

# **VEGETAČNÍ BARIÉRY**

**Využití metodiky pro kvantifikaci efektu  
výsadeb vegetačních bariér  
na snížení koncentrací suspendovaných  
částic a na ně vázaných polutantů**

# Metodika pro výpočet účinnosti vegetačních bariér

- **Projekt TA ČR č. TD020357**  
**„Optimalizace výsadeb dřevin pohlcujících prachové částice“**  
**(ATEM, 2014 – 2016)**
- **Výsledky:**
  - **Metodika pro kvantifikaci efektu výsadeb vegetačních bariér na snížení koncentrací suspendovaných částic**
  - **Metodika pro realizaci výsadeb dřevin pohlcujících prachové částice**
  - **Softwarová aplikace Zelená bariéra**

[https://www.mzp.cz/cz/vysadba\\_izolacni\\_zelene](https://www.mzp.cz/cz/vysadba_izolacni_zelene)

[http://http://www.atem.cz/zelena\\_bariera.php](http://http://www.atem.cz/zelena_bariera.php)

# Tvorba metodiky pro výpočet účinnosti bariér

- **Postup řešení:**

- rešerše domácích a zahraničních prací k problematice
- měření koncentrací PM v okolí silnic s vegetačními bariérami
- CFD model – simulace proudění a rozptylu vzduchu při průchodu přes polopropustnou vegetační bariéru
- parametrizace vlivů vlastností vegetační bariéry ve vztahu k podílu zachycených částic
- sestavení sady empirických rovnic pro vyčíslení poklesu koncentrace částic při průchodu vzduchu přes vegetační bariéru

# Vegetační bariéry – mechanismy záchytu částic

- **Mechanismy záchytu částic:**

- 1) **přímá depozice částic na dřevinách**, zejména na listech / jehlicích
  - rychlost depozice závisí na velikosti částic
  - ovlivněna vlastnostmi listů (listová plocha, povrch listů...)
  
- 2) **snížení rychlosti proudění vzduchu**, které se projevuje zvýšenou depozicí částic za bariérou (efekt větrolamu)
  - vliv má struktura porostu jako celku
  - souvisejícím efektem je nárůst koncentrací těsně za bariérou

**Se snižující se velikostí částic ( $SPM \rightarrow PM_{10} \rightarrow PM_{2.5} \rightarrow PM_{1.0}$ ) klesá podíl přímé depozice na celkovém efektu bariéry**

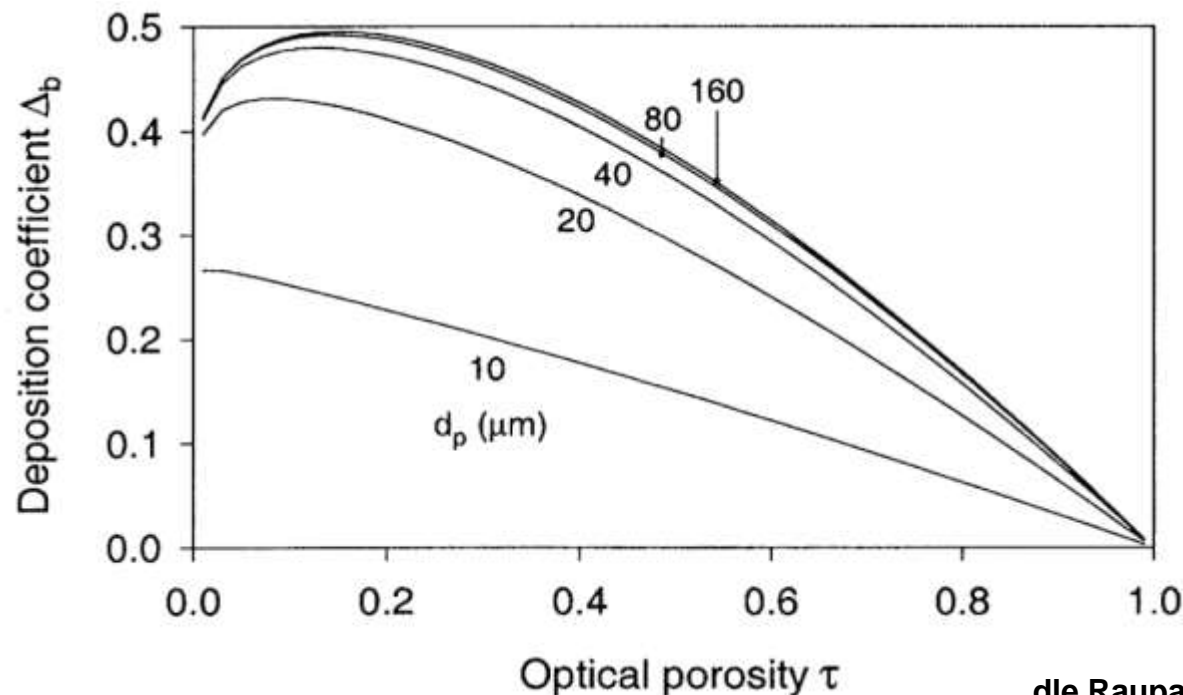
# Faktory ovlivňující záchyt částic

- **Vlastnosti vegetačního pásu, ovlivňující záchyt prachu:**

- 1) **faktory prostorového uspořádání porostu** – výška a šířka bariéry, propustnost (mezery mezi dřevinami), horizontální a vertikální struktura porostu, vzdálenost od zdroje emisí, převýšení vůči zdroji emisí
- 2) **faktory druhového složení porostu** – dřeviny jehličnaté × listnaté, stálezelené × opadavé, tvar a hustota koruny, velikost listové plochy, velikost, pohyblivost, sklon a povrchové vlastnosti listů

# Hustota a struktura porostu

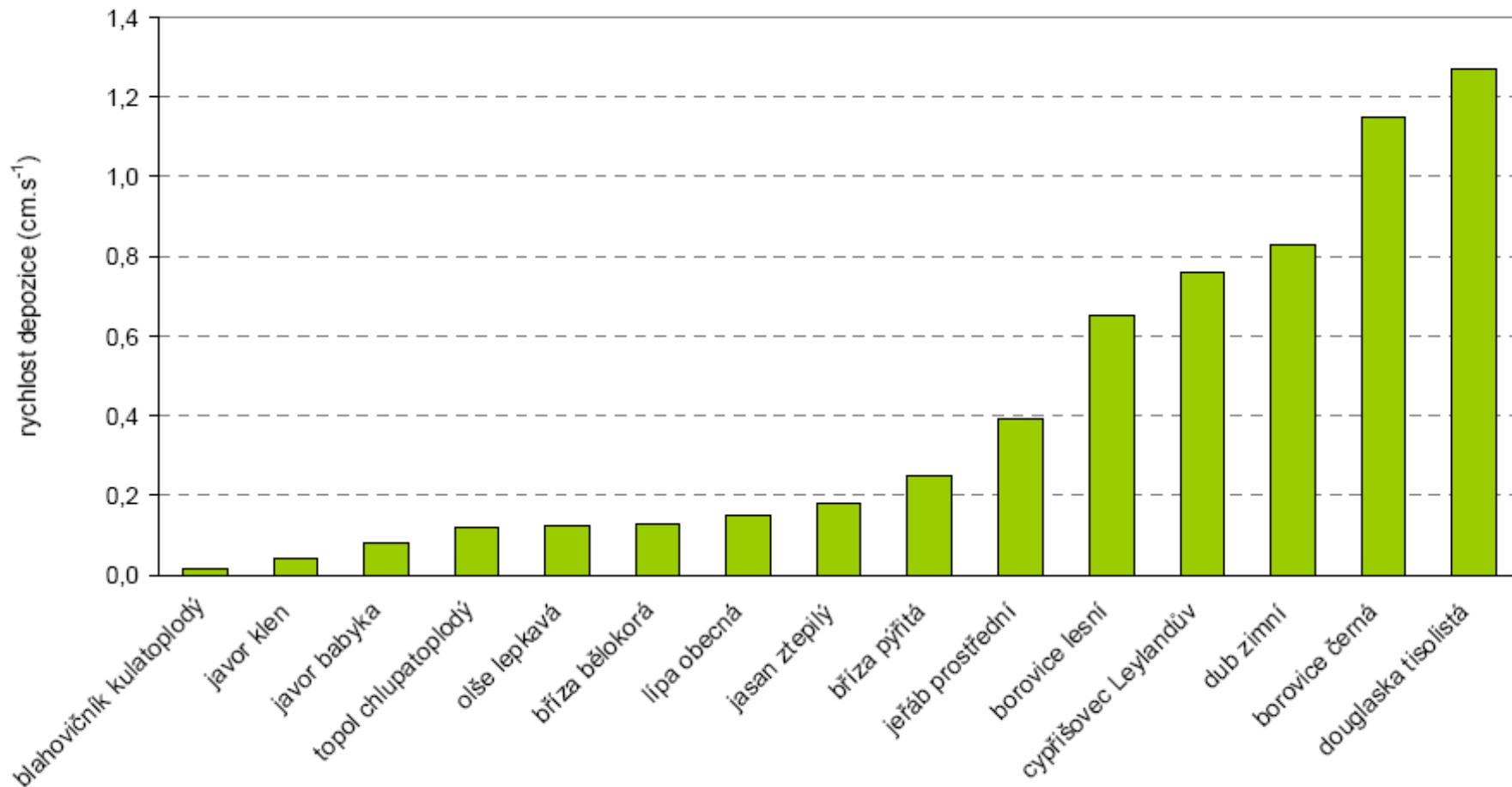
- u větších částic dochází při nejvyšší hustotě porostu k snížení účinku vlivem obtékání bariéry
- u jemných částic je tento jev málo znatelný, ale výrazný je efekt nárůstu koncentrací za bariérou
- vhodný parametr – **optická porosita** (propustnost, „průhlednost“)



# Vliv druhové skladby dřevin

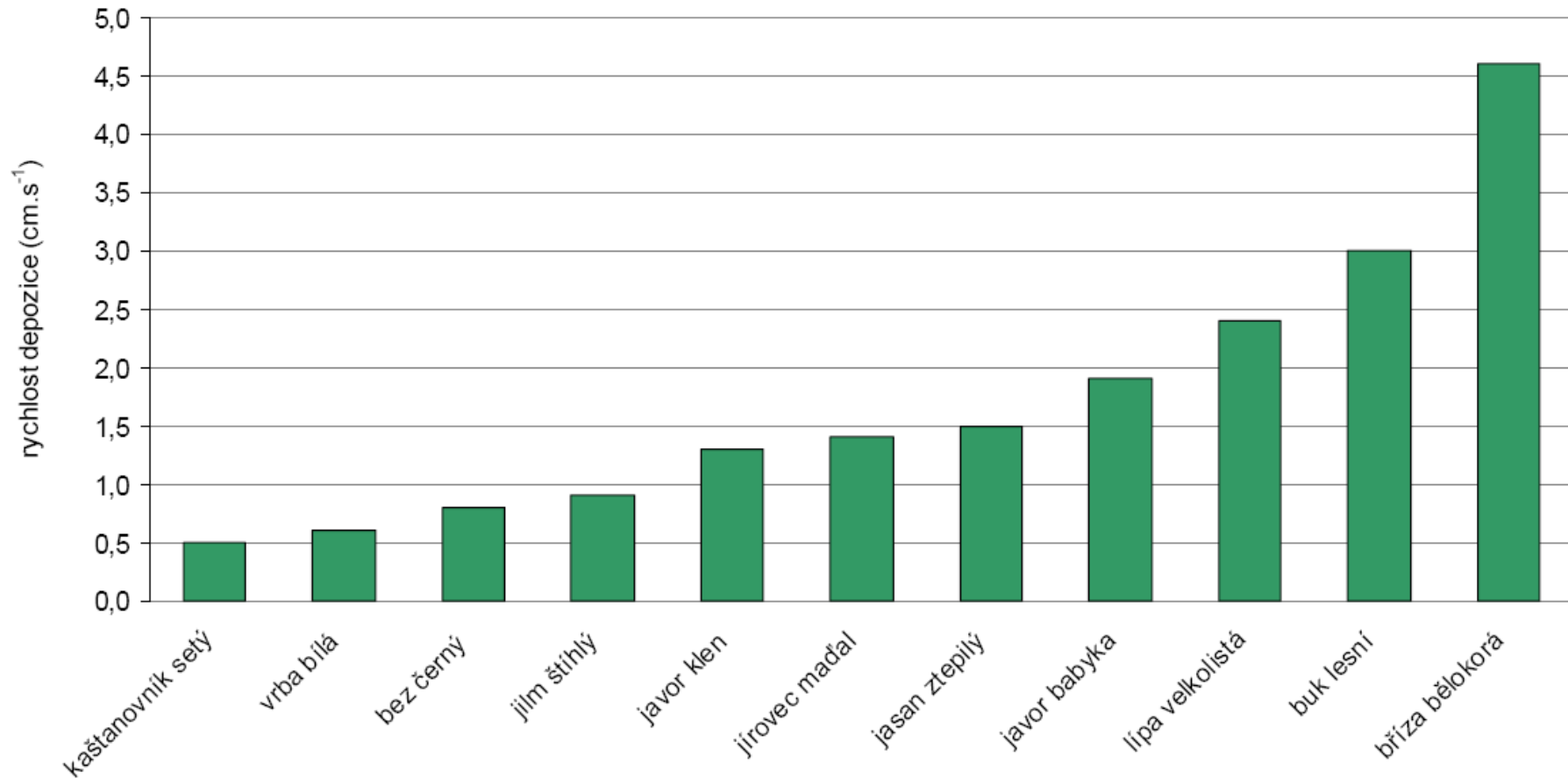
- **podle syntézy měření ve větrných tunelech**

- (Beckett 2000, Freer-Smith 2003, Räsänen 2013, rychlost větru 3 m/s, střední velikost částic cca 0,75  $\mu\text{m}$ )



# Vliv druhové skladby dřevin

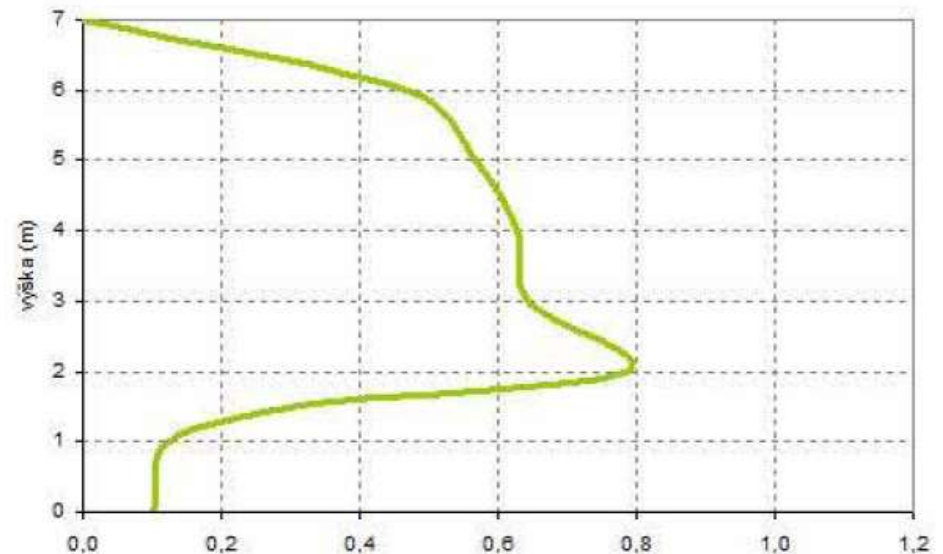
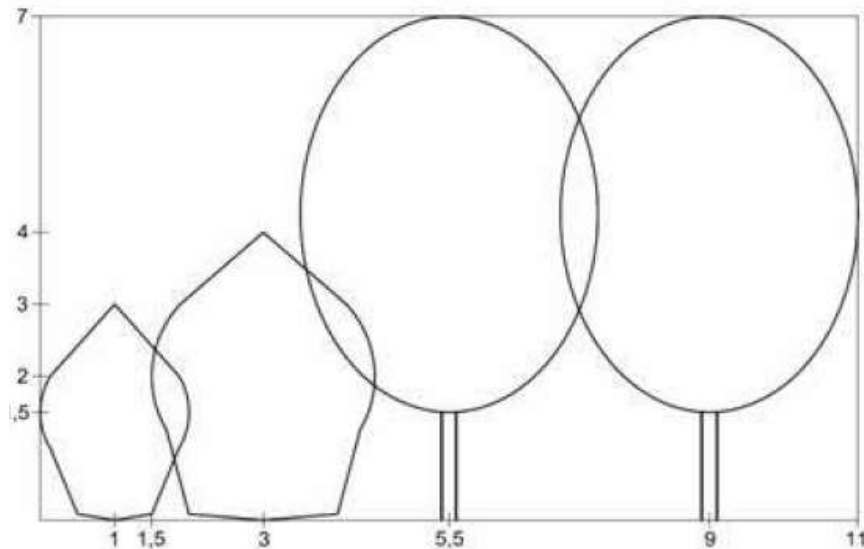
- **venkovní měření**
- (Mitchell 2010, částice PM<sub>10</sub>, jen listnaté dřeviny)





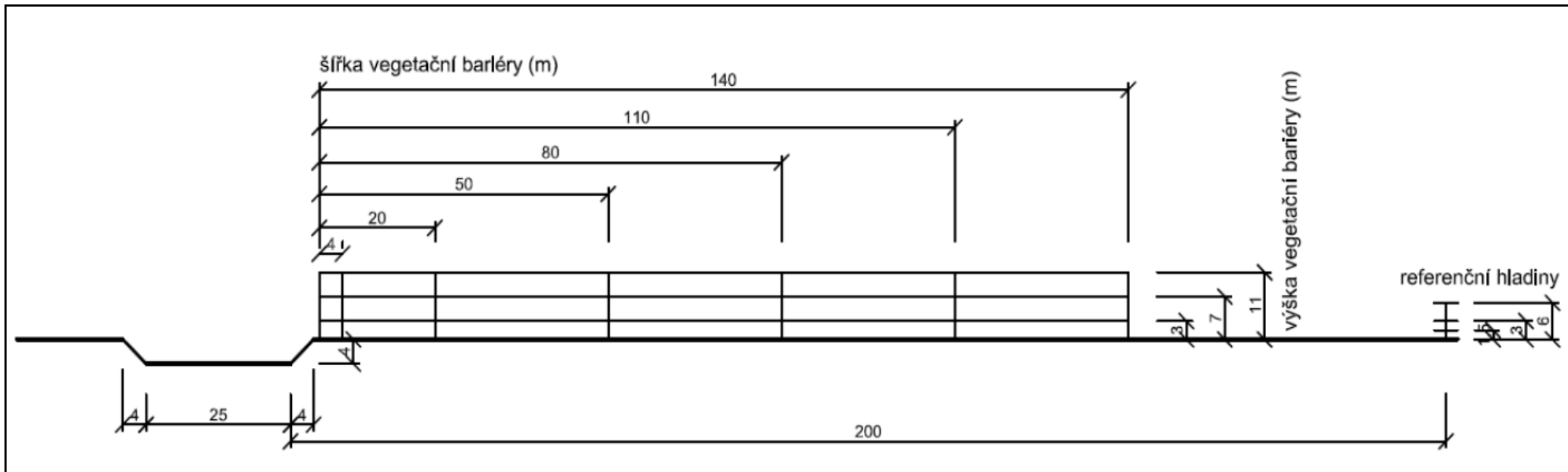
# Modelování vlivu vegetační bariéry – CFD model

- 2D model silnice s přilehlým vegetačním blokem (proudění kolmo na komunikaci)
- vegetační bariéra je horizontálně homogenní
- vertikálně je bariéra diferencovaná podle profilu listové plochy pro typickou skladbu porostu v jednotlivých výškových hladinách



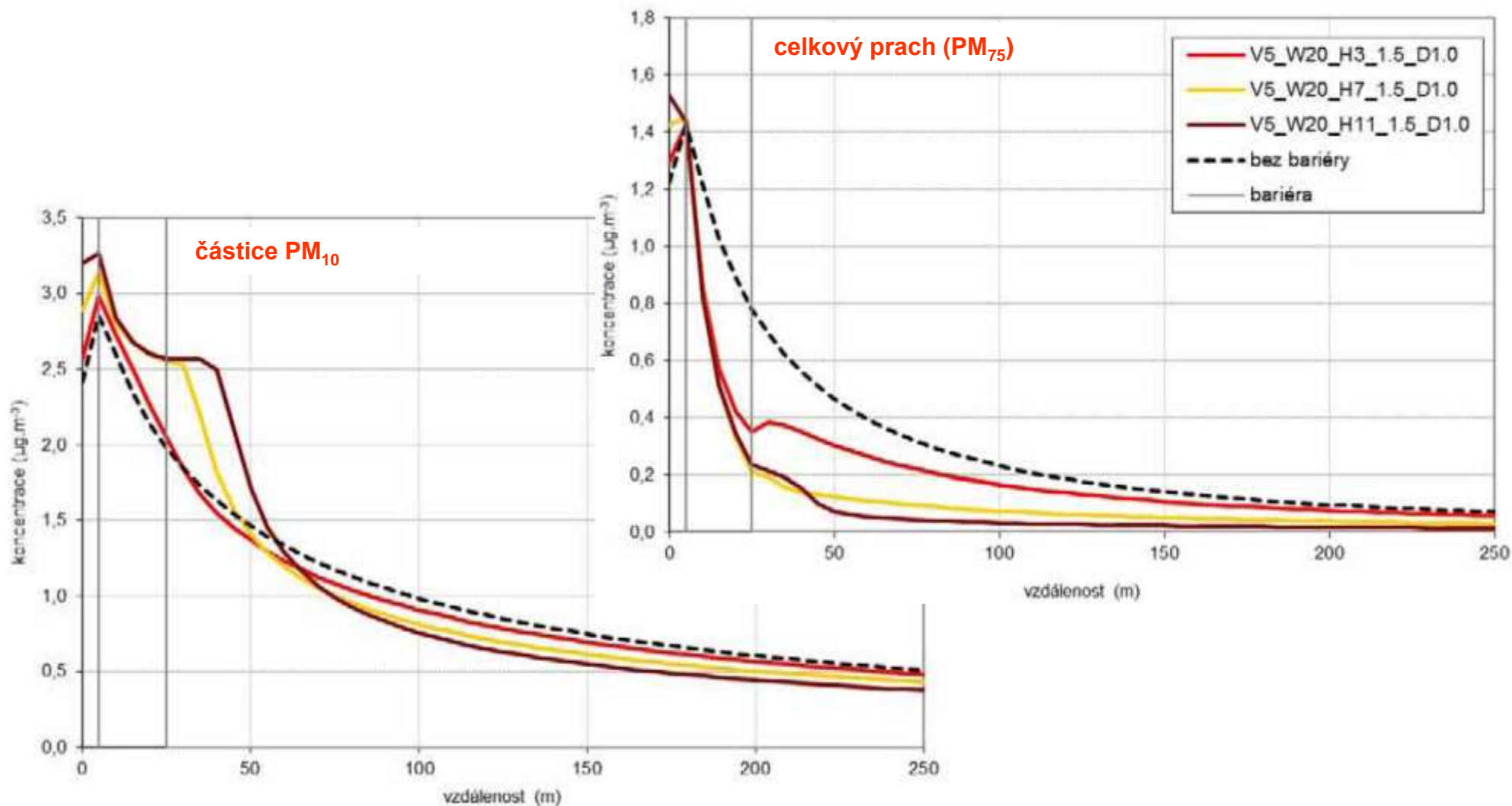
# Modelování vlivu vegetační bariéry – CFD model

- cca 70 variant uspořádání porostu
- šířka, výška, listnaté / jehličnaté dřeviny



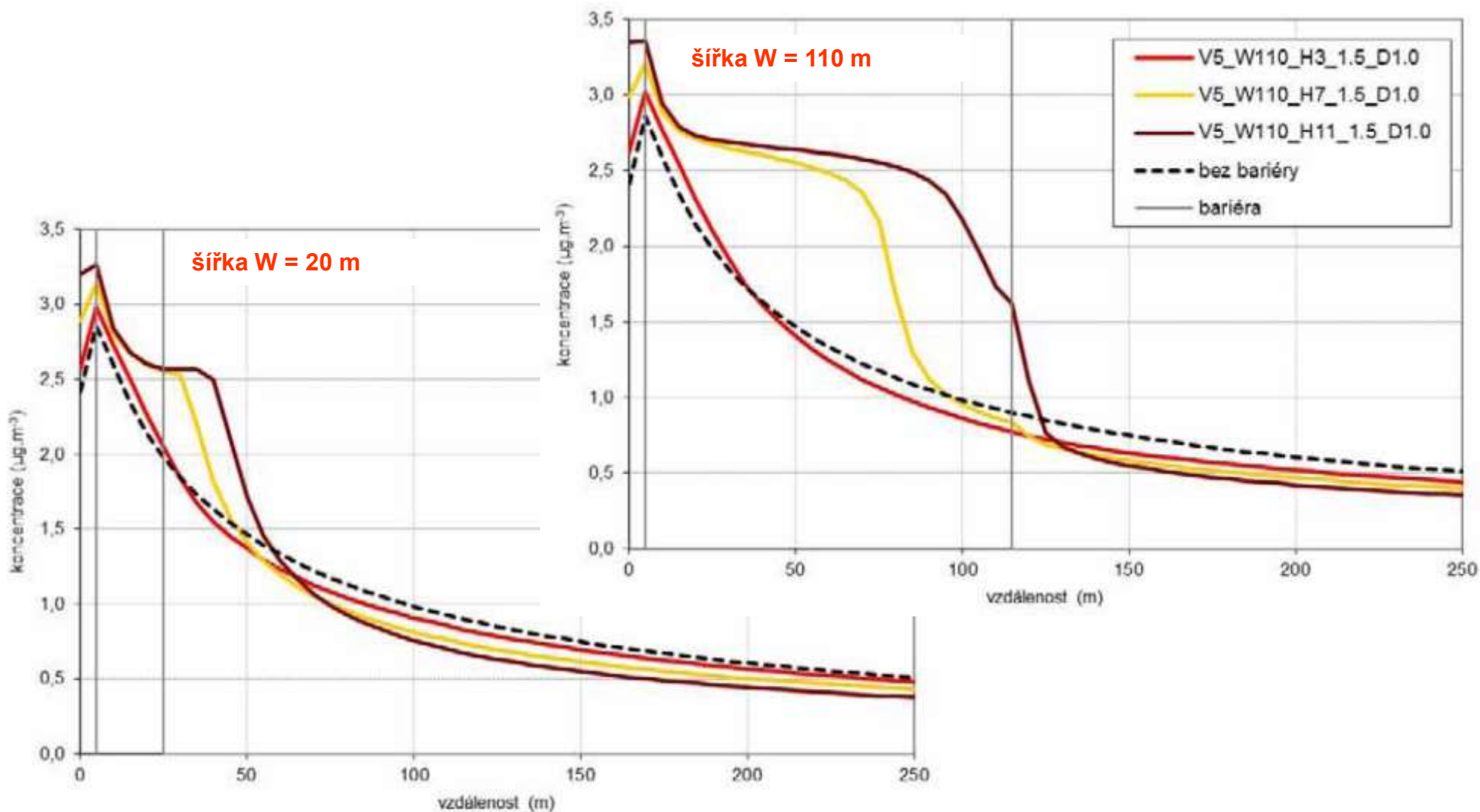
# Modelování účinnosti vegetační bariéry – výsledky

- listnaté stromy, šířka bariéry  $W = 20$  m, výška  $H = 3 / 7 / 11$  m, hladina 1,5 m



# Modelování účinnosti vegetační bariéry – výsledky

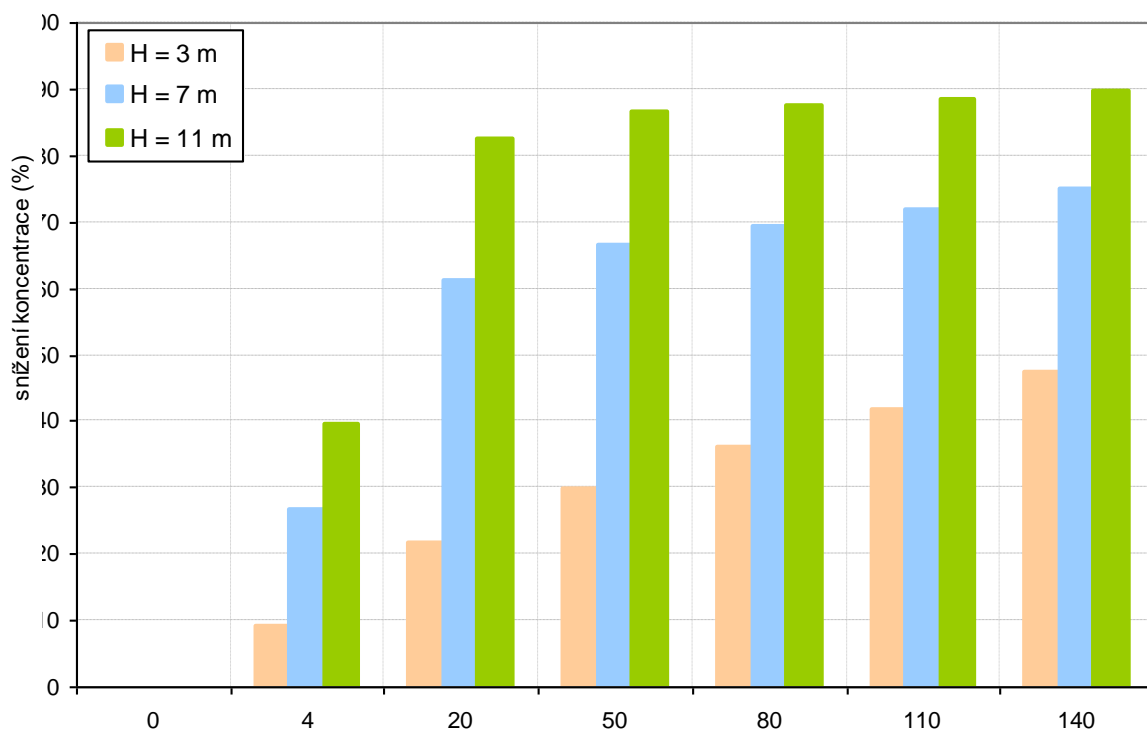
- částice  $PM_{10}$ , šířka bariéry  $W = 20 / 110$  m, výška  $H = 3 / 7 / 11$  m, hladina 1,5 m



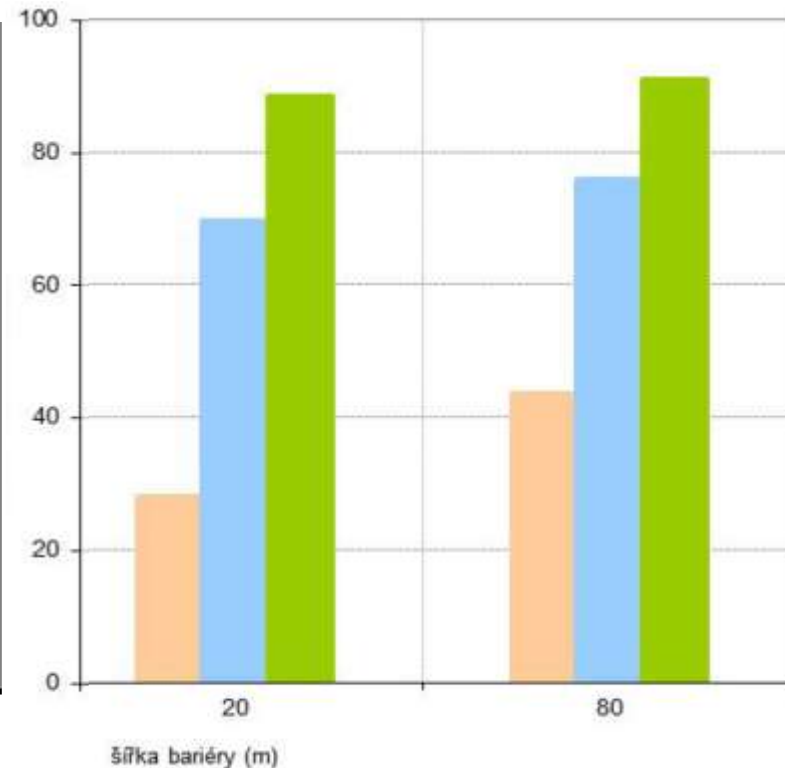
# Účinnost vegetační bariéry – souhrn výsledků

- vliv výšky a šířky bariéry – snížení koncentrace ve vzdálenosti 200 m od komunikace, částice  $PM_{75}$ , hladina 1,5 m

## listnaté stromy



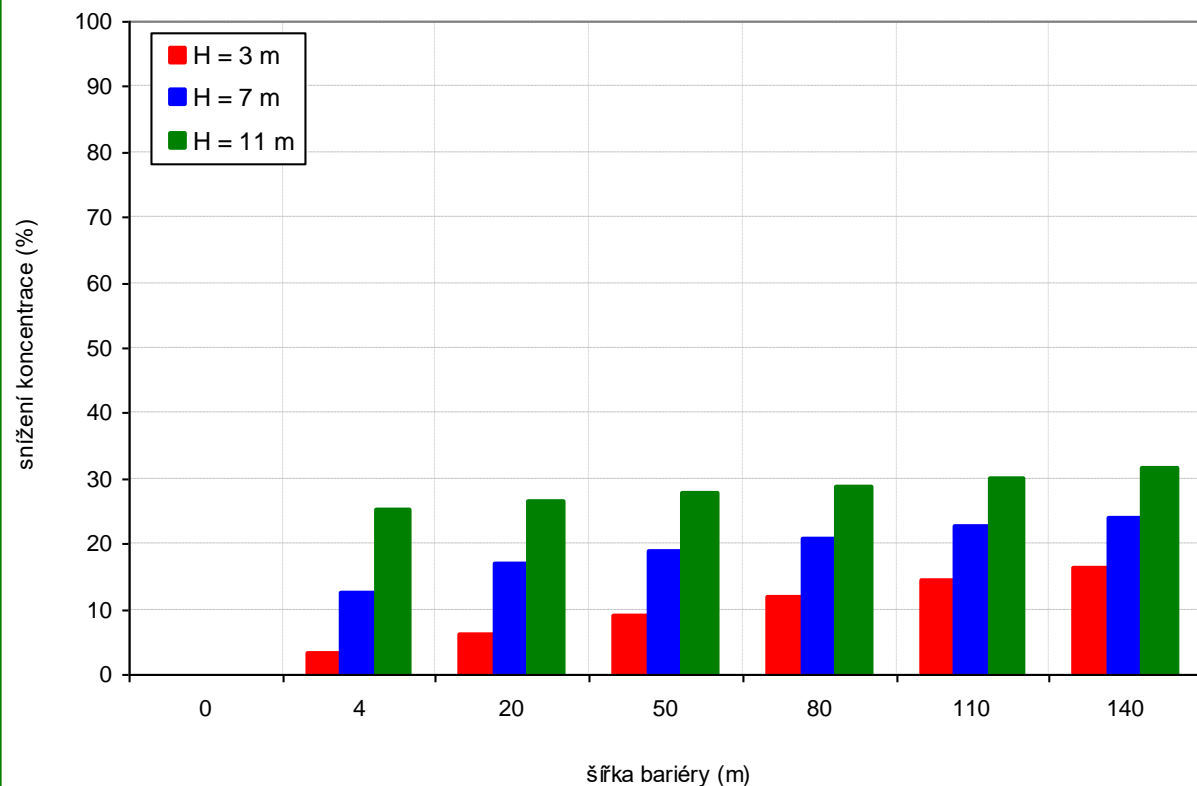
## jehličnaté stromy



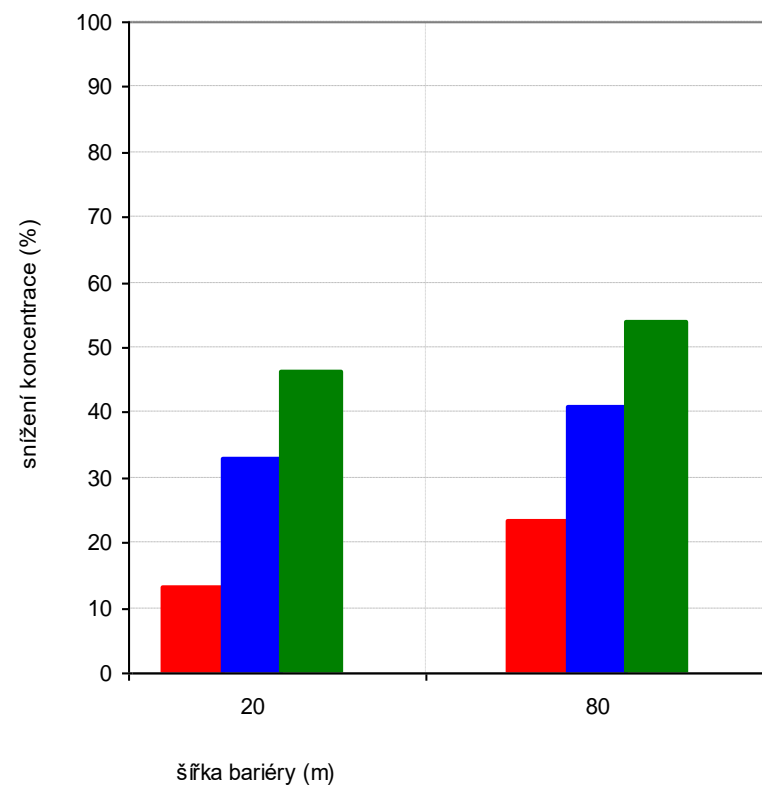
# Účinnost vegetační bariéry – souhrn výsledků

- vliv výšky a šířky bariéry – snížení koncentrace ve vzdálenosti 200 m od komunikace, částice  $PM_{10}$ , hladina 1,5 m

## listnaté stromy



## jehličnaté stromy



# Účinnost vegetační bariéry – souhrn výsledků

- bariéra z jehličnatých stromů je účinnější než bariéra z listnatých stromů
- limitující hranice šířky se projevuje u celkového prachu, u  $PM_{10}$  prakticky nikoliv, ale vliv šířky je nevelký
- výška bariéry má výsledné snížení koncentrací mnohem větší vliv než její šířka
- v prostoru těsně za bariérou – omezení rozptylu a nárůst koncentrací, efekt je mnohem výraznější u  $PM_{10}$  než u celkového prachu, u nějž převládá přímý záchyt
- čím je bariéra celkově účinnější (výška, jehličnaté stromy, porosita), tím větší je i kolísání hodnot těsně za bariérou
- vztahy mezi šířkou a výškou porostu, vzdáleností od komunikace a výslednou účinností bariéry jsou velmi komplexní a nelze je vyjádřit pomocí jednoduchých nezávislých funkcí

# Účinnost vegetační bariéry – souhrn výsledků

- maximální účinnost bariéry

		částice PM <sub>10</sub>		částice PM <sub>75</sub>	
		W = 20	W = 80	W = 20	W = 80
H = 3 m	listnaté	8	13	40	54
	jehličnaté	16	28	50	67
H = 7 m	listnaté	18	21	75	82
	jehličnaté	34	41	86	89
H = 11m	listnaté	27	29	87	94
	jehličnaté	46	54	92	96



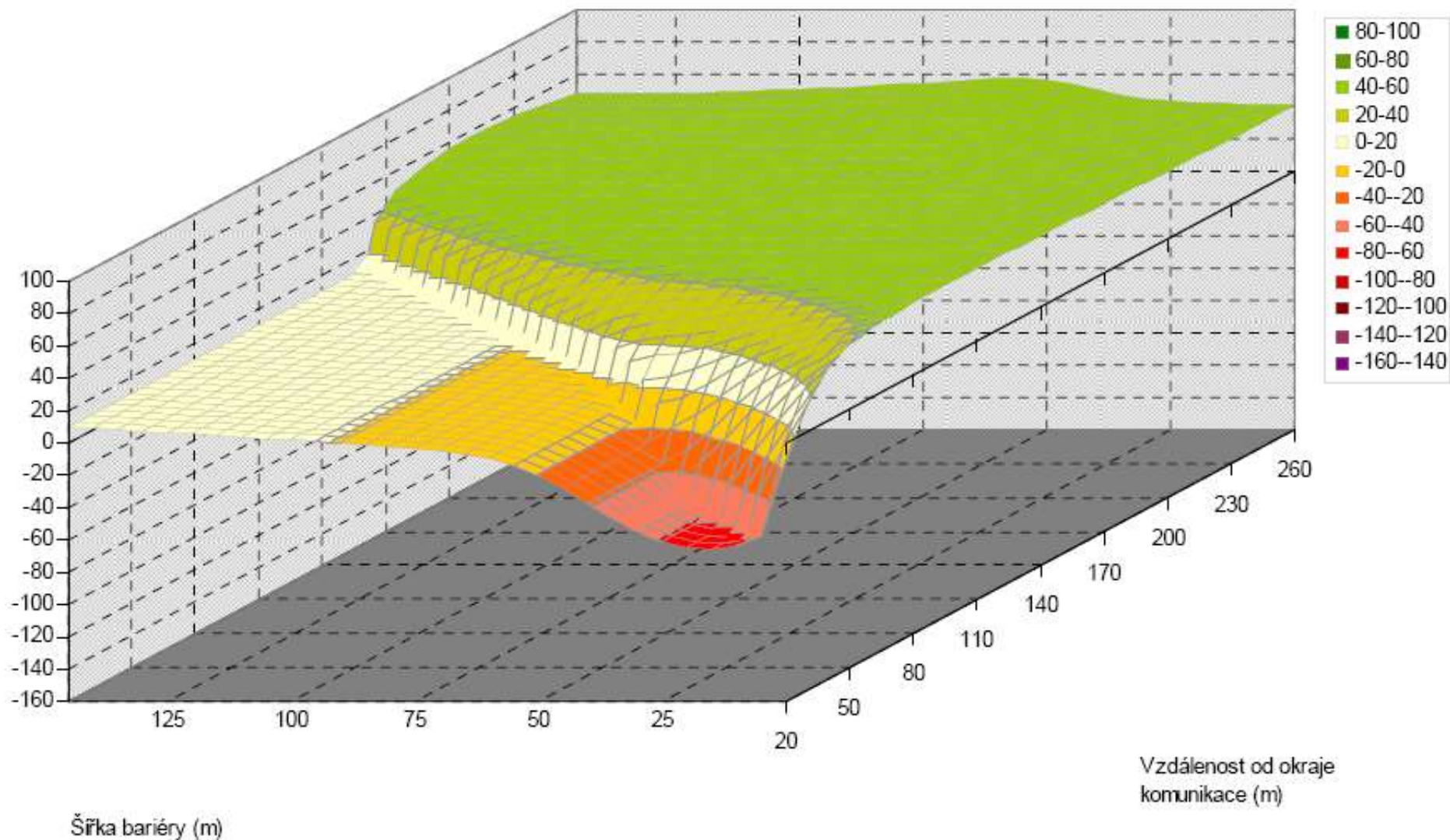
## Odvození výpočetních vztahů

- odvození bylo provedeno pomocí lomených 3D rovnic (vstup šířka a vzdálenost) pro různé výšky porostu, mezi nimi je účinnost interpolována
- samostatně pro výpočtové hladiny 1,5 m, 3 m a 6 m
- samostatně pro celkový prach ( $PM_{75}$ ) a  $PM_{10}$  (odlišné průběhy funkcí)
- $PM_{2,5}$ , BaP a TK mají velmi podobné průběhy funkcí jako  $PM_{10}$  – výpočet odvozen pomocí koeficientu k  $PM_{10}$ :

Znečišťující látka	Listnaté dřeviny	Jehličnaté dřeviny
částice $PM_{2,5}$	0,440	0,240
benzo(a)pyren	0,445	0,26
arsen	0,499	0,320
kadmium	0,499	0,320
nikl	0,593	0,447
olovo	0,496	0,316

# Odvození výpočetních vztahů

Účinnost (%)



# Odvození výpočetních vztahů

1) Pro výšku bariéry od 3 do 7 m

a) pro  $d < d_{LB}$

$$f_L(d, W, H) = (0,25 \times H - 0,75) \times f_{L1}(d, W) + (1,75 - 0,25 \times H) \times f_{L2}(d, W)$$

$$f_{L1}(d, W) = a + b \times (4 \times \exp(-(d - c) / i) / ((1 + \exp(-(d - c) / i)) \times (1 + \exp(-(d - c) / i)))) + (e \times 4 \times \exp(-(W - f) / g) / ((1 + \exp(-(W - f) / g)) \times (1 + \exp(-(W - f) / g))))$$

- konstanty:  $a = 17,6353351595907$   
 $b = 68,7407674716568$   
 $c = 8,63157069887546$   
 $e = 5,69766052106519$   
 $f = 138,13338944752$   
 $g = 25,7113267279885$   
 $h = -4104,38121996487$   
 $i = 13,3668921755346$

$$f_{L2}(d, W) = a + \text{Ln}(d) \times (b + \text{Ln}(d) \times (k + \text{Ln}(W) \times g)) + \text{Ln}(W) \times (c + \text{Ln}(W) \times (e + \text{Ln}(W) \times h) + \text{Ln}(d) \times \text{Ln}(W) \times f + (\text{Ln}(W) \times i + \text{Ln}(d) \times j))$$

- konstanty:  $a = -44,8457289571096$   
 $b = 32,9353496269573$   
 $c = -20,314162723709$   
 $e = -5,16515115871787$   
 $f = 14,6063881533062$   
 $g = 0,737001710062348$   
 $h = 0,351252304045662$   
 $i = 0,537883883501109$   
 $j = -1,79362460332396$   
 $k = -8,62010421614687$

b) pro  $d > d_{LB}$

$$f_L(d, W, H) = (0,25 \times H - 0,75) \times f_{L3}(d, W) + (1,75 - 0,25 \times H) \times f_{L2}(d, W)$$

$$f_{L3}(d, W) = a + \text{Ln}(d) \times (b + \text{Ln}(d) \times (k + \text{Ln}(d) \times g)) + \text{Ln}(W) \times (c + \text{Ln}(W) \times (e + \text{Ln}(W) \times h) + \text{Ln}(d) \times \text{Ln}(W) \times (f + \text{Ln}(W) \times i + \text{Ln}(d) \times j))$$

- konstanty:  $a = -247,721548003948$   
 $b = 181,117912501909$   
 $c = -89,6177044028403$   
 $e = -9,21808880399155$   
 $f = 43,9361252582829$   
 $g = 3,10760378680867$   
 $h = 0,464873716043899$   
 $i = 0,960797615716364$   
 $j = -4,60334585735803$   
 $k = -41,8324293126117$

# Výpočetní aplikace – SW Zelená bariéra

- **přímý výpočet z rovnic by byl velmi komplikovaný**
- **byla vytvořena uživatelsky jednoduchá SW aplikace, implementující rovnice z metodiky**
- **demoverze: [https://www.mzp.cz/cz/vysadba\\_izolacni\\_zelene](https://www.mzp.cz/cz/vysadba_izolacni_zelene)**
- **plná verze: [http://www.atem.cz/zelena\\_bariera.php](http://www.atem.cz/zelena_bariera.php)**
  
- **metodiku a SW aplikaci lze použít na běžné případy – relativně dlouhé, souvislé, horizontálně homogenní bariéry v nepříliš komplikovaném terénu**
- **pro složitější úlohy je nutno aplikovat CFD model přímo „na míru“ konkrétní situaci**

# Příklady aplikace metodiky

- průběh účinnosti definované bariéry se vzdáleností od komunikace:

ATEM Zelená bariéra

Výpočty  aplikaci

**Pořízení / Editace vstupních dat**

W - šířka bariéry (m) 20,0

H - výška bariéry (m) 7,0

p - průhlednost bariéry (%)  
(0 % nejhustší porost,  
100 % bez porostu) 15

d - vzdálenost referenčního  
bodu od hrany komunikace  
(m) 35

h - referenční hladina (m)  
(výška nad zemí) 1,5

j - zastoupení jehličnanů  
(%)  
0% čistě listnatý porost  
100% čistě jehličnatý porost 35

**Vstupní data (24)**

W	H	p	d	h	j
20	7	15	35	1,5	35
20	7	15	40	1,5	35
20	7	15	45	1,5	35
20	7	15	50	1,5	35
20	7	15	60	1,5	35
20	7	15	70	1,5	35
20	7	15	80	1,5	35
20	7	15	90	1,5	35
20	7	15	100	1,5	35
20	7	15	110	1,5	35
20	7	15	120	1,5	35
20	7	15	130	1,5	35
20	7	15	140	1,5	35
20	7	15	150	1,5	35
20	7	15	160	1,5	35
20	7	15	170	1,5	35
20	7	15	180	1,5	35
20	7	15	190	1,5	35
20	7	15	200	1,5	35
20	7	15	220	1,5	35
20	7	15	240	1,5	35
20	7	15	260	1,5	35
20	7	15	280	1,5	35
20	7	15	300	1,5	35

**Účinnost bariéry**

PM75	PM10	PM2.5	BaP
78,9	-14,3	-6,3	-6,6
77,9	-2,6	-2,2	-2,2
77,0	5,9	0,9	1,0
76,2	10,9	2,9	3,1
74,8	17,2	5,4	5,7
73,5	19,7	6,4	6,8
72,4	21,3	7,1	7,5
71,4	22,3	7,5	7,9
70,5	23,0	7,8	8,2
69,7	23,5	8,0	8,4
69,0	23,7	8,1	8,5
68,3	23,8	8,1	8,5
67,7	23,8	8,1	8,5
67,1	23,8	8,1	8,5
66,6	23,6	8,0	8,4
66,1	23,4	7,9	8,3
65,6	23,1	7,8	8,2
65,2	22,8	7,7	8,1
64,8	22,5	7,6	8,0
64,1	21,8	7,4	7,7
63,5	21,0	7,1	7,4
63,2	20,6	6,9	7,3
63,2	20,6	6,9	7,3
62,9	20,6	6,9	7,3

Přidat hromadně Přidat záznam Smazat záznam Smazat vše Přepočíst Uložit výsledky

Vstupy  Výstupy

Uložit celková vstupní data Načíst celková vstupní data

# Příklady aplikace metodiky

- návrh bariéry dle požadavku na snížení imisního příspěvku zdroje = určení účinnosti bariéry v daném referenčním bodě pro různé varianty prostorového uspořádání a skladby bariéry:

ATEM Zelená bariéra

Výpočty O aplikaci

**Pořízení / Editace vstupních dat**

W - šířka bariéry (m) 10.0

H - výška bariéry (m) 5.0

p - průhlednost bariéry (%)  
(0 % nejhustší porost, 100 % bez porostu) 0

d - vzdálenost referenčního bodu od hrany komunikace (m) 150

h - referenční hladina (m)  
(výška nad zemí) 1,5

j - zastoupení jehličnanů (%)  
0% čistě listnatý porost 0

**Vstupní data (162)**

W	H	p	d	h	j
10	5	0	150	1.5	0
10	5	0	150	1.5	50
10	5	0	150	1.5	100
10	5	0	150	3	0
10	5	0	150	3	50
10	5	0	150	3	100
10	7	0	150	6	0
10	7	0	150	6	50
10	7	0	150	6	100
10	5	15	150	1.5	0
10	5	15	150	1.5	50
10	5	15	150	1.5	100
10	5	15	150	3	0
10	5	15	150	3	50
10	5	15	150	3	100
10	7	15	150	6	0
10	7	15	150	6	50

**Účinnost bariéry**

PM75	PM10	PM2.5	BaP
29.4	12.3	5.4	5.6
32.4	18.2	5.6	5.9
35.3	24.0	5.8	6.2
28.9	11.5	5.0	5.2
31.8	17.3	5.3	5.6
34.8	23.1	5.5	6.0
40.0	8.8	3.9	4.0
43.8	17.7	5.1	5.5
47.7	26.7	6.4	6.9
36.6	11.5	5.1	5.2
40.2	17.0	5.2	5.5
43.9	22.5	5.4	5.8
35.9	10.7	4.7	4.9
39.6	16.1	4.9	5.2
43.2	21.6	5.2	5.6
49.7	8.2	3.6	3.7
54.5	16.6	4.8	5.1

Přidat hromadně    Přidat záznam    Smazat záznam    Smazat vše    Přepočíst    Uložit výsledky

Vstupy  Výstupy

Uložit celková vstupní data    Načíst celková vstupní data

## Poznámka k aplikaci metodiky

- Metodika a SW aplikace jsou zaměřeny **výhradně na stanovení účinnosti souvislé vegetační bariéry** umístěné při hranici liniového nebo plošného zdroje
- **neřeší kompenzaci emisí z jiných objektů pomocí rozptýlené výsadby zeleně** např. v městské zástavbě
- aplikaci metodiky pro tyto účely nelze smysluplně vyžadovat, **výpočet nelze provést**

# DĚKUJI ZA POZORNOST

**Mgr. Jan Karel**



Roztylská 1860/1, Praha 4

[www.atem.cz](http://www.atem.cz)

[karel@atem.cz](mailto:karel@atem.cz)