

ČESKÝ  
HYDROMETEOROLOGICKÝ  
ÚSTAV

# O MOŽNOSTI ADJUSTACE IMISNÍCH KONCENTRACÍ NA METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY

RNDr. Josef Keder, CSc.



# Zadání úlohy

V souladu s požadavkem zadavatele (MŽP) bude zpracována metodika, umožňující oprostít průměrné roční imisní koncentrace, naměřené na libovolné měřicí stanici, od vlivu meteorologické situace.

Metodika umožní na vybraných stanicích měření imisí porovnávat naměřené imisní koncentrace znečišťujících látek za jednotlivé roky.

Zadání – září 2012

Odevzdání – prosinec 2012

# Metodika - přístup

K dosažení tohoto cíle využít postup, uvedený v *Grimvall et al., 2001*.

Předpokládá se, že existuje lineární vztah mezi koncentrací  $C$  a sadou meteorologických proměnných  $u_1, u_2, \dots, u_n$ .

Jednotlivé členy časové řady koncentrací  $C_j$  tak můžeme vyjádřit pomocí vztahu

$$C_j = b_0 + b_1 \cdot u_{1j} + b_2 \cdot u_{2j} + \dots + b_n \cdot u_{nj}$$

kde

$u_{nj}$  jsou hodnoty meteorologických proměnných v  $j$ -tém časovém okamžiku

a

parametry  $b_i$  jsou neznámé koeficienty této lineární závislosti,

$i = 0, 1 \dots n$

# Interpretace regresních koeficientů

## Adjustovaná koncentrace

Koeficienty  $b_j$  vyjadřují, o kolik se změní (vzroste nebo poklesne) koncentrace  $C_j$ , jestliže se meteorologická veličina  $u_j$  změní o jednotku

Lze je odhadnout ze souboru naměřených hodnot koncentrací a meteorologických veličin pomocí vícenásobné lineární regrese.

Časové řady meteorologických proměnných vykazují náhodné kolísání kolem svých normálových hodnot  $u_{j,norm}$ .

Tyto normály můžeme vyjádřit jako dlouhodobé průměry jednotlivých veličin.

V důsledku kolísání meteorologických veličin kolísají rovněž hodnoty koncentrací.

**Koncentrace  $C_{j,adj}$  adjustovaná na meteorologické podmínky je taková koncentrace, která by se pozorovala v  $j$ -tém časovém okamžiku, kdyby v tomto čase převládaly normálové meteorologické podmínky.**

# Adjustace - provedení

Adjustace se provádí tak, že naměřené koncentrace  $C_j$  se „očistí“ od přírůstků nebo úbytků, které jsou důsledkem odchylky meteorologických veličin, zjištěných v čase  $j$ , od dlouhodobého normálu:

$$u_{ij} - u_{i,norm}$$

je odchylka od normálu  $i$ -té meteorologické veličiny v čase  $j$

Po vynásobení této odchylky koeficientem úměrnosti  $b_i$  pro  $i$ -tou veličinu

$$b_i \cdot (u_{ij} - u_{i,norm})$$

dostaneme **přírůstek (úbytek)** koncentrace, odpovídající odchylce této meteorologické veličiny od normálu.

Sečtením příspěvků všech meteorologických veličin získáme výslednou odchylku koncentrace oproti „normálnímu“ stavu.

Po odečtení této výsledné odchylky od změřené koncentrace získáme adjustovanou hodnotu koncentrace v čase  $j$ .

$$C_{j,adj} = C_j - (b_1 \cdot (u_{1j} - u_{1,norm}) + b_2 \cdot (u_{2j} - u_{2,norm}) + \dots + b_n \cdot (u_{nj} - u_{n,norm}))$$

# Postup adjustace koncentrací na meteorologické podmínky

Navržen v následujících krocích:

1. Výběr meteorologických veličin, ovlivňujících koncentrace jednotlivých znečišťujících látek
2. Konstrukce regresního modelu pro jednotlivé látky a jednotlivé lokality z hodnot, naměřených za dostatečně dlouhé období
3. Výpočet regresních koeficientů
4. Stanovení dlouhodobých normálů pro jednotlivé proměnné
5. Adjustace hodnot koncentrací na meteorologické podmínky podle dříve uvedeného vztahu

# Prověření postupu, období a data

Navržený postup testován na koncentracích PM10 na území Ostravy  
Byla použita data z monitorovacích stanic

Ostrava-Fifejdy, Ostrava-Přívoz  
pro roky 2006 až 2011 (6 let),

Ostrava-Mariánské Hory  
pro roky 2009 až 2011 (3 roky)

Doporučuje se provádět adjustaci pro denní průměry.  
Adjustované roční průměry se stanoví z adjustovaných denních hodnot.

# Výběr meteorologických veličin, ovlivňujících koncentrace

Pro tuto pilotní etapu návrhu metodiky byly vybrány tyto meteorologické veličiny, ovlivňující imisní koncentrace

- Rozptylové podmínky
- Teplota vzduchu



# Rozptylové podmínky - ventilační index

Při analýze vlivu počasí na koncentrace znečišťujících látek se používá termín „rozptylové podmínky“ obvykle bez bližšího vymezení tohoto pojmu.

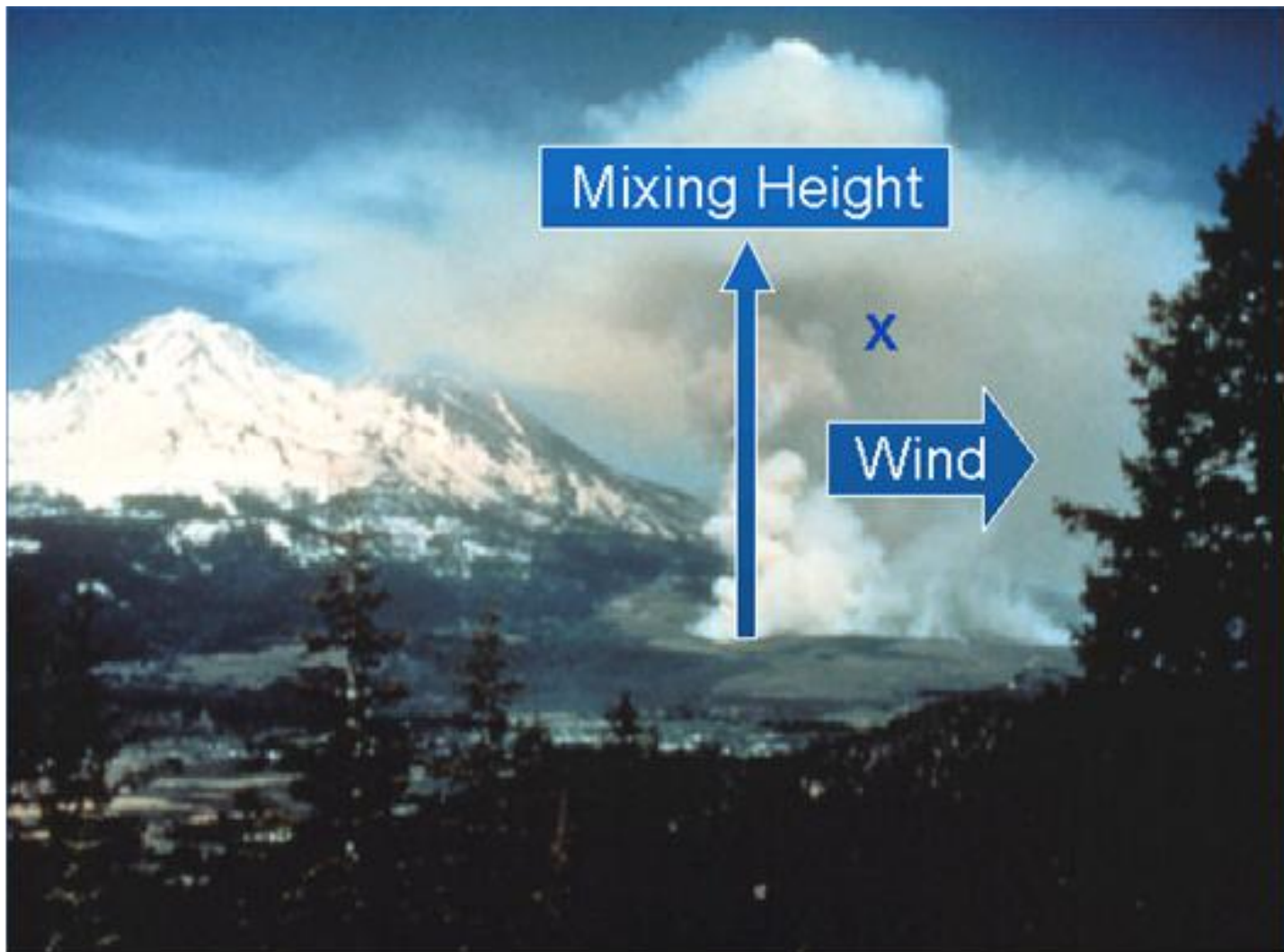
Rozptylové podmínky byly charakterizovány ventilačním indexem VI

Ventilační index je součin výšky směšovací vrstvy a průměrné rychlosti větru uvnitř této vrstvy.

*Hardy, Ottmar et al., 2001*

*Keder, Škáchová, 2011*

# VENTILAČNÍ INDEX – definice

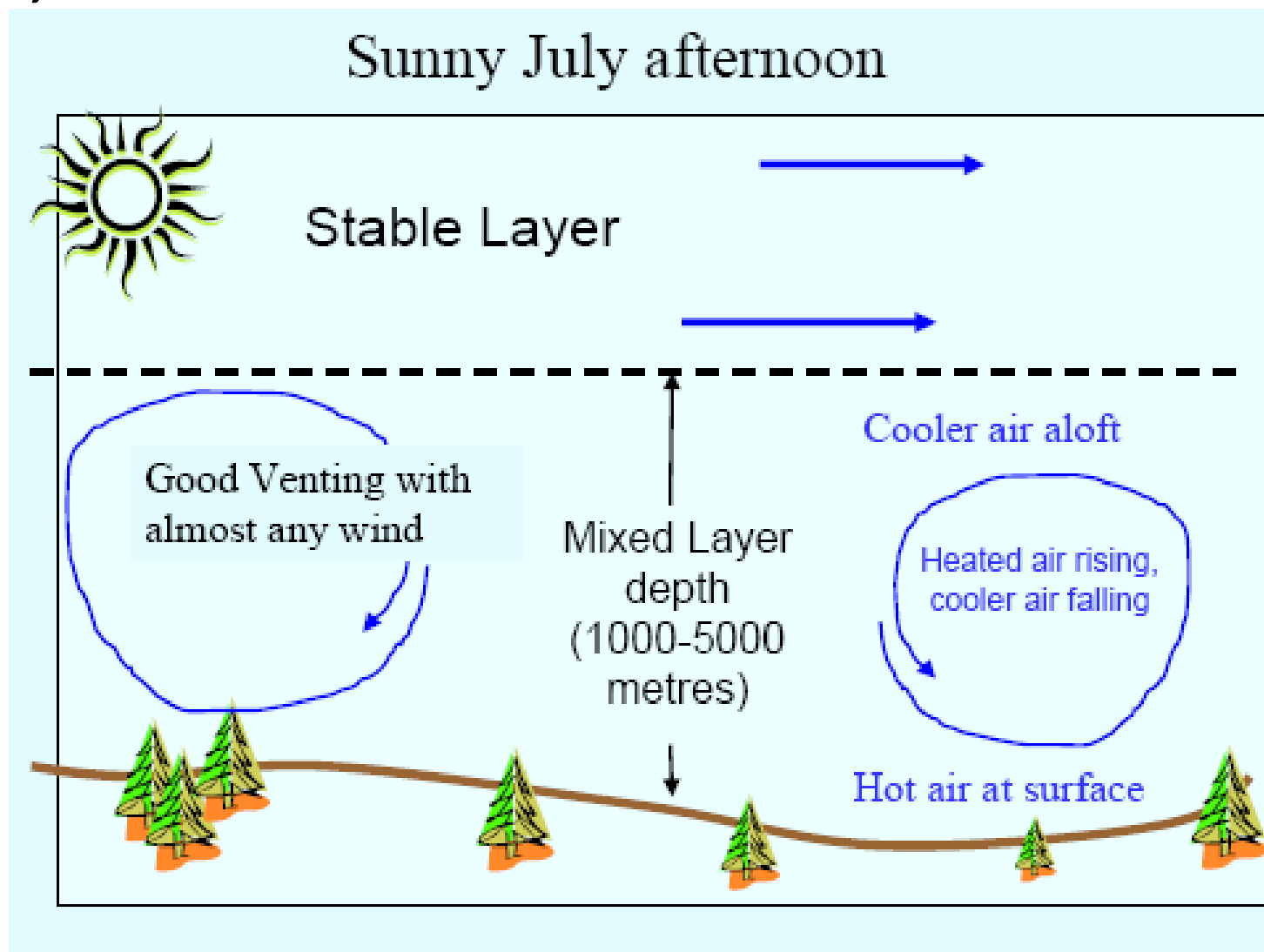


# VENTILAČNÍ INDEX – vliv větru

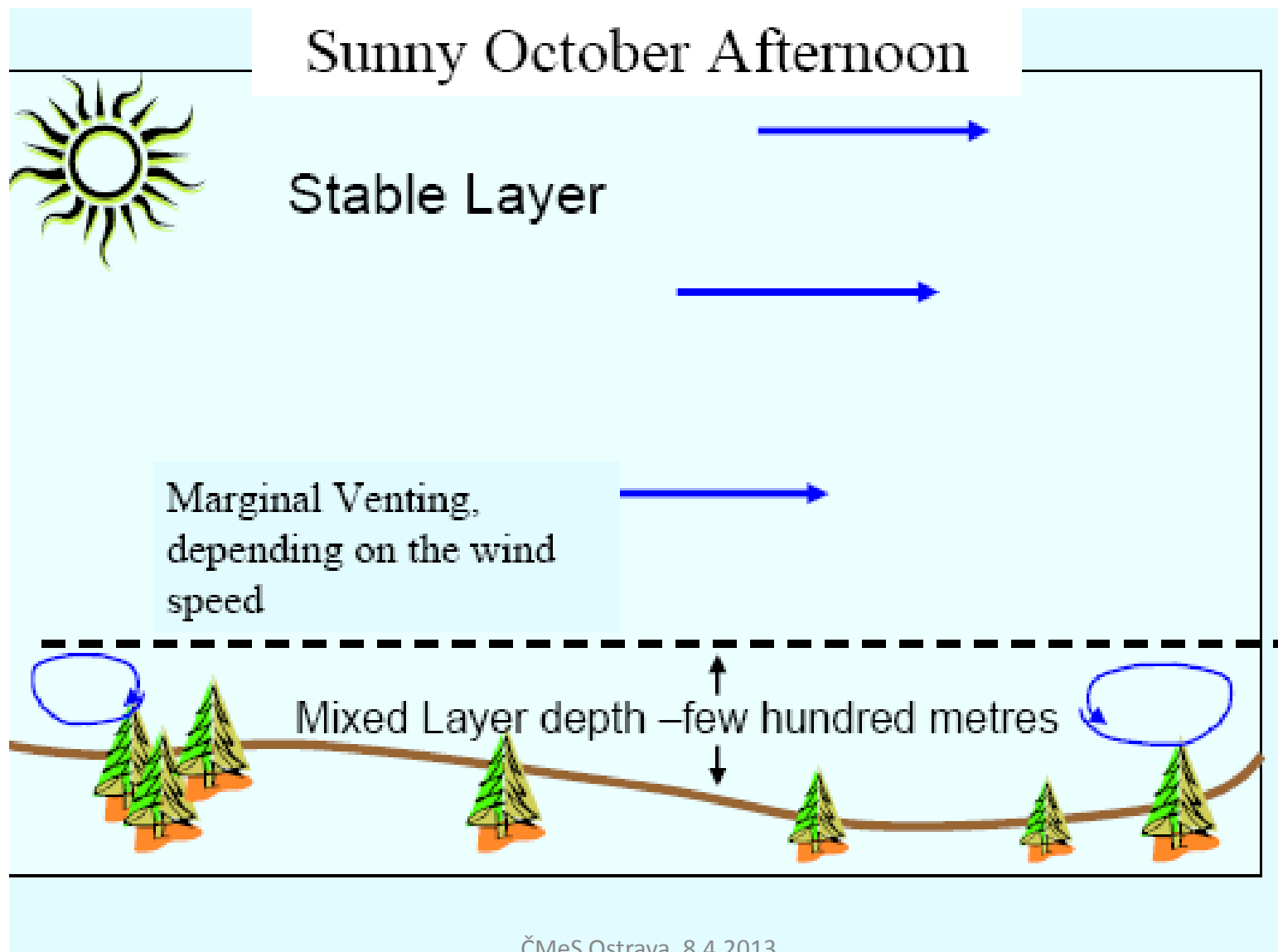


The higher the wind speed, the lower the concentration of smoke, and the better the venting.

# VI, VLIV VÝŠKY MH – dobrá ventilace



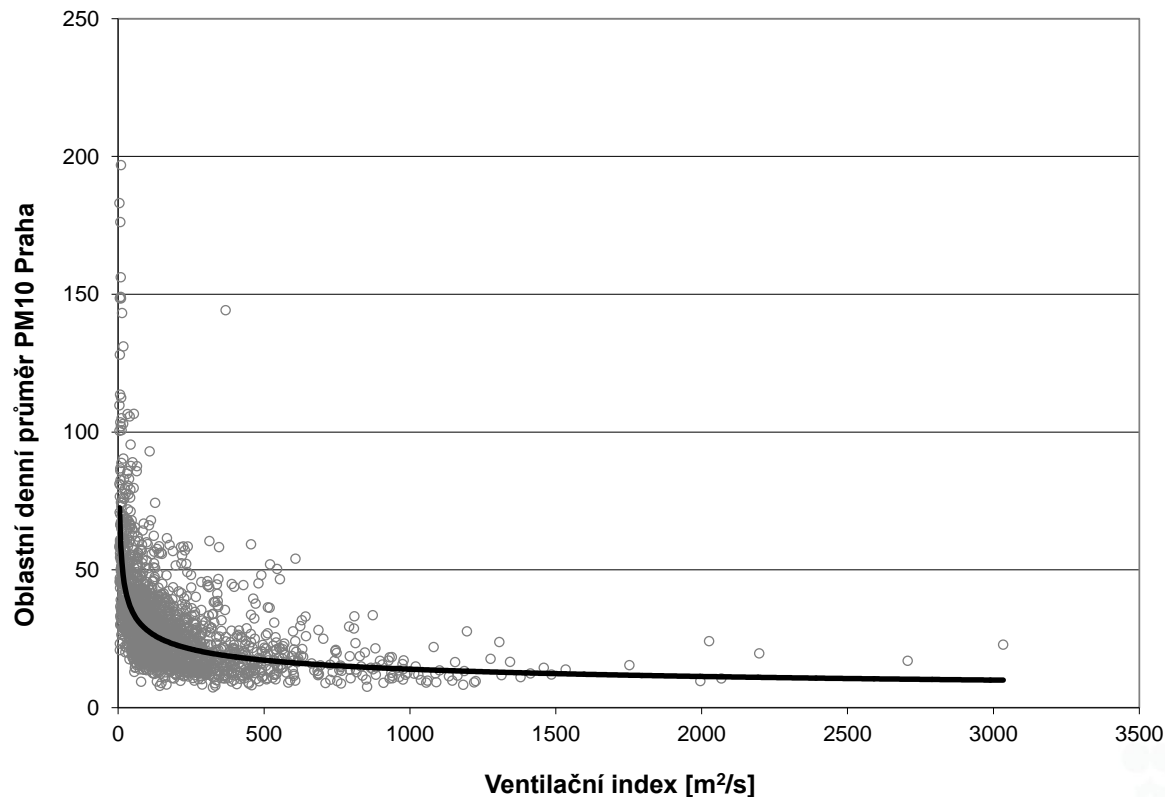
# VI, VLIV VÝŠKY MH – špatná ventilace



# Závislost koncentrace PM10 na VI

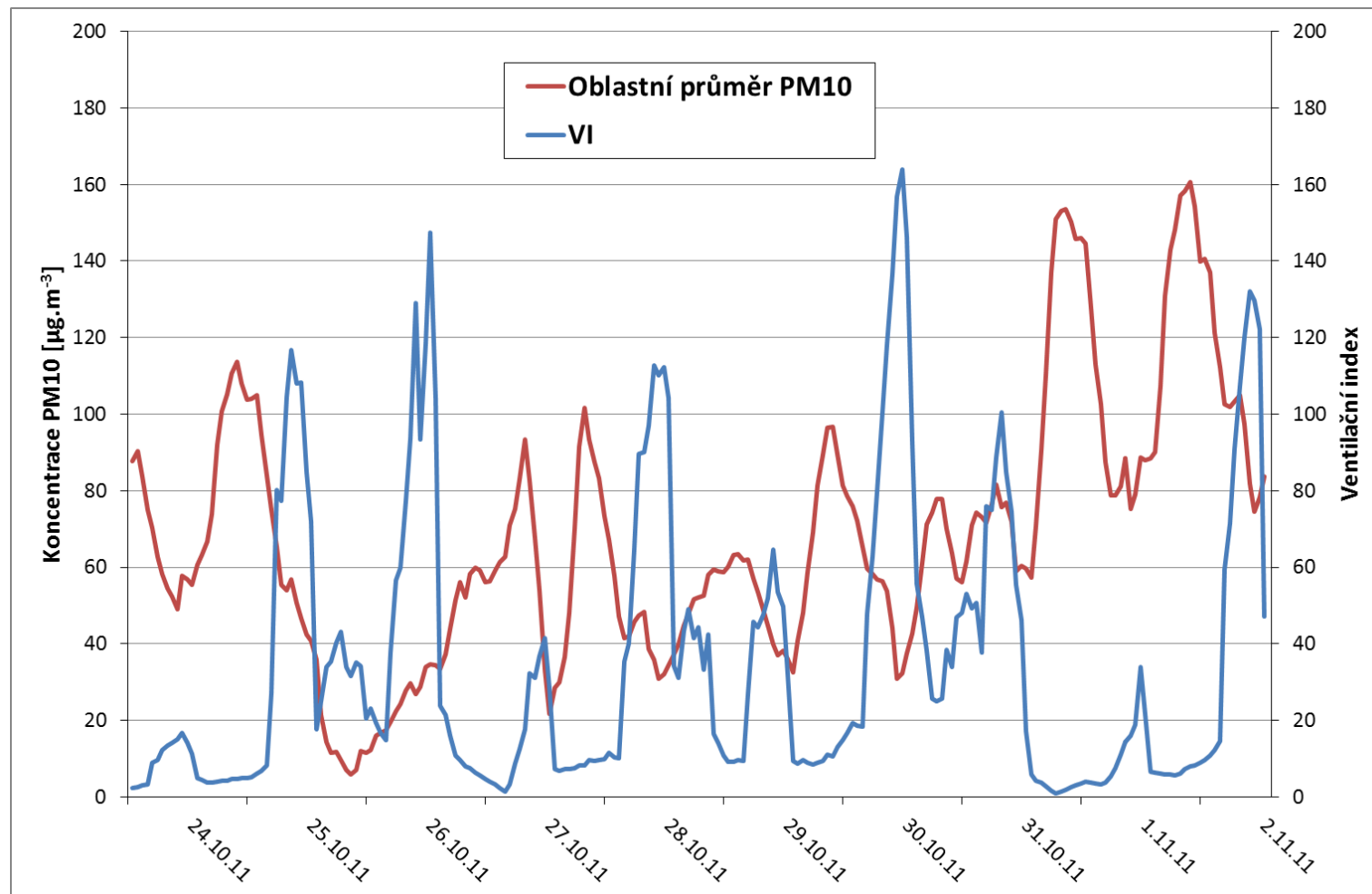
S rostoucí rychlostí větru a zvětšující se výškou směšovací vrstvy dochází k většímu rozředování znečišťujících látek a k poklesu jejich koncentrací.

Rostoucí hodnota ventilačního indexu tedy indikuje zlepšující se rozptylové podmínky.



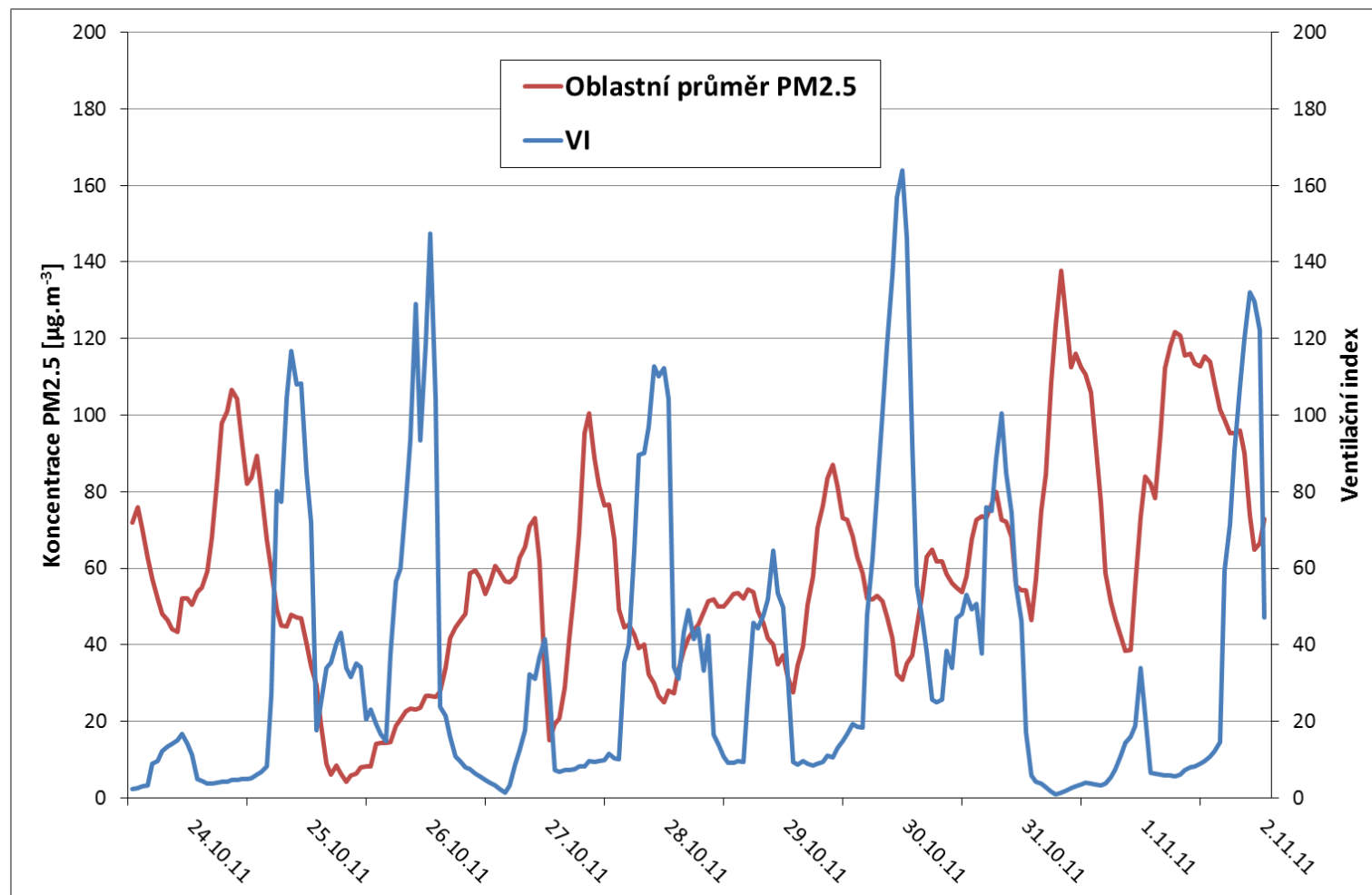
# AKTUÁLNÍ SITUACE MS kraj

1/3



# AKTUÁLNÍ SITUACE MS kraj

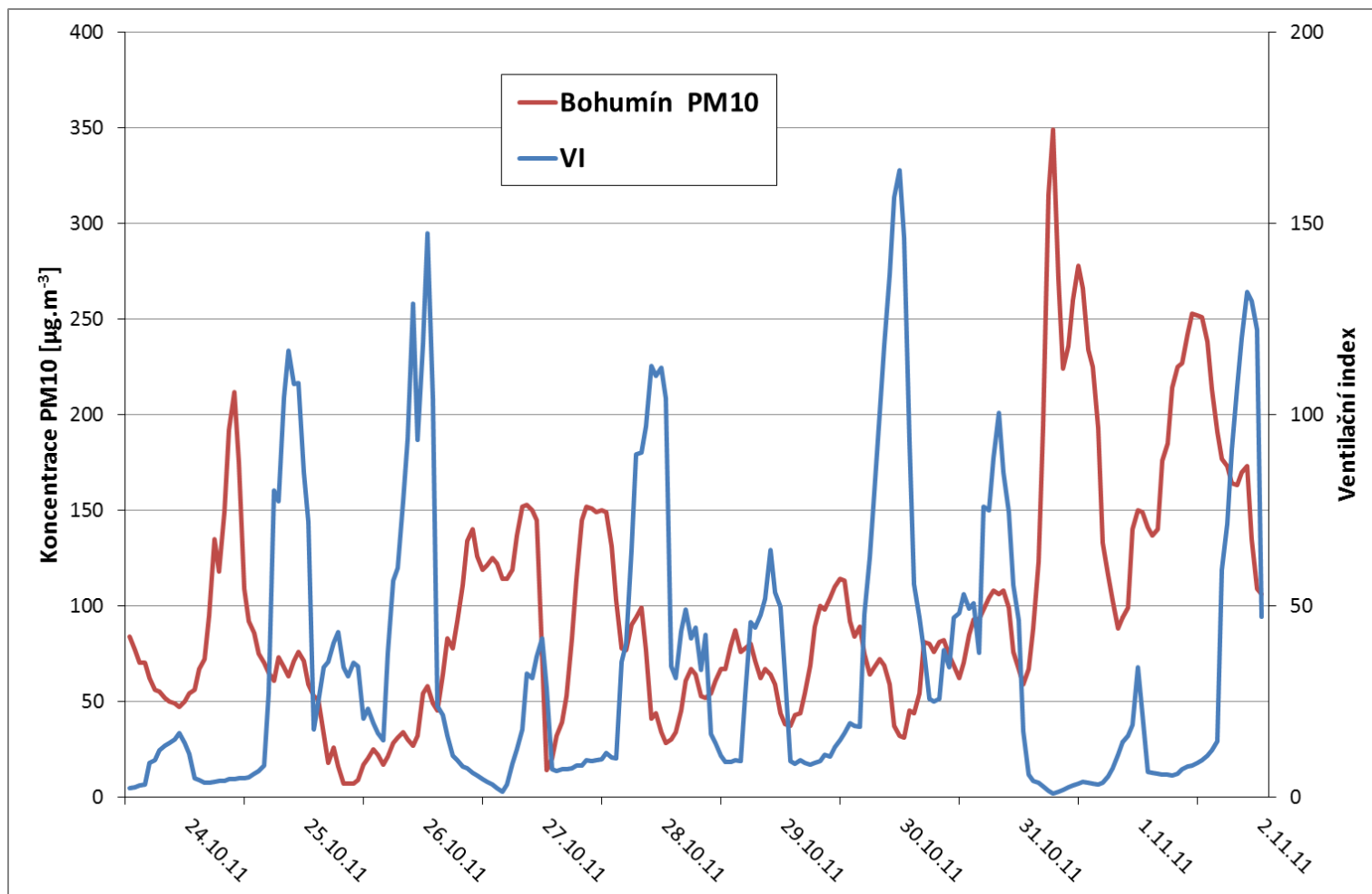
2/3





# AKTUÁLNÍ SITUACE MS kraj

3/3



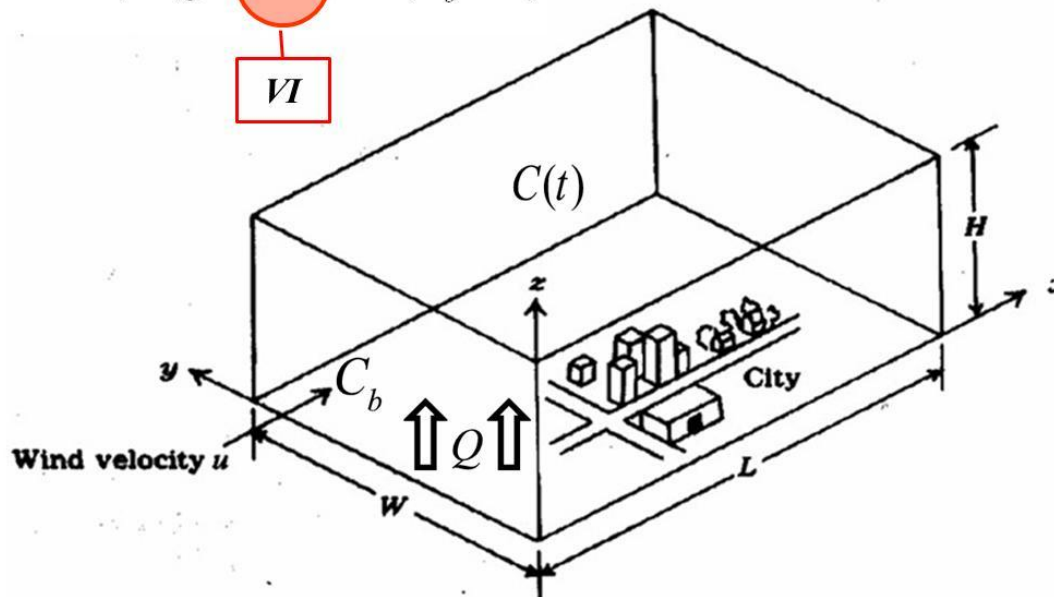
# Fyzikální význam VI

Vyplývá např. z konstrukce jednoduchého box-modelu pro změny koncentrací znečišťujících látek v aglomeraci.

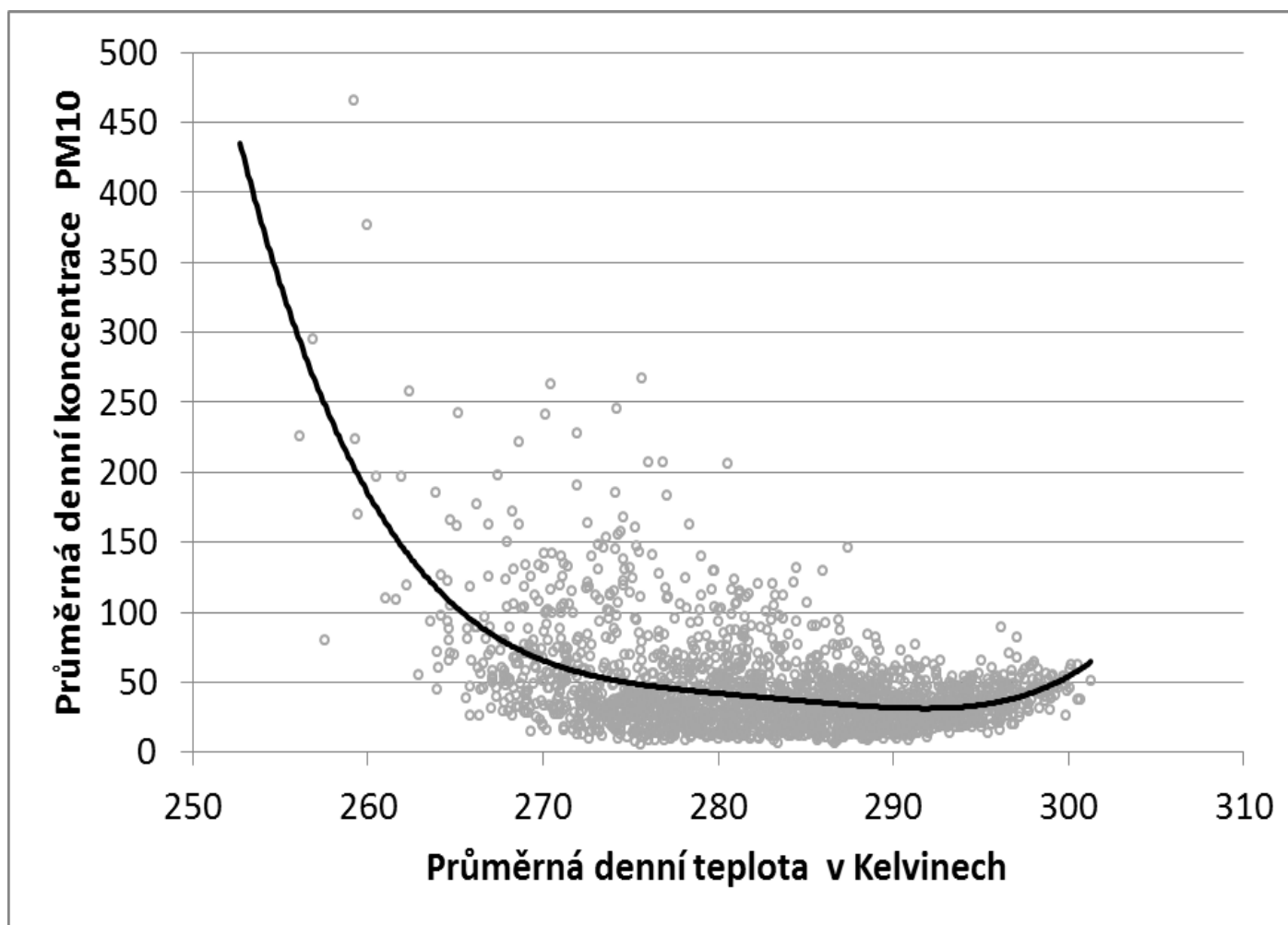
Je zřejmé, že rychlost změny koncentrace uvnitř boxu je přímo úměrná velikosti ventilačního indexu.

$$\frac{d}{dt}(C \cdot W \cdot L \cdot H) = Q + u \cdot H \cdot W \cdot (C_b - C)$$

VI



# Závislost koncentrace PM10 na teplotě



# Výběr regresního modelu

Z grafů je zřejmé, že mezi koncentracemi PM10 a vybranými meteorologickými veličinami nelze předpokládat lineární závislost.

Pro použití v regresním modelu byly proměnné transformovány a vhodný model byl vybrán postupnou vícenásobnou regresí.

Jako nejvhodnější se pro vybrané stanice ukázal model ve tvaru

$$\ln(C) = a + b.T + c.T^2 + d.\ln(VI)$$

Koncentrace PM10 a teploty vzduchu byly změřeny na jednotlivých stanicích, hodnoty ventilačního indexu byly spočítány pomocí meteorologického preprocesoru CALMET INTEGRATOR.

Všechny hodnoty jsou denní průměry, spočítané z hodinových hodnot od 00 do 23 hodin UTC.

# Koeficienty regresního modelu a upravený koeficient determinace

	Fifejdy	Přívoz	
<b>a</b>	157.2660	124.2121	
<b>b</b>	-1.0483	-0.8100	T
<b>c</b>	0.0018	0.0014	T <sup>2</sup>
<b>d</b>	-0.3402	-0.3009	ln(VI)
<b>R<sup>2</sup></b>	0.4652	0.4014	

# Adjustace koncentrací na meteorologické podmínky

Byly stanoveny normálové hodnoty jednotlivých proměnných jako průměry za šestileté období 2006 – 2011

$$T_{norm} \quad T^2_{norm} \quad \ln(VI)_{norm}$$

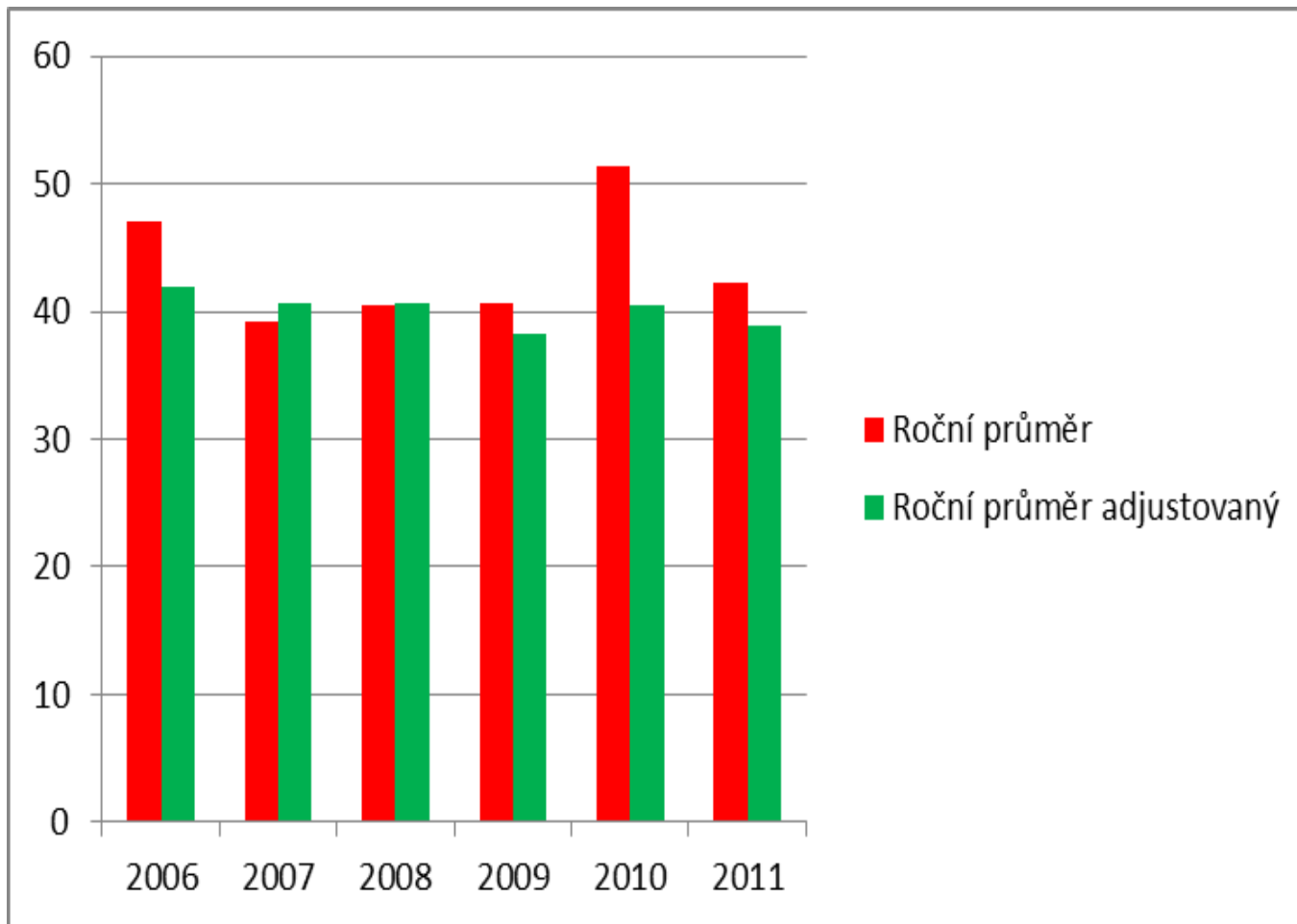
a provedena adjustace denních průměrů koncentrací podle vztahu

$$C_{adj} = \exp(\ln(C) - b.(T - T_{norm}) - c.(T^2 - T^2_{norm}) - d.(\ln(VI) - \ln(VI)_{norm}))$$

# Porovnání původních a adjustovaných hodnot

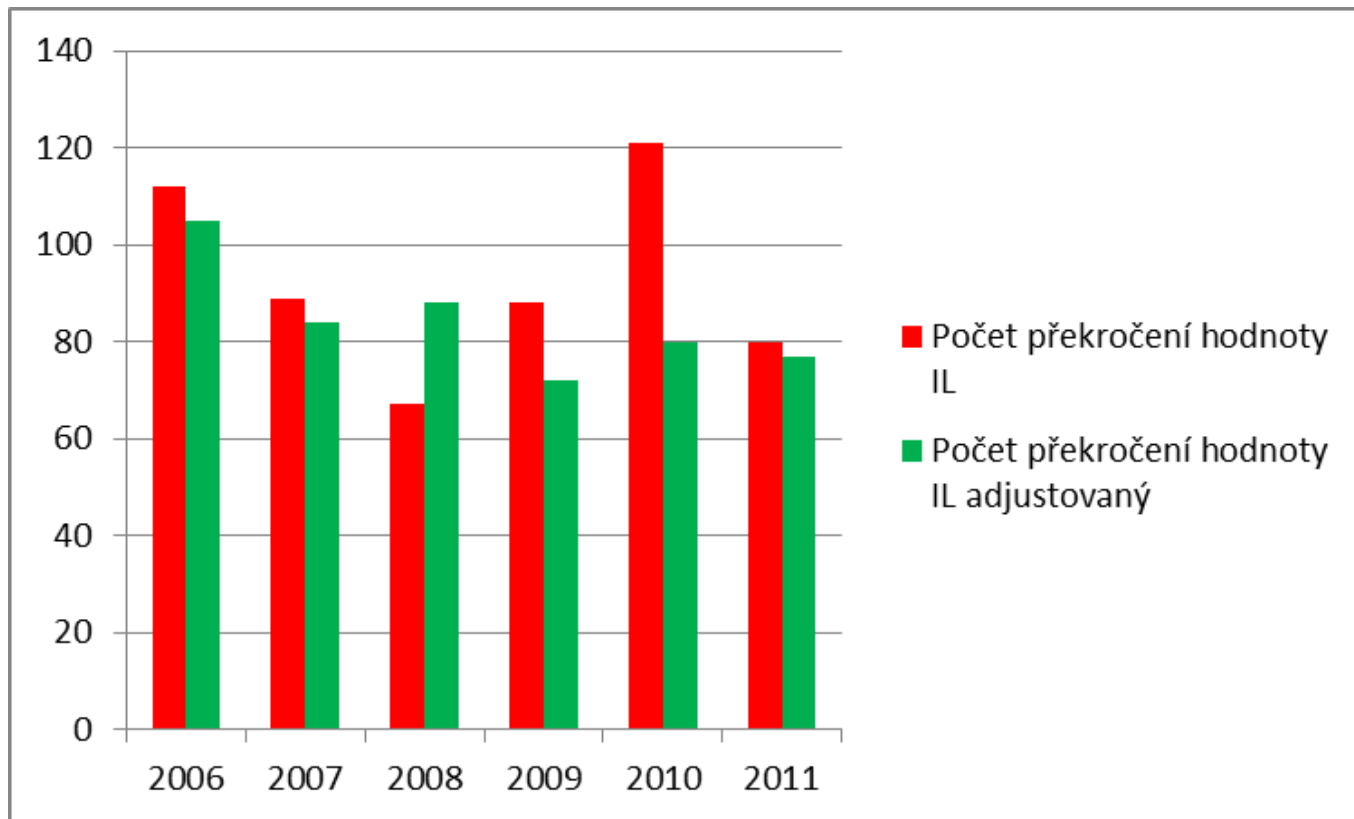
	Roční průměr	Roční průměr adjustovaný	Počet překročení hodnoty IL	Počet překročení hodnoty IL adjustovaný	
2006	47.0	41.9	112	105	Fifejdy
<b>2007</b>	<b>39.2</b>	<b>40.6</b>	<b>89</b>	<b>84</b>	
2008	40.5	40.6	67	88	
2009	40.7	38.2	88	72	
<b>2010</b>	<b>51.4</b>	<b>40.5</b>	<b>121</b>	<b>80</b>	
2011	42.2	38.8	80	77	
2006	56.4	50.3	147	159	Přívoz
<b>2007</b>	<b>45.8</b>	<b>48.6</b>	<b>119</b>	<b>143</b>	
2008	47.0	48.0	105	128	
2009	46.4	44.2	114	105	
<b>2010</b>	<b>52.1</b>	<b>42.0</b>	<b>118</b>	<b>92</b>	
2011	44.9	41.6	89	99	

# Ostrava – Fifejdy, porovnání adjustovaných a neadjustovaných hodnot ročního průměru koncentrace PM10





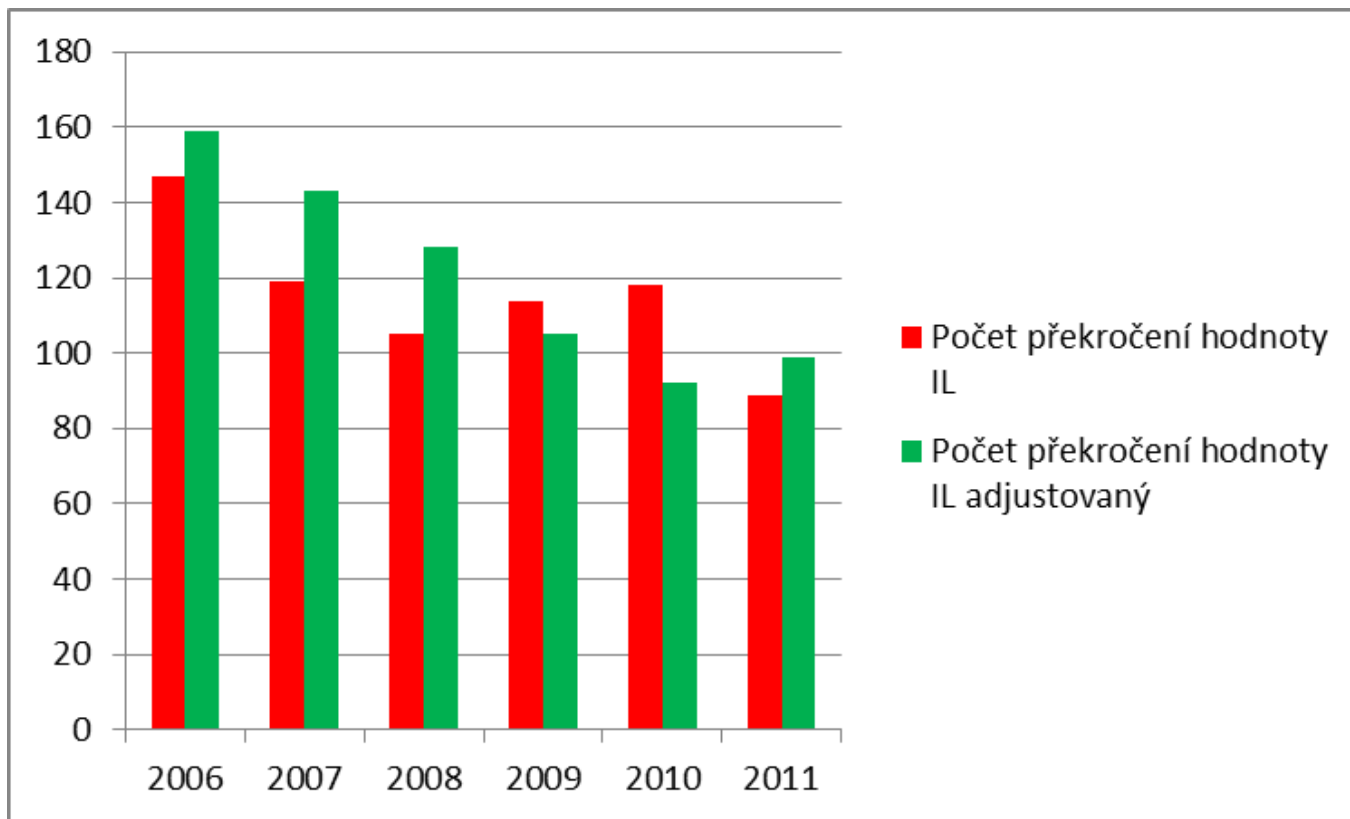
# Ostrava – Fifejdy, porovnání adjustovaných a neadjustovaných hodnot počtu překročení hodnoty IL pro denní průměr koncentrace PM10



# Ostrava – Přívoz, porovnání adjustovaných a neadjustovaných hodnot ročního průměru koncentrace PM10

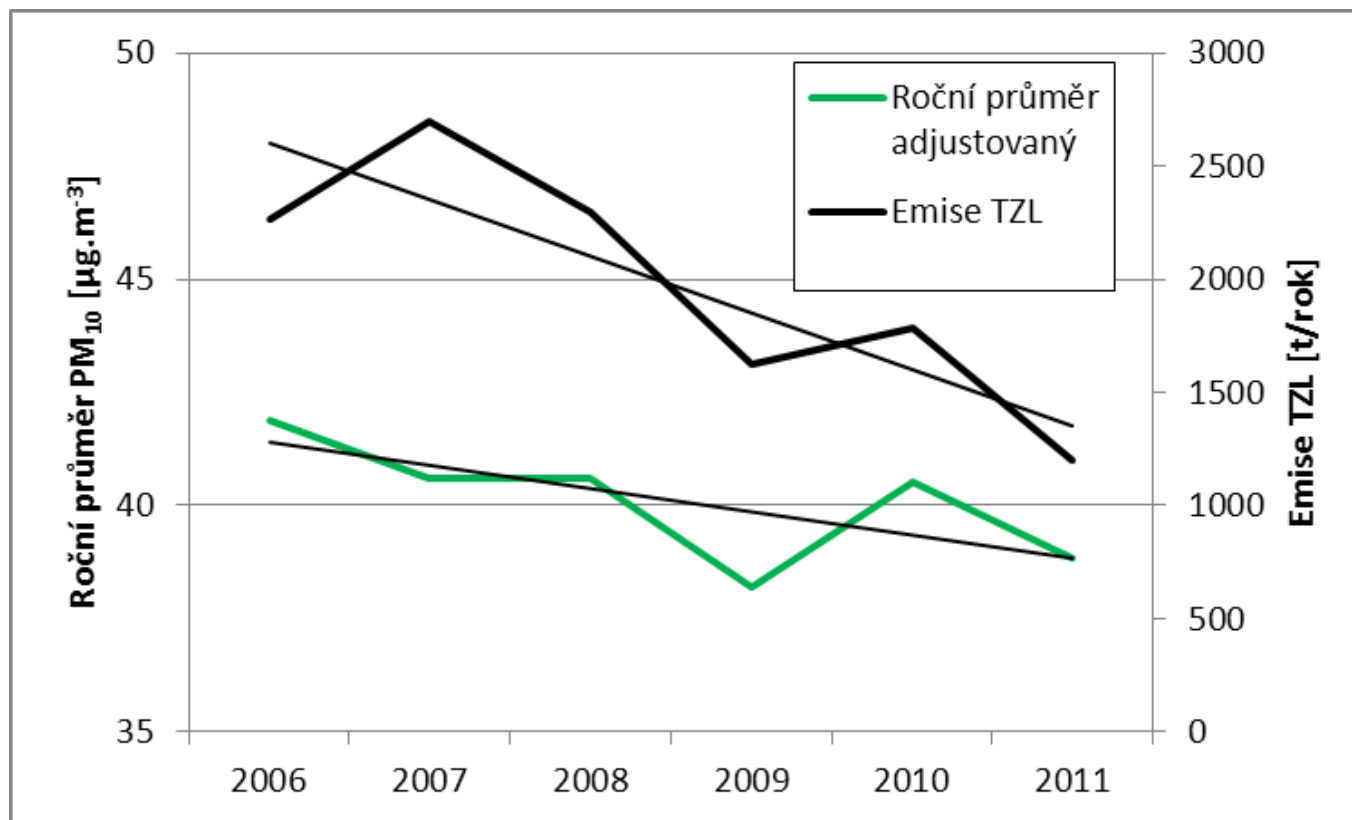


# Ostrava – Přívoz, porovnání adjustovaných a neadjustovaných hodnot počtu překročení hodnoty IL pro denní průměr koncentrace PM10

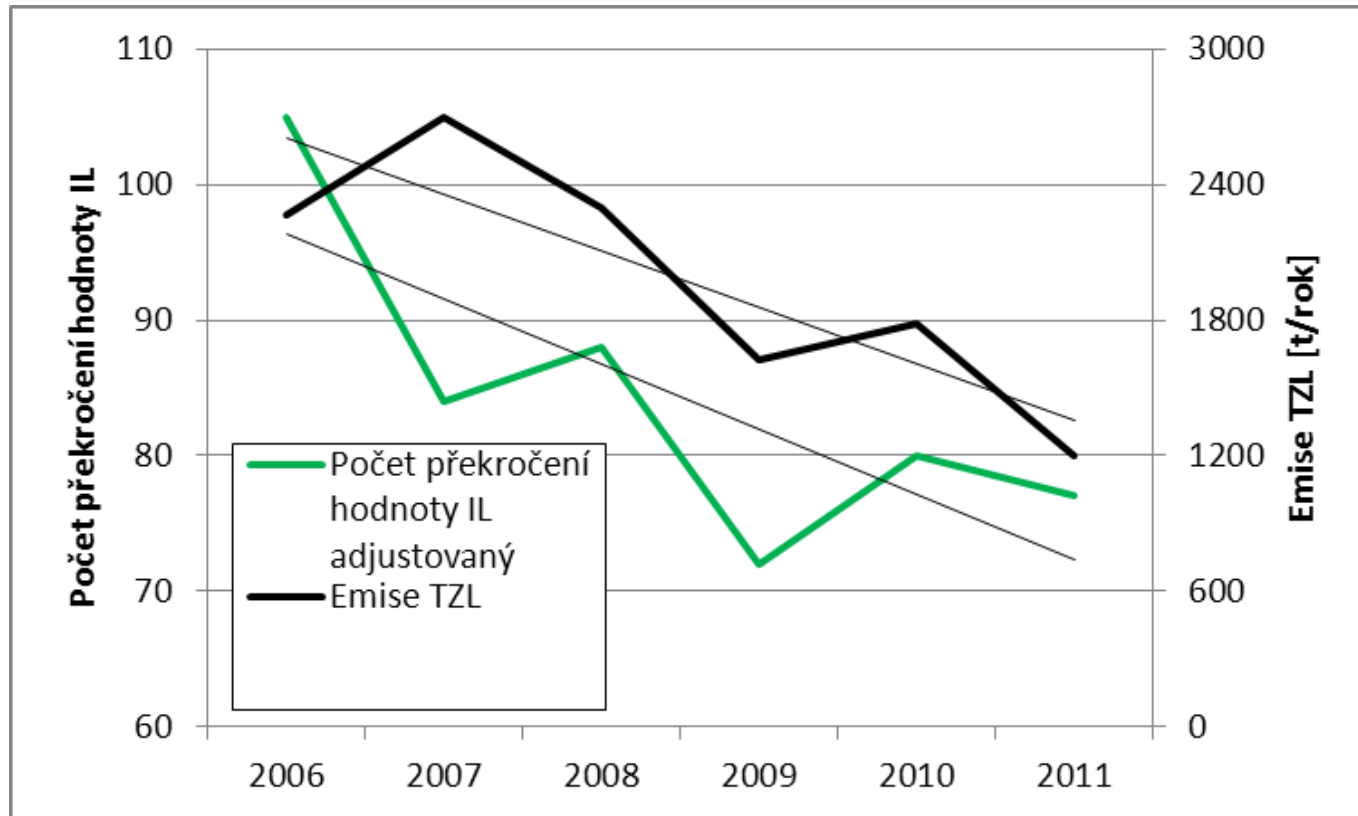


Trendy adjustovaných hodnoty pro stanice Přívoz a Fifejdy byly porovnány s vývojem emisí na okrese Ostrava v letech 2006 až 2011  
Pro rok 2011 je použit předběžný odhad OEZ

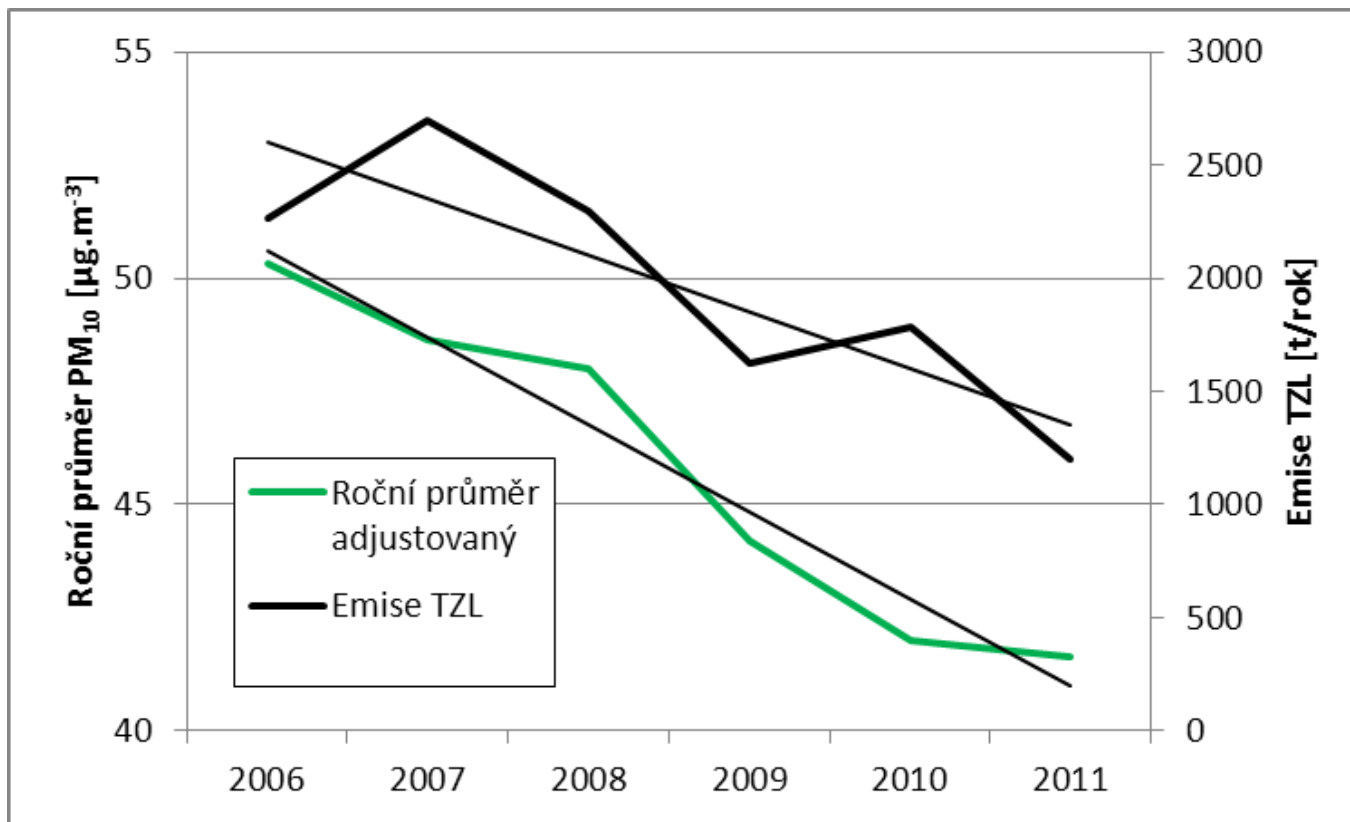
# Ostrava – Fifejdy, porovnání trendu adjustovaných hodnot ročního průměru koncentrace PM<sub>10</sub> a emisí TZL na okrese Ostrava



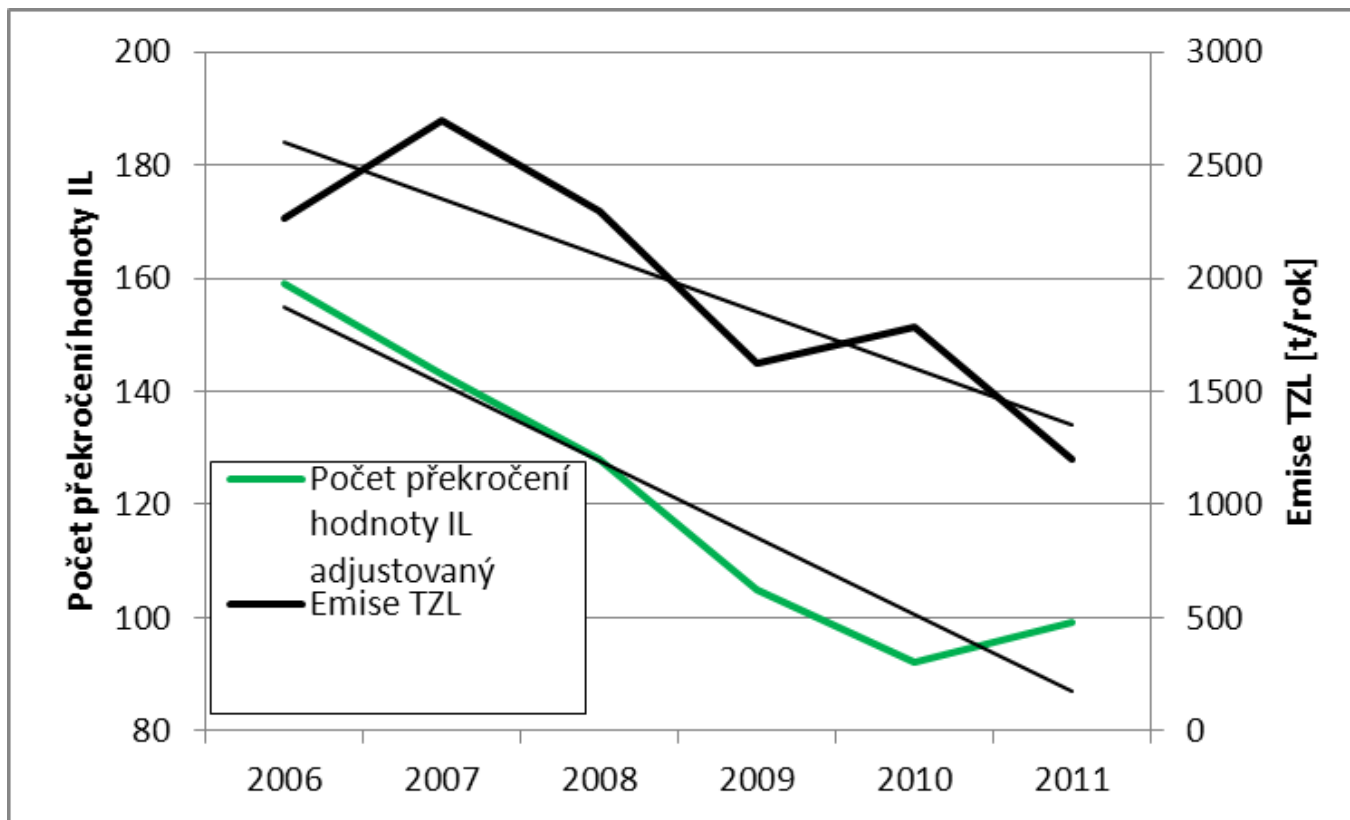
# Ostrava – Fifejdy, porovnání trendu adjustovaných hodnot počtu překročení hodnoty IL a emisí TZL na okrese Ostrava



# Ostrava – Přívoz, porovnání trendu adjustovaných hodnot ročního průměru koncentrace PM<sub>10</sub> a emisí TZL na okrese Ostrava



# Ostrava – Přívoz, porovnání trendu adjustovaných hodnot počtu překročení hodnoty IL a emisí TZL na okrese Ostrava





# Závěry

Je vidět, že adjustace na meteorologické hodnoty

- odstraňuje kolísání koncentračních charakteristik, způsobených vlivem počasí v jednotlivých letech,
- zvýrazňuje časové trendy a korespondenci mezi vývojem imisních charakteristik a emisí.

Změny v charakteristikách koncentrací, očištěných od vlivu meteorologických podmínek, lze přičítat především vlivu změn v emisích okolních zdrojů.

# Využití ventilačního indexu pro hodnocení rozptylových podmínek 1/2

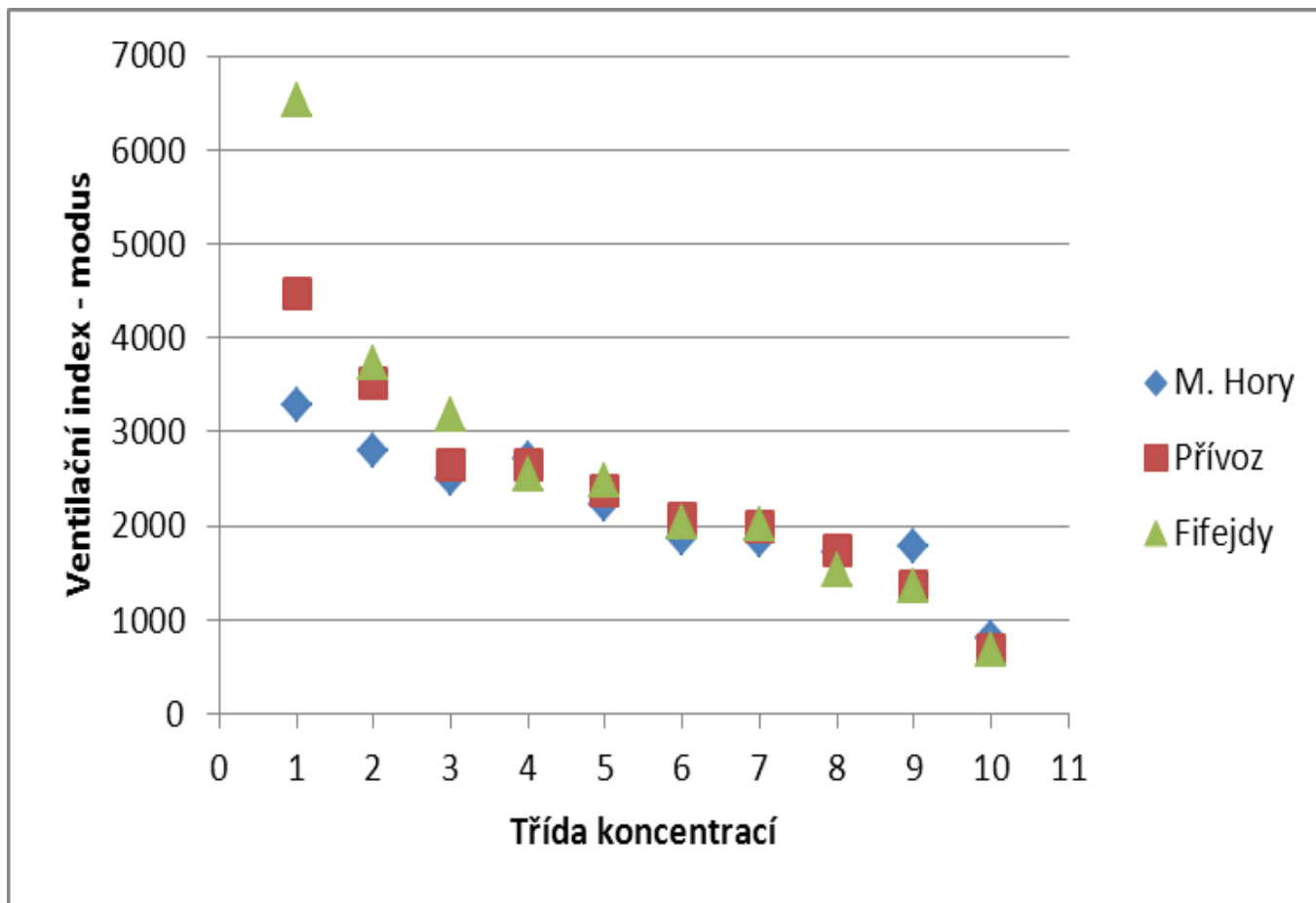
- Byl definován ventilační index a ukázána jeho dobrá korelace s koncentracemi PM10.
- S klesající hodnotou ventilačního indexu postupně narůstá počet vysokých denních koncentrací.
- Lze tedy stanovit určitou „kritickou“ hodnotu ventilačního indexu, která oddělí špatné a dobré rozptylové podmínky.
- Rovněž je možné stanovit několik kategorií rozptylových podmínek, vymezených hodnotami VI

# Využití ventilačního indexu pro hodnocení rozptylových podmínek 2/2

Hraniční hodnota VI byla navržena následujícím postupem.

- Hodnoty denních průměrů koncentrací pro každou tří stanic za celé šestileté (pro stanici Mariánské Hory za tříleté) období byly seřazeny podle velikosti a rozděleny do 10 tříd tak, že každá třída obsahovala 10% všech hodnot.
- Horní hranice n-té třídy tak odpovídá n-tému decilu souboru denních koncentrací pro danou stanici.
- V pořadí n-tá třída tedy obsahuje hodnoty, které jsou větší než  $10 \cdot (n-1)\%$  všech hodnot v souboru a které jsou menší než  $(100-10 \cdot n)\%$  hodnot celého souboru. Např. hodnoty v 6. třídě jsou větší než 50% a menší než 40% všech hodnot v souboru.
- Každé hodnotě denní koncentrace odpovídá denní průměr ventilačního indexu.
- Pro každou z 10 tříd stanovíme hodnotu denního průměru ventilačního indexu, který se v dané třídě vyskytuje **nejčastěji** (modus).

# Modus ventilačního indexu pro jednotlivé třídy koncentrací



## Nejčastěji se vyskytující hodnoty ventilačního indexu (mody) pro jednotlivé třídy denních koncentrací

	Třída koncentrací									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>M. Hory</b>	3296	2800	2496	2720	2231	1869	1847	1712	1778	809
<b>Přívoz</b>	4471	3525	2660	2659	2370	2080	2000	1736	1359	675
<b>Fifejdy</b>	6532	3720	3184	2536	2472	2030	2006	1522	1348	687

Z grafu a z tabulky je vidět, že jako vhodnou hraniční hodnotu ventilačního indexu pro definici špatných rozptylových podmínek lze zvolit **modus v 7. třídě koncentrací** (koncentrace vyšší než 60% všech hodnot na stanici).

Navrhovaná hraniční hodnota  $VI_{krit}$ , odhadnutá tímto postupem, činí **2000 m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>**.

Takto navržená hraniční hodnota VI vychází ze statistického rozdělení koncentrací na jednotlivých stanicích.

**Není závislá na jejich absolutní velikosti a emisích v okolí stanice.**

# Využití $VI_{krit}$ k hodnocení trendů

Pro jednotlivé stanice byly, s využitím takto navrženého hodnocení RP, stanoveny:

- počty dnů, kdy převládaly dobré rozptylové podmínky,
- procentuální podíl dnů, kdy **při dobrých RP ( $VI > 2000$ ) byla překročena hodnota denního imisního limitu.**

Výsledky pro stanice Fifejdy a Přívoz jsou v následujícím grafu

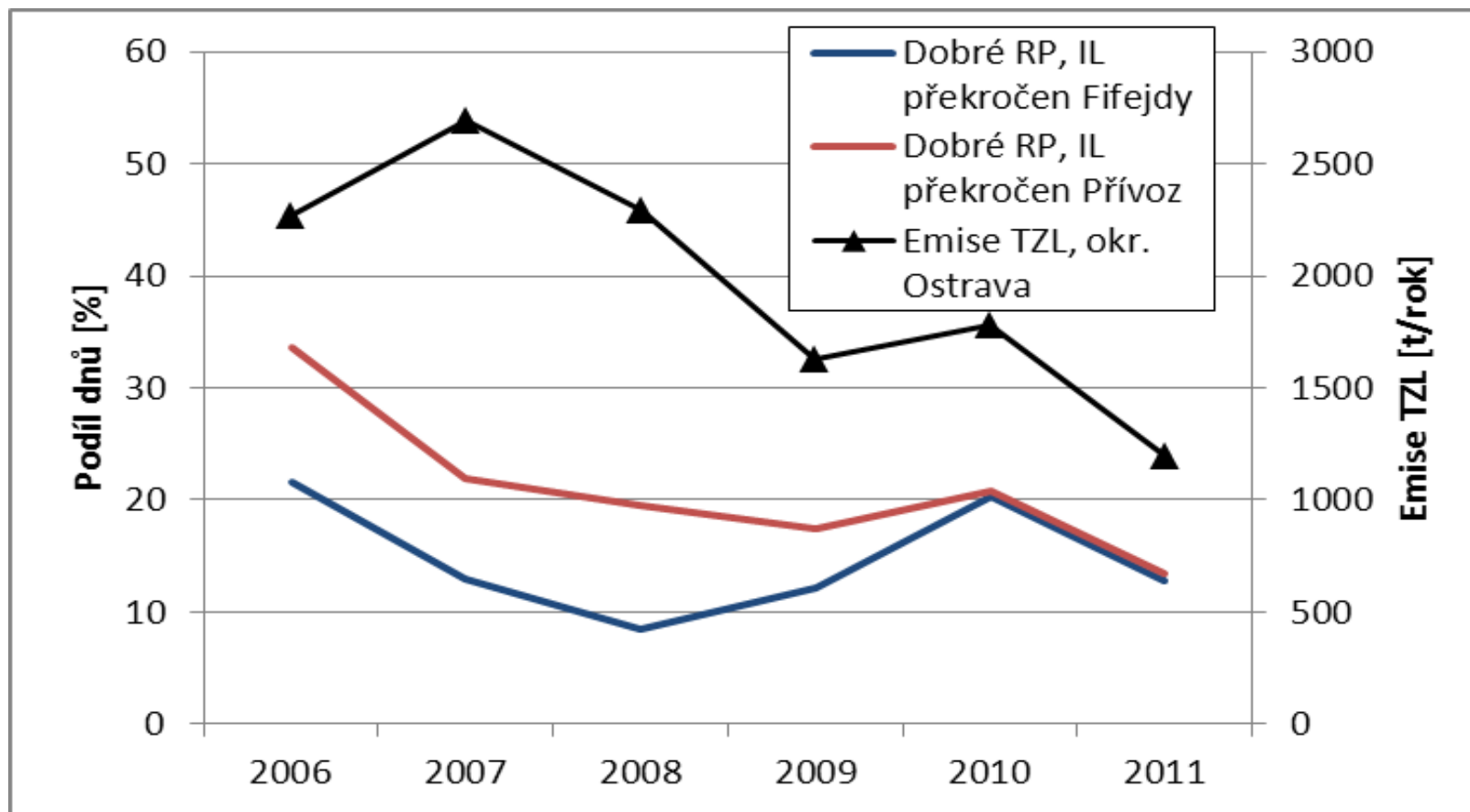
Je zobrazen vývoj ročních emisí TZL pro okres Ostrava za stejné období (údaje za rok 2011 jsou předběžné hodnoty).

Klesající trend podílu výskytu dnů, kdy byl překročen imisní limit, přestože rozptylové podmínky **nebyly nepříznivé** (projevuje se tedy jen vliv změn emisí), koresponduje s klesajícím trendem emisí TZL na okrese Ostrava.

Tento vývoj je dobře vyjádřen především pro stanici Přívoz.

Nárůst emisí TZL v roce 2010 se na obou stanicích projevil zvýšením podílu dnů s překročením IL při dobrých RP (podíl je počítán ze všech dnů, kdy RP byly vyhodnoceny jako příznivé).

## Trendy podílu počtu dnů s dobrými RP, avšak s překročením IL. Porovnáno s vývojem emisí TZL



# Další vývoj

- Data z 10 let
- Rozšířit na všechny stanice AIM
- Zahrnout gradient teploty
- Zahrnout směr větru (sektor směru jako kategoriální proměnná v regresním modelu, poradit si s normálem)