

MODELOVÉ NÁSTOJE PRO



SIMULACI PŘENOSU A ROZPTYLU

PACHOVÝCH LÁTEK V OVZDUŠÍ

**Josef Keder**

*Český hydrometeorologický ústav*



# Proč modelovat pachové látky

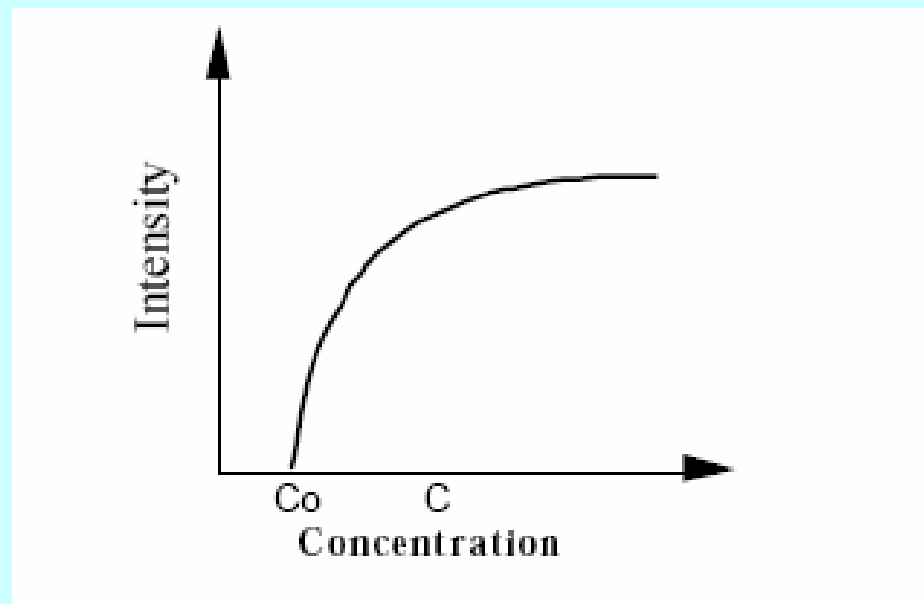
- Přítomnost pachových látek v ovzduší obvykle nevyvolává přímé účinky na lidské zdraví.
- Zápach způsobuje především obtěžování, nicméně ve vážnějších případech se mohou projevit i přímé zdravotní potíže, (nausea, bolesti hlavy nebo dýchací potíže, pocity nepohody)
- Delší expozice pachovým látkám vyvolává psychické potíže jako pocit stísněnosti, podrážděnost, nechutenství a nespavost
- Pachové látky se po odstranění řady akutních problémů, způsobovaných na území ČR „klasickými“ znečišťujícími látkami, dostávají 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 pachových 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.

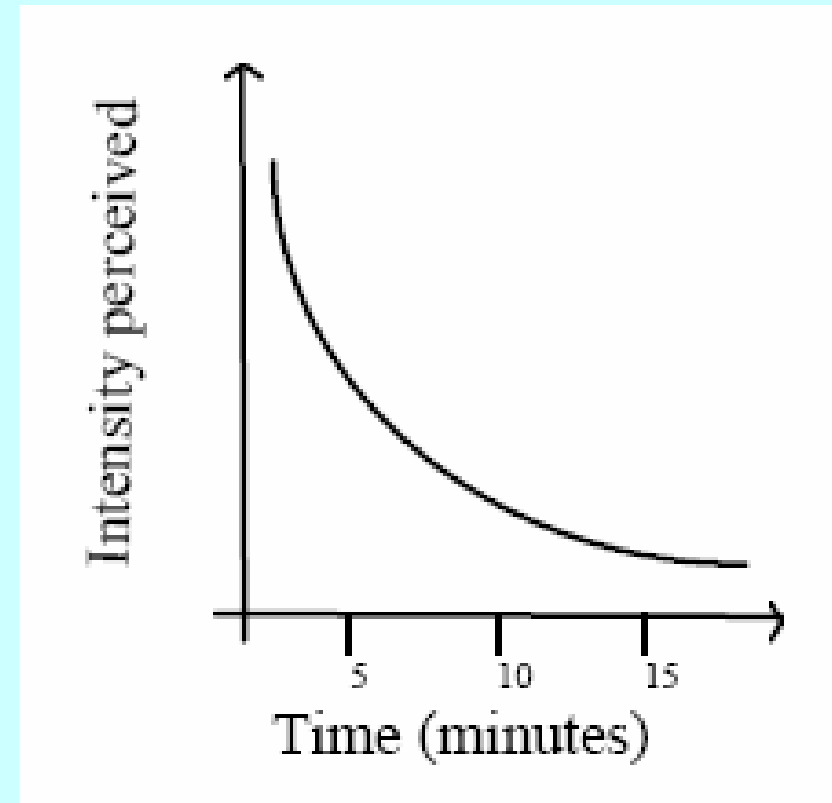
# Aspekty vnímání zápachu (1)

- 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)

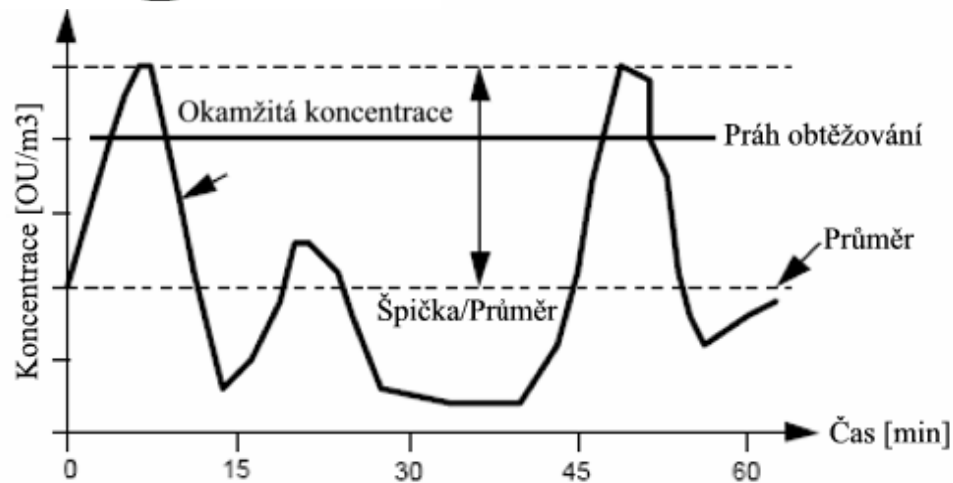
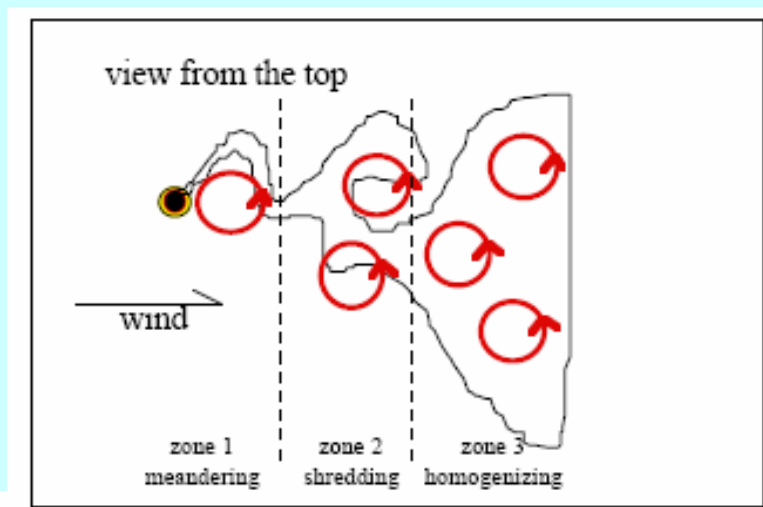
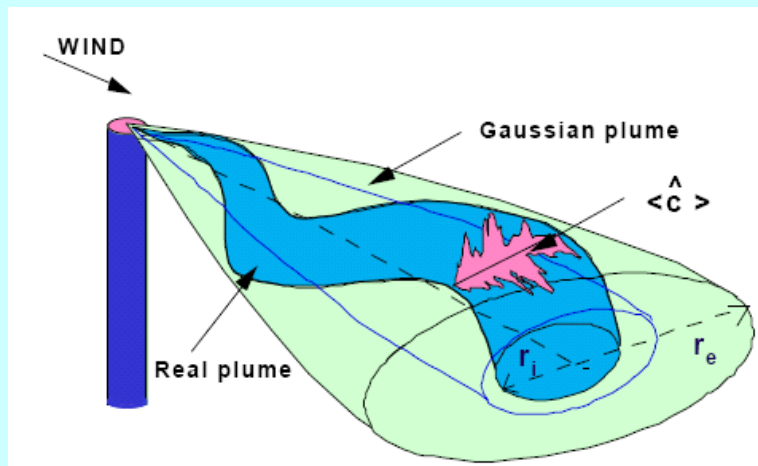
- ✓ Působení pachových látek není obvykle kumulativní a nelze tudíž přistupovat k jejich modelování stejným způsobem jako u znečišťujících látek
- ✓ Účinky pachových látek z různých zdrojů se mohou vzájemně ovlivňovat, např. jedna látka maskuje druhou nebo naopak zesiluje její účinek.
- ✓ Pachové látky 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

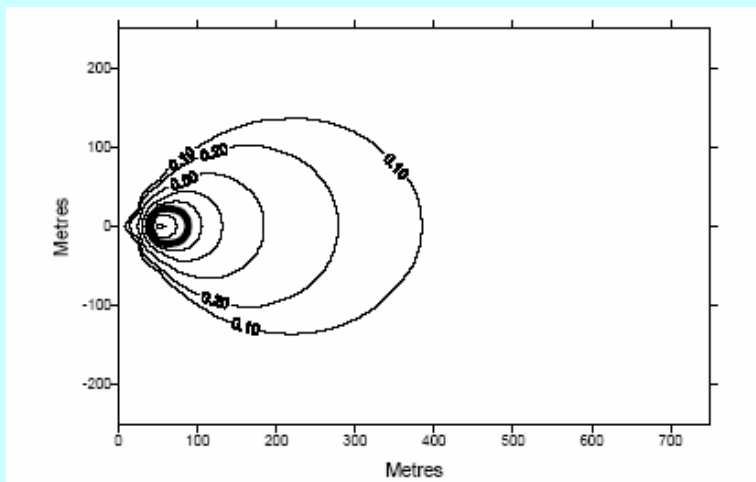


# Základní přístupy k modelování pachových látek

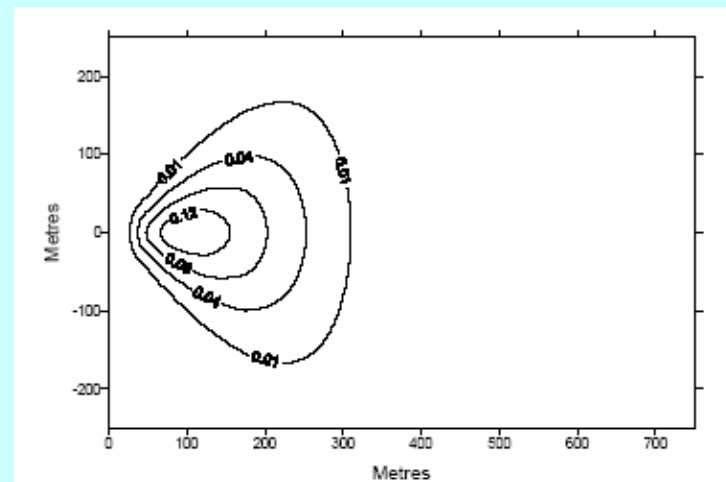
- Adaptace osvědčených rozptylových modelů pro výpočet průměrné koncentrace tak, aby byla respektována specifika pachových látek
- Přímé modelování fluktuací koncentrace (např. ADMS-fluctuation module - UK, AUSTAL G – SRN, Tropos Impact - Kanada). Vyžaduje výkonnou výpočetní techniku, delší výpočetní čas
- 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.

# Model ADMS

- Flukтуаční modul – počítá koncentrace, vyvolávané turbulencí v mezní vrstvě a meandrováním vlečky
- Ostatní meteorologické parametry se považují z konstantní
- Výstupem jsou pravděpodobnosti, že koncentrace zprůměrovaná za dobu  $T_{av}$  překročí zadaný práh  $C_{tr}$



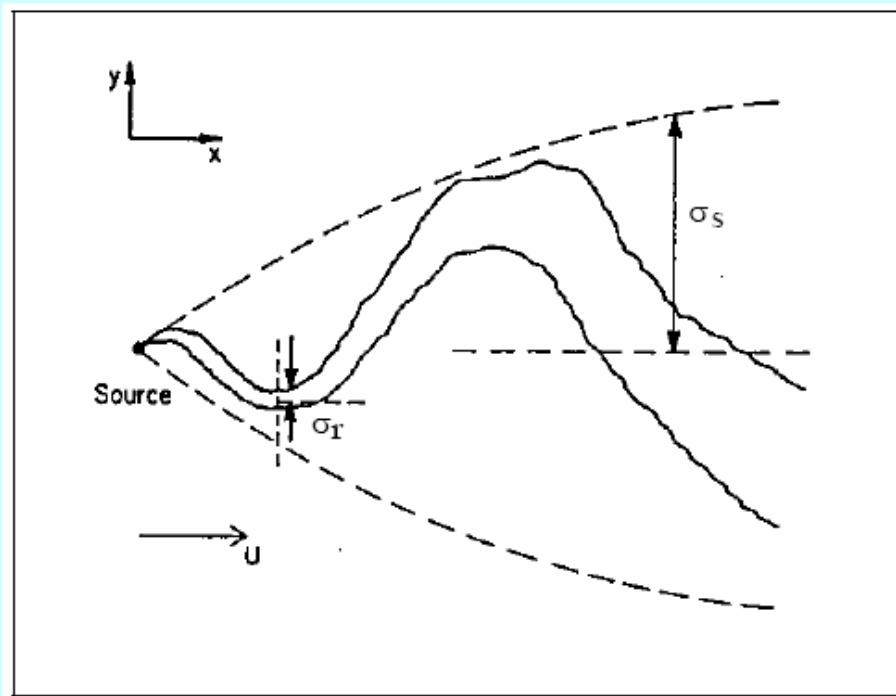
Průměrné hodinové koncentrace pachové látky [ $OU \cdot m^{-3}$ ], konvektivní zvrstvení



$T_{av} = 1$  minuta,  $P(c > 2 OU)$ , konvektivní zvrstvení

# Model Tropos Impact

- Využívá se Giffordův model meandrující vlečky
- Umožňuje výpočet směrodatné odchylky koncentrace v závětrí zdroje, od ní odvozuje další výstupy (maxima, percentily překročení apod.)
- Výpočetní oblast modelu do 5 km od zdroje



$$\sigma_c = \sqrt{\left\{ \frac{Q^2}{(2\pi u_i)^2 \sigma_I^2 (\sigma_I^2 + 2\sigma_S^2)} \exp\left[ -\frac{y^2 + (z_r - h_e)^2}{\sigma_I^2 + 2\sigma_S^2} \right] \right\} \left\{ \frac{Q}{2\pi u_i (\sigma_I^2 + \sigma_S^2)} \exp\left[ -\frac{y^2 + (z_r - h_e)^2}{2(\sigma_I^2 + \sigma_S^2)} \right] \right\}^2}$$

# 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  $0.1 \text{ OU/m}^3$
- 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 základě 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)

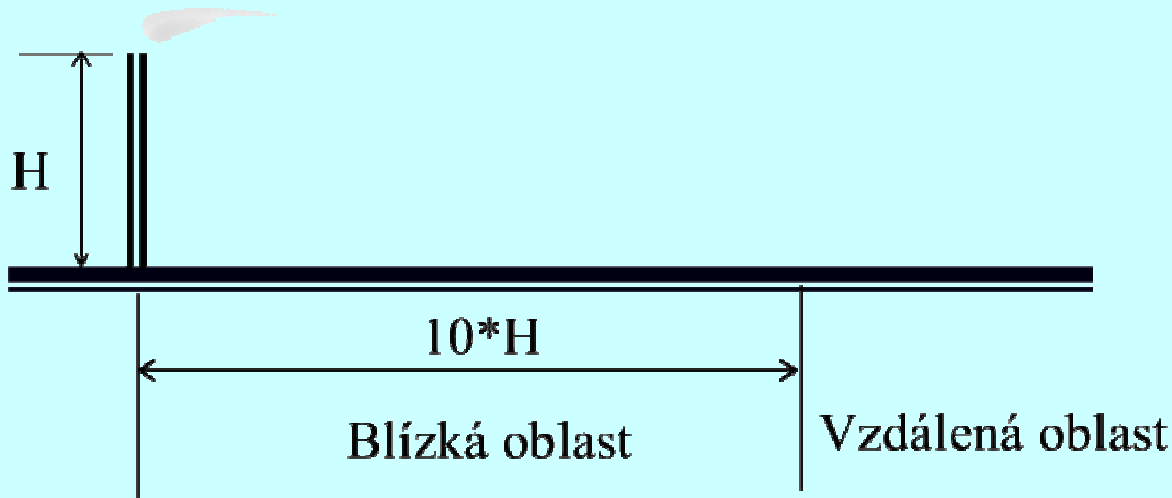
Tab. 2-5 Hodnoty koeficientu pro přepočet průměrných hodinových koncentrací pachových látek na špičkové koncentrace

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  $\text{OU}/\text{m}^3$ ) 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.

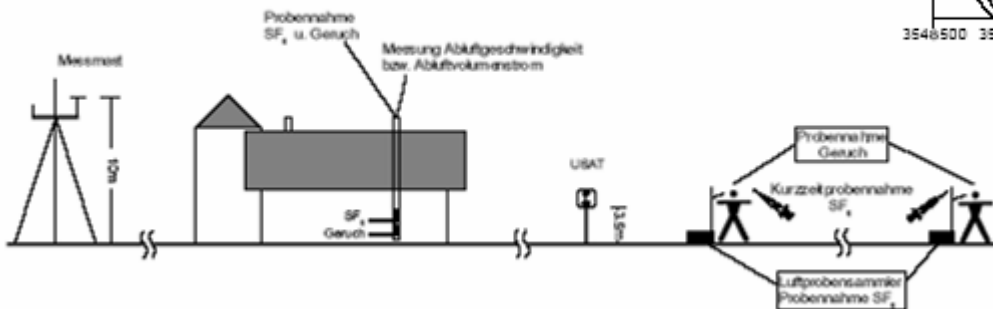
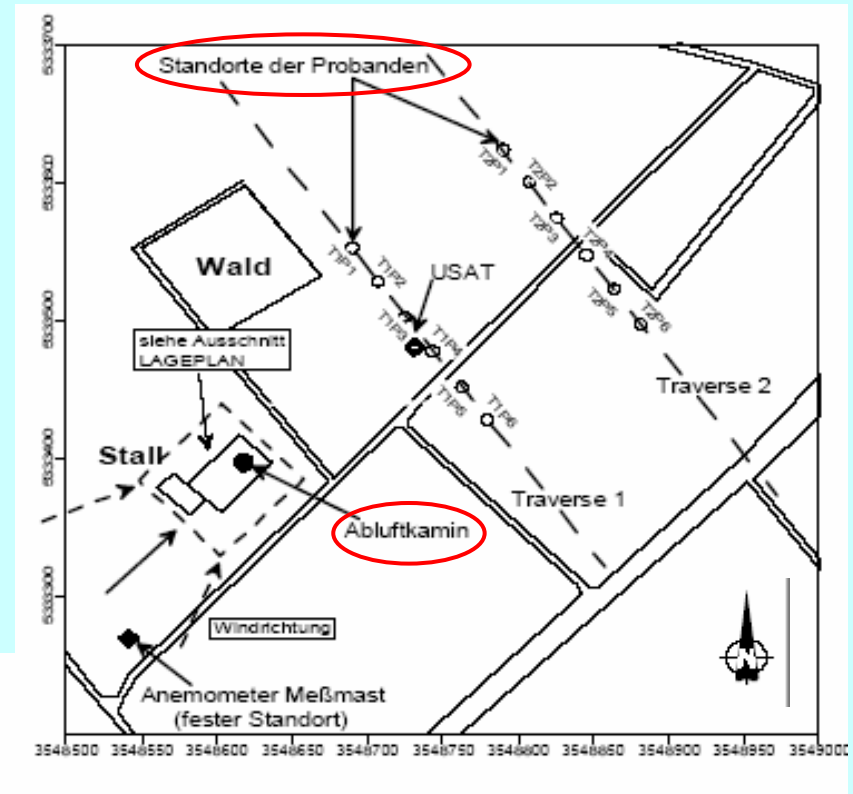
# Validace modelu, experimentální data (1)

- Zdroj dat - *Bächlin W., A. Rühling and A. Lohmeyer, 2002*
- Polní experiment v okolí vepřína u Stadt Biberach a. d. Riss, SRN
- Ploché 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 SF<sub>6</sub>
- Kompletní data o zdroji
- Meteo – WD, WV, teplota, stabilita
- Měření imisní koncentrace SF<sub>6</sub>
- Hodnocení intenzity pachu 12 školenými probandy v šestistupňové škále
- Každých 10s jeden odhad intenzity, celkem 60 hodnot pro každou sérii

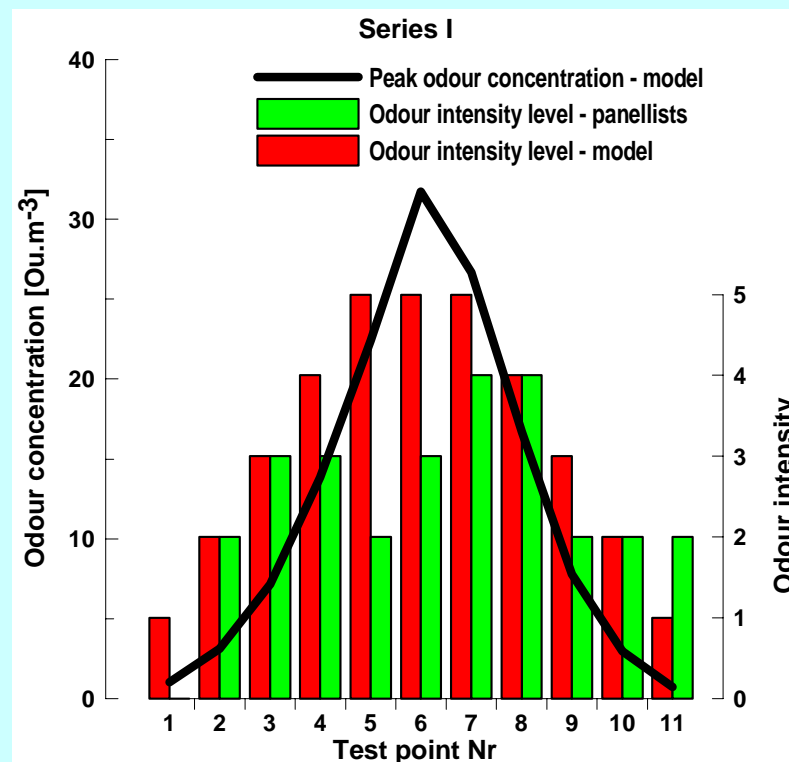
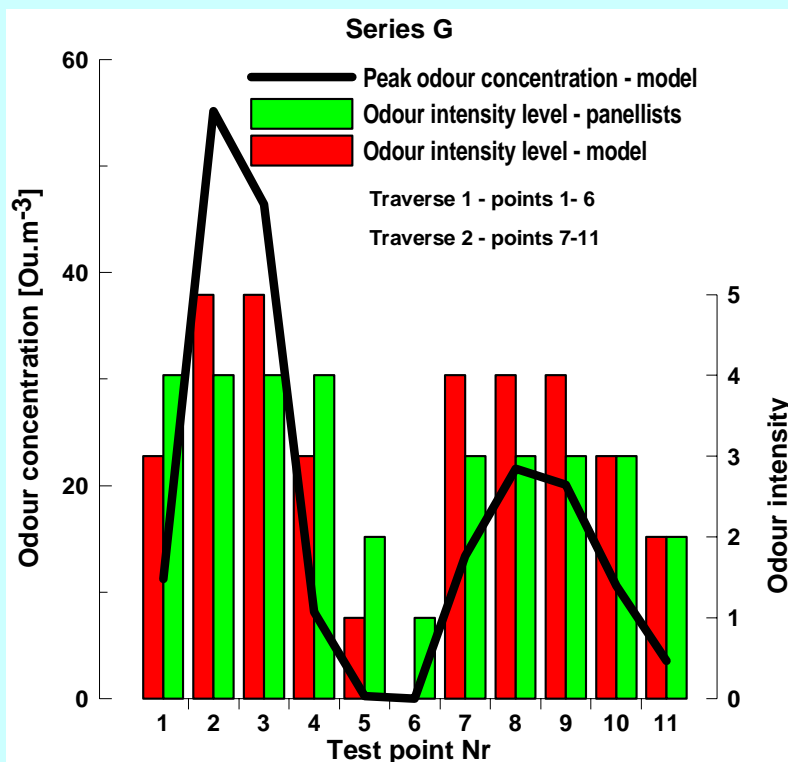


# Validace modelu, analýza dat

- Pro každou sérii v každém měřicím bodě zjištěna maximální hodnota intenzity pachu odhadnuté probandy a použita v další analýze
- S využitím dat o zdroji a meteo dat pro každou sérii a každý bod vypočtena modelem SYMOS průměrná hodinová koncentrace pachových látek
- Průměrné koncentrace převedeny na špičkové hodnoty podle algoritmu, navrženém v upraveném modelu
- Párována data modelových koncentrací pachových látek a intenzit pachu zjištěných probandy byla analyzována a porovnána pro série B, C a E až O
- Koncentrace pachových látek přepočítány na intenzitu pachu pomocí Stevensova zákona ve tvaru  $I = k \cdot C^n$
- Hodnoty konstant  $k$ ,  $n$  zjištěny pomocí regresního vztahu mezi modelovými koncentracemi intenzitami, udávanými probandy

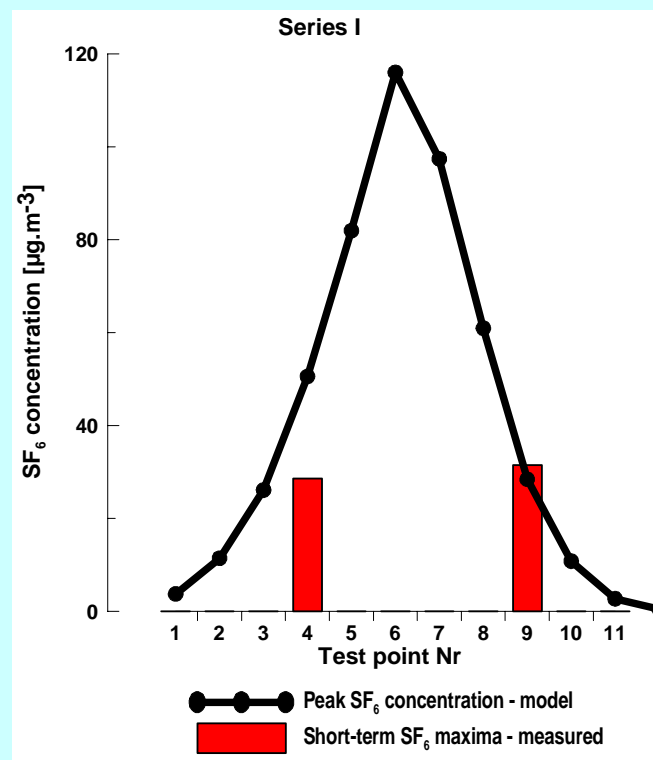
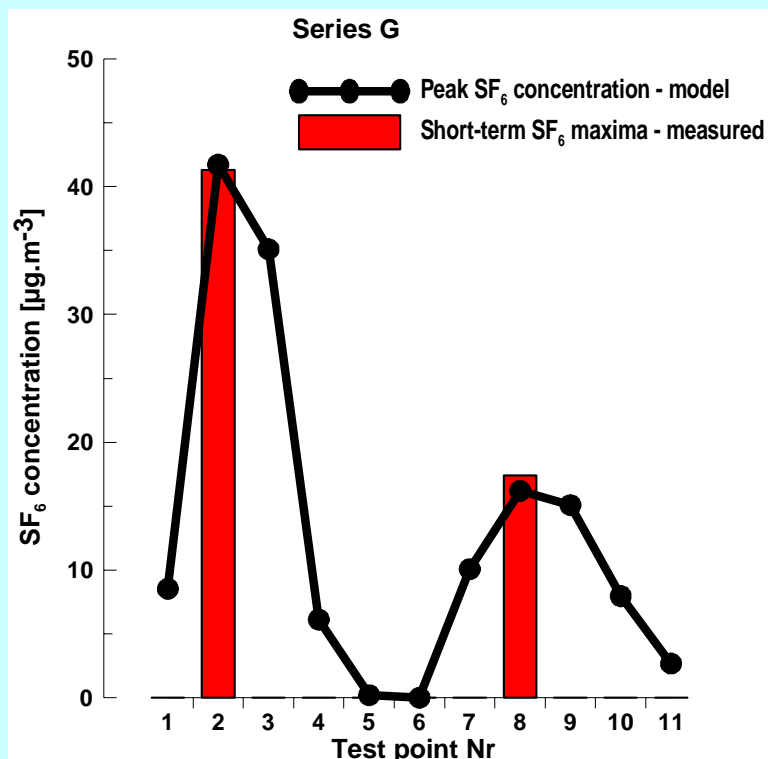
# Validace modelu, příklady výsledků (1)

- 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 SF<sub>6</sub> a krátkodobých koncentrací SF<sub>6</sub>, měřených ve dvou bodech





# Závěry, náměty pro další práci

- Měření a především modelování šíření pachových látek je dosud v „dětském věku“
- Úroveň není srovnatelná s tou, která byla dosažena u zavedených znečišťujících látek
- Pachové látky v současnosti ovšem představují významný problém kvality ovzduší
- Tlak veřejnosti a legislativy nutí k hledání alespoň „toho druhého nejlepšího“, co by se dalo v praxi rychle aplikovat
- Nehledě na poměrně jednoduchou metodu, použitou při adaptaci modelu SYMOS, dává model rozumné a prakticky použitelné výsledky (*alespoň v případě normálního zvrstvení a v rovinném terénu v blízkosti bodového zdroje*)
- Validace modelu pro složitější podmínky (složitý terén, jiné zvrstvení, plošný zdroj, fugitivní emise..) je otázkou dostupnosti vhodných datových souborů