

# ZHODNOCENÍ MOŽNOSTI SNÍŽENÍ ČETNOSTI VÝSKYTU PŘEKRAČOVÁNÍ IMISNÍCH LIMITŮ CESTOU REGULACE EMISÍ

**Josef Keder, Lenka Janatová**  
*Český hydrometeorologický ústav*



# MOTIVACE

- Potřeba aplikace vhodných opatření k expozici obyvatelstva - v souvislosti s problémy, které vyvolává časté překračování imisních limitů pro suspendované částice.
- Redukce emisí zdrojů jako dlouhodobé opatření nebo formou dočasných omezení v rámci smogového regulačního systému - nabízí se jako nejúčinnější
- Realizace snížení emisí obvykle vyžaduje technicky a ekonomicky náročná řešení
- Efekt redukce emise vybraného zdroje na snížení imisní koncentrace pod hranici imisního limitu ovlivněn řadou faktorů
- Provedená analýza poukazuje na skutečnost, že v některých případech ani masivní redukce emise nemusí přinést očekávaný efekt v oblasti snížení imisní zátěže.
- Velikost emise zdroje sama o sobě nemůže být jediným kritériem pro jeho zařazení mezi ty, u nichž je nutno opatření ke snížení emise aplikovat.

# NĚCO TEORIE

- Předpokládejme, že v nějaké lokalitě se souřadnicemi (X,Y) je koncentrace znečišťující látky C(x,y).
- Na této koncentraci se podílí celkem N zdrojů, každý příspěvkem  $C_i$
- Výsledná koncentrace je součtem jejich příspěvků

$$C = \sum_{i=1}^N C_i$$

# TEORIE 2

- Imisní zátěž  $IZ$  v bodě  $(X, Y)$  vyjádříme v procentech imisního limitu  $LV$

$$IZ = \frac{C}{LV} \cdot 100\%$$

# TEORIE 3

- Předpokládejme, že j-tý zdroj, u něhož budeme snižovat emise, se na celkové koncentraci  $C$  podílí příspěvkem  $C_j$
- Procentuální podíl tohoto zdroje na celkové koncentraci je tedy

$$P_j = \frac{C_j}{C} \cdot 100\%$$

# TEORIE 4

- Předpokládejme dále, že emise tohoto j-tého zdroje je  $E_j$  a provedeme její snížení o  $A_j\%$ .
- Pokud se nemění další parametry zdroje ani rozptylové (meteorologické) podmínky, platí mezi emisí zdroje a jeho koncentračním příspěvkem lineární vztah
- Koncentrační příspěvek j-tého zdroje  $C_j$  se sníží stejným procentuálním podílem jako emise, takže koncentrační příspěvek po snížení emise bude

$$C'_j = C_j \cdot \left(1 - \frac{A_j}{100}\right)$$

# TEORIE 5

- Celková imisní koncentrace po redukci j-tého zdroje bude

$$C' = \sum_{i \neq j} C_i + C'_j = \sum_{i \neq j} C_i + C_j - \frac{C_j \cdot A_j}{100}$$

- Protože

$$\sum_{i \neq j} C_i + C_j = C$$

# TEORIE 6

- Přepíšeme

$$C' = C - \frac{C_j \cdot A_j}{100}$$

- Příspěvek  $C_j$  vyjádříme pomocí podílu zdroje  $P_j$  a celkové koncentrace  $C$  jako

$$C_j = C \cdot \frac{P_j}{100}$$



# KONEC TEORIE

- Po úpravách dostaneme

$$IZ = IZ_0 \cdot \left(1 - \frac{A_j \cdot P_j}{10000}\right)$$

- kde  $IZ$  je imisní zátěž lokality po redukci  $j$ -tého zdroje
- $IZ_0$  původní imisní zátěž, obojí vyjádřeno v procentech hodnoty imisního limitu
- Odvozený vztah umožňuje posoudit efekt snížení emise vybraného zdroje na redukci imisní zátěže v lokalitě, na jejímž znečišťování se podílí.

# PŘÍKLAD

- Uvažujme imisní zátěž  $IZ_0=150\%$  imisního limitu, podíl vybraného zdroje na imisní zátěži  $P_j= 20\%$  a redukci jeho emise na polovinu, tedy  $A_j=50\%$

- Imisní zátěž po redukci emise bude

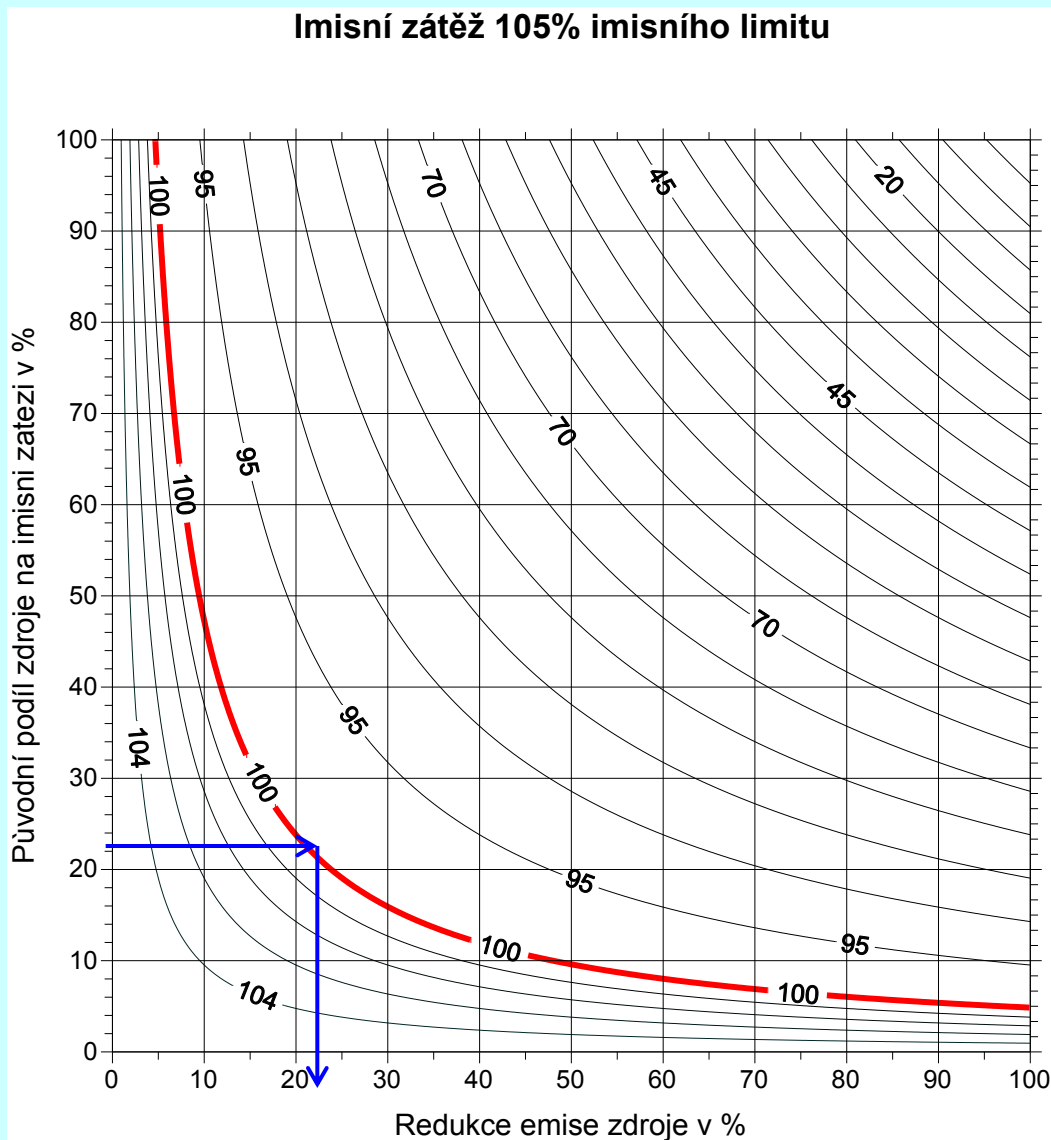
$$IZ = 150*(1-50*20/10000)=135\%$$

- Je zřejmé, že ani tak výraznou redukcí emise zdroje s významným podílem na celkové koncentraci nebylo dosaženo potřebného snížení imisní zátěže, imisní limit je stále o 35% překročen

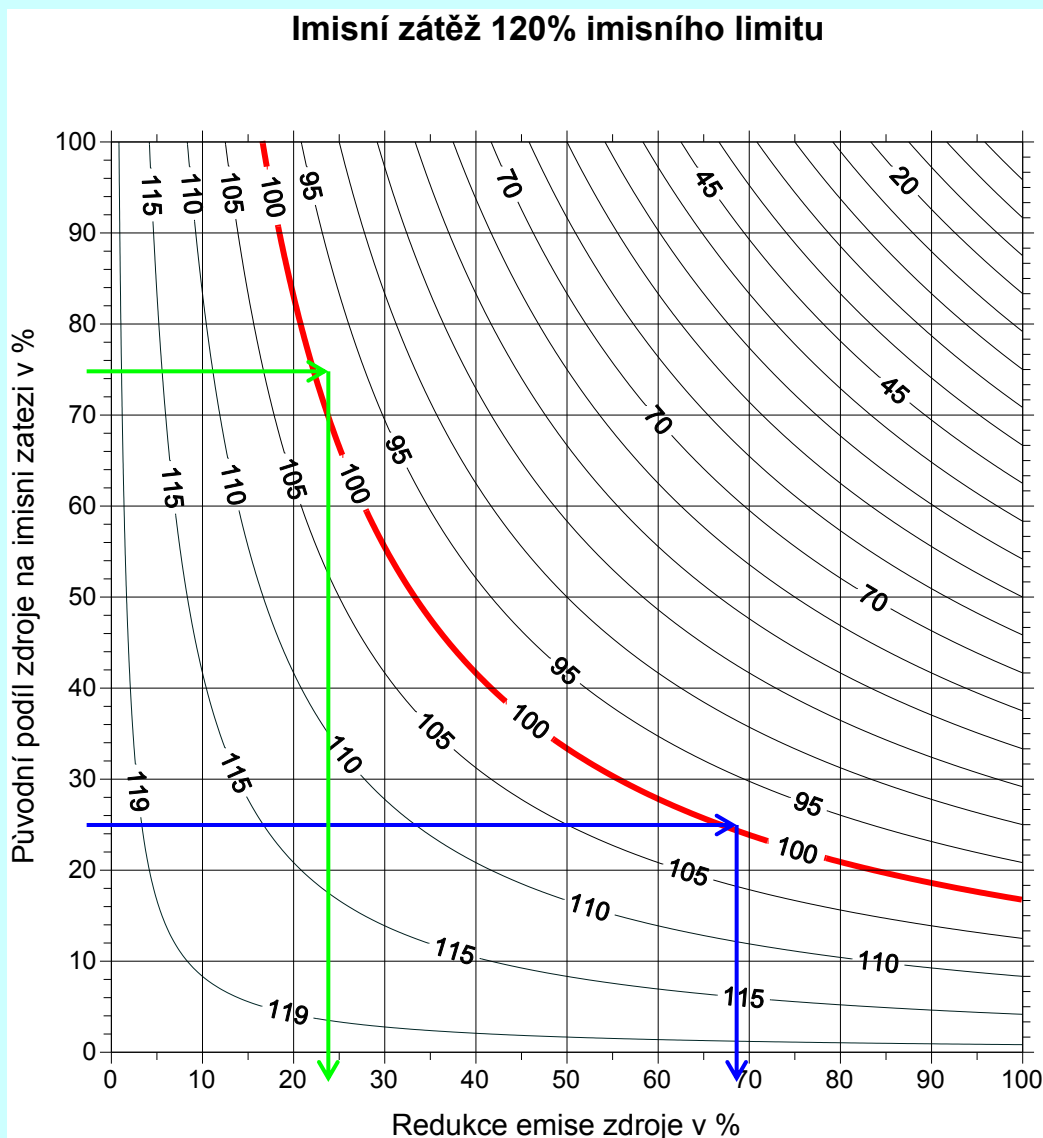
# NOMOGRAMY

- Pomocí odvozeného vzorce byly zkonstruovány nomogramy pro odhad efektu redukce zdroje se zadaným podílem na imisní zátěži
- Na ose X je procentuální redukce emise zdroje, na ose Y procentuální podíl zdroje na celkové imisní zátěži
- Křivky v poli grafu odpovídají imisní zátěži, vyjádřené v procentech imisního limitu
- Červeně silnou čarou je vyznačena hodnota 100%, odpovídající právě hodnotě imisního limitu.
- Na osách X a Y zvolíme hodnoty redukce emise a podílu zdroje na imisní zátěži a vedeme kolmice k osám
- V jejich průsečíku zjistíme imisní zátěž po redukci emise, v procentech imisního limitu
- Body ležící nad zvýrazněnou křivkou, označenou jako 100%, odpovídají snížení koncentrace pod imisní limit, body pod zvýrazněnou křivkou leží v oblasti, kde by redukce emise nepřinesla žádaný efekt.

# NOMOGRAMY – PŘÍKLAD 1



# NOMOGRAMY – PŘÍKLAD 2



# ODVOZENÉ ZÁKONITOSTI

Z rozboru nomogramů vyplývají některé zákonitosti:

- čím vyšší je překročení imisního limitu, tím obtížnější je pomocí redukce emise jednoho zdroje dosáhnout snížení koncentrace pod imisní limit
- redukce emise zdroje s malým příspěvkem k celkové koncentraci nemá potřebný efekt
- toto je nutno brát v úvahu u zdrojů, které sice mohou mít vysokou emisi, avšak v důsledku velké vzdálenosti od lokality nebo využití vysokého komína se na její zátěži podílejí jen málo.

# REDUKCE PRO VÍCE ZDROJŮ

- Efekt snížení emise u více zdrojů najednou, pro něž jsou známy jejich podíly na imisní zátěži  $P_k$  a navržené redukce  $A_k$
- Možno sledovat pomocí vztahu, který získáme jednoduchým rozšířením vzorce pro jeden zdroj

$$IZ = IZ_0 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{k=1}^n a_k \cdot P_k}{10000}\right)$$

- Lze též konstruovat scénáře pro různé kombinace parametrů
- Optimální řešení je možné najít například pomocí nástroje EXCEL Solver.

# PŘÍKLAD VYUŽITÍ EXCEL Solver

- Předpokládejme například, že imisní zátěž v zájmové lokalitě  $IZ_0$  činí 115% imisního limitu
- Imisní zátěž se budeme snažit snížit redukcí emise 5 zdrojů, jejichž procentuální podíl na imisní zátěži  $P_k$  činí po řadě 10, 15, 20, 28 a 27%,  $k = 1,2..5$
- Předpokládejme dále, že emise jednotlivých zdrojů je možné snížit po řadě nanejvýš o 20, 20, 20, 15 a 5%
- Za těchto omezujících podmínek hledáme optimální sadu procentuální redukce emisí jednotlivých zdrojů  $A_k$ ,  $k = 1,2 ..5$  takovou, aby imisní zátěž lokality  $IZ$  po redukcí odpovídala 99% imisního limitu
- Pomocí nástroje EXCEL Solver vypočteme potřebná procentuální snížení emise zdrojů 15.06, 19.9, 19.86, 14.81 a 4.82%.

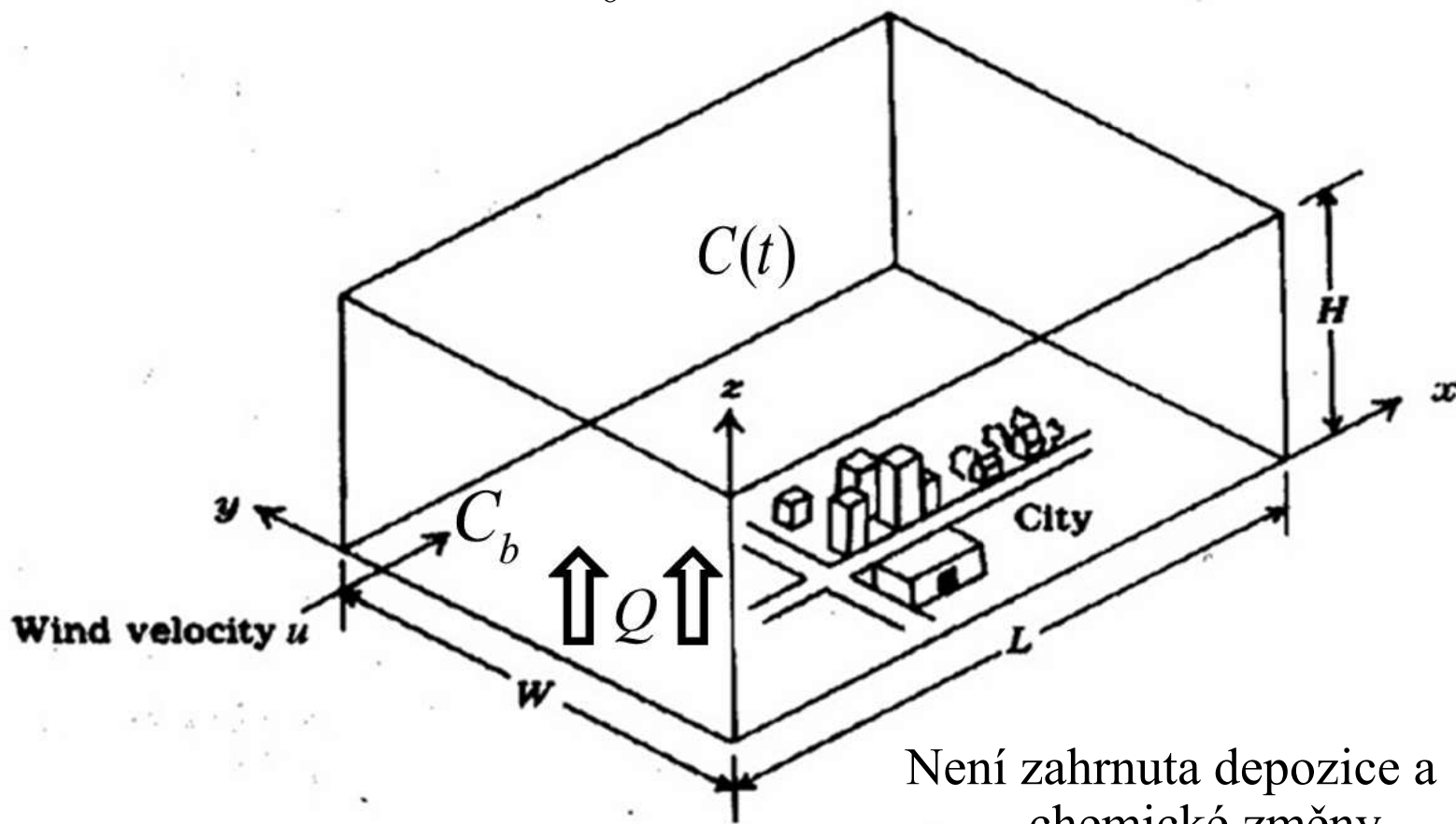


# POUČENÍ Z TOHO PLYNOUCÍ

- Provedena analýza přínosu snížení emise vybraného zdroje, který se spolupodílí na imisní zátěži ve vybrané lokalitě, ke splnění imisního limitu za předpokladu, že kromě snížení emise nedojde ke změně dalších parametrů zdroje ani rozptylových podmínek
- Ukazuje se, že ani masivní redukce emise nemusí přinést očekávaný efekt v oblasti snížení imisní zátěže.
- Čím vyšší je překročení imisního limitu, tím obtížnější je pomocí redukce emise jednoho zdroje dosáhnout snížení koncentrace pod imisní limit.
- Redukce emise zdroje s malým příspěvkem k celkové koncentraci nemá potřebný efekt; což je nutno brát v úvahu zejména u zdrojů, které sice mohou mít vysokou emisi, avšak v důsledku velké vzdálenosti od lokality nebo využití vysokého komína se na její zátěži podílejí jen málo.
- Analýzu je možno rozšířit na více zdrojů a konstruovat optimalizované scénáře efektu snížení emisí na splnění imisního limitu.

# ANEBO JINAK : JEDNODUCHÝ BOX MODEL

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



Není zahrnuta depozice a chemické změny

# ŘEŠENÍ BILANČNÍ ROVNICE

$$\frac{d}{dt}(C \cdot H) = \frac{Q}{W \cdot L} + \frac{u \cdot H}{L} \cdot (C_b - C) = \left(1 + \frac{u \cdot H}{L}\right) \cdot (C_b - C)$$

Kde  $q$  je měrná emise např. v  $\mu\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$

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

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

Řešení

$$C(t) = C(0) \cdot e^{-\frac{u}{L} \cdot t} + \frac{q \cdot L}{u \cdot H} + C_b \cdot \left(1 - e^{-\frac{u}{L} \cdot t}\right)$$

# ROZBOR ŘEŠENÍ

Pro  $t \gg \tau$  je  $\exp(-t.u/L) \rightarrow 0$ , protože

$$C(t) \rightarrow \frac{q \cdot L}{u \cdot H} + C_b$$

Koncentrace přestane být závislá na výchozích podmínkách, nemění se s časem a pro jejich velikost jsou dominantní především

měrné emise  $q$

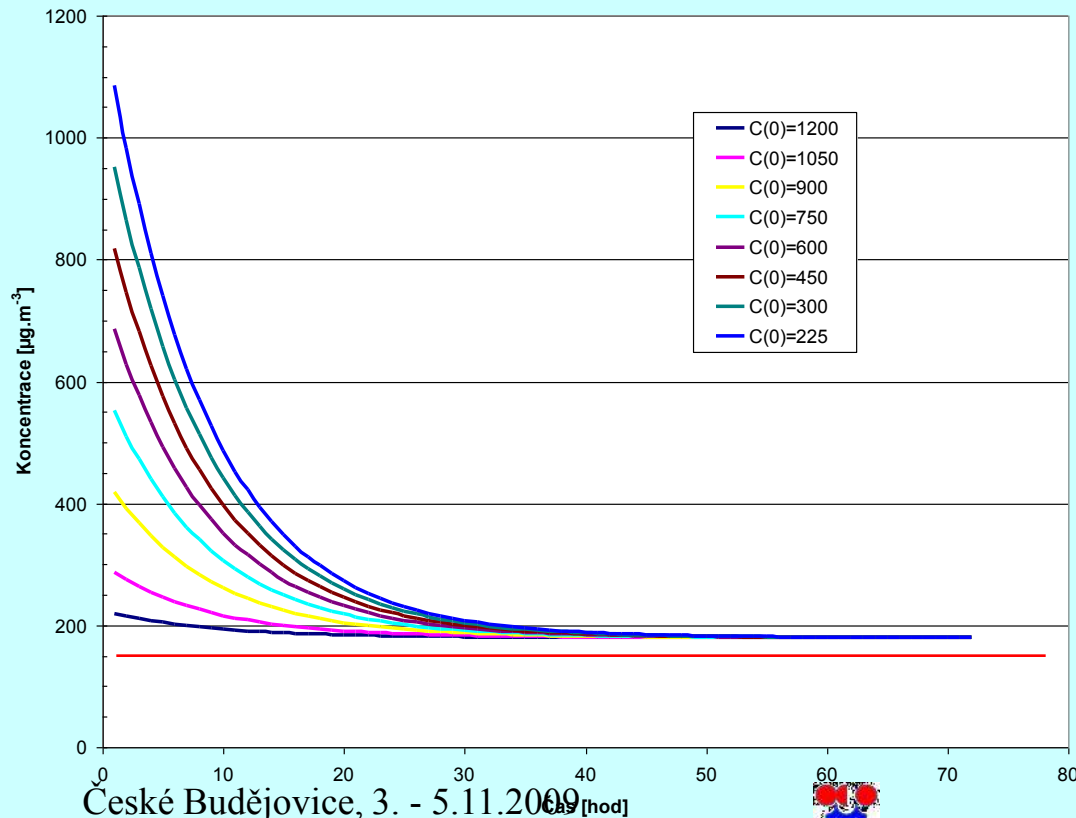
a meteorologické podmínky

rychlost proudění  $u$

výška směšovací vrstvy (inverze)  $H$

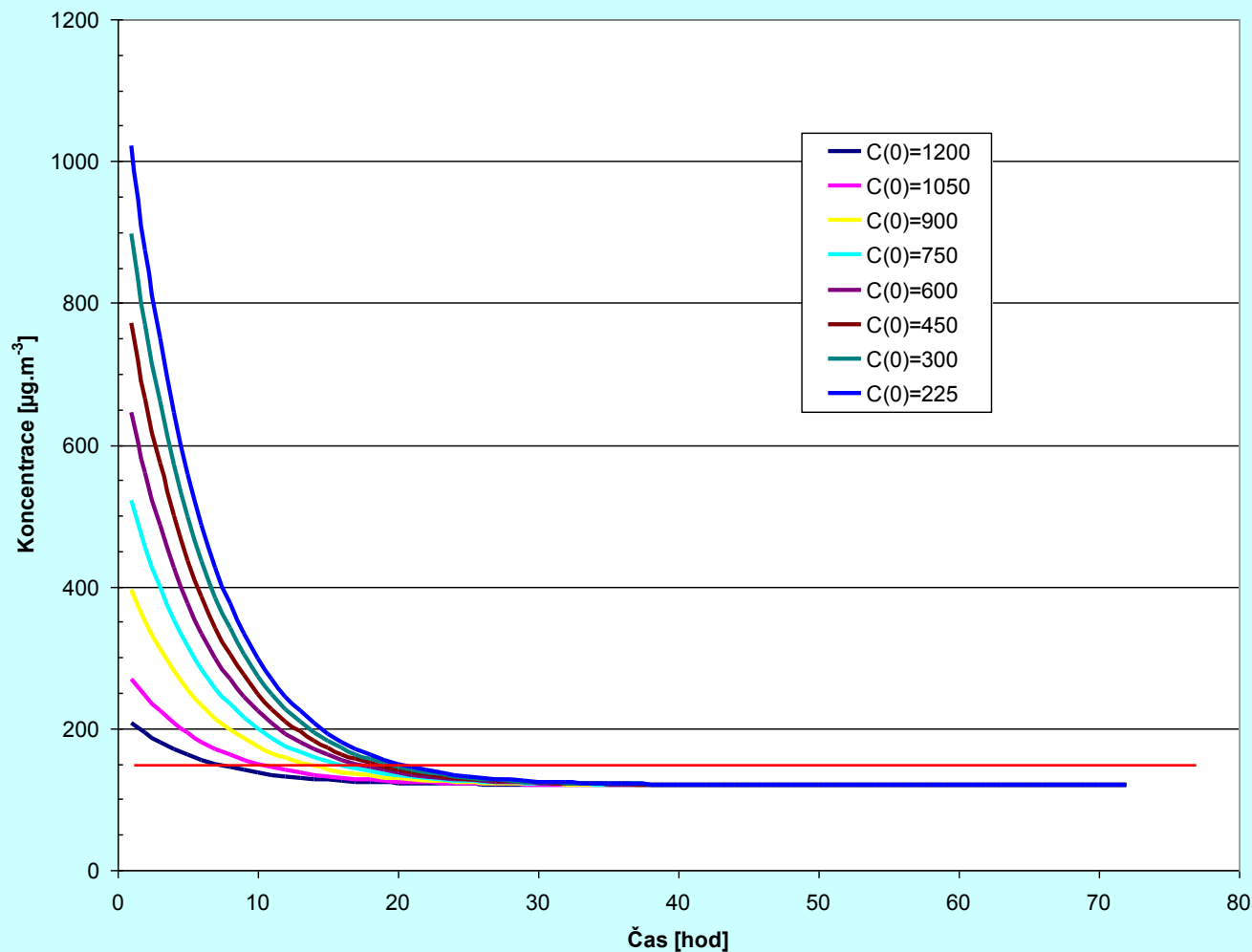
# TYPICKÉ STAGNAČNÍ PODMÍNKY

- Výška inverze 500 m
- Rychlost větru 0.5 m/s, na hranici bezvětrí
- Plocha aglomerace 15x15 km
- Pozad'ová koncentrace mimo aglomeraci nulová (netypické)
- Měrná emise 3  $\mu\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ , tedy 675  $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$  z celé aglomerace (typické ??)



$C > 150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$   
nad mezí pro  
vyhlášení  
regulace

# NÁRŮST RYCHLOSTI VĚTRU O 25cm/s ...A JE ZREGULOVÁNO!



# ZÁVĚR – KACÍŘSKÉ OTÁZKY

- Jsme schopni pomocí regulace v aglomeraci dosáhnout nižší emise než např. oněch  $675 \text{ g.s}^{-1}$  ?
- Můžeme soutěžit s přírodou ve schopnostech regulovat imise?

**Patrně nikoliv, ale zkoušet to musíme !**