

ROZPTYLOVÉ STUDIE PRO PACHOVÉ LÁTKY

Josef Keder

Český hydrometeorologický ústav

Proč modelovat pachové látky – vážný sociálně společenský problém



Proč modelovat pachové látky

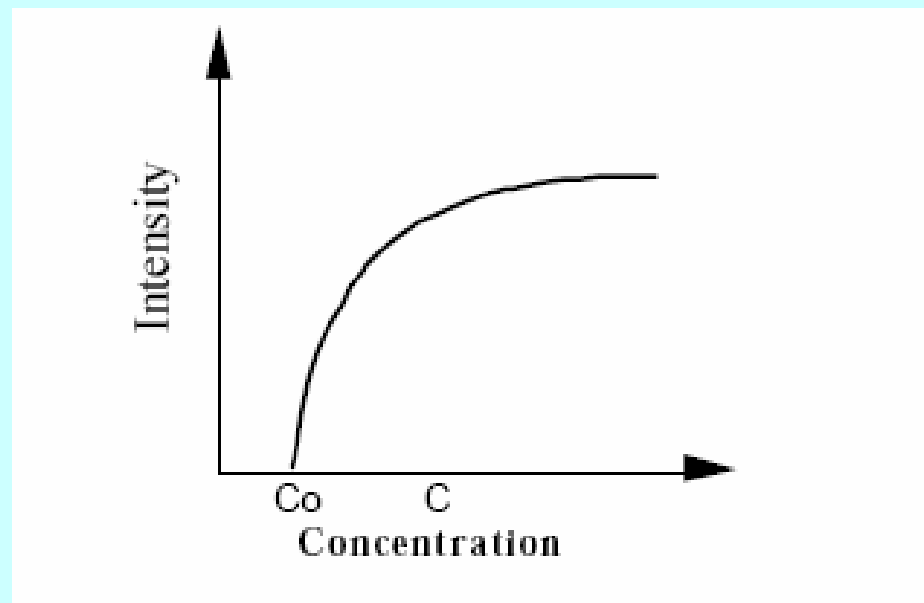
- Přítomnost pachových látek v ovzduší obvykle nevyvolává přímé účinky na lidské zdraví.
- Zápach způsobuje především obtěžování, nicméně ve vážnějších případech se mohou projevit i přímé zdravotní potíže, (nausea, bolesti hlavy nebo dýchací potíže, pocity nepohody)
- Delší expozice pachovým látkám vyvolává psychické potíže jako pocit stísněnosti, podrážděnost, nechutenství a nespavost
- Pachové látky se po odstranění řady akutních problémů, způsobovaných na území ČR „klasickými“ znečišťujícími látkami, dostaly do centra pozornosti veřejnosti a zákonodárců.
- Kromě přímého měření pachové zátěže rovněž požadováno modelování transportu a rozptylu pachových látek v ovzduší, nezastupitelné při oceňování vlivu nově plánovaných zdrojů.

Fyziologické základy

- Většina vnímaných zápachů vyvolána působením složitých směsí páchnoucích látek
- Lidské vnímání zápachu a emocionální odezva na něj syntetizovány v mozku.
- Vnímání pachu a vzbuzené emoce výrazně ovlivněno životními zkušenostmi jednotlivých individuí nebo kulturním prostředím a zvyklostmi lidské skupiny.

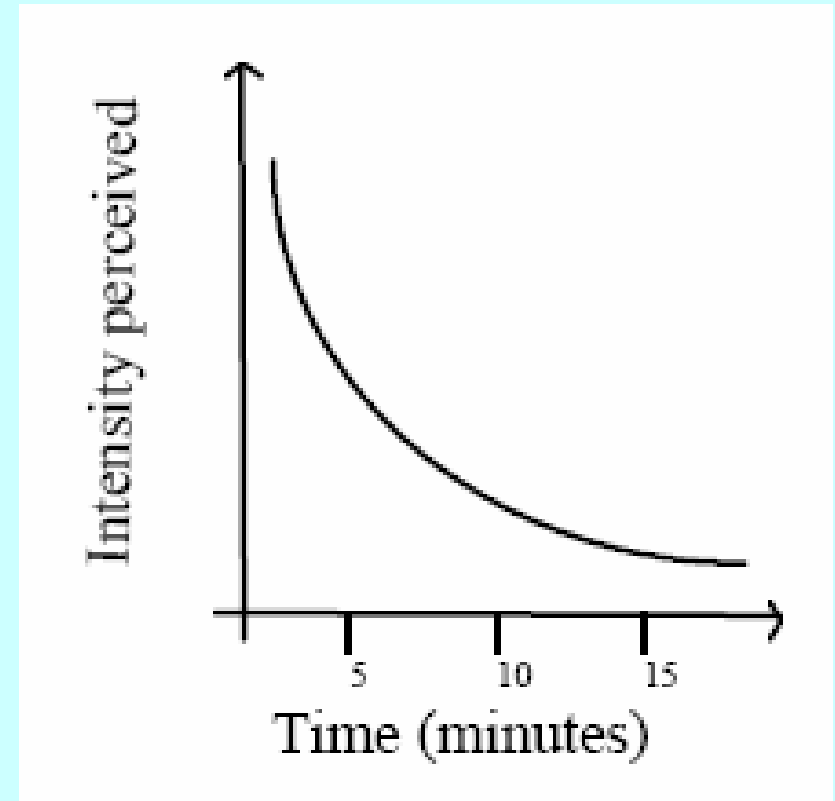
Aspekty vnímání zápachu (1)

- Intenzita vjemu závisí na logaritmu koncentrace pachové látky
- Při malých koncentracích nos velmi citlivý
- U vysokých koncentrací saturace
- Každý má svoji prahovou koncentraci, mění se např. podle kondice a nálady



Aspekty vnímání zápachu (2)

- Odezva nosu na pachu velmi rychlá, téměř okamžitá
- Maximální excitace dosažena při krátké expozici
- S rostoucím časem expozice odezva slábne, adaptace



Kvantifikace pachu

- Intenzita zápachu popisuje relativní stupeň vnímání pachu určitou osobou.
- Stupňům může být přiřazen verbální popis a numerická hodnota
- Vztah mezi intenzitou pachu (psychologická veličina) a koncentrací pachu vyjadřuje Stevensův zákon
- Obdobně platí i pro intenzitu dalších smyslových vjemů, například hluku nebo světla

$$I = k \cdot C^n$$

- I je psychologická intenzita pachu,
 - k a n jsou konstanty,
 - C je aktuální koncentrace pachu
- Hodnota n udávaná v literatuře se pohybuje v rozmezí 0.07 do 0.8, v závislosti na druhu zápachu.

Specifika a odlišnosti modelování pachových látek (1)

- Je známa řada nejistot, vyplývajících ze stochastického charakteru šíření znečišťujících látek v ovzduší, nutného zjednodušení modelových předpokladů a z nejistot ve vstupních emisních a meteorologických datech
- Další obtíže a nejistoty, vyplývající z dříve zmíněných specifík ve vnímání a kvantifikaci pachu:
 - ✓ Stanovení emise pachových látek ze zdroje je zatíženo ještě větší chybou než v případě znečišťujících látek v důsledku obtížné a subjektivní kvantifikace pachu a komplikované struktury zdrojů, obvykle pozůstávající z nespecifikovaných úniků, ventilačních výdechů, komínů a velkých plošných zdrojů

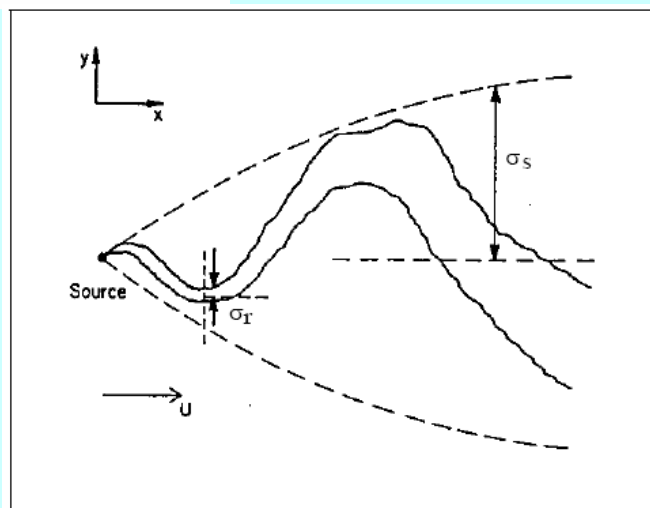
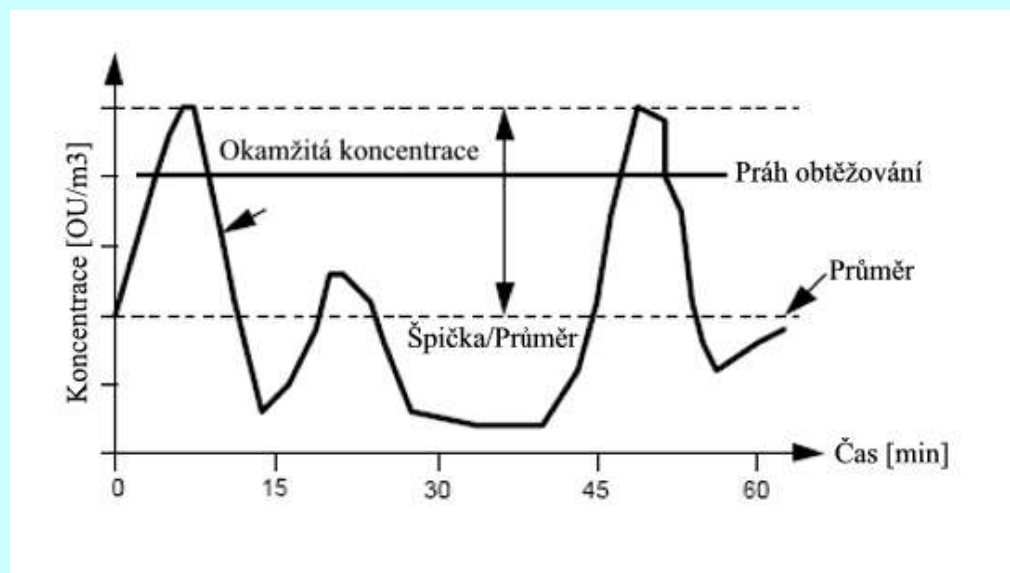
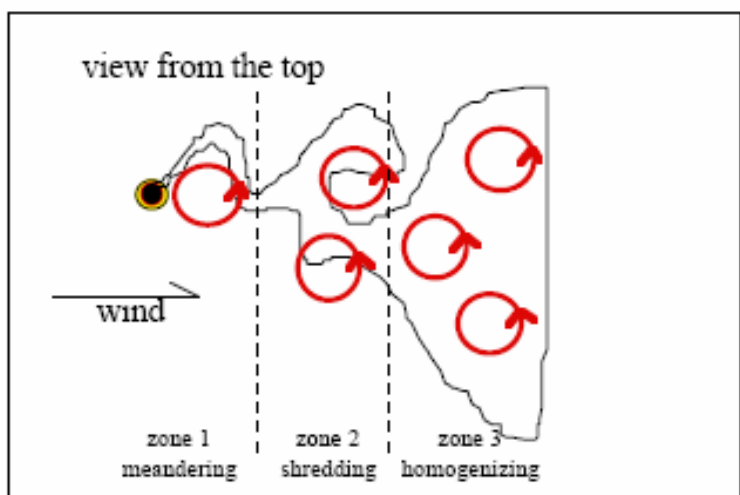
Specifika a odlišnosti modelování pachových látek (2)

- ✓ Působení pachových látek není obvykle kumulativní a nelze tudíž přistupovat k jejich modelování stejným způsobem jako u znečišťujících látek
- ✓ Účinky pachových látek z různých zdrojů se mohou vzájemně ovlivňovat, např. jedna látka maskuje druhou nebo naopak zesiluje její účinek.
- ✓ Pachové látky se mohou v ovzduší transformovat v důsledku změn teploty, vzdušné vlhkosti a slunečního záření způsobem, který dosud není uspokojivým způsobem popsán.
- ✓ Nejkratší časový interval, pro který rozptylové modely predikují průměrné koncentrace, je obvykle 1 hodina.

Specifika a odlišnosti modelování pachových látek (3)

- ✓ Během tohoto intervalu může koncentrace pachové látky fluktuovat kolem této průměrné hodnoty v širokém rozmezí
- ✓ Smyslová reakce člověka na pach je velmi rychlá, obvykle v řádu milisekund, nejdéle v řádu trvání jednoho nádechu
- ✓ Intenzita vjemu je určena **špičkovými hodnotami** koncentrace, nikoliv průměrnou hodnotou
- ✓ Úvahy založené na průměrné koncentraci by vedly k podcenění účinků koncentrací pachových látek, do modelu musí být proto zabudována možnost výpočtu **okamžitých koncentrací** nebo **korekce** na poměr Špička/Průměr (Peak-to-Mean, P/M ratio)

Fluktuace koncentrace pachové látky ve vlečce



Základní přístupy k modelování pachových látek

- Přímé modelování fluktuací koncentrace (např. ADMS-fluctuation module - UK, AUSTAL G – SRN, Tropos Impact - Kanada)
- Adaptace osvědčených rozptylových modelů pro výpočet průměrné koncentrace tak, aby byla respektována specifika pachových látek
- Pro praktické aplikace prozatím preferovány poměrně jednoduché a zavedené modely pro výpočet průměrné koncentrace, modifikované pomocí poměru *Špička/Průměr*
- Pro modelování v přibližně rovinném terénu se používají gaussovské modely, při složitém terénu je vhodnější použít puff-modely nebo lagrangeovské částicové modely

Korekce na poměr P/M

- V SRN tzv. Faktor 10 model. Uplatňuje se pravidlo, že pach může být pocíťován již tehdy, když průměrná koncentrace dosáhne 0.1 OU/m^3
- Obecně je pro stanovení poměru *Špička/Průměr* používán vztah, navržený Turnerem

$$C_p = C_m \left(\frac{t_m}{t_p} \right)^p$$

- C_p je špičková koncentrace C_m je průměrná koncentrace vypočítaná modelem t_m je doba průměrování použitá v modelu (obvykle 60 min) t_p je doba trvání špičkové koncentrace
- Exponent p závisí na třídě stability atmosféry.
- Vztah příliš zjednodušující a neplatí ve většině případů. Výsledkem je silné podcenění krátkodobých koncentrací

Postup navržený pro modely v ČR

- Pro přepočet průměrných koncentrací na špičkové se používá sada převodních faktorů, stanovených na základě rozsáhlé studie společnosti Katestone Scientific
- Špičková koncentrace je definována jako maximální koncentrace, pro kterou je pravděpodobnost překročení v průběhu sledovaného časového intervalu rovna 10^{-3}
- Na základ teoretických úvah, statistické analýzy dostupných měření, numerických simulací a měření v aerodynamickém tunelu byla navržena sada poměrů P/M, vztažená na hodinový průměr koncentrace, získaný rozptylovým modelem.
- Hodnota poměru závisí na **typu zdroje, stabilitě atmosféry a vzdálenosti od zdroje.**

Typy zdrojů

- **Bodové** – emise probíhá z malé plochy, jejíž rozměry jsou zanedbatelné v porovnání se vzdáleností k nejbližšímu receptorovému bodu a jehož struktura není významná
- **Plošné** – vyznačuje se zřetelnou dvojrozměrnou strukturou, vertikální rozsah je omezený
- **Liniové** – speciální případ plošného zdroje, kde je šířka zdroje menší než jeho délka; zdroje, jejichž šířka přesahuje 20% délky, jsou považovány za zdroje plošné.
- **Objemové** – mají trojrozměrnou strukturu a obsahují dostatečné množství emitujících bodů, aby jejich emise mohla být považována za homogenní
- **Komín** – vyvýšený bodový zdroj; má poměrně malé horizontální rozměry obvykle vypouští horké emise. Jako „vysoké“ se označují komíny se stavební výškou, přesahující tloušťku přízemní vrstvy (30-50 m).

Převodní faktory P/M (1)

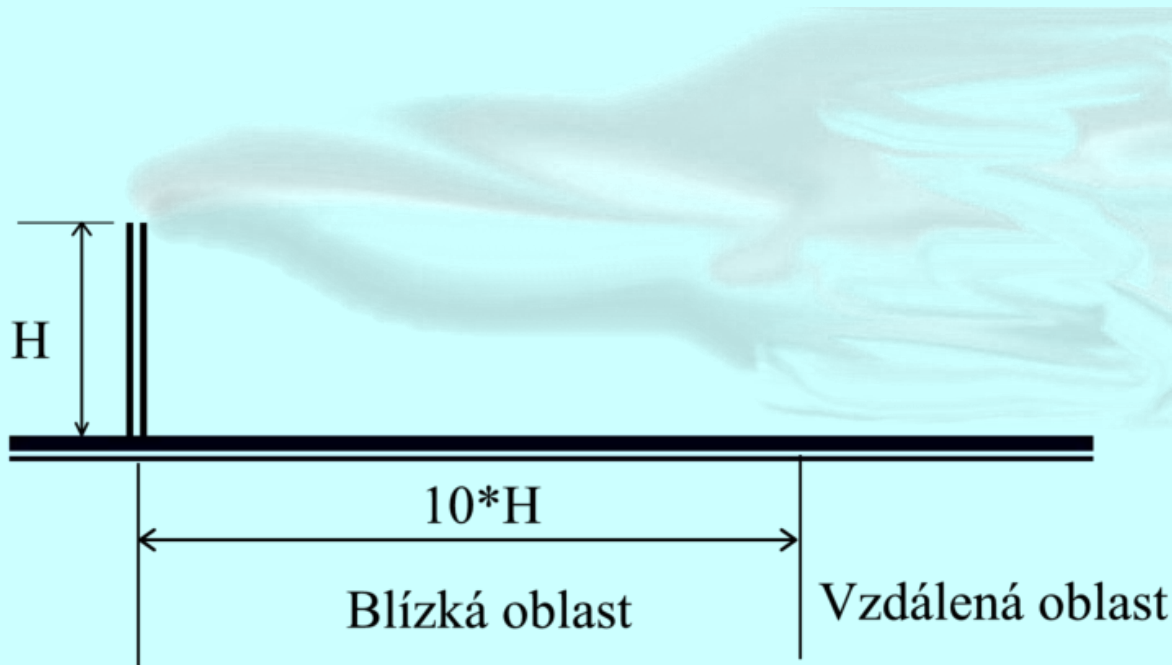
Tab. 2-5 Hodnoty koeficientu pro přepočet průměrných hodinových koncentrací pachových látek na špičkové koncentrace

Typ zdroje	Třída stability	Poměr P/M (vztažený na 60-minutové průměry)	
		Blízká oblast	Vzdálená oblast
Plošný	IV	2.5	2.3
	I, II, III	2.3	1.9
	V	2.5	2.3
Liniový	IV	6	6
	I, II, III	6	6
	V	6	6
Přízemní bodový	IV	25	5-7
	I, II, III	25	5-7
	V	12	3-4
Vysoký komín, bez závětrných efektů	IV	35	6
	I, II, III	35	6
	V	17	3
Bodový, závětrné efekty	IV, V	2.3	2.3
Objemový	všechny třídy	2.3	2.3

Blízká oblast se rozprostírá do takové vzdálenosti od zdroje, kde struktura zdroje ještě ovlivňuje tvar a rozptyl vlečky. Vymezuje se **desetinásobkem** největšího rozměru zdroje (výšky nebo šířky).

Vzdálená oblast navazuje na oblast blízkou, vzhled a rozptyl vlečky se již plně projevil, vlečka je dobře promíchaná.

Převodní faktory P/M (2)



Blízká oblast se rozprostírá do takové vzdálenosti od zdroje, kde struktura zdroje ještě ovlivňuje tvar a rozptyl vlečky. Vymezuje se **desetinásobkem** největšího rozměru zdroje (výšky nebo šířky).

Vzdálená oblast navazuje na oblast blízkou, vznos a rozptyl vlečky se již plně projevil, vlečka je dobře promíchaná.

Modifikace SYMOS pro pachové látky

- Výpočet založen na stanovení nejvyšších možných hodinových koncentrací a počtu překročení zadané limitní koncentrace v referenčních bodech
- Předpokládá se, že výpočet bude zpravidla prováděn pouze pro jeden zdroj.
- V případě výpočtu pro více zdrojů **nelze uplatnit sčítání** vypočítaných koncentrací pro jednotlivé zdroje jako u znečišťujících látek, nutný jiný postup
- Pro řešení problematiky pachových látek jsou relevantní pouze maximální krátkodobé koncentrace a doba překročení zadané limitní koncentrace
- Pro každý referenční bod se získá sada hodnot maximální hodinové koncentrace pachové látky (v OU/m^3) pro 11 různých režimů rozptylových podmínek a jedna hodnota absolutního maxima. Tyto hodnoty se přepočítají pomocí faktoru P/M na špičkové koncentrace.
- Při vhodně zvolené hustotě sítě referenčních bodů je možné stanovit, na jaké ploše zájmového území a po jakou dobu může být zápach vnímán jako obtěžující.

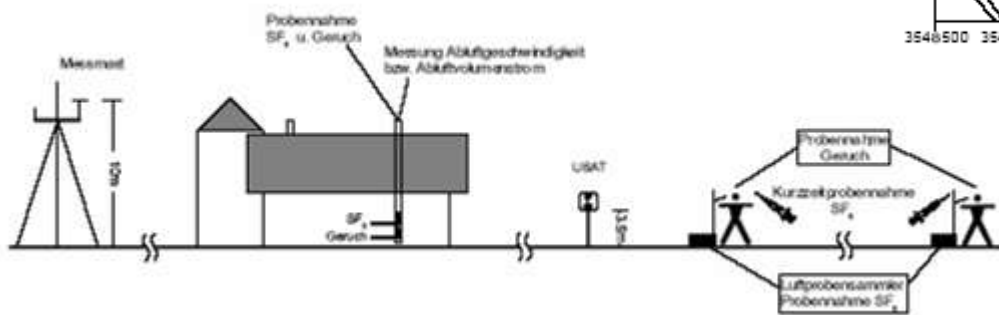
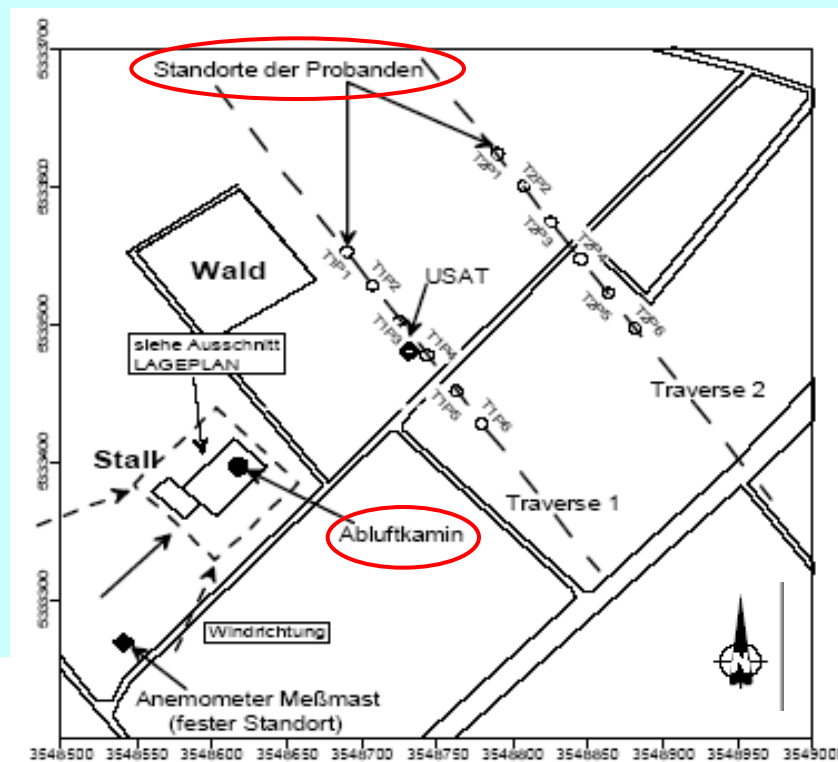
Validace modelu, experimentální data (1)

- Zdroj dat - *Bächlin W., A. Rühling and A. Lohmeyer, 2002*
- Polní experiment v okolí vepřína u Stadt Biberach a. d. Riss, SRN
- Plochý terén, všechna měření se uskutečnila při normálním zvrstvení
- Celkem 14 použitelných 10 minutových měřicích sérií, označených B až O (série A vedena jako testovací)



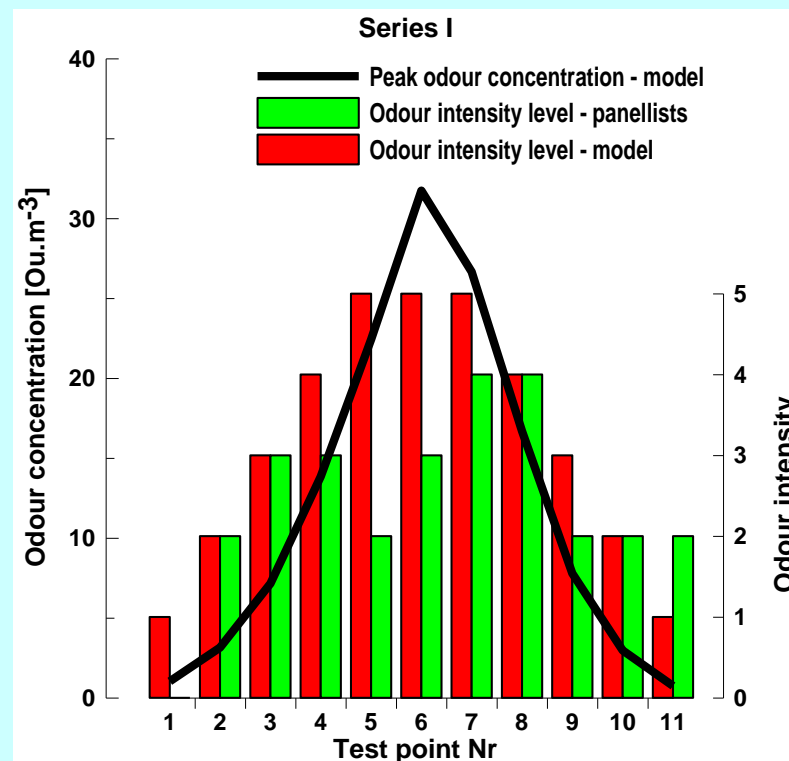
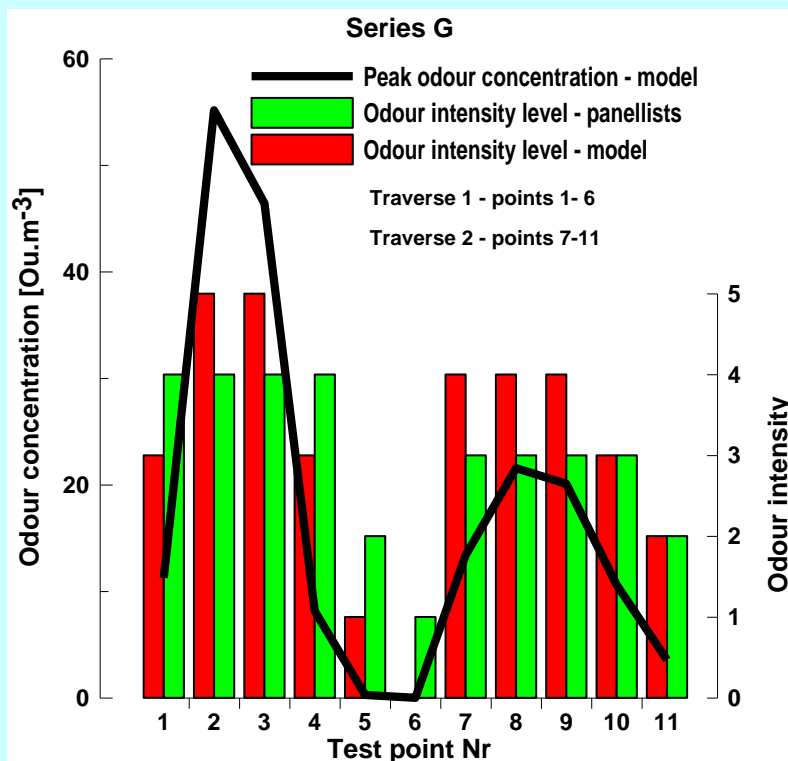
Validace modelu, experimentální data (2)

- Emise – pachové látky a SF₆
- Kompletní data o zdroji
- Meteo – WD, WV, teplota, stabilita
- Měření imisní koncentrace SF₆
- Hodnocení intenzity pachu 12 školenými probandy v šestistupňové škále
- Každých 10s jeden odhad intenzity, celkem 60 hodnot pro každou sérii



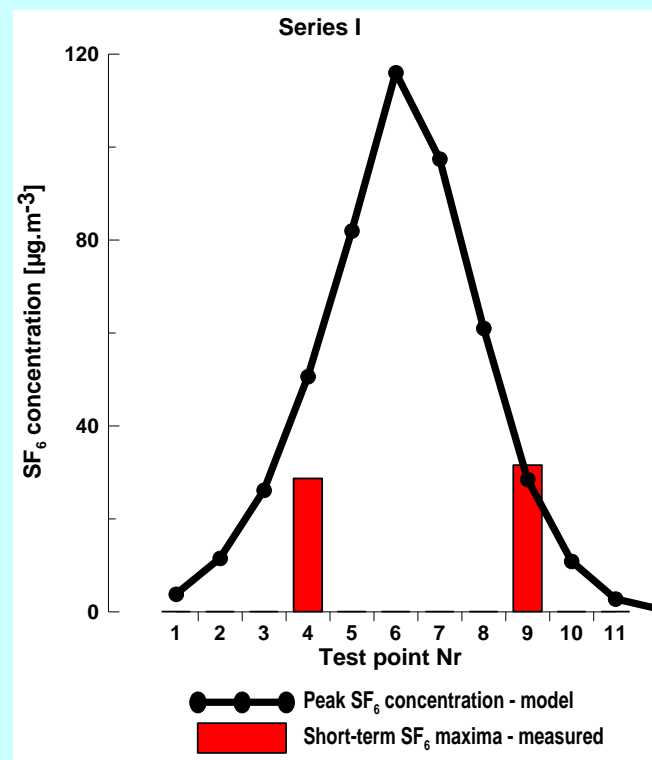
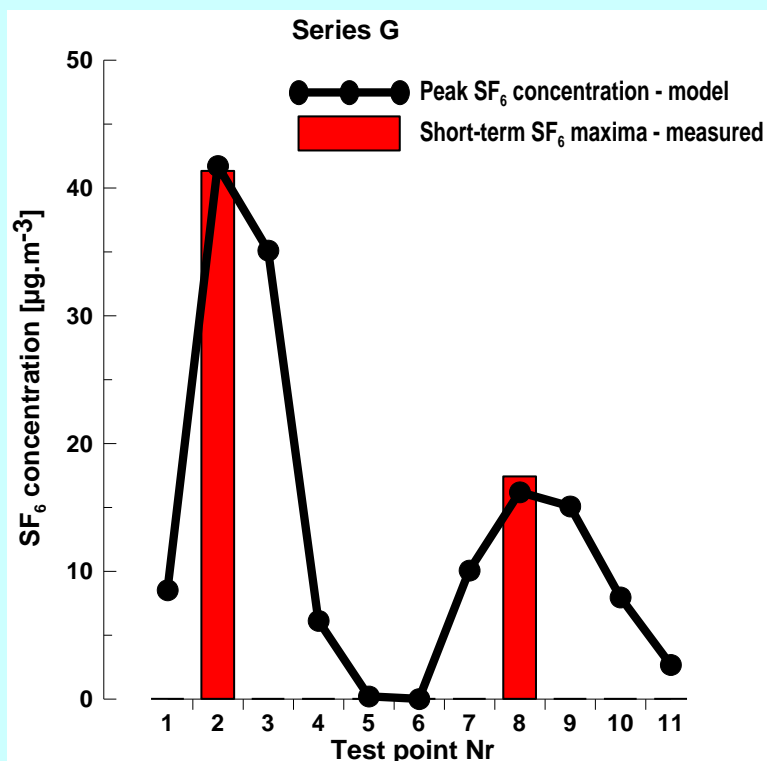
Validace modelu, příklady výsledků (1)

- Měřicí body s vysokými maximy subjektivní intenzity pachu korespondují vysokými hodnotami modelových koncentrací
- Podle odhadu probandů je pachová vlečka širší, než vyplynulo z modelu
- Model mírně nadhodnocuje intenzitu pachu v centrální oblasti vlečky

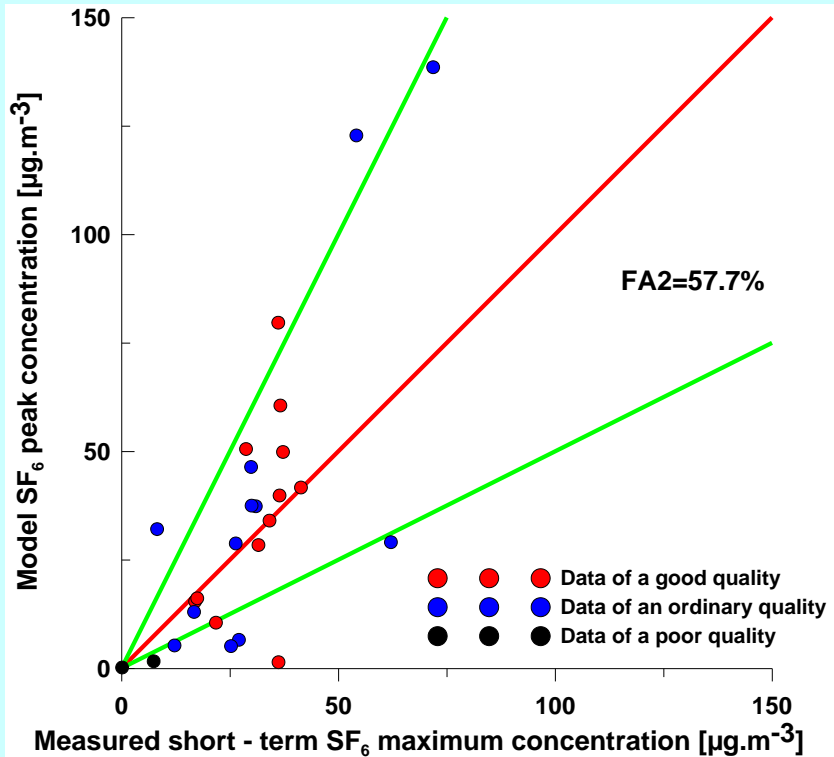


Validace modelu, příklady výsledků (2)

Porovnání modelových špičkových koncentrací SF₆ a krátkodobých koncentrací SF₆, měřených ve dvou bodech



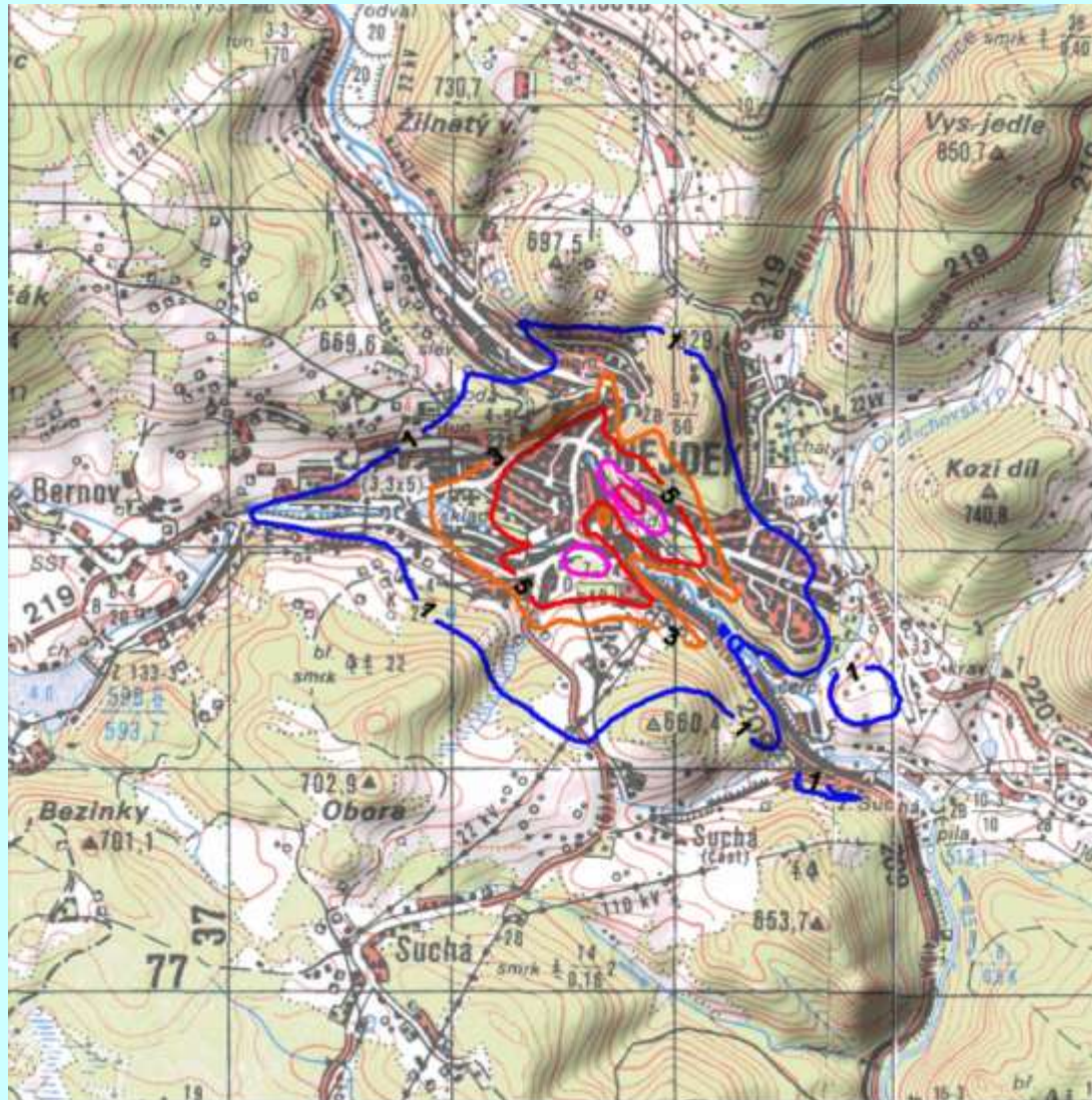
Validace modelu, příklady výsledků (3)



Modelované špičkové koncentrace SF₆ porovnané s okamžitými hodnotami ve 2 měřicích bodech, všechny série

		Perfect Model	Limits Kumar (2002), US EPA (1992)
Bias	6.08	0.0	Near 0
Fractional Bias	0.18	0.0	$-0.5 \leq \text{FB} \leq +0.5$
NMSE	0.60	0.0	≤ 0.5
Corr	0.74	1.0	Near 1
Geometric mean bias Mg	0.88	1.0	$0.75 \leq \text{Mg} \leq 1.25$
Geometric mean variance Vg	1.02	1.0	$0.75 \leq \text{Vg} \leq 1.25$
FA2	57.69%	100%	Over 80%

Příklad aplikace – RS v hornatém terénu



BRNO, 18. - 20.11.2008



Jak nakládat s výsledky výpočtů?

- Jaká koncentrace pachu je obtěžující?
- Jaká frekvence překročení nějaké limitní hodnoty je tolerovatelná?
- Kromě koncentrace samotné nutno brát v úvahu vztah mezi koncentrací a intenzitou vjemu (Stevens) a hedonický efekt
- $1\text{OU}_E/\text{m}^3$ - 50% lidí detekuje *přítomnost* pachu
- Na úrovni 3 až $5\text{OU}_E/\text{m}^3$ pach obvykle *rozeznatelný*, můžeme uvažovat o hranici obtěžování
- Nutno přihlížet k charakteru posuzované oblasti (venkovská zemědělská krajina, obytné zóny)

Obtěžování pachem – limitní hodnoty (1)

G. Schaubberger et al./Agriculture, Ecosystems and Environment 87 (2001) 13–28

17

Table 2

Odour impact criteria: limits of odour concentration and exceeding probability used in Austria (Stangl et al., 1993), Germany (Knauer, 1994; Kypke, 1994), Thüringen, Germany (Lotze and Schwinkowski, 1998), UK (Hobson, 1997, personal communication), Australia (Jiang and Sands, 1998), The Netherlands (Hagen and van Belois, 1998), Denmark, New Zealand and Massachusetts (USA) (after Jiang and Sands, 1998)

Odour impact criteria ^a	Land use category ^b	Comment	Label ^c
Germany			
1 OU/m ³ /3%	Pure residential areas and residential areas		G-PURE
1 OU/m ³ /5%	Residential and structured areas		G-MIX1
1 OU/m ³ /8% and 3 OU/m ³ /3%	Restricted business-areas and village-area with mixed utilisation		G-MIX2
1 OU/m ³ /10% and 3 OU/m ³ /5%	Village-areas with predominantly agricultural utilisation		G-AGR
Germany, Thüringen			
1 OU/m ³ /7%	Pure residential areas and residential areas (WR)	Only valid in Thüringen	GT-PURE
1 OU/m ³ /10%	General residential areas and mixed utilisation (WS, WA, WB, MI, MK)	Only valid in Thüringen	GT-MIX1
1 OU/m ³ /12%	Villages (MD)	Only valid in Thüringen	GT-VIL1
1 OU/m ³ /15%	Villages with existing livestock units above a certain limit (MD)	Only valid in Thüringen	GT-VIL2
1 OU/m ³ /15%	Business areas (GE)	Only valid in Thüringen	GT-BUS
1 OU/m ³ /15%	Industry (GI)	Only valid in Thüringen	GT-IND
UK			
10 OU/m ³ /2%		Serious annoyance expected with near certainty	UK1
5 OU/m ³ /2%		Generally acceptable for existing installations. Emissions from stacks or large area sources may be acceptable at the relaxed end of the range	UK2
1 OU/m ³ /2%		No serious annoyance expected in the large majority of cases	UK3
1 OU/m ³ /0.5%		Safe target value for new sources	UK4
10 OU/m ³ /0.01%		Safe target value for new sources applicable to highly intermittent sources	UK5

Obtěžování pachem – limitní hodnoty (2)

Austria			
1 OU/m ³ /8% and 3 OU/m ³ /3%		Threshold for reasonable odour sensation for medical purpose	AUT
Australia			
5 OU/m ³ /0.5%	Rural and urban area		AUS1
2 OU/m ³ /0.5%	Residential area	New South Wales	AUS2
10 OU/m ³ /0.5%	Residential areas	Victoria	AUS3
The Netherlands			
1 OU/m ³ /2%	Residential areas	Existing units	NL
1 OU/m ³ /0.5%	Residential areas	New installations	NL
1 OU/m ³ /5%	Residential areas outside of villages and business areas		NL
Denmark			
5–10 OU/m ³ /0.1%		Plants	DEN1
0.6–20 OU/m ³ /1%		Surrounding	DEN2
New Zealand			
2 OU/m ³ /0.5%		Property boundary	NZ
MA, USA			
5 OU/m ³ /0.5%		Plant boundary	USA

^a Odour concentration threshold percentile compliance: exceeding probability for the odour concentration threshold *p* (%).

^b The land use category varies the accepted protection level.

^c The labels are used in the following tables and figures.

Závěry

- Model SYMOS, upravený pro pachové látky, představuje prakticky aplikovatelný nástroj pro odhad pachové zátěže z jednotlivých zdrojů
- Vhodný zejména pro volnou krajinu, pro výpočty šíření pachových látek v městské zástavbě je třeba použít jiné postupy než gaussovský model
- Je nutno stanovit limitní hodnoty a kritéria, s nimiž se vypočtené hodnoty budou srovnávat a na jejichž základě se budou posuzovat (frekvence překročení, separační vzdálenosti)