



Turza Śląska Mszana  
Gorzyce  
Skrzyszów  
Jastrzębie-Zdrój Jastrzębie-Zdrój  
Łaziska  
AIM Věřnovice  
Godów  
FOUKÁ Gólkowice  
Bohumín  
Dolní Lutyně  
Dělná Lhota  
Petrovice u Karviné  
Orlové

# SVRS A PŘESHraniČNÍ MIGRACE ZNEČIŠTĚNÍ,

ANEb VŽDY JE DOBRÉ VĚDĚT, ODKUD VÍTR  
FOUKÁ

Josef Keder  
ČHMÚ, Observatoř Tušimice

© 2016 Google

Google Earth

# Motivace

- V souvislosti s posuzováním možností řešení špatné kvality ovzduší v Ostravsko-Karvinské aglomeraci se stávají stále aktuálnějšími úvahy o vlivu zahraničních zdrojů.
- Ten je rovněž nutno brát v úvahu v souvislosti s posuzováním efektivnosti regulačních opatření na zdrojích znečišťujících látek
- Přenos znečištění přes hranice sousedícího státu je rozhodujícím způsobem determinován rozptylovými podmínkami, směrem a rychlostí proudění.
- Vhodně lokalizované monitorovací stanice, vybavené kvalitním měřením meteorologických veličin, umožňují takové úvahy objektivizovat.

# Jak to vypadá v dlouhodobém režimu

- Vyhodnocení dlouhodobého režimu meteorologických podmínek transportu a rozptylu znečištění na Ostravsku v chladných a zimních obdobích za 50leté období 1961–2010 provedl *Blažek (2016)*.
- V chladném ročním období se může vyskytovat průměru 40 dnů se zhoršenými meteorologickými podmínkami rozptylu a naopak průměrně 24 dnů s podmínkami dobrými nebo zlepšenými.



## Co klasik dále zjistil

- V oblasti výrazně převládá jihozápadní proudění. Denní typy směru proudění z jihozápadní poloviny horizontu se v chladném ročním období vyskytly průměrně ve 109 dnech, denní typy proudění ze severovýchodní poloviny průměrně ve 40 dnech.
- V úvahu je třeba brát fakt, že mnohem četnější jihozápadní proudění je spojeno s většími rychlostmi proudění, a tedy s lepšími meteorologickými podmínkami rozptylu.



## Co je v příspěvku

- Režim transportu znečištění studován v detailnějším časovém a prostorovém měřítku.
- Použita data ze stanice AIM Věřňovice, provozuje ČHMÚ.
- Stanice umístěna v rovinaté venkovské krajině v bezprostřední blízkosti státní hranice s Polskou republikou.
- Jihovýchodně od stanice je lokalizována tepelná elektrárna Dětmarovice



# Umístění monitorovací stanice Věřňovice

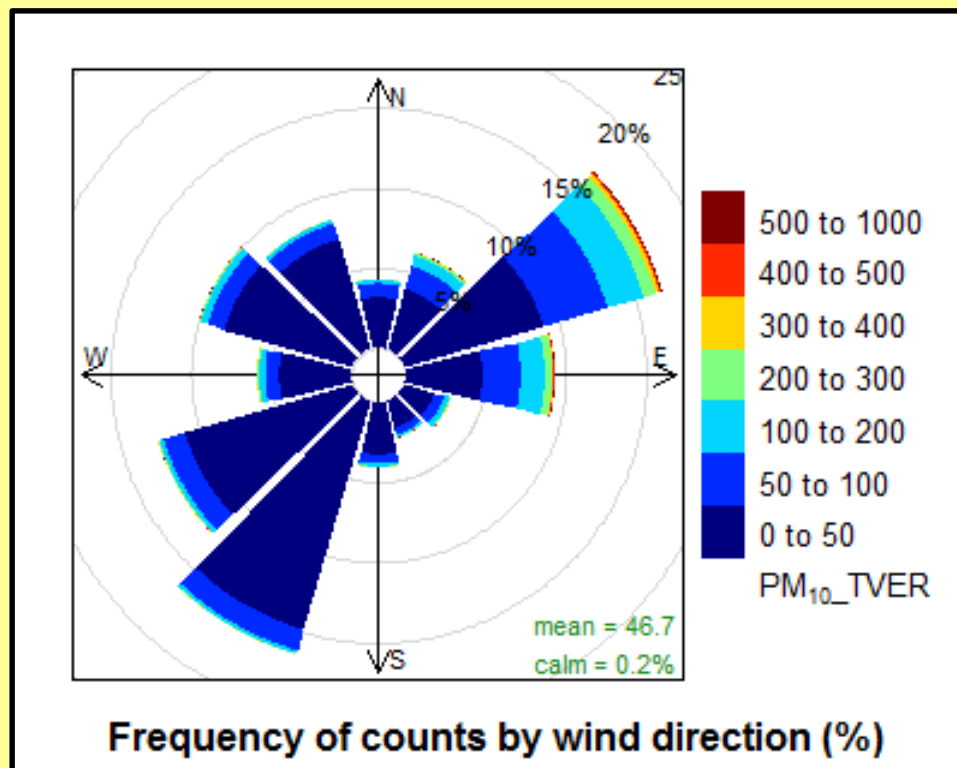


# Data a metody

- Hodinové průměry  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{PM}_{2.5}$
- Doprovodná data směru a rychlosti větru použita pro vyhodnocení režimu transportu a původu koncentrací znečišťujících látek.
- Data pokrývala časové období od 1.10.2011 do 30.9.2017
- Pro zpracování většiny grafických výstupů byl využit software OpenAir (*Carslaw, Ropkins 2012*).



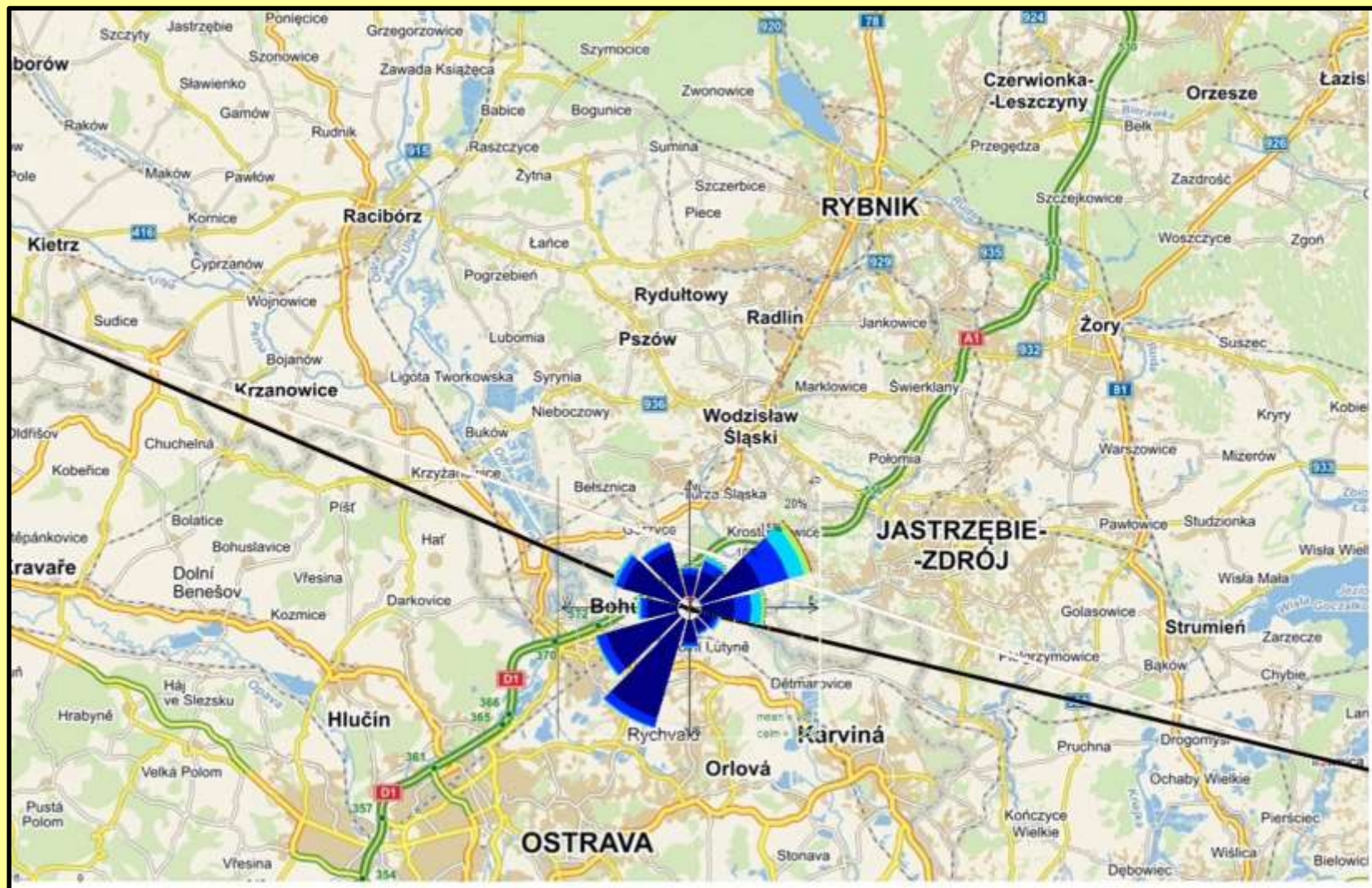
# Růžice relativních četností výskytu jednotlivých tříd koncentrace PM10 v sektorech směru větru, Věřňovice



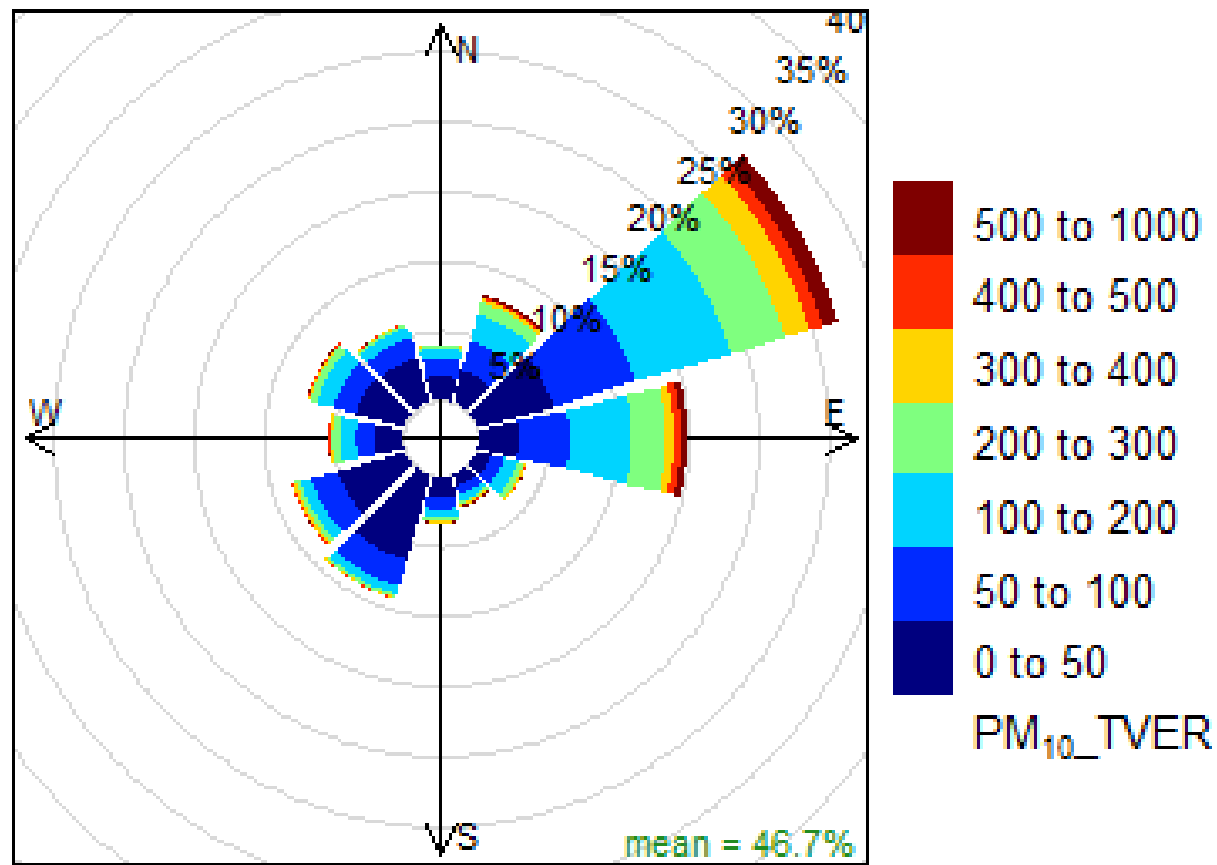
- Nejčastěji se vyskytují SW a NE proudění
- Při proudění z NE podíl výskytu vysokých hodnot koncentrace PM<sub>10</sub> zřetelně vyšší.
- Umístění růžice na mapu umožňuje vytipovat zdrojové oblasti v ČR i v sousedním Polsku, z nichž pochází znečištění ovzduší, detekované na stanici Věřňovice



# Růžice relativních četností výskytu jednotlivých tříd koncentrace $PM_{10}$ , Věřňovice, zdrojové oblasti

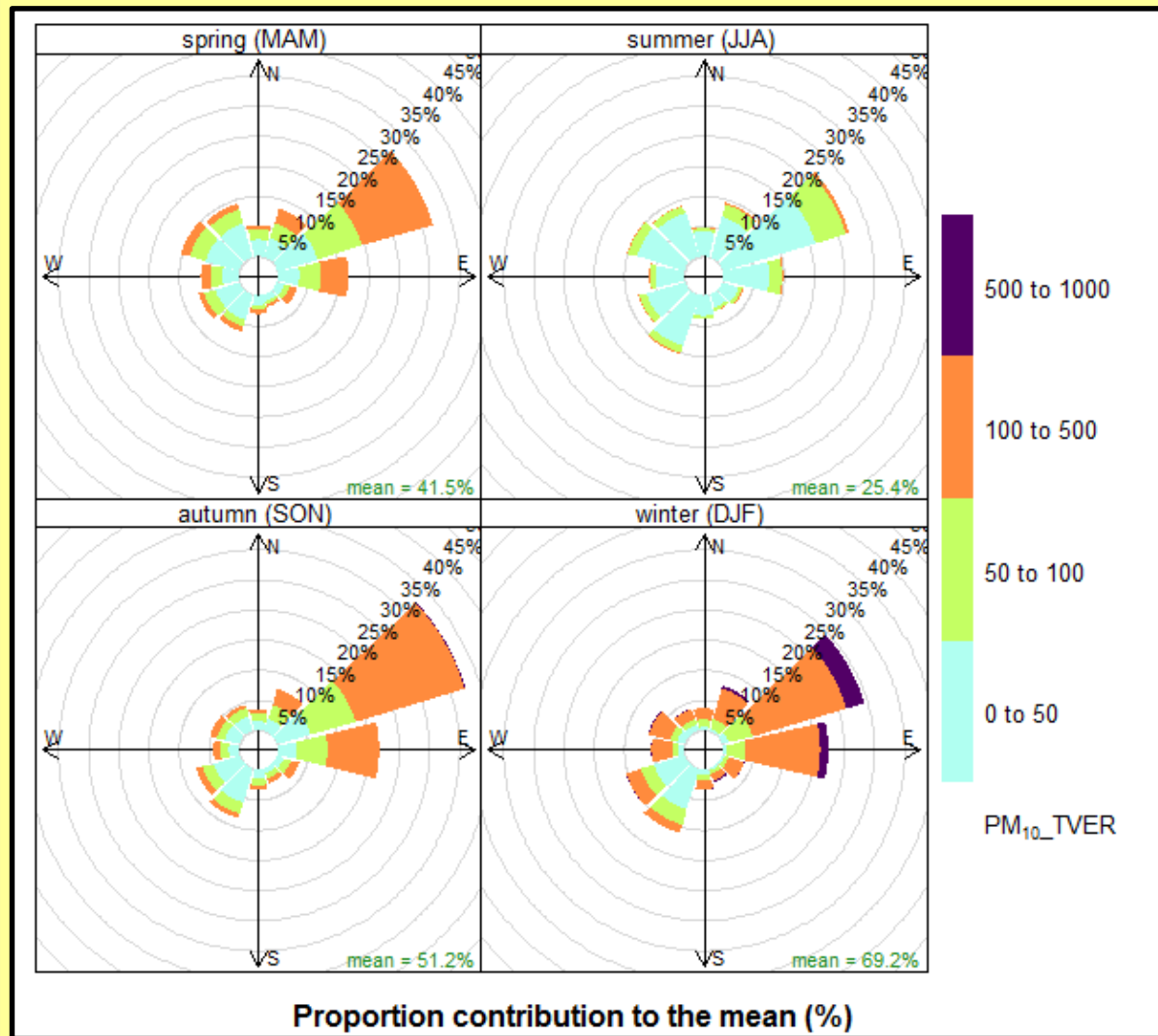


# Které oblasti nejvíce přispívají k průměrné koncentraci na stanici Věřňovice- různé příspěvků ke střední hodnotě

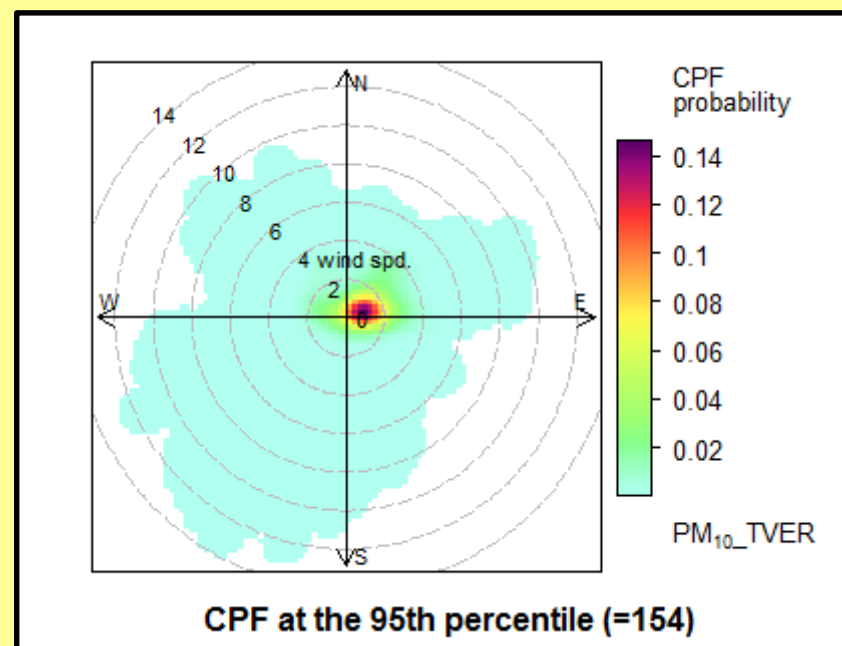
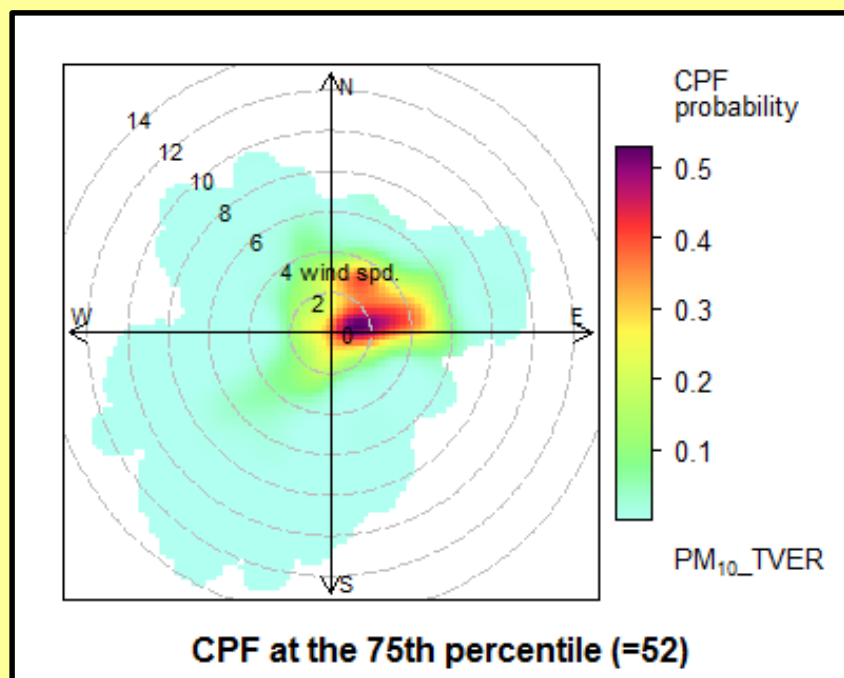


Proportion contribution to the mean (%)

# Růžice příspěvků ke střední hodnotě $PM_{10}$ , sezóny



# Polární graf relativních četností výskytu překročení percentilu souboru koncentrací $PM_{10}$ pro jednotlivé sektory směru a třídy rychlosti větru

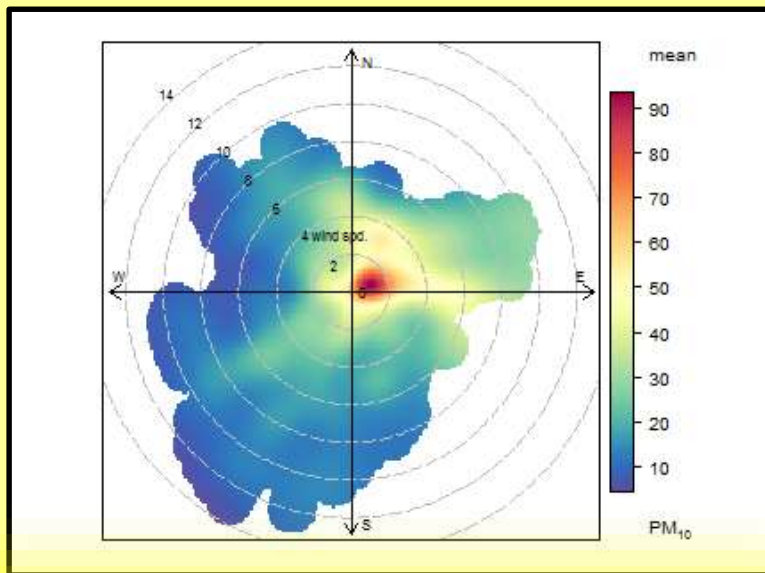


## Co z grafů plyne

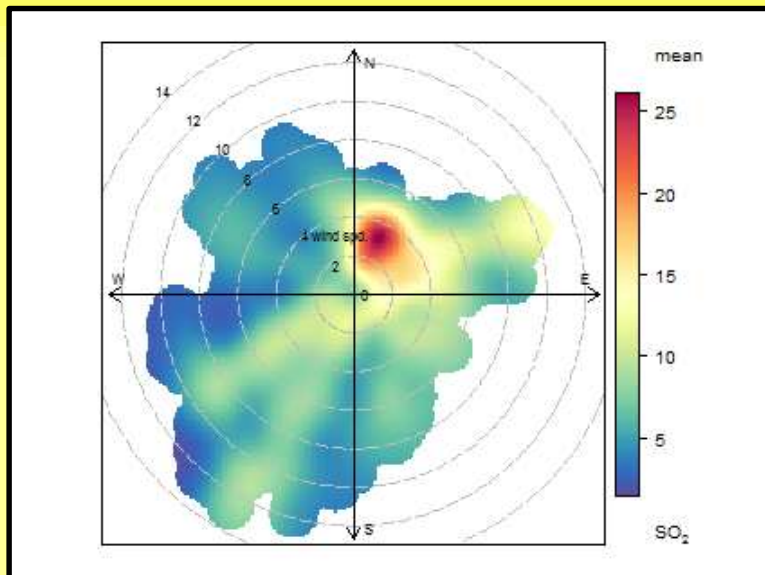
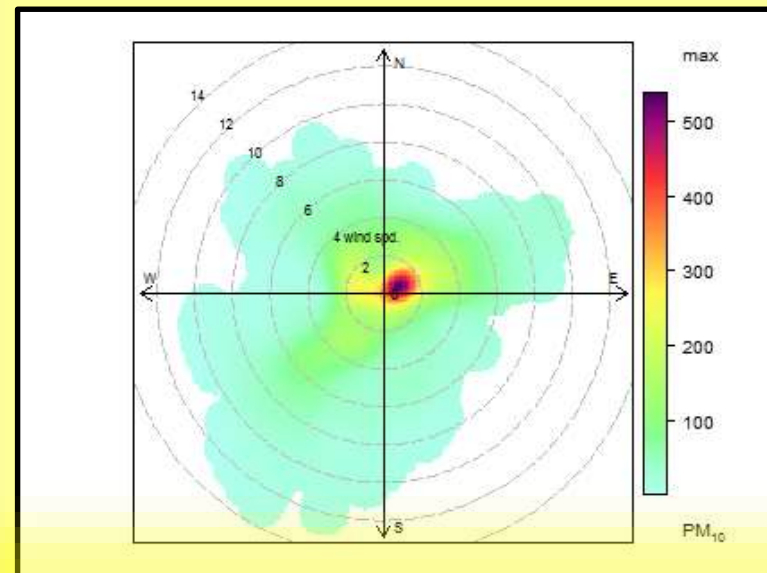
- Nejvyšší četnosti překročení 75.percentilu ( $52 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) – nad 50%, se objevují při rychlostech proudění do  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a proudění z východního sektoru
- Podobná situace nastává v případě překročení hodnoty 95.percentilu ( $154 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) souboru hodinových koncentrací  $\text{PM}_{10}$ .
- Zcela dominantní je severovýchodní proudění a rychlost do  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



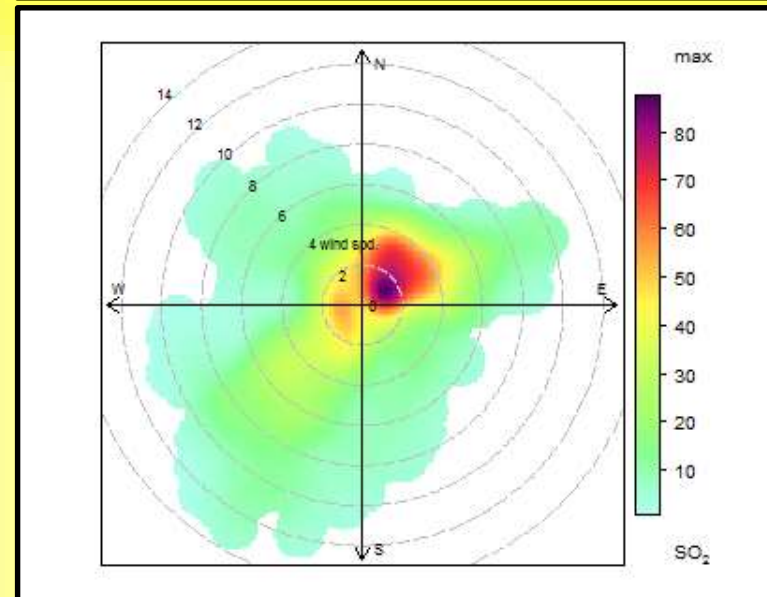
# průměr Porovnání $PM_{10}$ a $SO_2$ maximum



$PM_{10}$



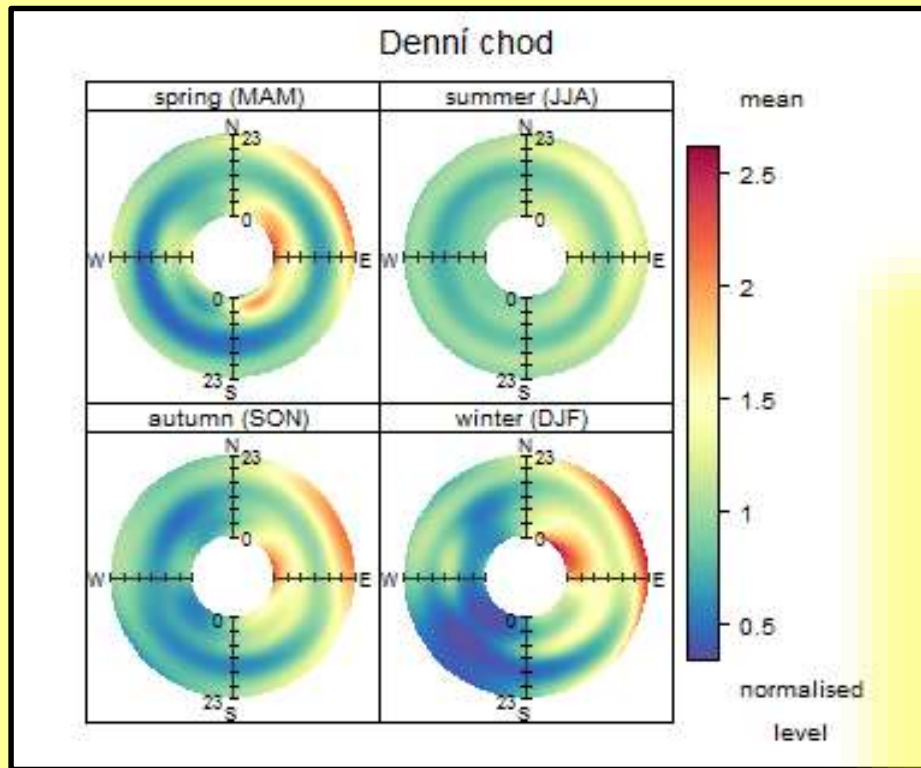
$SO_2$



## Co z grafů plyne

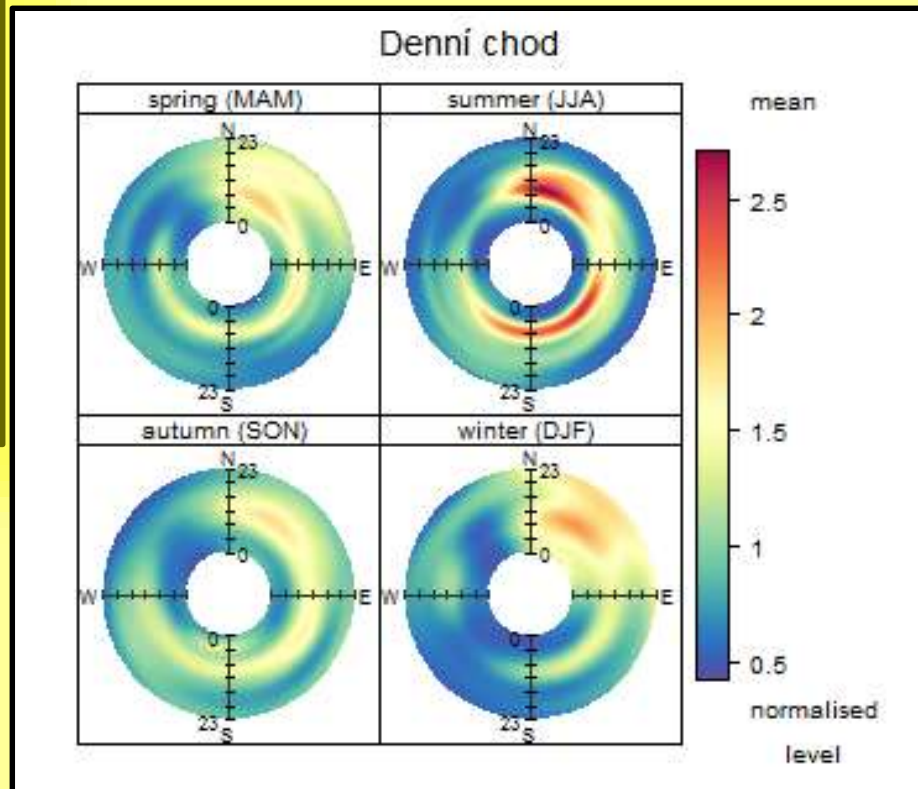
- Nejvyšší hodnoty průměru i maxim  $PM_{10}$  při rychlostech větru do  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a proudění z NE sektoru
- Odpovídá působení nízkých zdrojů
- Nejvyšší hodnoty průměru  $SO_2$  se vyskytují při rychlostech větru mezi  $2$  a  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a proudění z NE sektoru
- Nejvyšší hodnoty maxim  $SO_2$  se vyskytují při rychlostech větru do  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a proudění z NE sektoru, vysoké hodnoty též pro rychlost mezi  $2$  a  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Ukazuje na kombinované působení nízkých a vysokých zdrojů

# Denní chod středních hodnot $PM_{10}$ a $SO_2$ , sezóna, normalizováno



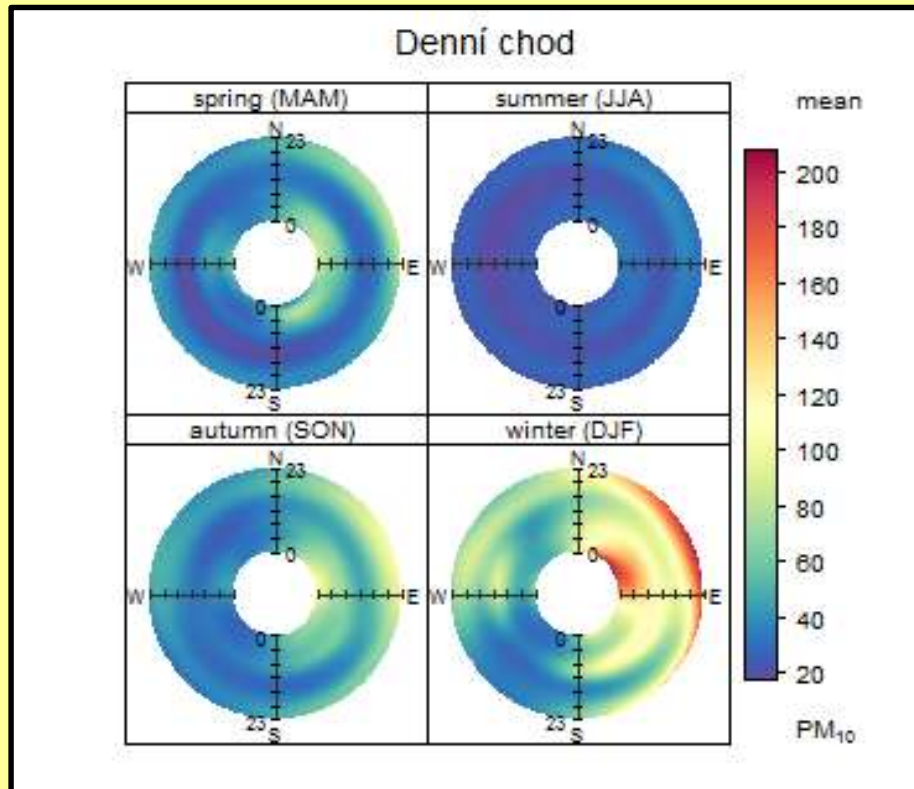
$PM_{10}$

$SO_2$



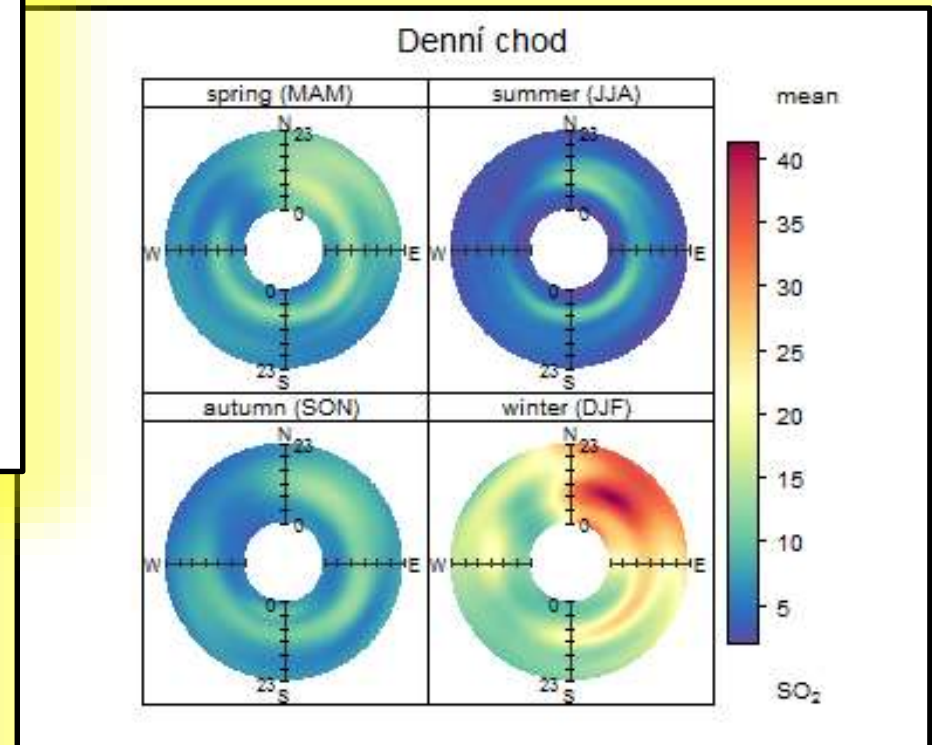


# Denní chod středních hodnot $PM_{10}$ a $SO_2$ , sezóna



$PM_{10}$

$SO_2$



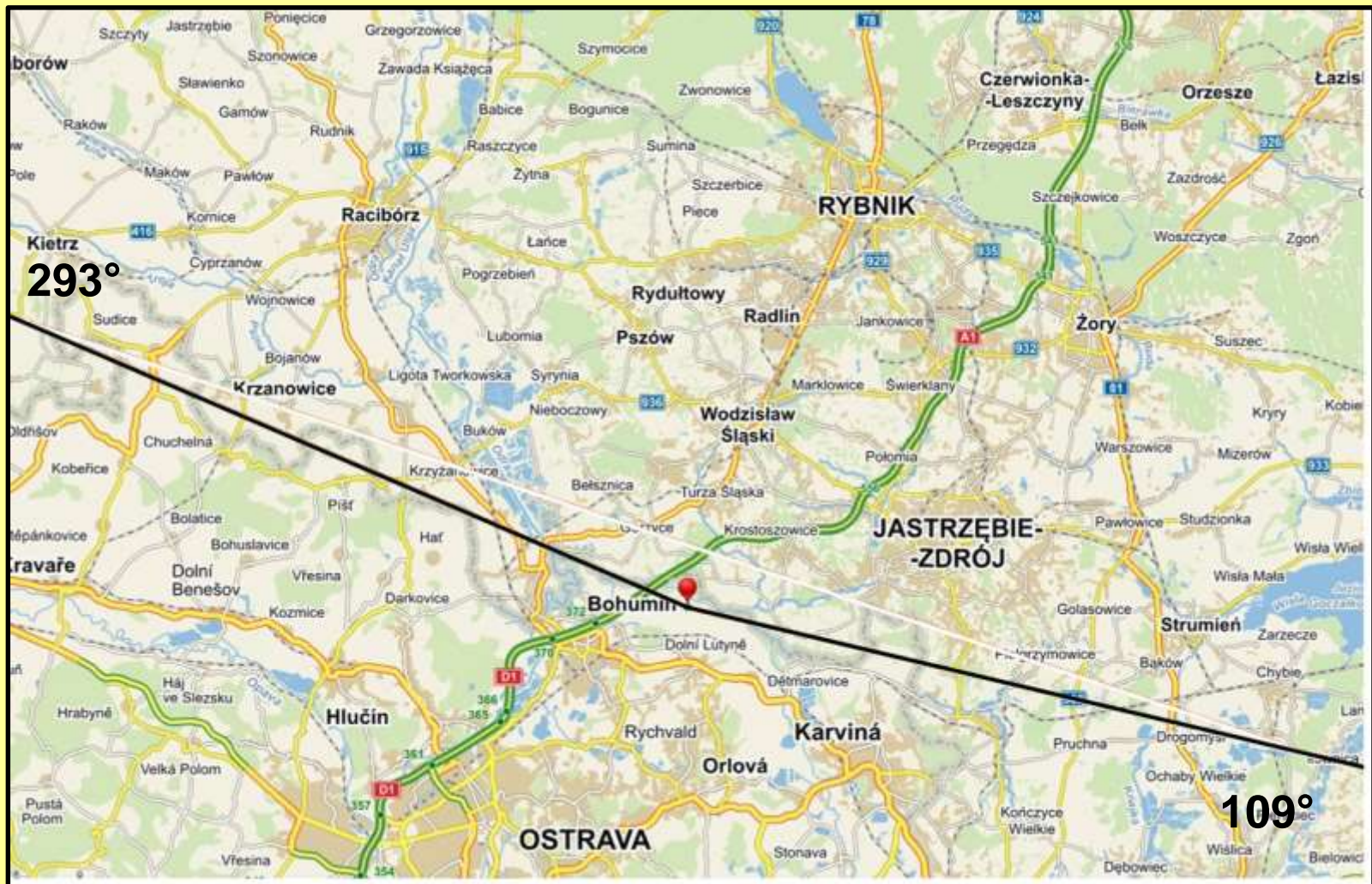
## Co z grafů plyne

- Nejvyšší hodnoty  $PM_{10}$  v NE sektoru, v topné sezóně, v ranních a večerních hodinách, v poledne minimum
- Odpovídá vlivu domácích topenišť
- V případě  $SO_2$  se maxima objevují celoročně, dopoledne a v poledních hodinách, patrně vliv vysokých zdrojů
- Nejvyšší hodnoty  $SO_2$  v zimě z NE sektoru, projevuje se rovněž sektor SE, kde leží elektrárna Dětmarovice

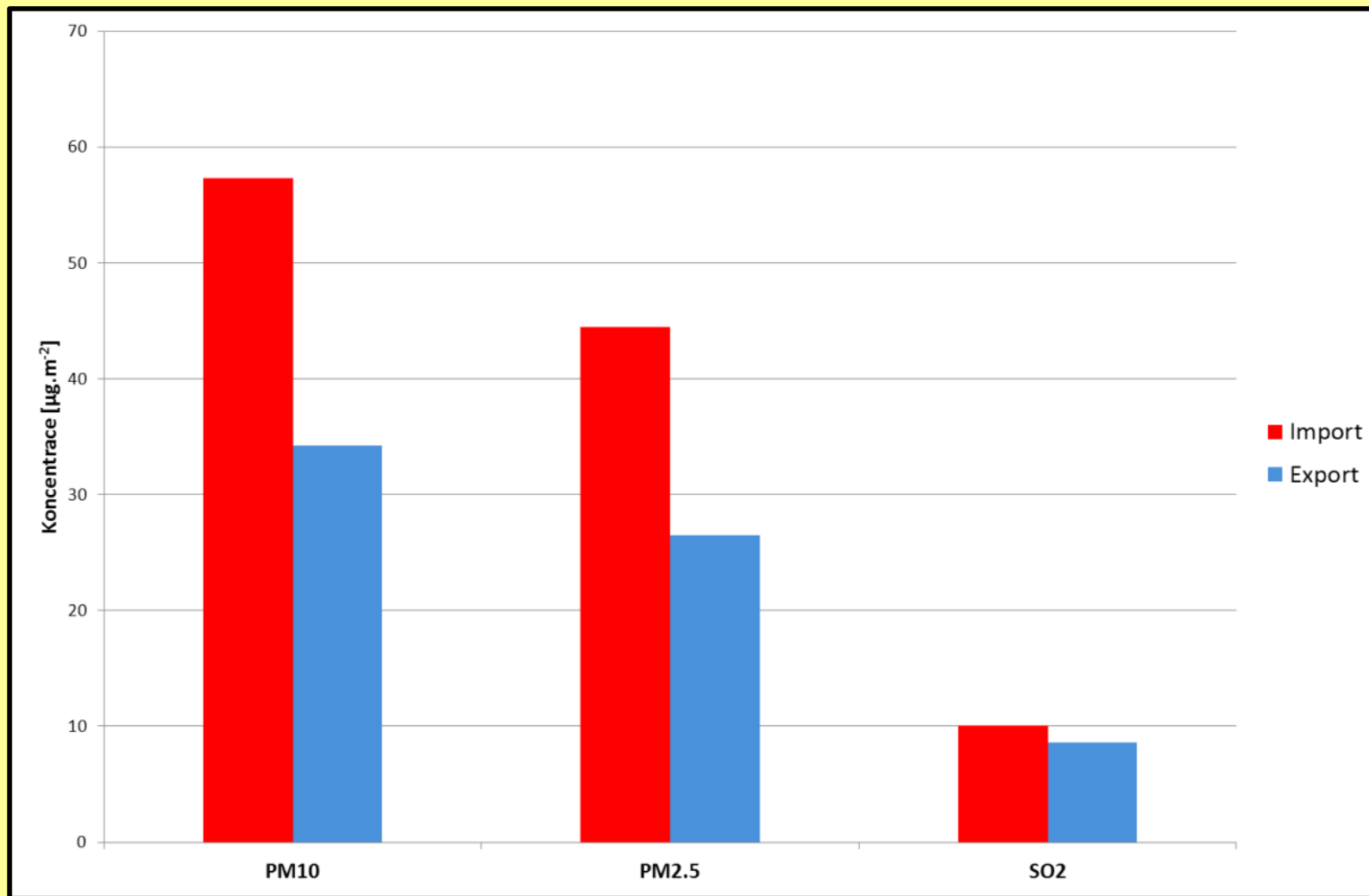
## Režim proudění export / import

- Výsledky analýz navozují myšlenku definovat exportní a importní režim proudění na stanici Věřňovice a odhadnout bilanci přeshraničního přenosu znečištěných látek v okolí této lokality
- Jako hranice pro rozlišení exportních a importních směrů větru byl pro Věřňovice stanoven
- sektor azimutů  $109^\circ$  až  $293^\circ$  pro **export** z území ČR
- sektor azimutů od  $293^\circ$  do  $360^\circ$  a dále pro směry od severu do  $109^\circ$  pro **import** na území ČR

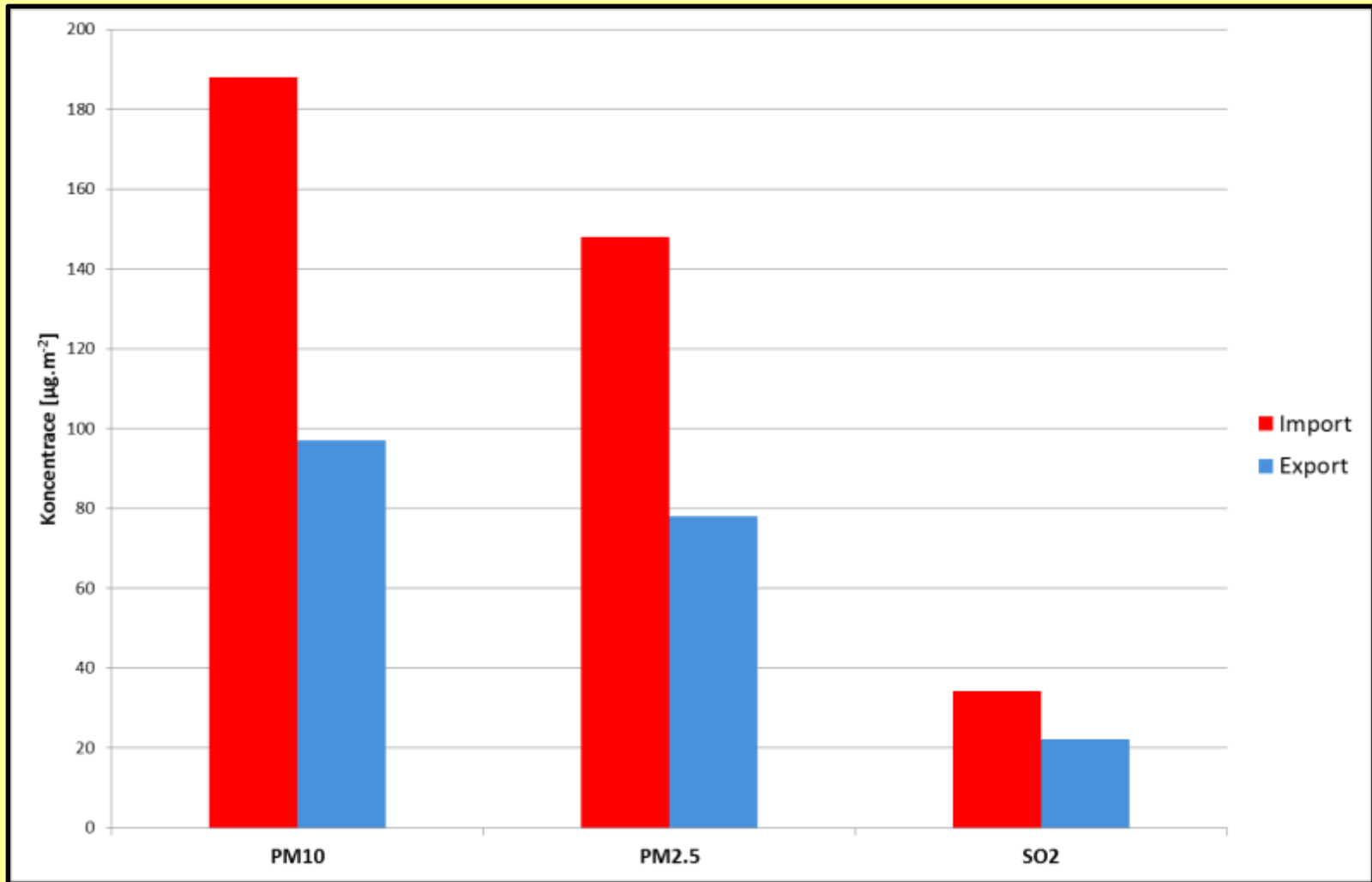
# Sektory export / import



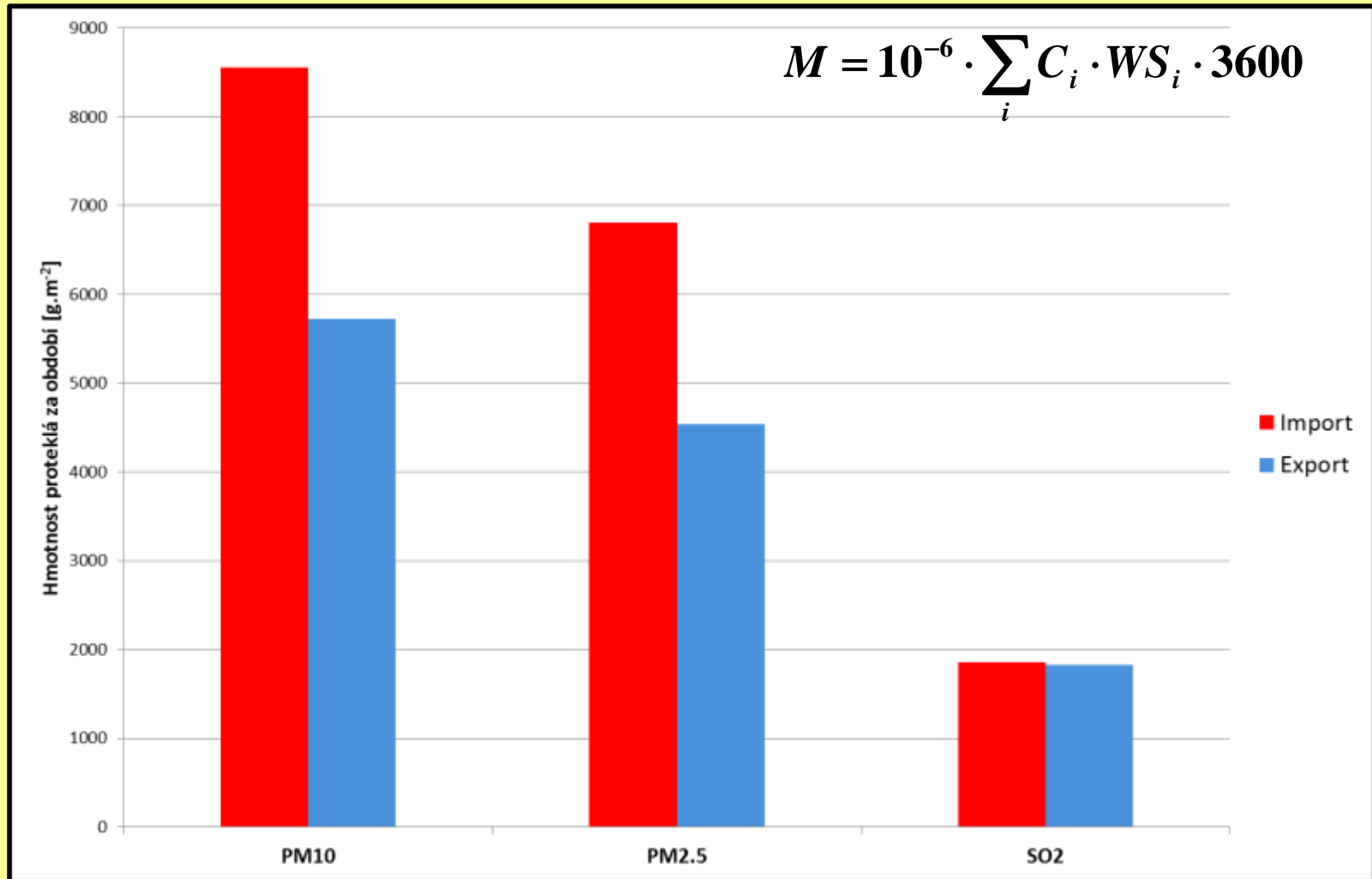
# Průměrné koncentrace při exportním a importním režimu proudění (za celé období)



# Hodnoty 95.percentilu koncentrace při exportním a importním režimu proudění



# Porovnání hmotnosti znečišťujících látek, exportovaných a importovaných přes jednotku plochy na stanici Věřňovice během sledovaného období [g.m<sup>-2</sup>]



Import od sousedů, zejména v případě  $PM_{10}$ ,  
je významný

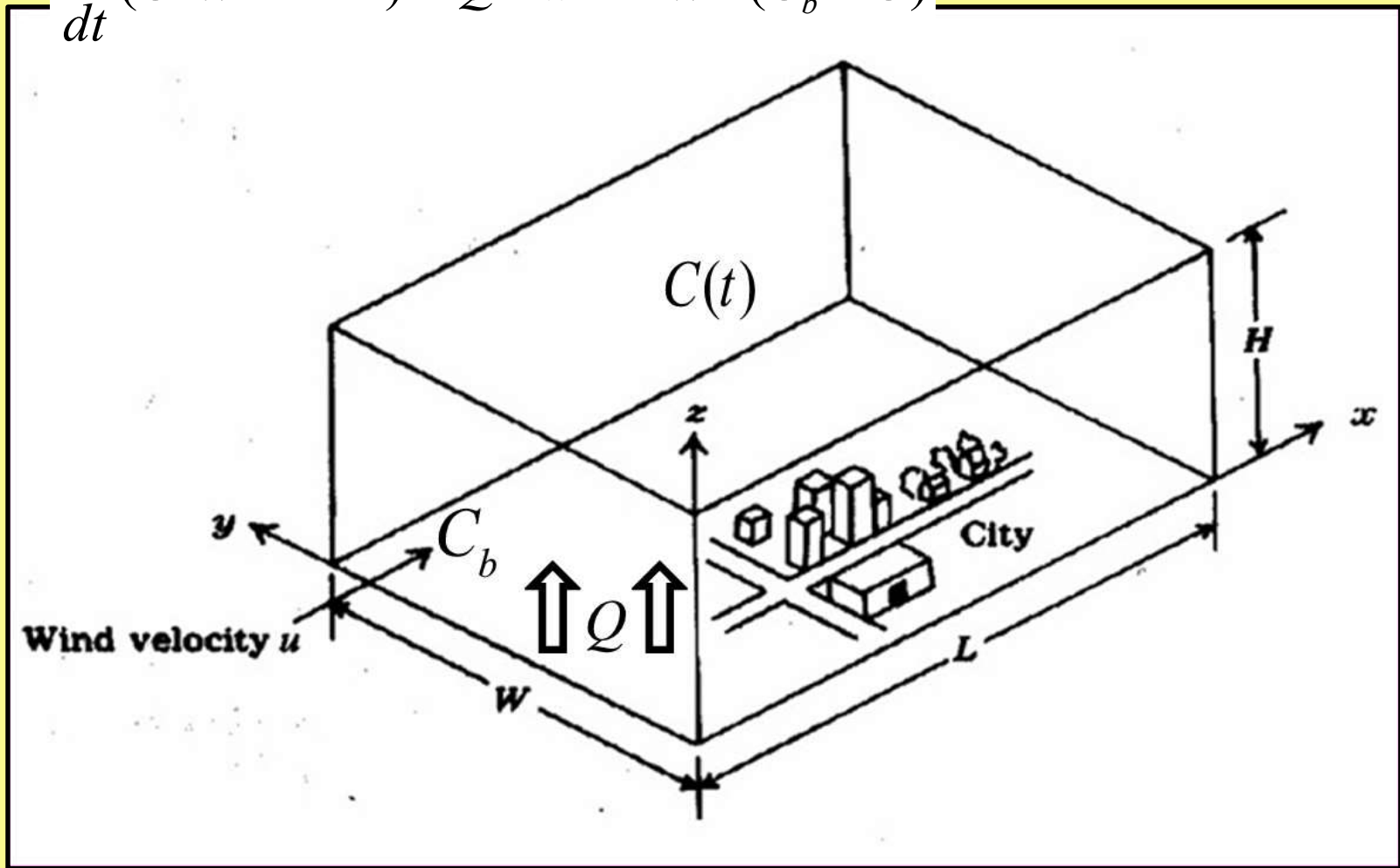
Může to ovlivnit efekt opatření v rámci  
SVRS?

Zkusme vliv simulovat jednoduchým modelem



# Box-model (Zanetti 1990; Seinfeld & Pandis 2016)

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



# Řešení bilanční rovnice

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

Za předpokladu, že  $H = \text{konst.}$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{q}{H} + \frac{(C_b - C)}{\tau}$$

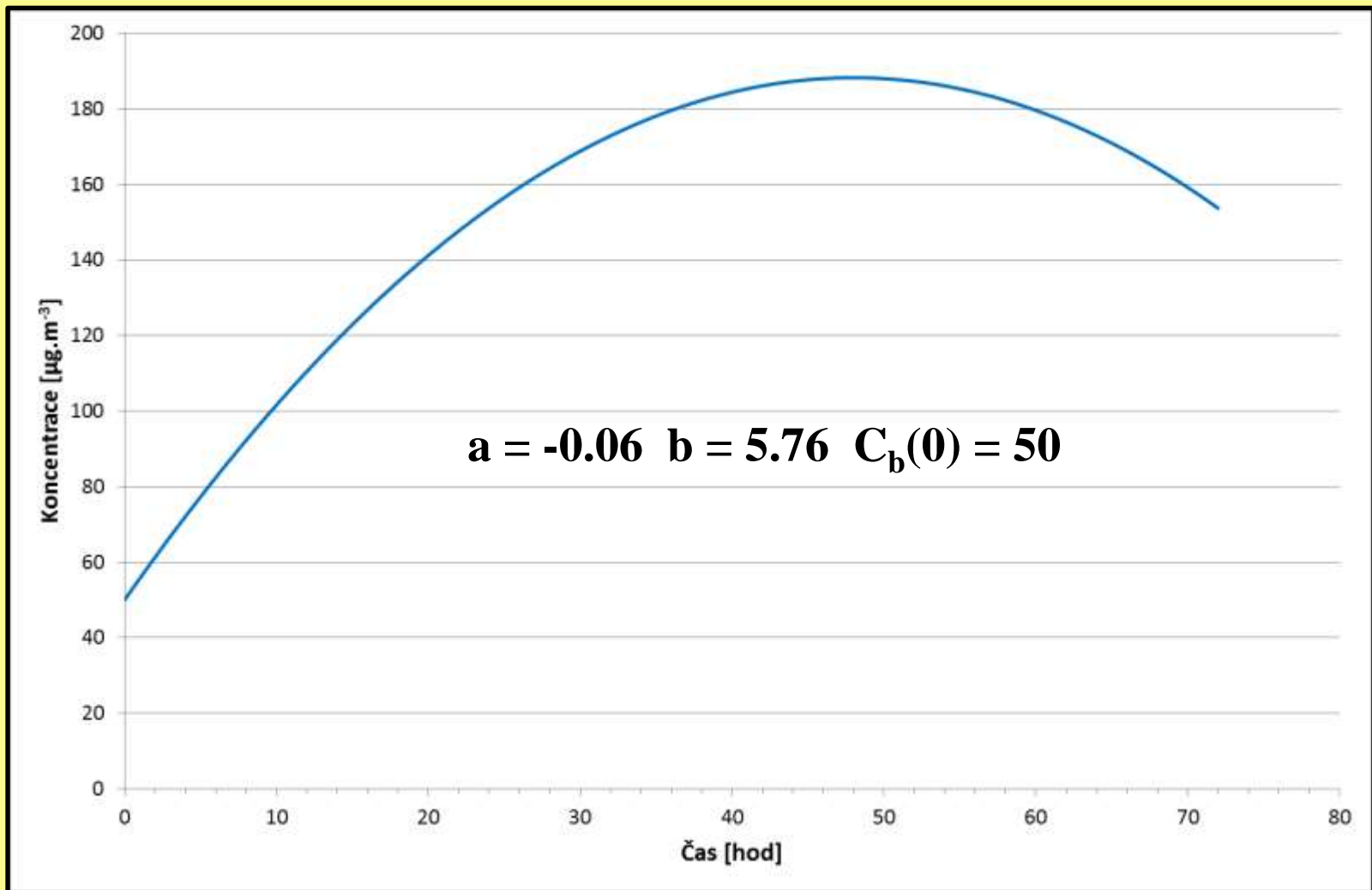
kde  $q$  je měrná emise v  $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\tau = \frac{L}{u}$

Předpokládejme  $L = 15000 \text{ m}$ ,  $q = 1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$



# Předpokládejme kvadratickou závislost $C_b$ na čase

$$C_b(t) = a \cdot t^2 + b \cdot t + C_b(0)$$



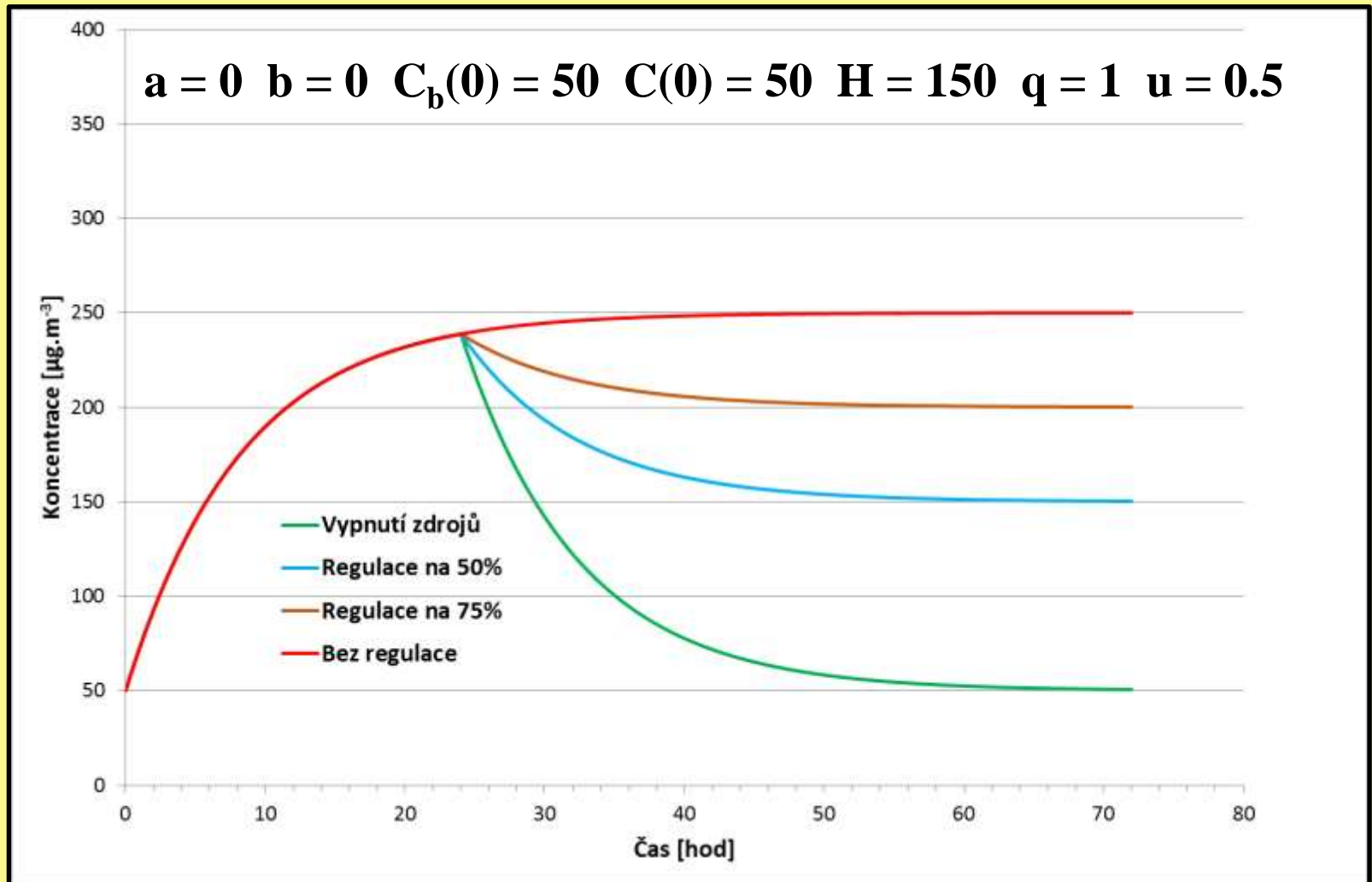
# Řešení diferenciální rovnice

$$C(t) = \left[ C(0) - \frac{q \cdot \tau}{H} - C_b(0) + \tau \cdot (b - 2 \cdot a \cdot \tau) \right] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{q \cdot \tau}{H} + a \cdot t^2 + (b - 2 \cdot a \cdot \tau) \cdot (t - \tau) + C_b(0)$$

Umožňuje konstruovat různé scénáře vývoje koncentrace a regulačních zásahů

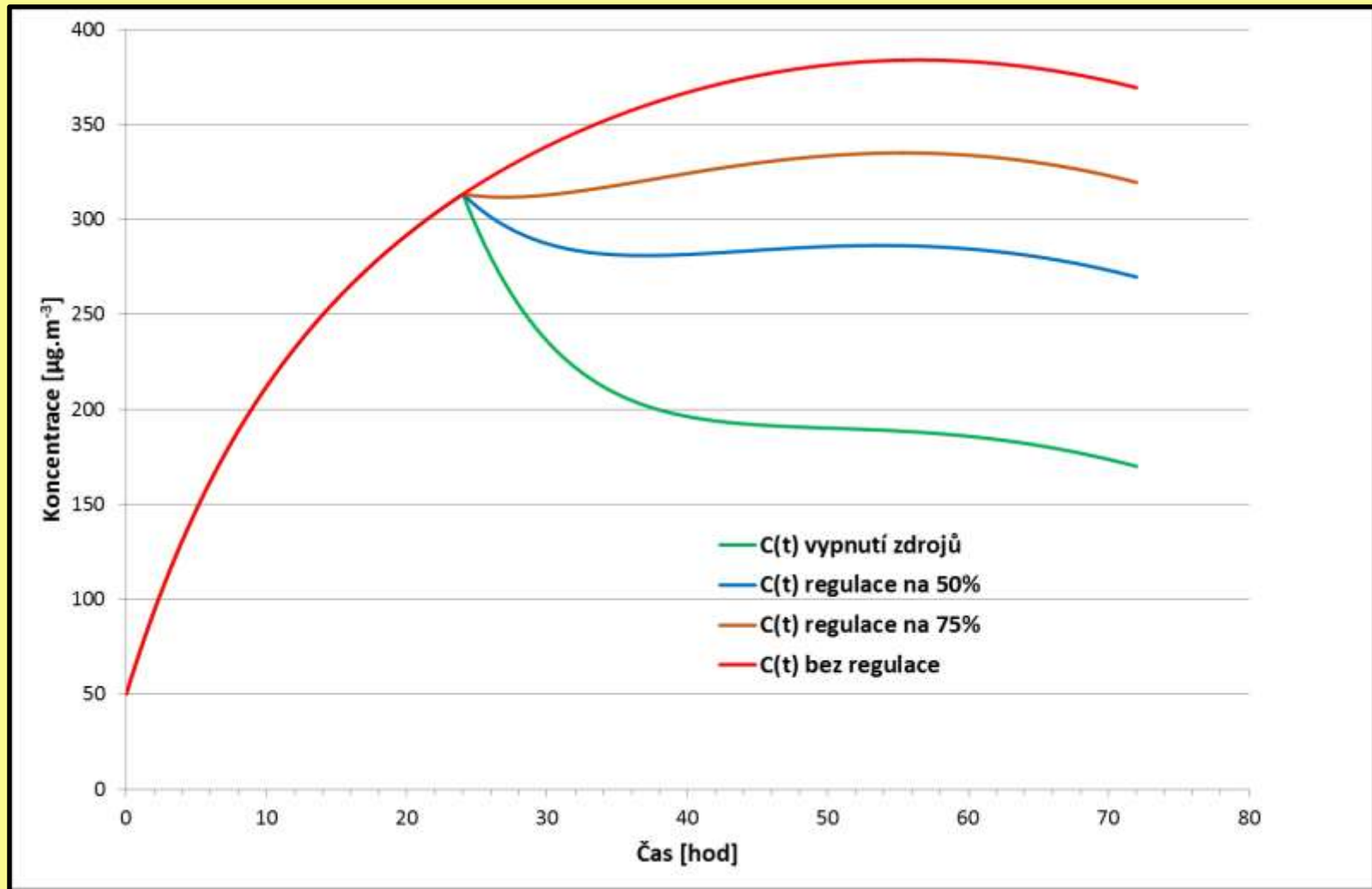


# Regulační zásah ve 24. hodině, $C_b = \text{konst.}$



# Regulační zásah ve 24. hodině, $C_b$ roste v čase

$a = -0.06$   $b = 5.76$   $C_b(0) = 50$   $C(0) = 50$   $H = 150$   $q = 1$   $u = 0.5$

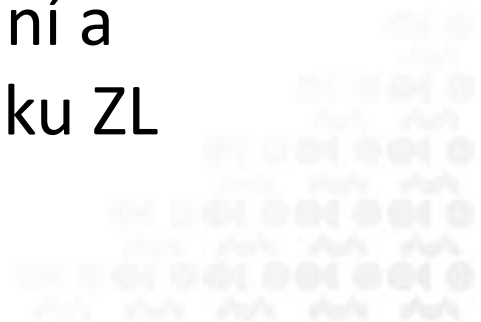


## Co plyne ze simulace

- V případě stacionární situace (žádná veličina se v čase nemění), se úroveň znečištění ustálí na určité hladině
- Regulační zásahy (snížení hodnoty  $q$ ) mohou situaci zlepšit
- Nicméně ani utlumení všech zdrojů ( $q = 0$ ) vzduch zcela nevyčistí, koncentrace se ustálí na hodnotě  $C_b$ , importované do „boxu“
- Když importovaná koncentrace roste  $C_b$  v čase, je dosažení znatelného efektu regulace obtížné
- Ani naprosté utlumení zdrojů situaci úplně nezlepší, ta je zcela v režii importu přes vstupní stěnu „boxu“ a jeho vyčištění trvá dlouho
- Proces by samozřejmě uspíšilo zlepšení podmínek rozptylu

## Co by šlo dělat dál

- Měnit čas regulačního zásahu
- Řešení rovnice pro časově proměnlivou výšku boxu  $H$
- Řešení rovnice pro jiné tvary časové závislosti importované koncentrace
- Řešení rovnice pro skokovou změnu rychlosti větru
- Sledovat reálné změny  $H$  pomocí ceilometru ve Věřňovicích za inverzních situací
- Pomocí měření za pohybu zjistit vertikální a horizontální rozložení přeshraničního toku ZL





# Závěrečné prohlášení

**Zjištěné výsledky naznačují, že efekt regulací je limitován vnějšími příčinami, které očekávaný přínos regulačních opatření mohou snižovat nebo zcela potlačit**

**Nikterak nepopírají opodstatněnost provozu SVRS a aplikaci regulačních opatření**

**Dávají odpověď na otázku, proč i při použití masivních regulací nedojde k veřejností požadovanému poklesu úrovně znečištění**

**Naznačují směr, na který by bylo možné se soustředit při hledání možností, jak situaci zlepšit**