

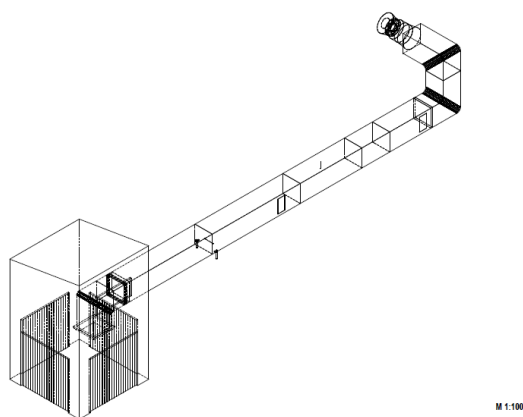
Databáze - popis

Databáze obsahuje data změřená během projektu TAČR TJ01000383. Jedná se o data pocházející z měření užitím metody fyzikálního modelování v otevřeném aerodynamickém tunelu v Novém Kníně

1. Fyzikální modelování

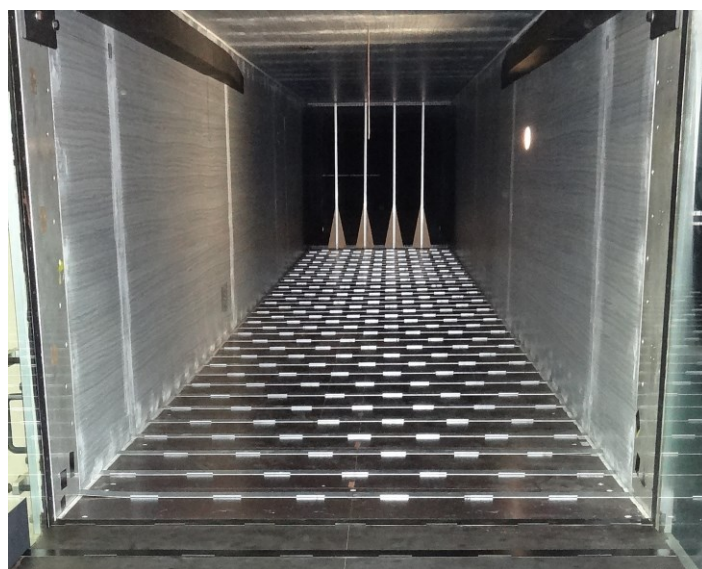
1.1. Experimentální uspořádání

V projektu využíváme fyzikální modelování založené na podobnosti dějů v realitě a ve zmenšeném měřítku v modelovém případě. Modelový případ je studován v nízkorychlostním otevřeném aerodynamickém tunelu (Obrázek 1 a 2).



Obrázek 1. Aerodynamický tunel využívaný v experimentech.

K podobnosti dějů, které probíhají v realitě a na modelu je třeba získat podobnost jak geometrickou, tak dynamickou (Jaňour, 2001; Chaloupecká, 2012).



Obrázek 2. Pohled do aerodynamického tunelu proti směru proudění.

1.1.1. Geometrická podobnost modelu a reality

Geometrickou podobnost modelu a reality docílíme výrobou modelu v jistém měřítku ke skutečnosti a modelováním mezní vrstvy atmosféry ve stejném měřítku.

V projektu jsme se zabývali dvěma typy povrchů: rurální oblastí a industriální oblastí. Zatímco model rurální oblasti byl vytvořen v měřítku 1:650, model oblasti industriální v měřítku 1:400 (Obrázek 3).



a.

b.

Obrázek 3. Modely: a. Model rurální oblasti, b. Model industriální oblasti.

Pro simulaci mezní vrstvy rurální oblasti (industriální oblasti) byla vyvíjecí sekce aerodynamického tunelu pokryta řadami elementů drsnosti s výškou 5 mm a šířkou 125 mm (50 mm vysokými, 125 mm širokými) a s podélnými rozestupy 250 mm. Byly použity generátory turbulence o rozměrech základny 200 mm (265 mm) a výšce 450 mm (1400 mm). Tabulka 1 a Obrázek 4 (5) prokazují splnění kritérií pro rurální (industriální) mezní vrstvu modelovanou v měřítku 1:650 (1:400) v souladu s manuálem VDI (2000).

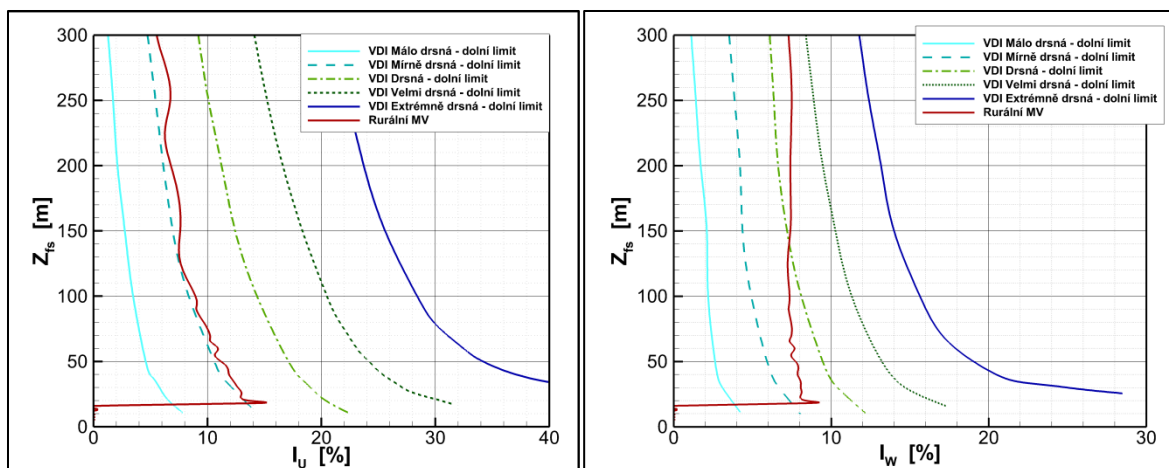
Tabulka 1. Parametry mezní vrstvy: a. Pro rurální oblast, b. Pro industriální oblast přepočtené z modelového měřítku do reality s uvedením předepsané hodnoty dle metodiky VDI (2000).

a.

Název parametru	Symbol	Hodnota	VDI předepsaná hodnota
Parametr drsnosti	z_0 [m]	0.0065	0.005 až 0.1 m
Pošinovací tloušťka	d_0 [m]	0	0 m
Mocninový exponent	α	0.12	0.12 až 0.18

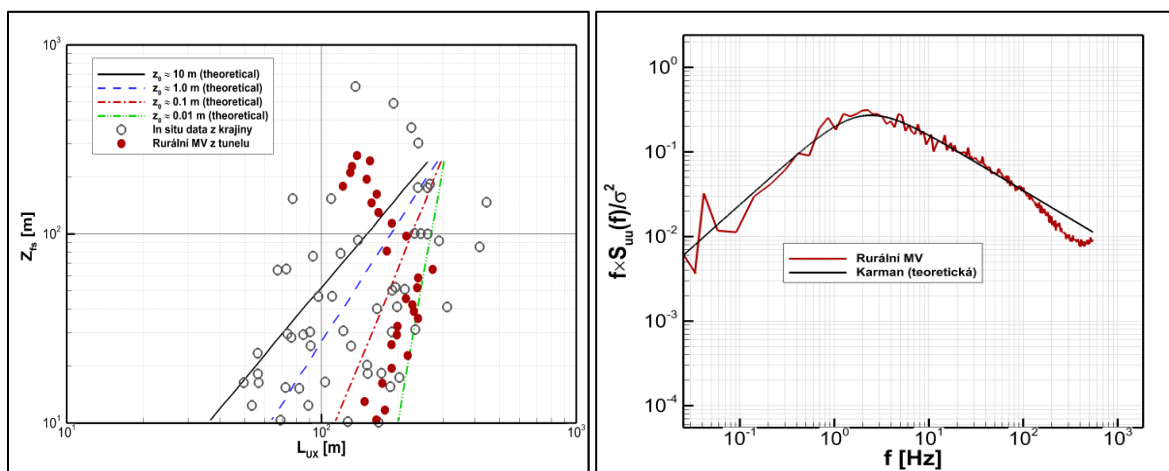
b.

Název parametru	Symbol	Hodnota	VDI předepsaná hodnota
Parametr drsnosti	z_0 [m]	1.8	0.5 až 2 m
Pošinovací tloušťka	d_0 [m]	3	cca od 2 do 15 m
Mocninový exponent	α	0.27	0.24 - 0.40



a.

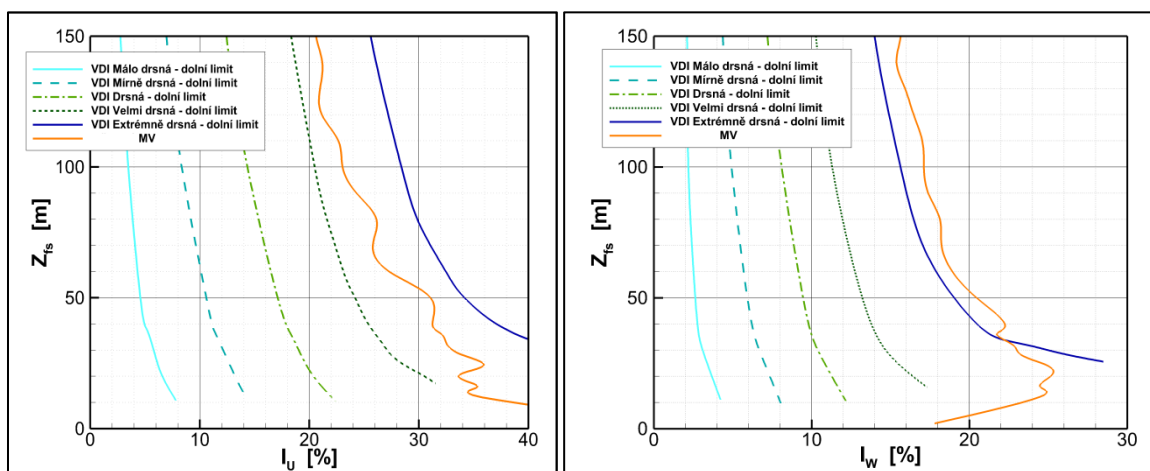
b.



c.

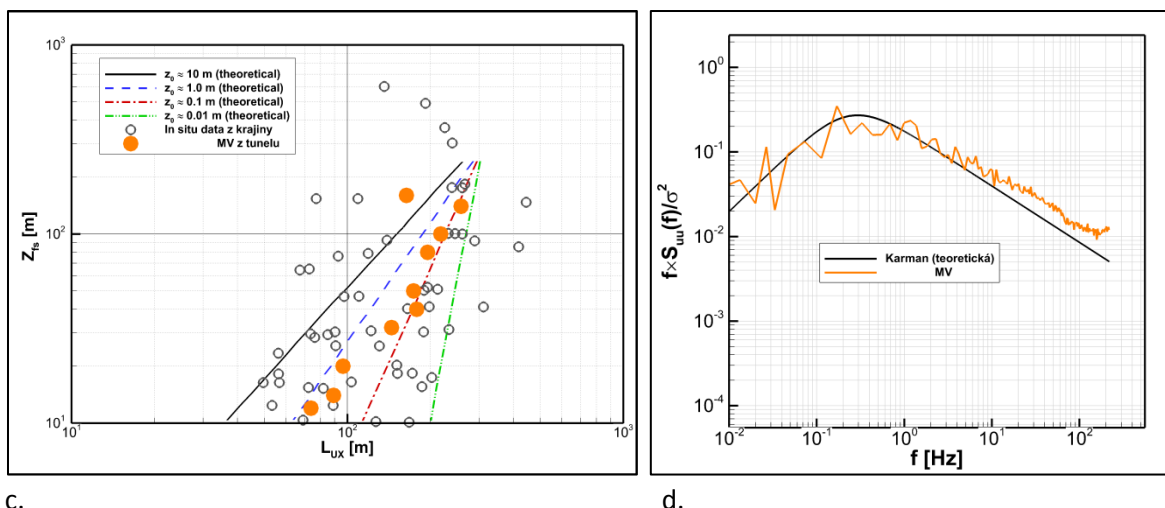
d.

Obrázek 4. Mezní vrstva rurální oblasti: a., b. Intenzita turbulence pro podélnou a vertikální rychlost pro rurální mezní vrstvu spadající do kategorie mírně drsná (pozn. mírně vyšší hodnoty I_w jsou přirozenou vlastností při všech simulacích mezních vrstev v aerodynamickém tunelu), c. Integrální délka (červené body) spadající do kategorie mírně drsná (parametr $z_0=0.01$ m), d. spektra pro rurální mezní vrstvu souhlasící s teoretickou křivkou navrženou von Karmanem.



a.

b.



c.

d.

Obrázek 5. Mezní vrstva industriální oblasti: a., b. Intenzita turbulence pro podélnou a vertikální rychlost pro industriální oblast a kategorii velmi drsná (pozn. mírně vyšší hodnoty l_w jsou přirozenou vlastností při všech simulacích mezních vrstev v aerodynamickém tunelu), c. Integrální délka (oranžové body) spadající do kategorie velmi drsná (parametr $z_0=0.5-2$ m), d. spektra pro industriální mezní vrstvu souhlasící s teoretickou křivkou navrženou von Karmanem.

1.1.2. Dynamická podobnost modelu a reality

Dynamické podobnosti lze dosáhnout zachováním konstantních poměrů mezi jednotlivými silami působícími na vzduchové částice na modelu a v realitě. Silové poměry v mezní vrstvě atmosféry získáme převedením rovnic popisujících mezní vrstvu atmosféry do bezrozměrného tvaru. V tomto tvaru se objevují jisté koeficienty, tzv. podobnostní čísla, která musí nabývat stejných hodnot v modelovém případě i ve skutečnosti. Jedná se o následující podobnostní čísla (Chaloupecká, 2012):

- **Strouhalovo číslo** - Při užití ustáleného proudění ustálené proudění v experimentech je Strouhalovo číslo rovno 1, a tím lze jeho vliv při modelování zanedbat uvážením též ustáleného proudění v reálném měřítku.
- **Richardsonovo číslo** - V experimentech uvažujeme neutrální zvrstvení, jak pro model, tak realitu. Odlišný typ zvrstvení bychom v tunelu mohli dosáhnout ohříváním, resp. ochlazováním stěn aerodynamického tunelu.
- **Rossbyho číslo** - V experimentech modelujeme procesy v přízemní vrstvě a malou oblast, kdy lze vliv tohoto čísla zanedbat (Jaňour, 2001).
- **Reynoldsovo číslo** – Zachování hodnoty tohoto čísla nelze dosáhnout. Východiskem je však tzv. Townsendova hypotéza (Jaňour, 2001). Dle této hypotézy platí, že bezrozměrné střední hodnoty turbulentních charakteristik pole proudění nezávisí na Re , je-li dostatečně velké. Vhodnou hodnotu Reynoldsova čísla je třeba určit experimentálně. Z měření vyplynulo, že hodnota průměrných bezrozměrných koncentrací je nezávislá na hodnotě Re pro všechny zkoušené hodnoty Re pro případ rurální oblasti a přibližně od hodnoty 25000 pro případ industriální oblasti.

Takto zavedená hodnota bezrozměrných koncentrací má výhodu, že je též nezávislá na intenzitě zdroje, je-li dobře zvolena (experimentální ověření). Z měření vyplynulo, že pro zkoušené hodnoty intenzity je hodnota průměrných bezrozměrných koncentrací nezávislá na intenzitě zdroje pro případ rurální oblasti pro všechny testované případy, pro industriální oblast pak oblast nezávislosti začíná od hodnoty přibližně 250 ml/min. Veškeré následující

experimenty byly proto dále realizovány za podmínek splňujících nezávislost bezrozměrných koncentrací na Reynoldsově čísla i intenzitě zdroje.

- **Prandtlovo číslo** - Jelikož v tunelu používáme vzduch, je hodnota Pr automaticky zachována.
- **Eckertovo číslo** - Pro rychlost proudění U_0 v modelovém a reálném proudění mnohem menší než je rychlost zvuku, můžeme vliv Ec zanedbat (Cermak, 1984).
- **Schmidtovo číslo** - Jelikož v tunelu používáme vzduch, Sc je v realitě a v modelovém případě stejné.

2. Měření dat

Časové řady koncentrací byly změřeny rychlým plamenovým ionizačním detektorem firmy Cambustion. Data jsou převedena do bezrozměrného tvaru dle následujících vztahů (VDI, 2000):

$$x^* = \frac{x}{H}, y^* = \frac{y}{H}, C^* = \frac{CU_{ref}H^2}{Q}, t^* = \frac{tU_{ref}}{H}. \quad (1)$$

V těchto vztazích x^*, y^*, C^* a t^* značí bezrozměrnou horizontální souřadnici x, y , bezrozměrnou koncentraci C a bezrozměrný čas t , H charakteristickou délkou (u rurální oblasti zvolena hodnota 39 mm, u industriální oblasti 30 mm), U_{ref} referenční rychlost proudění (měřena v střední výšce tunelu), Q intenzitu zdroje.

Při analýze krátkodobých úniků plynu byly využity následující definice charakteristik oblaků:

- **Čas příchodu oblaku (at^*)**

Užili jsme definici poprvé představenou v Chaloupecká et al. (2017). Jedná se o prahovou metodu, která využívá znalosti hodnot reziduálních koncentrací. Metoda počítá 99. percentil reziduálních koncentrací. Čas příchodu je stanoven, když je tato hodnota překročena v první hodnotě stejně jako v alespoň 35% dalších hodnot z krátkého časového intervalu začínajícího touto hodnotou.

- **Čas odchodu oblaku (dt^*)**

Pro čas odchodu jsme použili obálkovou metodu (Chaloupecká et al., 2018). V této metodě je vytvořena obálka okolo dat s využitím absolutního a následujících lokálních maxim koncentračních časových řad. Čas odchodu je stanoven, pokud pokles mezi po sobě následujícími lokálními maximy je menší než 4% nebo tyto dvě lokální maxima jsou od sebe vzdálena o více než $\Delta t^* = 200$.

- **Dávka ($dosage^*$)**

Dávka je celkové množství koncentrací, kterému je zasažené místo vystaveno během přítomnosti oblaku.

- **Maximální koncentrace (pc_{max})**

Maximální hodnota koncentrace je nejvyšší hodnota koncentrace registrovaná během přítomnosti oblaku v zasaženém místě.

- **Vrcholové koncentrace ($pc_{99quantile}$, $pc_{95quantile}$)**

Vrcholové koncentrace jsou vysoké percentily koncentrací (de Sá, 2017) spočtené z časového intervalu, kdy se oblak nacházel na zasaženém místě.

- **Čas maxima (pt)**

Čas maxima je čas, kdy byla v časové řadě změřena nejvyšší hodnota koncentrací.

- **Doba trvání oblaku (duration)**

Doba trvání oblaku je počítána jako rozdíl mezi dobou odchodu a dobou příchodu oblaku do místa pozorování.

- **Doba růstu koncentrací (asct)**

Doba růstu koncentrací je časový interval mezi časem příchodu oblaku a okamžikem, kdy byly zaznamenána nejvyšší koncentrace.

- **Doba poklesu koncentrací (dsct)**

Doba poklesu koncentrací je časový interval mezi časem, kdy byly zaregistrovány nejvyšší koncentrace a časem odchodu oblaku z místa pozorování.

Dále databáze obsahuje údaj o poloze měřícího bodu v rámci modelu (coordinates). Místo polohy zdroje je zvoleno do začátku souřadného systému. Pro případ industriální zástavby jsou vloženy údaje o krajních bodech budov s rovnou střechou (kvádrů modelu) v rámci souřadné soustavy. Výška kvádrů byla 30 mm v rozměrném tvaru. Jelikož jsme jako charakteristickou délku zvolili právě tuto výšku zástavby, pak tato výška odpovídá hodnotě 1 v bezrozměrném tvaru.

Tabulky níže uvádí údaje o použitém zdroji kontaminantu při měřeních a o dalších použitých experimentálních zařízeních.

Tabulka 2. Zdroj kontaminantu

Zdroj		
typ zdroje	přízemní, bodový, plynný	
počet zdrojů	1	
umístění zdroje na modelu	$x^*=0, y^*=0, z^*=0$	
typ vypouštěného média	pasivní plyn - etan	
	fyzikální charakteristiky:	
	molekulární hmotnost	30.069 kg/mol
	hustota plynu při 0°C a 1.013 barech	1.3551 kg/m ³
	poměr hustoty ke vzduchu	1.0481
	tlak páry při 20°C	37.64 bar
charakteristiky úniku	průměrná doba úniku	0.6 s (+- 4%)
	průměrný objem vypouštěného plynu	5.6 ml (industriální model)/3.3 ml (rurální povrch) (+- 4%)
experimentální detaily	trubka s 8 mm (industriální model)/5 mm (rurální povrch) vnitřním průměrem opatřená sítí a čepičkou	

Tabulka 3. Použitá experimentální zařízení a jejich nejistoty

Zařízení	Přesnost	
Model vyrobený v daném měřítku	1 mm	
Umístění přístrojů do měřících pozic	1 mm	
Směr nabíhajícího proudění	0.5°	
Cambustion HFR400 Atmospheric Fast FID	Šum	< 1%
	Vrchol-vrchol	< 1%
	Časová odezva	< 6 ms
	Kalibrace	< 1%
Cole-Parmer Flowmeter	+-2% z celkové škály	
Prandtlůva trubice s Baratronem MKS, Typ 226A/228A (MKS Instruments)	+-0.5% z celkové škály	

Reference

- Cermak, J.E., 1984. Physical Modelling of Flow and Dispersion over Complex Terrain, Boundary - Layer Meteorology 30, 261-292.
- de Sá, M., 2017. Applied Statistics Using SPSS, STATISTICA, MATLAB and R. Springer.
- Chaloupecká, H., 2012. Proudění a difúze uvnitř městské zástavby. Diplomová práce. Univerzita Karlova.
- Chaloupecká, H., Jaňour, Z., Jurčáková, K., Kellnerová, R., 2017. Evaluation of a new method of puff arrival time as assessed through wind tunnel modelling, Process Safety and Environmental protection 111, 194-210.
- Chaloupecká, H., Jaňour, Z., Jurčáková, K., Kellnerová, R., 2018. Sensitivity of puff characteristics to maximum-concentration-based definition of departure time. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 56, 242-253.
- Jaňour, Z., 2001. Modelování mezní vrstvy atmosféry, Karolinum.
- VDI - Verein Deutscher Ingenier, 2000. Environmental meteorology Physical modelling of flow and dispersion processes in the atmospheric boundary layer. Application of wind tunnels. VDI-Standard: VDI 3783 Blatt 12. Dusseldorf.