

Ing. Štěpán NOSEK, Ph.D.  
AV ČR, Ústav Termomechaniky

# Modelování mezní vrstvy atmosféry v aerodynamických tunelech (1. část)

## Modeling of atmospheric booundary layer in aerodynamic tunnels (1st part)

Recenzent  
Ing. Martin Barták, Ph.D.

Proudění vzduchu v mezní vrstvě atmosféry ovlivňuje jak vnější tak vnitřní aerodynamiku budov, rozptyl škodlivin v ovzduší, dostupnost energie větru pro výrobu elektřiny aj. Proto je důležité analyzovat a pochopit procesy, které probíhají v této oblasti zemské atmosféry. Článek se zabývá fyzikálním modelováním mezní vrstvy atmosféry a vzhledem k jeho rozsahu je rozdělen do několika částí. První část je zaměřena na základní pojmy používané ve větrném inženýrství, na dynamiku proudění vzduchu v atmosféře a na obecné principy fyzikálního modelování mezní vrstvy atmosféry v aerodynamických tunelech.

**Klíčová slova:** mezní vrstva atmosféry, aerodynamický tunel, fyzikální modelování

*Air flow in the atmospheric boundary layer influences both external and internal aerodynamics of buildings, spread of contaminants in the outdoor air, availability of wind power for electricity generation etc. Therefore, it is very important to analyze and understand the processes which occur in this region of the Earth atmosphere. The paper deals with physical modeling of the atmospheric boundary layer in wind-tunnels and due to its extent is divided into several parts. The first part is focused on the basic concepts used in wind engineering, air flow dynamics in the atmosphere and the general principles of physical modeling of atmospheric boundary layer in wind-tunnels.*

**Key words:** atmospheric boundary layer, wind-tunnel, physical modeling

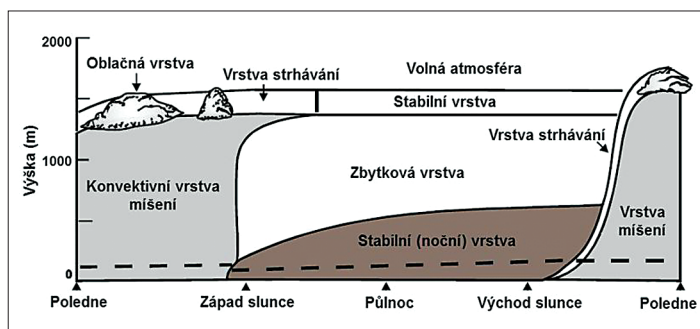
## ÚVOD

Motivací pro fyzikální modelování proudění v mezní vrstvě atmosféry (dále jen MVA) je mnoho. Mezi nejvýznamnější patří pochopení rozptylu znečišťujících příměsí v městských aglomeracích a v komplikovaném terénu od stacionárních a mobilních zdrojů, a určení sil působících na budovy při jejich obtékání proudem vzduchu. Článek je úvodní částí seriálu fyzikálního modelování mezní vrstvy atmosféry v aerodynamických tunelech, které je aktivně řešeno na Ústavu Termomechaniky AV ČR. V této části se budeme věnovat teoretickým základům mezní vrstvy atmosféry a metodám jejího fyzikálního modelování. Je nutné poznamenat, že seriál si neklade za cíl podat komplexní výklad modelování mezní vrstvy atmosféry, ale spíše čtenáře uvést do problematiky.

## MEZNÍ VRSTVA ATMOSFÉRY – ZÁKLADNÍ POJMY

O MVA je pojednáno v mnoha odborných monografiích zabývající se nejen meteorologií (např. v [1], [2]), zde při jejím popisu vyjdeme z české monografie Bednáře a Zikmunda [3]. V ní je MVA charakterizována jako nejspodnější část zemské atmosféry, kde (na rozdíl od volné atmosféry) má významnou roli tření proudění vzduchu o zemský povrch a v důsledku toho dochází k poklesu hybnosti proudění. Tyto ztráty hybnosti proudícího vzduchu jsou pak kompenzovány vertikálním transportem hybnosti od výše ležících vzduchových vrstev směrem dolů, což je spojeno s přítomností smykových napětí, které působí proti směru vzdušného proudění. Smykové napětí je největší u zemského povrchu a směrem vzhůru jeho velikost kolísá. V dostatečné výšce nad terénem již můžeme smykové napětí zanedbat a mluvíme pak o volné atmosféře.

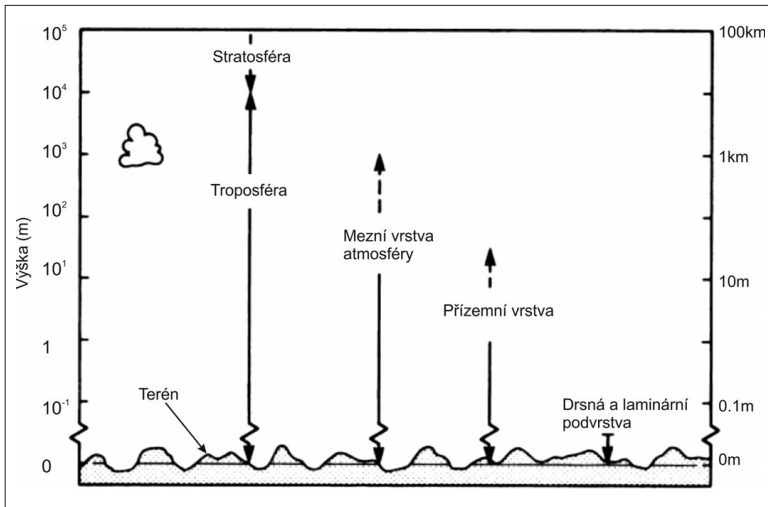
Tloušťka MVA závisí především na topografii terénu. Je tím větší, čím je zemský povrch drsnější, pohybuje se tedy v dosti širokém rozmezí, zhruba od 500 do 2000 m. Roste též se zvětšující se rychlostí proudění vzduchu. V našich geografických podmínkách se nejčastěji nachází v intervalu 1000 až 1500 m nad terénem. Další vliv na tloušťku MVA mají tzv. stabilní podmínky, které ovlivňují vertikální přenos hybnosti, tepla, vodní páry, popř. různých příměsí v zemské atmosféře. Rozlišují se tři základní stavy: stabilní, nestabilní a indiferentní. Všechny stavy určuje



Obr. 1 Schematický vývoj MVA nad pevninou v oblasti vysokého tlaku vzduchu podle [1]

vzájemný vztah mezi vertikálním teplotním profilem napříč mezní vrstvou vzduchu v atmosféře a suchoadiabatickým (pro nenasyčený vzduch), resp. nasyceně adiabatickým gradientem teploty částice vzduchu, která je vychýlena z určité výškové hladiny do vyšší (zde suchoadiabatický gradient je záporně vzatá změna teploty částice suchého vzduchu při jejím přemístění o jednotkovou vzdálenost ve vertikálním směru za adiabatického děje). Pokud teplota vzduchové vrstvy klesá s výškou rychleji než suchoadiabatický gradient částice vzduchu, jedná se o instabilní stav a malý počáteční impuls může vést k rozvoji významných vertikálních pohybů a k intenzivnímu míšení ve vzduchové hmotě. V případech, kdy teplota vzduchu v mezní vrstvě klesá s výškou pomaleji než suchoadiabatický gradient částice, nebo se s výškou nemění (izotermie), nebo dokonce roste (inverze), se jedná o stabilní stav, ve kterém jsou vertikální pohyby v atmosféře bržděny a promíchávání vzduchu se tlumí. A jako poslední může vzniknout situace, kdy pokles teploty vzduchové vrstvy s výškou odpovídá adiabatickému gradientu částice vzduchu, dochází k indiferentnímu stavu.

Na obr. 1 je schématicky znázorněn vertikální řez vývoje MVA nad pevninou v oblasti vysokého tlaku vzduchu během 24 hodin tak, jak jej prezentuje [1]. Z obrázku jsou patrné tři dominující oblasti označované jako vrstva míšení, reziduální a stabilní vrstva. Vrstva míšení je charakteristická vydatným turbulentním promícháváním. Zdrojem turbulence mohou být v případě bezoblačné oblohy termické turbulentní toky, které vznikají od slunce nerovnoměrně zahříváním zemským povrchem.

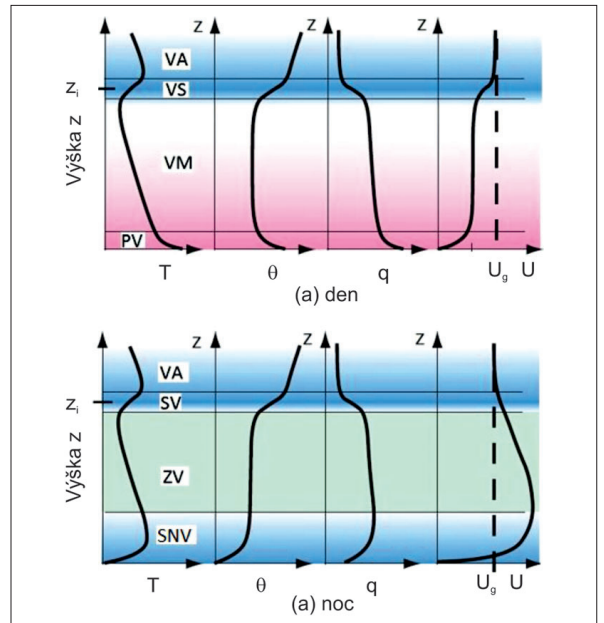


Obr. 2 Vertikální struktura atmosféry podle [5]

V případě částečného pokrytí oblaky jsou dalším zdrojem turbulence volné hranice mezi vzestupnými a sestupnými proudy, které vznikají nad osluněným, resp. zastíněným povrchem. Vrstva míšení se začíná vyvíjet přibližně půl hodiny po východu slunce a díky přenosu nerturbulentního proudu vzduchu do vrstvy strhávání dochází k jejímu rychlému růstu. Vrstva míšení je shora omezena stabilní vrstvou, která zamezuje dalšímu šíření vzestupných proudů. Uvedené zdroje turbulence začínají přibližně půl hodiny před západem slunce slábnout, a tak dochází k laminarizaci proudění a uchování indiferentních charakteristik proudění. Vyvíjí se tzv. zbytková vrstva, která, jak je patrné z obr. 1, nedosahuje zemského povrchu. Vlivem tepelného vyzařování zemského povrchu se současně se zbytkovou vrstvou začíná vyvíjet tzv. stabilní mezní vrstva charakteristická svým stabilním zvrstvením a méně častými periodami turbulentního míšení. Připomeňme, že tento model vývoje MVA lze aplikovat v případě „pěkného letního počasí“.

Popišme si MVA ještě vzhledem k rozložení sil v atmosféře (viz např. [4]). Pohyb vzduchu ve volné atmosféře v horizontální rovině určují síly tlakové a síla Coriolisova, která je důsledkem rotace Země. Ve vertikální rovině je pohyb vzduchu určen tíhovou silou, silou vertikálního tlakového gradientu a vztlakovými silami, které jsou důsledkem teplotního zvrstvení atmosféry. MVA je pak definována jako nejnižší část troposféry, ve které je pohyb vzduchu určen vzájemnou interakcí sil třecích se silami tlakovými, tíhovou, vztlakovou, a Coriolisovou. Vedle smykového napětí se v rovině napříč mezní vrstvou mění i poměr třecí a Coriolisovy síly. S rostoucí výškou Coriolisova síla převládá a způsobuje stáčení větru (na sev. polokouli doprava). V bezprostřední blízkosti zemského povrchu definujeme ještě tzv. přízemní podvrstvu, ve které je dominantní smykové napětí, a dvě podvrstvy: drsnou a laminární (viz obr. 2). V přízemní vrstvě se průběh smykového napětí s výškou téměř nemění a nedochází tak ke změně směru proudění (účinky Coriolisovy síly jsou vůči třecím silám zanedbatelné). Přibližná tloušťka přízemní vrstvy se pohybuje od 50 do 100 m. Drsnou podvrstvu charakterizuje drsnost povrchu a přibližně platí, že je 1 až 3x vyšší než průměrná výška výčnělků povrchu. Laminární podvrstva, přibližně několik milimetrů tlustá, je v přímém kontaktu s povrchem, neboť k němu ulpívá.

Na obr. 3 je pro zajímavost schématicky znázorněn vertikální profil teploty  $T$ , potenciální teploty  $\theta$ , relativní vlhkosti  $\varphi$  a rychlosti větru  $U$  ve spodní části troposféry ve dne (a) a v noci (b). Potenciální teplota představuje teplotu, kterou by měla uvažovaná částice vzduchu po adiabatickém stlačení nebo rozpínání na referenční tlak  $p_0 = 10^5$  Pa. Je důležitou veličinou při termodynamické analýze stavu atmosféry, neboť řadu procesů v atmosféře lze považovat za adiabatické děje, při němž potenciální teplota zůstává konstantní (podobně jako hustota u nestlačitelných tekutin).



Obr. 3 Schéma typických vertikálních profilů ve spodní části troposféry: teploty  $T$ , potenciální teploty  $\theta$ , relativní vlhkosti  $\varphi$  a rychlosti větru  $U$ . VA značí volnou atmosféru, VS vrstvou strhávání, VM vrstvou míšení, PV přízemní vrstvu, SV stabilní vrstvu, ZV zbytkovou vrstvu, SNV stabilní noční vrstvu,  $U_g$  rychlost geostrofického větru a  $z$ , výšku stabilní vrstvy, která odpovídá výšce MVA [2]

## PODOBNOSTNÍ KRITÉRIA

Výše zmíněný popis MVA naznačuje, že možnosti řešení otázek spojených s prouděním a difuzí v MVA jsou značně omezené. Jedná se o složité procesy s velkým množstvím závisle proměnných. Provedení analýzy je obtížné a nákladná měření v reálném prostředí poskytují pouze dílčí informace. Proto jsou převážně používány metody modelování příslušných dějů. Jedná se především o modelování matematické, založené na numerickém řešení soustavy pohybových rovnic, a modelování fyzikální, založené na kritériích podobnosti proudění. Princip fyzikálního modelování MVA spočívá ve vytvoření mezní vrstvy na stěně aerodynamického tunelu, která je s MVA v reálné atmosféře aerodynamicky a termodynamicky podobná.

Východním bodem pro podobnostní analýzu jsou rovnice zachování hybnosti, rovnice zachování energie a rovnice kontinuity. U těchto rovnic je potřeba uvažovat neinerciální vztahnou soustavu rotující spolu se Zemí úhlovou rychlostí  $\Omega$ . Pokud předpokládáme, že:

1. vzduch v MVA je považován za ideální plyn konstantních složek,
2. odchylky tlaku, teploty a hustoty jsou malé v porovnání s referenčními hodnotami,
3. hustota vzduchu je nezávislá na změnách tlaku (nestlačitelný vzduch),
4. změny viskozity a teplotní vodivosti jsou zanedbatelné,
5. produkce tepla třecími silami je zanedbatelná,
6. nejsou uvažovány žádné jiné zdroje tepla,

Lze převést jednotlivé členy ve výše uvedených rovnicích na bezrozměrný tvar zavedením referenčních veličin: délky  $L$ , rychlosti  $U$ , teplotní odchylky  $\delta T$ , hustoty  $\rho$  a úhlové rychlosti  $\Omega$ . V rovnici zachování hybnosti v bezrozměrném tvaru se pak vyskytují následující kritéria podobnosti:

Rossbyho číslo vyjadřující poměr setrvačné a Coriolisovy síly:

$$Ro = \frac{U}{L\Omega} \quad (1)$$

Froudeovo číslo vyjadřující poměr mezi setrvačnými a vztakovými silami:

$$Fr = \frac{U}{\left(\frac{gL\delta T}{T_0}\right)^{1/2}} \quad (2)$$

a Reynoldsovo číslo vyjadřující poměr mezi setrvačnými a třecími silami:

$$Re = \frac{UL}{\nu} \quad (3)$$

V rovnici zachování energie se vyskytuje číslo Pecletovo

$$Pe = \frac{UL}{\kappa} \quad (4)$$

kde  $\kappa$  značí součinitel teplotní vodivosti vzduchu. Pecletovo číslo určuje poměr mezi přenosem tepla konvekcí a vedením.

Doposud byly probrány požadavky na podobnost proudových polí. Dále budeme uvažovat i rozptyl škodlivých látek ve vzduchu. Škodlivá látka zde bude uvažována jako kompletně pasivní, tzn., neovlivňuje proudění vzduchu. Dynamika pohybu škodlivé látky bude tedy odpovídat dynamice pohybu samotného vzduchu, kterou jsme již popsali. Pro modelování difúze je definováno Schmidtovo číslo

$$Sc = \frac{\nu}{D_m} \quad (5)$$

vyjadřující poměr mezi kinematickou viskozitou vzduchu  $\nu$  a koeficientem molekulární difúze  $D_m$ . Použijeme-li při modelování vzduch, Schmidtovo číslo se pro modelovou i reálnou situaci zachová.

Následujícím rozbořem podobnostních čísel mezi modelem a reálnou atmosférou zjistíme, že za současné technické vyspělosti aerodynamických laboratoří je možné splnit rovnost pouze mezi některými podobnostními čísly.

## OMEZENÍ FYZIKÁLNÍHO MODELOVÁNÍ MVA V AERODYNAMICKÝCH TUNELECH

Pokud budeme obecně uvažovat poměr délkových měřítek mezi reálnou předlohou a modelem větší než 10, je nemožné zároveň splnit rovnost podobnostních čísel. Jako příklad nám poslouží Reynoldsovo a Froudeovo číslo. Veličiny  $\nu$  a  $g$  jsou identické jak v aerodynamickém tunelu, tak v atmosféře a  $T_0$  jsou přibližně stejné. Tedy snížení délkového měřítka 10krát vyžaduje 10krát navýšení rychlosti v aerodynamickém tunelu za účelem splnění Reynoldsova kritéria.

Tyto změny však u Froudeova čísla znamenají navýšení  $\delta T_R$  1000krát. Přitom je převážně zapotřebí zmenšení délkového měřítka více jak 10krát (vzhledem k „tradičním“ rozměrům aerodynamických tunelů pro modelování MVA).

Výše uvedené omezení lze částečně obejít, pokud tekutinou v modelu bude voda. V tomto případě lze navýšit faktor u Reynoldsova čísla na 15, avšak rovnost mezi Pecletovými čísly nebude splněna. Pecletovo číslo lze vyjádřit jako součin čísla Reynoldsova a Prandtlova. A právě Prandtlovo kritérium nemůže být splněno, neboť hodnota Prandtlova čísla pro vzduch je desetinásobně menší než pro vodu. Je tedy zřejmé, že striktní dodržování podobnostních kritérií je v případech malých měřítek nemožné, a tak je potřeba uvažovat takové podmínky, při kterých lze podobnost alespoň částečně splnit.

První takovou podmínkou, která se často uvažuje, je zachování neutrální stability ( $\delta T_R = 0$ ) jak na modelu, tak v reálné atmosféře. Froudeovo číslo je pak možno v obou případech považovat za nekonečně velké. Druhá podmínka se týká zanedbání Coriolisovy síly, a tedy Rossbyho kritéria, v případech, kdy měřítko modelu je menší než přibližně 1:10000.

Poslední zjednodušení se týká zanedbání Reynoldsova kritéria. Jak již bylo zmíněno výše, je technicky nemožné dosahovat rovnosti Reynoldsových čísel, neboť rychlost v aerodynamických tunelech by musela dosahovat někdy až 10<sup>4</sup> m/s (v případě měřítka 1:10000). Řešení nám poskytují tři hypotézy: nezávislost na Reynoldsově čísle, analogie s laminárním prouděním a škálování disipace energie (využití tzv. Kolmogorových měřítek). V tomto článku uvedeme alespoň tzv. Townsendovu hypotézu nezávislosti na Reynoldsově čísle [7]. Podle ní (v případě neutrální stability) závisí bezrozměrné střední hodnoty turbulentních charakteristik pouze na bezrozměrných souřadnicích a v nestacionárním případě na bezrozměrném čase, nezávisí však na Reynoldsově čísle, jeli toto číslo dostatečně velké. Dostatečná velikost Reynoldsova čísla je pro každou modelovanou úlohu jiná, neboť závisí na mnoha podmínkách, především však na geometrii a drsnosti modelu. Je tedy potřeba pro každou novou úlohu prověřit nezávislost na Reynoldsově čísle samostatně.

## MĚŘÍTKA FYZIKÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

Další obtíže pro modelování MVA spočívají ve skutečnosti, že vlastnosti jevů probíhajících v atmosféře pokrývají rozsáhlou škálu časových a prostorových měřítek. Prostorová měřítka pozorovaných jevů jsou zpravidla určována jejich typickými rozměry, časová měřítka určuje typická délka trvání těchto jevů. Měřítka atmosférických jevů tak pokrývají oblast od drobných turbulentních vírů s velmi krátkou dobou života až po proudění planetárních rozměrů. Omezíme-li se na studium MVA, je vhodné zavést následující měřítka, která se liší prostorovými rozměry pozorovaných jevů a různým vlivem a významem podobnostních čísel.

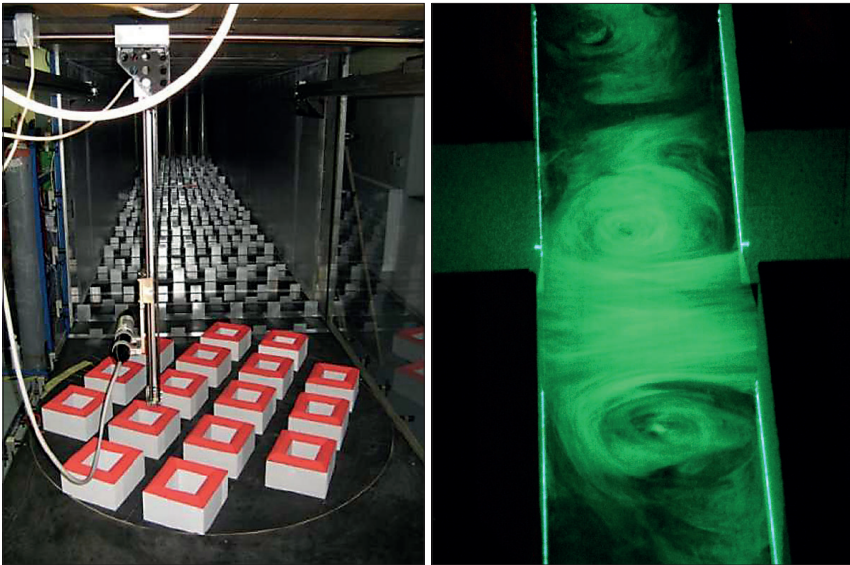
### Mikro-měřítka

Modelování MVA v rámci mikro-měřítka znamená modelovat oblasti, jejichž délka hrany plochy dosahuje řádově stovky metrů (obr. 4). V tomto měřítku studujeme zpravidla turbulentní proudění v přízemní vrstvě MVA. Uvažujeme-li proudění nad drsným a homogenním povrchem, pak v takovém proudění je dominantní turbulentní přenos hybnosti a situaci lze popsat Moninovou-Obuchovovou teorií, jejíž podrobnější popis lze nalézt např. v [4]. Předpokladem této teorie je závislost koeficientu turbulentní difúze  $K$  především na tzv. Obuchovovy délce  $L$ , která je používána pro popis vlivu vztakových sil na turbulentní proudění. Zjednodušeně lze Obuchovovu délku interpretovat, např. při stabilních podmínkách, jako výšku nad povrchem, kde produkce turbulentní kinetické energie je v rovnováze se zanikáním této energie působením stability zvrstvení. Pokud budeme uvažovat indiferentní zvrstvení, je Obuchovova délka nekonečně veliká.

Pro modelování mikro-měřítka je dále nutné zachovat geometrickou podobnost okrajových podmínek, čemuž by měl odpovídat i vertikální profil rychlosti včetně tzv. parametru drsnosti  $z_0$ . Pro modelování MVA je tento parametr velmi důležitý, neboť charakterizuje efektivní výšku drsných elementů (výčnělků, hrbolků, vegetace, budov...) na zemském povrchu; podrobněji se mu budeme věnovat v dalším díle článku. Důležitý teoretický předpoklad zaujímá i Townsendova hypotéza, zmíněná výše.

### Malé měřítka

Zde se jedná o modelování oblastí o velikosti několika kilometrů. Při těchto rozměrech už nemůžeme očekávat horizontální homogenitu zemského povrchu, jedná se o tzv. komplexní terén (např. krajina se složitou topografií). I zde se uplatňuje Townsendova hypotéza a jako kritickou mez pro nezávislost proudění na Reynoldsově čísle navrhl Cermak v [8] podmínku



Obr. 4 Idealizovaný model městské zástavby (čínžovní domy s červenými sedlovými střechami ve vodorovném uspořádání) v měřítku 1:400 umístěný v aerodynamickém tunelu ÚT AV ČR v Novém Kníně je typickým příkladem modelování MVA v mikro-měřítku (vlevo). V pozadí můžeme vidět tzv. elementy drsnosti nutné pro vytvoření odpovídající mezní vrstvy. Vpravo detail vizualizace (provedena kouřem a laserovým nožem) proudění v křížovatce nacházející se uprostřed tohoto modelu (nabíhající proudění směřuje zprava doleva) [9].

Pro simulaci MVA v meso-měřítku se využívá tzv. laminárně-turbulentní analogie. Tato metoda byla poprvé popsána Abem [9] a v podstatě představuje hrubou aproximací Reynoldsových čísel na modelu a díle. Rovnost Froudeova čísla vyžaduje nízkou rychlost proudění vzduchu a velkou teplotní diferencii, což odpovídá laminárnímu proudění nad modelem. Zdršňováním povrchu modelu v tomto případě nemůžeme dosáhnout požadované podobnosti mezi setrvačnými a viskózními silami.

Nicméně lze dosáhnout jisté aproximace a to právě laminárně-turbulentní analogií, ve které je turbulentní proudění v reálné atmosféře aproximováno součinitelem trubulentní difúze  $K$  (někdy též nazývanou jako turbulentní viskozita), která nahrazuje efektivní viskozitu (součet turbulentní a kinematické viskozity). Pokud přijmeme předpoklad, že  $K$  je  $10^4$  až  $10^5$  krát větší než kinematická viskozita vzduchu, pak pro laminární proudění nad modelem platí  $K \approx 0$ . Podobnost proudění mezi modelem a dílem v reálné atmosféře může být tedy dosažena splněním následujícího podobnostního kritéria

$$\frac{u_* h_{mn}}{\nu} > 70$$

$$(6) \quad \left(\frac{UL}{\nu}\right)_m \approx \left(\frac{UL}{K}\right)_{atm} \quad (8)$$

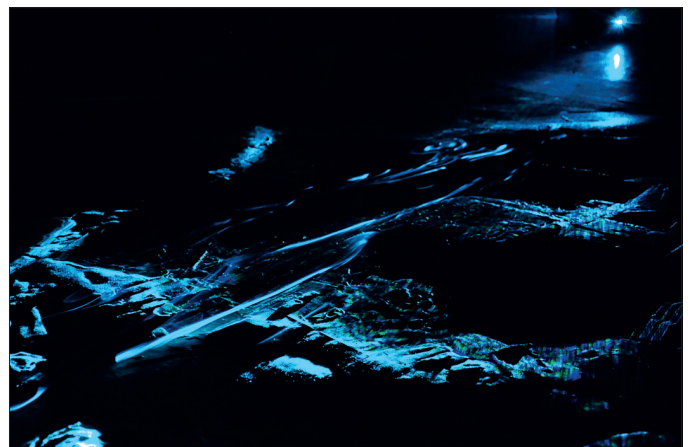
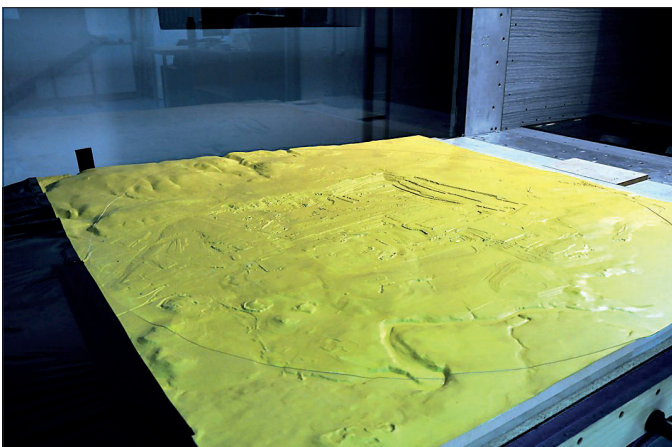
kde  $h_{mn}$  je průměrná vertikální diference mezi údolími a vrcholky kopců, v případě modelování krajiny (při modelování nad městskou zástavbou dosadíme za  $h_{mn}$  průměrnou výšku městské zástavby), a  $u_*$  je tzv. frikční rychlost

$$u_* = \sqrt{\frac{|\tau_0|}{\rho}} \quad (7)$$

kde  $\tau_0$  je horizontální tečné napětí na povrchu. Frikční rychlost se zvětšuje s rostoucí drsností povrchu a střední rychlostí proudění.

### Meso-měřítko

U tohoto měřítko uvažujeme oblasti o velikosti cca 10 až 50 km. V běžně používaných tunelech slouží ke studiu proudění modely v měřítku 1:5000 až 1:50 000 (obr. 5). Při těchto měřítkách již není vliv Coriolisovy síly zanedbatelný. Nicméně, její simulace by vyžadovala otáčející se tunel, což je v současných aerodynamických tunelech prakticky nemožné, a tak se vliv Rossbyho čísla zanedbává.



Obr. 5 Detailní model krajiny v měřítku 1:9000 umístěný v aerodynamickém tunelu ÚT AV ČR v Novém Kníně je typickým příkladem modelování MVA v meso-měřítku (vlevo). Vpravo detail vizualizace (provedena kouřem a laserovým nožem) proudění nad modelem prokazující laminární proudění na začátku tohoto modelu (směr proudění je zleva doprava).

### ZÁVĚR

V rámci možností rozsahu článku byly popsány nejdůležitější fyzikální děje odehrávající se v MVA, zavedeny základní pojmy a provedena podobnostní analýza. Její rozbor ukázal, že je potřeba zavést jisté aproximace a podmínky, aby bylo možné MVA fyzikálně modelovat v současných aerodynamických tunelech. V dalším dílu se budeme věnovat již konkrétním případům modelování MVA, především modelování turbu-

lence a vertikálního profilu větru pro různé druhy povrchů (volné krajiny, městské zástavby).

#### Seznam použitých značek:

$D$	součinitel difúze [ $m^2/s$ ]
$K$	součinitel turbulentní difúze [ $m^2/s$ ]
$L$	délkové měřítko [m], Obuchova délka [m]
$T$	teplota vzduchu [ $^{\circ}C$ ]
$U$	složka rychlosti, rychlost větru [m/s]
$g$	gravitační zrychlení [ $m/s^2$ ]
$p$	tlak vzduchu [Pa]
$t$	čas [s]
$Z_0$	parametr drsnosti [m]
$\Omega$	úhlová rychlost rotace Země [rad/s]
$\theta$	potenciální teplota vzduchu [ $^{\circ}C$ ]
$\kappa$	součinitel teplotní vodivosti vzduchu [ $m^2/s$ ]
$\nu$	kinematická viskozita vzduchu [ $m^2/s$ ]
$\chi$	objemová koncentrace znečišťující látky [ $kg/m^3$ ]
$\varphi$	relativní vlhkost vzduchu [-]

#### Indexy

<i>Atm</i>	atmosféry
<i>O</i>	neutrální atmosféra
<i>R</i>	referenční
<i>g</i>	geostrofický
<i>m</i>	molekulární, model
<i>mv</i>	mezní vrstvy

#### Zkratky

MVA – mezní vrstva atmosféry

Kontakt na autora: nosek@it.cas.cz

#### Použité zdroje:

- [1] Stull, R. B., An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988
- [2] Wallace, J. M., Hobbs, P., Atmospheric Science: An Introductory Survey. London: Elsevier, 2006
- [3] Bednář, J., Zikmunda, O., Fyzika mezní vrstvy atmosféry. Praha: Academia, 1985
- [4] Jaňour, Z., Modelování mezní vrstvy atmosféry, Praha: Karolinum, 2001
- [5] Oke, T. R. Boundary layer climates, Routledge, Cambridge, 2001
- [6] Snyder, W. H., Guideline for fluid modeling of atmospheric diffusion, Environmental Sciences Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711, 1981
- [7] Townsend, A., A., The structure of turbulent shear flows, Second Ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1976
- [8] Cermak, J., E., Physical modelling of flow and dispersion over complex terrain, Boundary layer meteorology, 1984, v. 30, p. 261–292
- [9] Abe, M., Mountain clouds, their forms and connected air currents, part II. In Bull. Cent. Met. Obs., 1941, vol. 7. Japan, p. 93–145
- [9] Kukačka, L., Kvalitativní odhad vlastností proudění velikosti mikroměřítko, diplomová práce, MFF UK, Praha, 2007.

### Cloud pro stavbu zařízení

Výrobce software Autodesk nyní začal nabízet uživatelům Plant Design Suite také možnost užití „cloudu“ (oblaku) jako individuálního nástroje pro stavbu zařízení. Podle Svazu německých výrobců strojů a zařízení (VDMA) má podpořit celosvětově klesající poptávku po nových zařízeních, kde zůstávají zájemci pouze v asijském prostoru. Avšak i zde jsou připraveni vstoupit na mezinárodní trh, kde lze získat zakázku pouze softwarovým řešením na míru s nízkými náklady. Cloud by měl proces navrhování výrazně zlevnit.

Program Plant Design Suite v software pro stavbu zařízení se odvíjí z daného rozpočtového a časového rámce. Je to kompaktní cenově efektivní softwarový balík pro celé spektrum zařízení – od konstrukce přes modelování až po zkoušení zařízení, kde kombinuje známý AutoCAD s náplní a funkcemi specifickými pro zařízení s cílem zlepšení projektu.

V roce 2010 byla představena první verze, která byla rozšířena v roce 2012 a pro rok 2013 se chystá další prohloubení řešení a funkcí. Nyní jsou k dispozici 3 verze – Standard, Premium a Ultimate. Verze 2013 je vybavena produkty AutoCAD, AutoCAD P&ID, Autodesk Showcase a Autodesk Sketchbook Designer převážně ve 2D prostředí. Podporuje výstupy v plánování zařízení, tvorbě layoutu, výkresů, potrubní sítě a instrumentaci. Prémiová varianta obsahuje i standardní software pro 3D modelování včetně užití Autodesk Revit Structure.

Autodesk kontinuálně rozšiřuje a vylepšuje svá řešení. Zcela logickým krokem je zpřístupnit nabídky i pro mobily a tablety, i přes jejich omezenou kapacitu uložení. U Autodesku 360 přibyl další vývojový krok – řada funkcí založená na cloudu. Produkty a služby, které cloud computing umožňuje, dovolují neomezené virtuální ukládání dat. K tomu ještě výpočetně náročné úkoly zpracovává paralelně v digitálním oblaku. Uživatel tak získává své obrázky v minutách, nikoliv v hodinách. Vlastní počítač může být mezitím užít pro jiné práce nebo vypnut. Výsledkem je rychlé řešení, které šetří čas a náklady a vytváří přidanou hodnotu.

Účastníci projektu mohou pracovat a jednat nezávisle na místě, mají vždy přístup ke cloudu a datové bázi, mohou data upravovat a sdílet. Mohou být na cestě, stále spo-

jeni s aktuálním stavem a s možností vkládat data prostřednictvím smartfonu nebo tabletu. Pod souhrnným názvem Autodesk BIM 360 nabízí Autodesk služby cloud projektantům, konstruktérům a inženýrům po celou dobu životního cyklu projektu.

*Pramen: Newsletter Process Vogel*

(AB)

### Dotykové panely touch- a multitouchpanely jsou trendem

Na dubnovém veletrhu Light+Building 2012 ve Frankfurtu nad Mohanem vystavili 3 výrobci dotykové ovládací panely, jejichž užití v obsluze automatiky přímo okouzlo návštěvníky.

Firma Iconag-Leittechnik GmbH z Idar-Obersteinu představila nadřazenou stanici pro domácí automatiku, místnosti médií, obsluhu hotelových pokojů a pater. Její 10" touchpanel stojí přes 700 €, přiměřeně více stojí 15" či 19".

Společnost Gesellschaft für technische Informatik GmbH (TCI) nabízí různé multitouch panely se způsobem obsluhy, známým ze smartfonů s víceprstým a gestovým ovládáním s novou koncepcí obsluhy pro řízení klimatu místnosti, osvětlení a audio/video projekce. Software umožňuje spojení mezi účastníky např. mezi pokoji. Podobně plní i požadavky na komfort, bezpečnost a energetickou účinnost automatiky budov.

Jiná společnost, Gesellschaft für Regelungstechnik und Energieeinsparung GmbH (GFR), vyvinula komponenty pro integrovanou automatiku prostorů. Do nich patří CAN-busy pro obsluhu místností a multifunkční touchpanel velikosti dvouzásuvky. Komunikace se stanicí automatiky probíhá přes Ethernet. Partnery mohou být jak BACnet tak řídicí spínač. Zdrojem pro touchpanel může být Ethernet. Velikost obslužné plochy touchpanelu je volně volitelná. Podle výrobce nejsou pro užití nutné ani programátorské znalosti, ani použití specifického softwaru pro dané zařízení. Nastavení parametrů probíhá způsobem přetažení drag & drop přes plánovací a projekční nástroj s volbou funkcí ze všech oborů automatiky prostoru.

*Pramen: CCI 06/2012*

(AB)