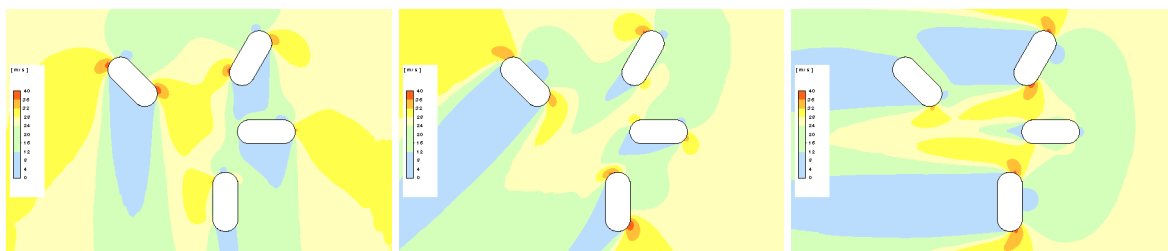


## Analýza veterných pomerov v úrovni balkónov (46 m nad zemou)

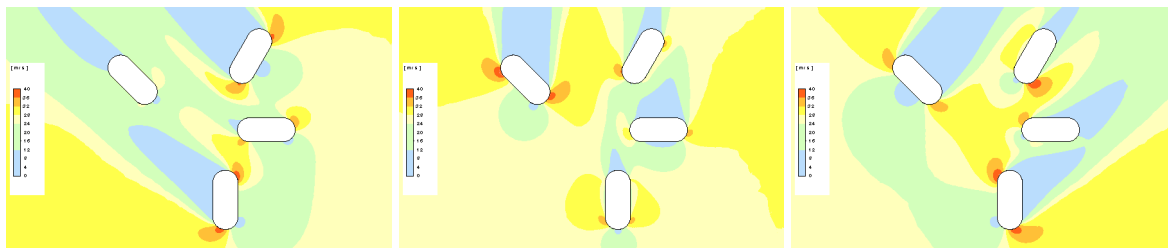
Tri najvyššie budovy sú projektované s balkónom na jednom podlaží, vystavené vetru vo výškach 46 m a 37 m. Pri uvažovanom profile vetra by mala byť simulovaná rýchlosť prúdenia vo výške balkónov 27.4 m/s a 25.8 m/s, tá sa ale v dôsledku obtekania mení, a po obvode balkónov má veľmi premenlivé hodnoty.

Ak analyzujeme výsledky simulácie iba vo výške 46 m, tak najvyššie rýchlosti sú, aj podľa očakávania, na okrajových zakrivených častiach obvodu balkónov. Na plochej rovnej časti obvodu, sú rýchlosti najnižšie. Maximá rýchlosti v okrajových častiach sú od 32 do 40 m/s (oranžová a červená farba), teda za hranicou bezpečnosti. V strednej časti balkónov sú hodnoty rýchlosti väčšinou v modrej a zelenej farbe, teda do 24 m/s, čo je prijateľné z hľadiska komfortu pri obvyklej rýchlosti vetra 5 m/s.

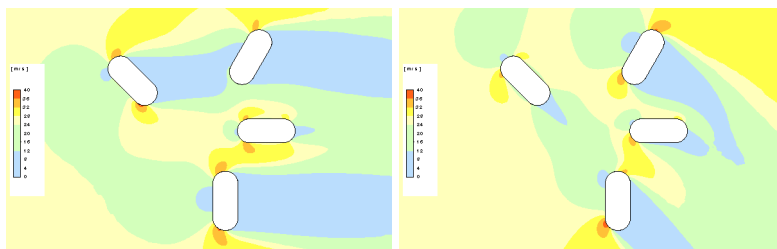
Vietor S (000°), SV (045°), V (090°)



Vietor JV (135°), J (180°), JZ (225°)



Vietor Z (270°), SZ (315°)

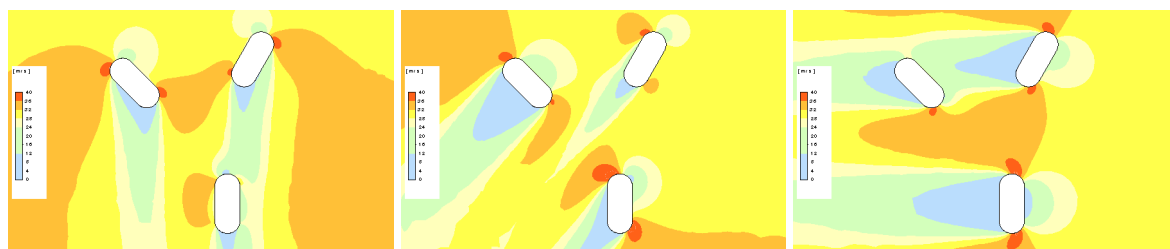


## Analýza veterných pomerov na poslednom podlaží (90 m nad zemou)

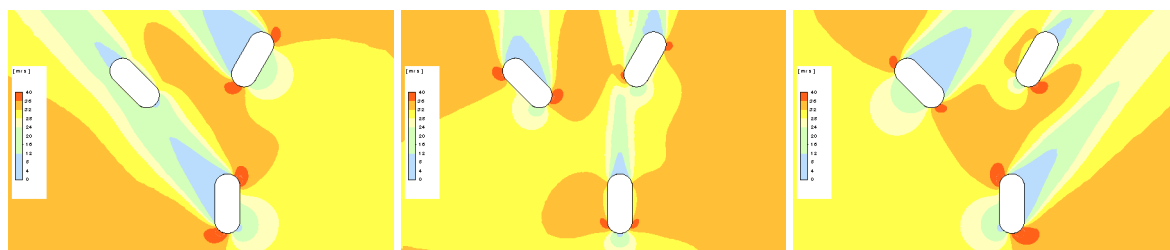
Posledné podlažie dvoch z najvyšších budov bude mať okná vystavené vetru výške 90 m nad zemou (merané 1.5 m nad podlahou).

Najvyššie rýchlosti sú, aj podľa očakávania, na okrajových zakrivených častiach obvodu budovy. Na plochej rovnej časti obvodu, sú rýchlosti najnižšie. Maximá rýchlosti v okrajových častiach sú od 32 do 40 m/s (oranžová a červená farba), teda za hranicou bezpečnosti. V strednej časti budov sú hodnoty rýchlosti často v modrej a zelenej farbe, teda do 24 m/s, čo je prijateľné z hľadiska komfortu pri obvyklej rýchlosti vetra 5 m/s, ale pri smeroch vetra paralelných s budovami sa vyskytujú aj rýchlosti v žltej farbe, čo je za hranicou komfortu.

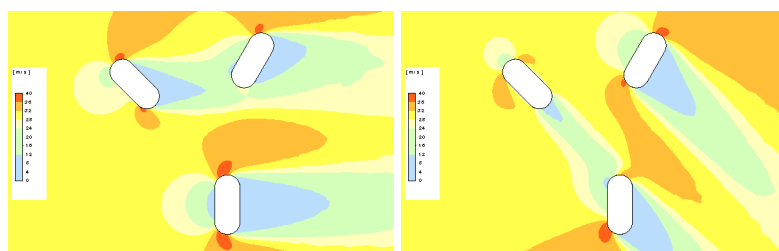
Vietor S (000°), SV (045°), V (090°)



Vietor JV (135°), J (180°), JZ (225°)



Vietor Z (270°), SZ (315°)

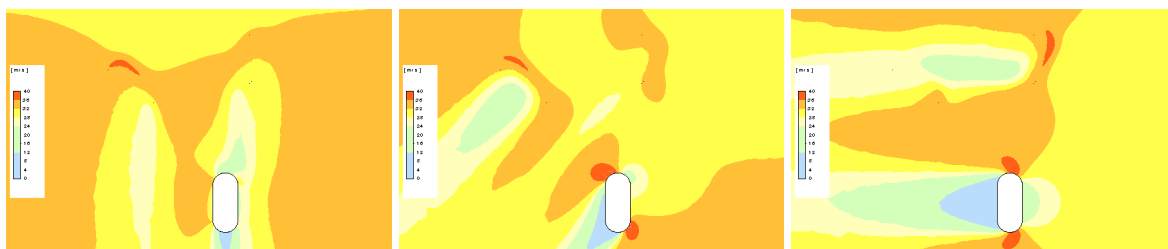


## Analýza veterných pomerov na poslednom podlaží (99 m nad zemou)

Posledné podlažie najvyššej budovy bude mať okná vystavené vetru výške 99 m nad zemou (merané 1.5 m nad podlahou).

Najvyššie rýchlosti sú, aj podľa očakávania, na okrajových zakrivených častiach obvodu budovy. Na plochej rovnej časti obvodu, sú rýchlosti najnižšie. Maximá rýchlosti v okrajových častiach sú od 32 do 40 m/s (oranžová a červená farba), teda za hranicou bezpečnosti. V strednej časti budovy sú hodnoty rýchlosti často v modrej a zelenej farbe, teda do 24 m/s, čo je prijateľné z hľadiska komfortu pri obvyklej rýchlosti vetra 5 m/s, ale pri severnom a južnom vetre sa vyskytujú aj rýchlosti v žltej farbe, čo je za hranicou komfortu.

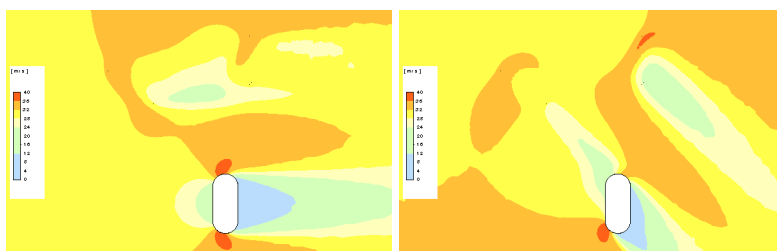
Vietor S (000°), SV (045°), V (090°)



Vietor JV (135°), J (180°), JZ (225°)



Vietor Z (270°), SZ (315°)



## Záver

Zaťaženie tlakom vetra pri podmienkach podľa STN EN 1991-1-4 je najväčšie na horných poschodiach budov. Špičkové zaťaženie okien pri turbulentných poryvoch je 4840 Pa.

Komfort chodcov na prízemí v okolí budov, definovaný hodnotou rýchlosti prúdenia 6 m/s pri vetre 5 m/s je splnený na väčšine plochy. Bezpečnosť chodcov na prízemí v okolí budov, definovaná hodnotou rýchlosti prúdenia 20 m/s pri vetre 12 m/s je splnená, až na štyri miesta, ktoré sú na obrázkoch vyznačené oranžovou a červenou farbou. Rýchlosť v týchto miestach bude znížená použitím lamiel na fasáde, prípadne umiestnením chodníkov a lavičiek ďalej od steny.

Komfort na balkónoch pri vetre 5 m/s, pri existencii lamiel, je splnený iba v strednej časti.

Informácie o veternom komforte osôb treba brať iba ako odporúčania, lebo nie sú obsahom STN EN 1991-1-4, a sú založené na jednom z mnohých kritérií v literatúre.

## Použitá literatúra

- [1] Schlichting, H. – Boundary-Layer Theory. 7<sup>th</sup> edition. McGraw-Hill, 1979.
- [2] Wieringa, J. – "Representative roughness parameters for homogeneous terrain." Boundary-Layer Meteorology, (March 1993), Vol. 63 (4) pp. 323–363
- [3] Davenport, A. G. – "Rationale for Determining Design Wind Velocities." J. Struct. Div. Am. Soc. Civ. Engin. (ASCE), 1960, Vol. 86 pp. 39–68.
- [4] STN EN 1991-1-4 Eurokód 1, Zaťaženia konštrukcií Časť 1-4: Všeobecné zaťaženia, Zaťaženie vetrom.
- [5] STN EN 1991-1-4/NA. Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-4: Všeobecné zaťaženia – Zaťaženie vetrom. Národná príloha.
- [6] Bulletin Meteorológia a Klimatológia, SHMÚ, ISSN 1338-7170.
- [7] Melbourne, W. H. – "Criteria for Environmental Wind Conditions." Journal of Industrial Aerodynamics, 1978, Vol. 3 (2-3) pp. 241-249

Vyhotovil:

V Košiciach, 26.8.2024

Ing. Peter Gašparovič, PhD.