

Měření vnitřního ovzduší ve školách

**M. Mikešová, B. Kotlík, H. Kazmarová
K. Žejglicová,**

**Centrum laboratorních činností SZÚ Praha - Odbor
chemických a fyzikálních laboratoří**

**Centrum odborných činností SZÚ Praha - Odbor hygieny
životního prostředí**

Proč školy?

- Výsledky měření vnitřního ovzduší bytů poskytly rozsáhlý soubor informací o tomto typu vnitřního prostředí, proto se pozornost zaměřila na zmapování dalšího typu vnitřního prostředí, a to škol.
- **Důvody měření ve školách:**
 - děti tráví ve škole téměř 1/3 času
 - jedná se o citlivou populační skupinu
 - hygienické limity kvality vnitřního ovzduší v prostorech, kam patří mimo jiné i školy jsou dány vyhláškou MZ ČR č.6/2003 Sb.a vyhláškou MZ ČR 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých

Projekt

- Součástí „Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí“,

Cíl projektu - získat základní informace o rozpětí běžně se vyskytujících hodnot vybraných parametrů v daném typu vnitřního prostředí a zjistit prostorovou variabilitu sledovaných parametrů v rámci školy

- Projekt měl 2 etapy
 - **první etapa** byla realizována na přelomu roku **2006-2007**
 - **druhá etapa** byla na základě výsledků první části upravena a realizována na **počátku roku 2008**

Pilotní studie

Měření v základní škole v Neratovicích

- V rámci přípravy projektu měření ve školách
- květen 2006
- ZŠ v klidné lokalitě v sídlištní zástavbě
- **Cíl:**
 - Ověřit vypracované postupy měření a odběru vzorků
 - Získat základní informace o časové variabilitě jednotlivých parametrů v daném typu prostředí



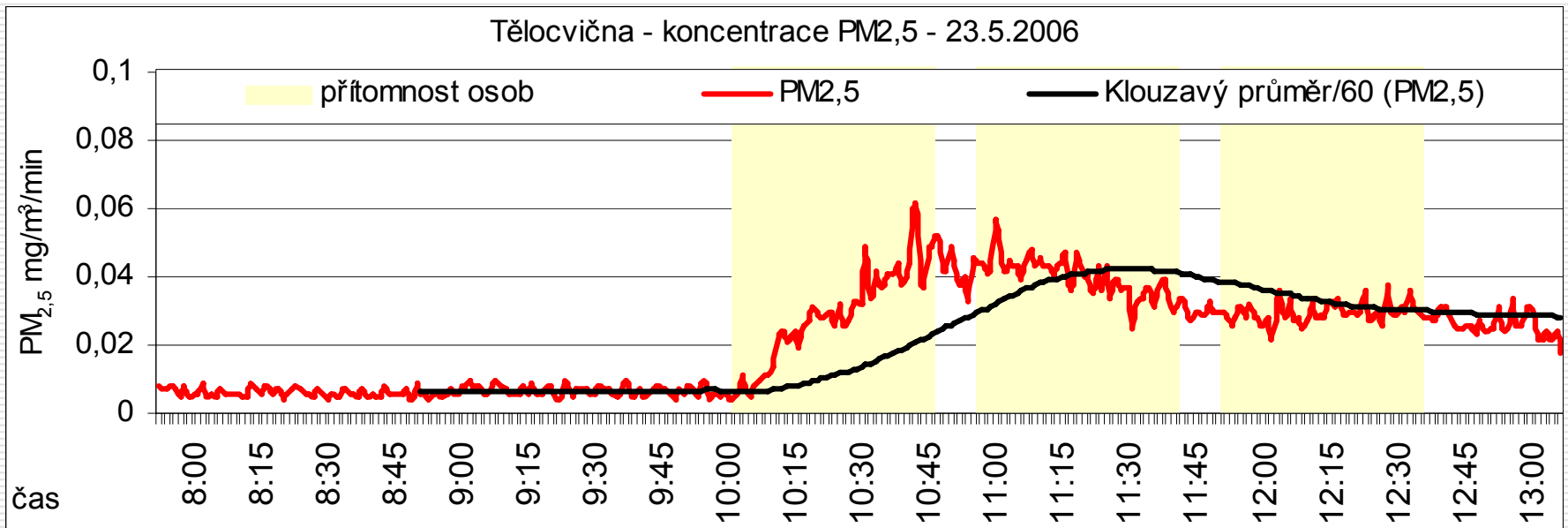
Měření v základní škole v Neratovicích

- Dvoudenní měření ve třídě a v tělocvičně za běžného provozu a venkovní ovzduší před školou
- Parametry - NO_2 , CO , O_3 - pouze venkovní ovzduší, $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2,5}$, VOC , HCHO , mikroklimatické faktory (teplota, vlhkost, tlak, proudění) a CO_2



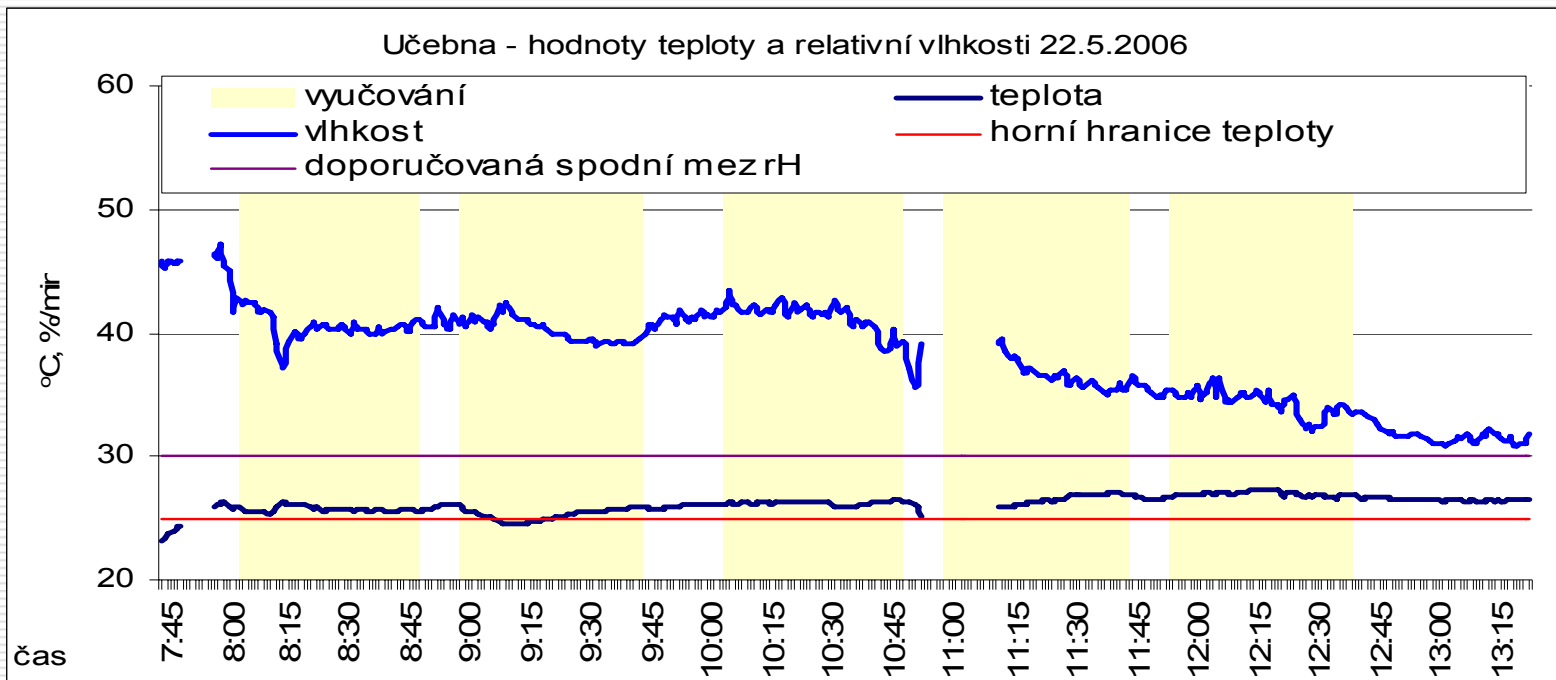
ZŠ v Neratovicích - výsledky

- Hodnoty koncentrací $PM_{2,5}$ byly přímo vázány na intenzitu aktivit v tělocvičně



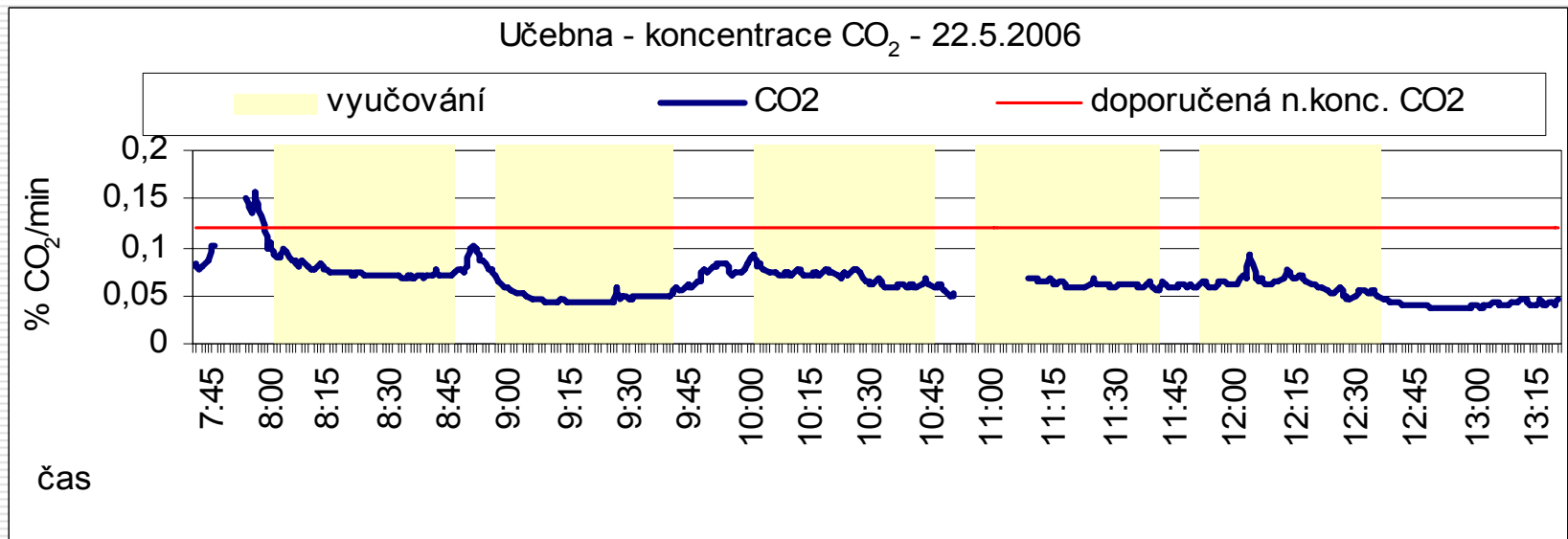
ZŠ v Neratovicích - výsledky

- V netopné sezóně - problém dodržení limitů mikroklimatických faktorů



ZŠ v Neratovicích - výsledky

- Koncentrace plyných škodlivin a VOC hluboko pod stanovenými limity
- Průběh koncentrací CO_2 odpovídá režimu větrání



Monitoringu vnitř. ovzduší ve školách

- Vychází z poznatků získaných z měření bytů, z pilotního projektu měření v základní škole v Neratovicích a z literární rešerše.
- Je součástí systému monitoringu zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k ovzduší
- Byl realizován v pěti městech ČR (Brno, Ostrava, Hradec Králové, Plzeň a Karviná)
- Finální verze projektu byla upravena ve spolupráci s pracovníky zdravotních ústavů, hygienických stanic a pracovníky odboru hygieny dětí a mládeže

I. etapa projektu

Filosofie - v rámci nárazového proměření za plného (normálního) vyučovacího režimu popsat:

- Vnitřní prostředí s **nejdelší** potenciální expozicí z vnitřního ovzduší (třídy, učebny).
- Prostedí s **nejvyšší** možnou okamžitou zátěží z vnitřního ovzduší (tělocvičny).

Měření bylo doplněno dotazníkovým šetřením.

I. etapa



- Byla realizována v **pěti městech** ČR (Brno, Ostrava, Hradec Králové, Plzeň a Karviná)

➤ **Výběr školy**

V rámci oblasti (města) byly zastoupeny různé typy škol (zděné, panelové, staré, nové ...) a různé typy lokalit (sídliště, administrativní části atp.)

- **Metodický návod MZ ČR a Hlavního hygienika ČR** z 23.3.2007 pro měření a stanovení chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů kvality vnitřního prostředí podle vyhlášky č. 6/2003 Sb.



➤ Měřené látky/parametry

- Rozsah měřených látek vycházel z Vyhlášky MZ ČR č. 6/2003 Sb. tj. NO_2 , CO , O_3 (pouze outdoor) suspendované částice frakce $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2,5}$, **těkavé organické látky** (benzen, toluen, suma xylenů, styren, etylbenzen, trichloreten a tetrachloreten), **formaldehyd** a **mikroklima**.
- V obou prostorách (učebna, tělocvična) byl, před zahájením vyučování, před ranním vyvětráním a před příchodem žáků odebrán jeden vzorek ovzduší do kanystru pro identifikaci organických látek.
- CO_2 jako ukazatel míry ventilace

➤ Lokalizace měřicích míst

- **Učebna** (PM_{10} , $PM_{2,5}$, VOC, HCHO, mikroklima, CO_2), jedno měřicí místo, střed místnosti 1,5 m nad zemí
- **Tělocvična** (suspendované částice PM_{10} a $PM_{2,5}$, organické látky) - jedno měřicí místo - dle dispozice tělocvičny (výklenek)
- **Venkovní ovzduší** - (VOC, suspendované částice frakce PM_{10} , CO, O_3 , NO_2 včetně meteorologických charakteristik)

mobilní systém nebo reprezentativně umístěná stacionární stanice (ne dále jak 200 m od školy)

Měřily se učebny 1. stupně ZŠ během topné sezóny (listopad - únor)

➤ Odběrové intervaly

- Učebny a tělocvičny

- 4 hodinový integrální odběr od cca 8⁰⁰ do 12⁰⁰ hod. (VOC, PM₁₀, PM_{2,5}, HCHO - pouze učebna)
- v učebně kontinuální záznam mikroklimatických faktorů a CO₂, popř. suspendovaných částic frakce PM₁₀ měřených čítači částic (GRIMM) s určením gravimetrického faktoru

- Venkovní ovzduší

- kontinuální záznam z automatických analyzátorů (CO, O₃, NO/NO₂/NO_x, suspendované částice frakce PM₁₀ a mikroklimatické faktory
- integrální odběr paralelně s měřením v učebně (VOC)

V tělocvičně



Ve třídě



Výsledky měření

	Teplota (oC)		Vlhkost (%)		CO ₂ (%)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)		HCHO (µg/m ³)
	učebna	tělocvična	učebna	tělocvična	učebna	učebna	učebna	tělocvična	učebna
min	21,9	17,5	25,5	34,7	0,080	5,0	62,0	28,2	3,4
max	26,8	24,4	52,4	59,4	0,593	133,0	187,0	253,0	40,8
průměr	23,8	20,5	35,6	45,9	0,156	48,3	106,6	105,8	13,2
medián	23,7	20,4	34,2	44,9	0,136	40,4	101,7	88,6	12,4
95% kvantil	25,3	23,4	44,5	53,9	0,203	105,1	174,4	223,8	23,2
limit	21-23*	19-21*	30-65		-	80	150		60

dle Vyhlášky č. 410/2005 Sb. o hyg.požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých



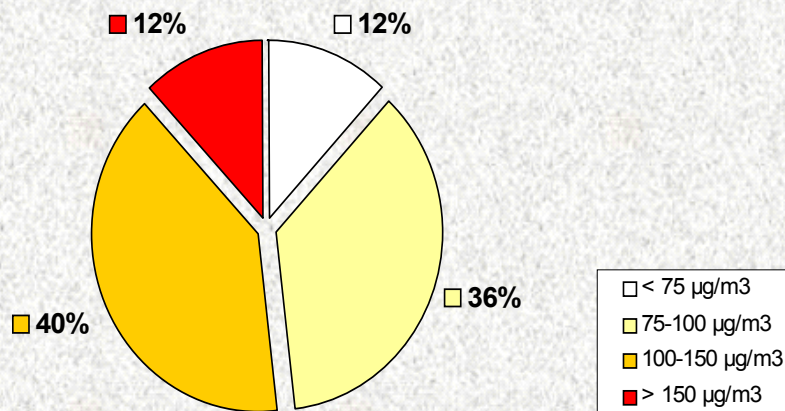
Těkavé organické látky

	Benzen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Toluen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Xyleny celkem ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Styren ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	učebna	tělocvična	venkovní	učebna	tělocvična	venkovní	učebna	tělocvična	venkovní	učebna	tělocvična	venkovní
min	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	0,3	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5
max	8,7	9,0	10,0	54,8	44,0	34,0	128,6	120,0	40,0	9,8	3,3	0,6
průměr	2,6	2,4	2,7	11,7	9,3	8,4	17,4	19,8	9,1	1,3	0,9	0,5
medián	2,5	2,0	1,9	8,4	5,5	3,9	6,6	9,4	4,7	0,5	0,5	0,5
95% kvantil	4,9	5,6	8,7	32,4	38,0	23,9	51,8	75,6	33,6	5,3	3,1	0,5
limit	7			300			200			40		

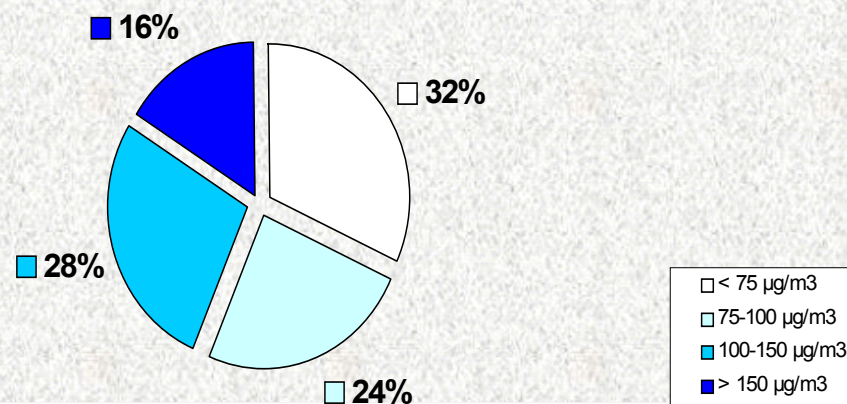
	Etylbenzen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Trichloreten ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Tetrachlorethylen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	učebna	tělocvična	venkovní	učebna	tělocvična	venkovní	učebna	tělocvična	venkovní
min	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
max	34,8	22,0	7,1	8,3	10,0	1,5	22,7	11,0	5,2
průměr	4,4	4,4	2,2	1,3	1,0	0,7	2,7	1,3	1,1
medián	1,7	2,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
95% kvantil	24,5	19,8	6,9	5,3	0,7	0,7	7,5	3,2	3,5
limit	200			150			150		

Suspendované částice PM₁₀

Procentuální zastoupení učeben podle koncentrace PM₁₀

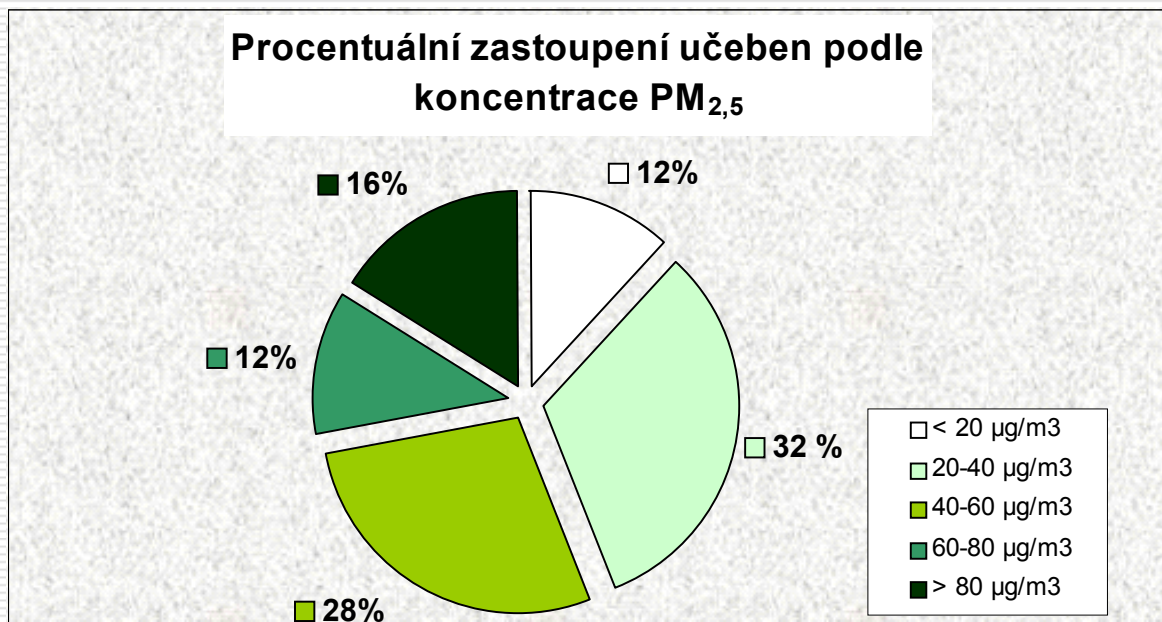


Procentuální zastoupení tělocvičen podle koncentrace PM₁₀



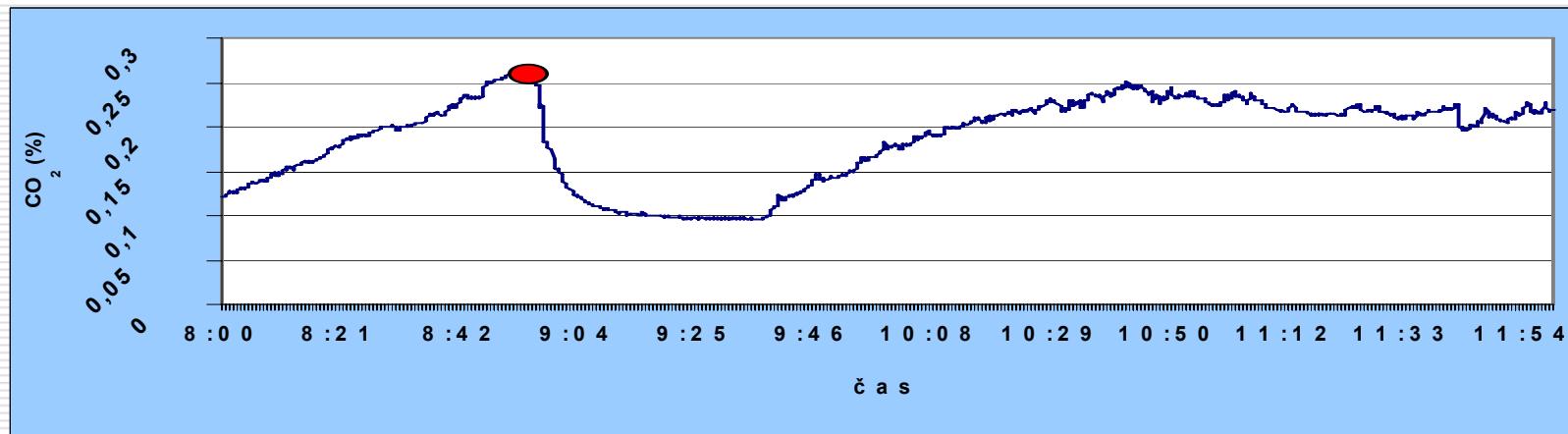
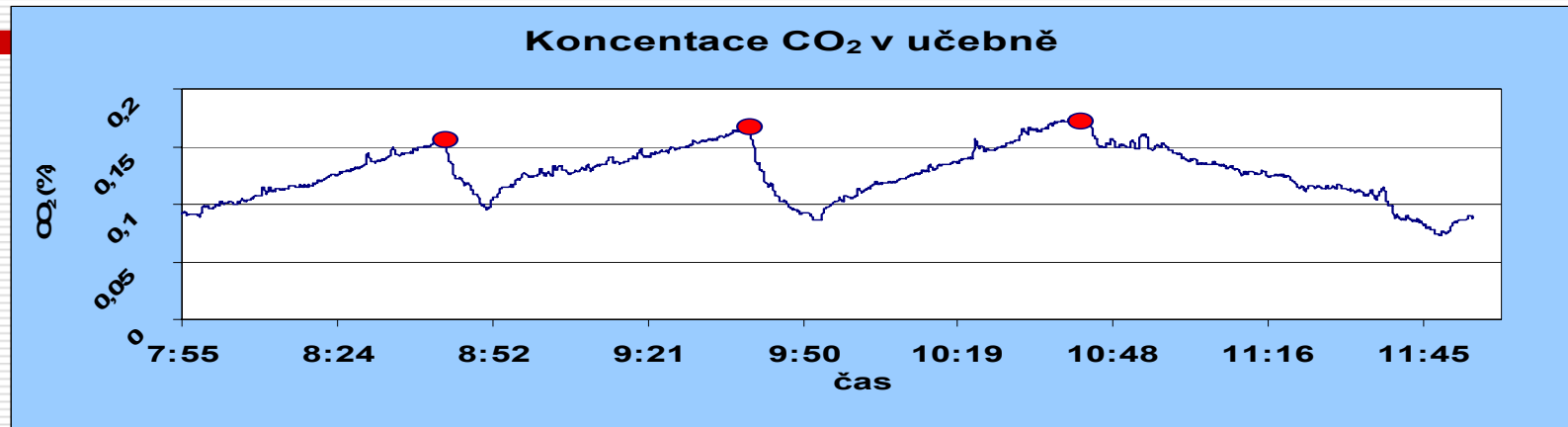
- Koncentrace susp. částic PM₁₀ v **12% učeben** (max. 187 µg/m³) a v **16% tělocvičen** (max. 253 µg/m³) převyšovala limit daný vyhláškou č.6/2003 Sb.
- Vliv podlahové krytiny

Suspendované částice $PM_{2,5}$



- Koncentrace susp. částic $PM_{2,5}$ v **16% učeben** převyšovala limit daný vyhláškou č.6/2003 Sb. Maximum $133 \mu g/m^3$ (tělocvičny z důvodu neúplného souboru dat nebyly hodnoceny).

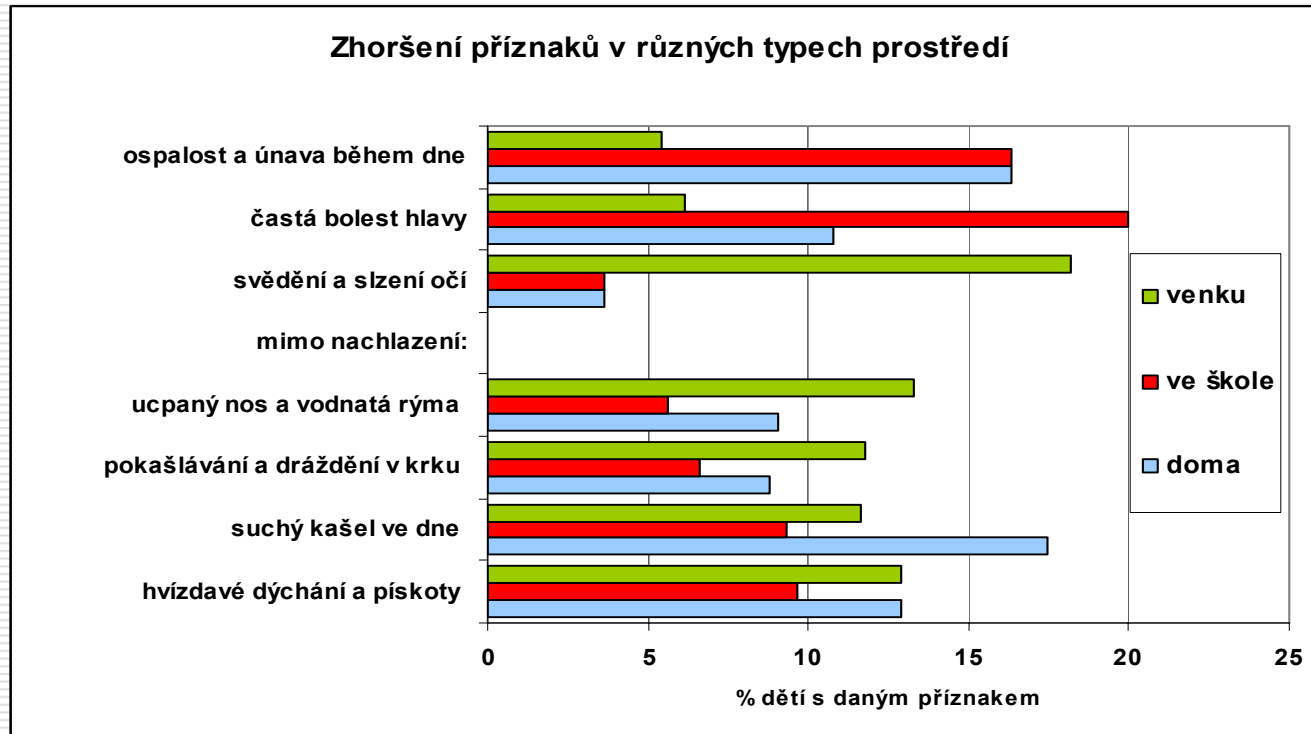
Oxid uhličitý



- Průběh koncentrace CO_2 odpovídá režimu větrání v učebně
(doporučená hodnota koncentrace CO_2 je 0,12 - 0,15 %)

Dotazníky

- Dotazník jsme získali celkem od **452** dětí.
Průměrný věk dětí byl 9 let.
- Dotazník obsahoval 18 otázek zaměřených na:
 - podmínky bydlení a režim dne dítěte
 - zdravotní stav dítěte (typ alergického onemocnění, příznaky alergických onemocnění, výskyt syndromu nemoci z budov, zhoršování příznaků v různém prostředí)



- Ve škole se u 20 % dětí zhoršila bolest hlavy a u 17% pocit únavy.

Závěry

- Z naměřených hodnot v I. etapě projektu vyplynulo, že problém ve vnitřním prostředí škol představují **suspendované částice** a **mikroklimatické faktory**
- Nalezené hodnoty **CO₂** ukázaly, že výměna vzduchu v učebnách je ve většině případů nedostatečná, maximální naměřená hodnota CO₂ byla téměř 5x vyšší než je hodnota doporučená
- Koncentrace formaldehydu a dalších těkavých org. látek nepředstavovaly v měřených školách problém

II. etapa projektu

Na počátku roku 2008 (leden-duben) byla realizována 2. etapa měření s cílem ověřit reprezentativnost výsledků získaných v první etapě a doplnit informace o prostorové variabilitě vybraných parametrů.

V každém kraji změřena 1 základní škola
(14 škol)

- **školy** byly vybrány ve spolupráci s Krajskými hygienickými stanicemi (ze 3 navržených škol byla vybrána 1 pro měření)
- **v každé škole změřeno 10 učeben**
- měření prováděli pracovníci Zdravotních ústavů

Měřené parametry

Rozsah měřených parametrů vycházel z výsledků měření 1. etapy, kde se jako problémové ukázaly :

- **mikroklimatické faktory** - teplota a vlhkost
- **CO₂** - indikátor výměny vzduchu
- **suspendované částice PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{1,0}**

(o tuto frakci byl projekt rozšířen)

Odběrové intervaly

V každé učebně byly měřeny vždy 2 vyučovací hodiny včetně přestávky mezi nimi

Měření



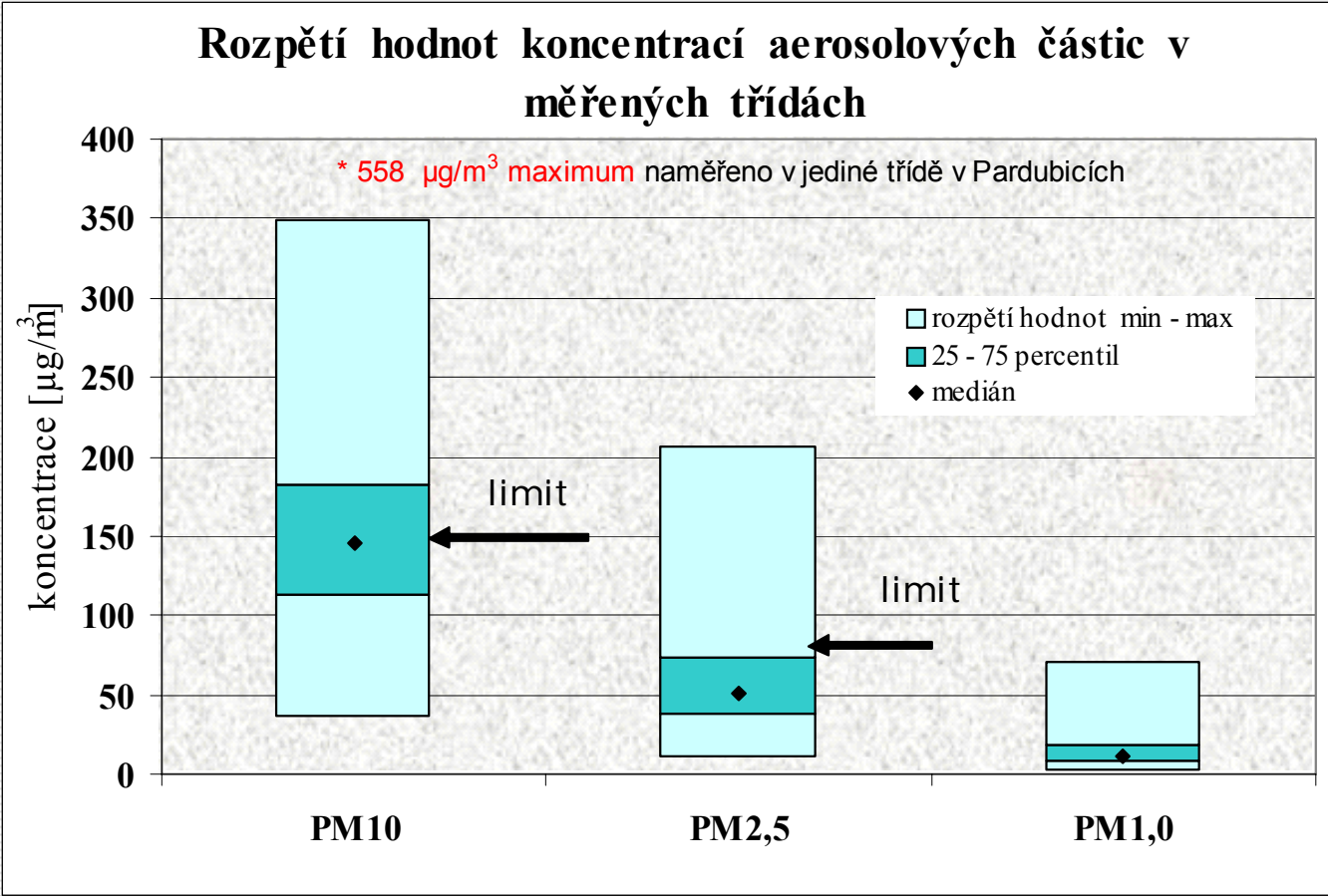
Výsledky měření

- Změřeno bylo 14 škol, 141 učeben

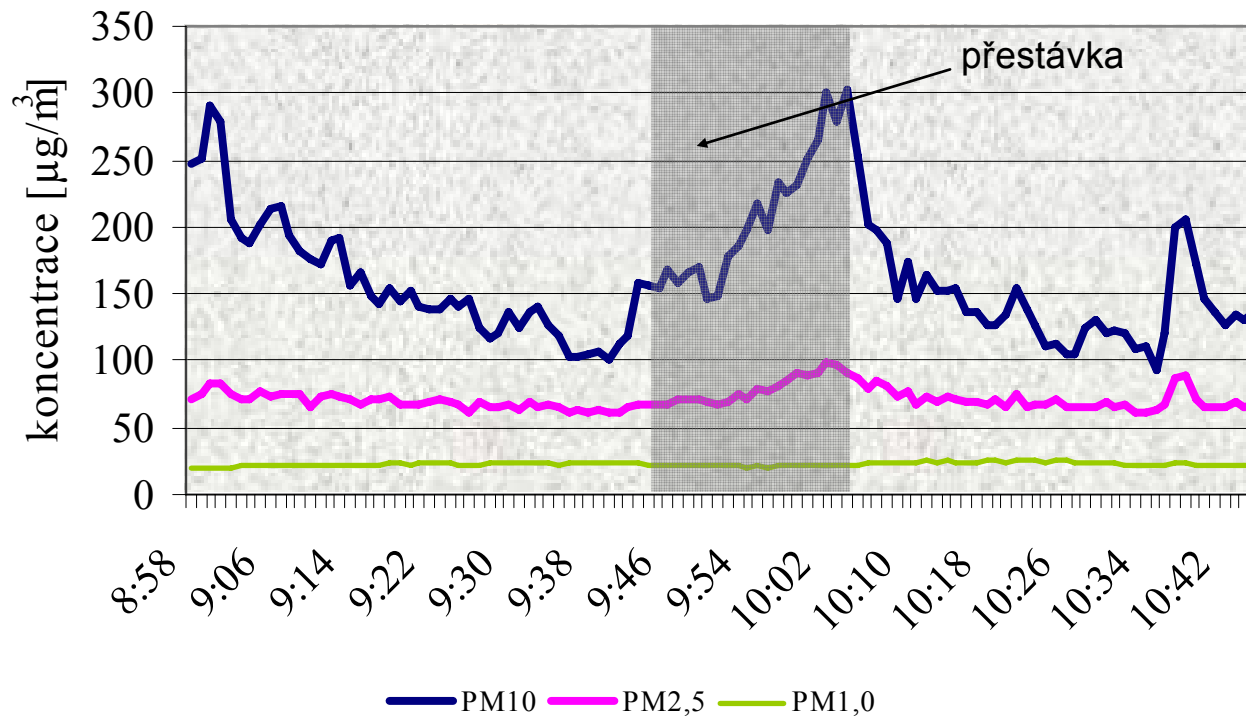
	PM ₁₀ (μg/m ³)	PM _{2,5} (μg/m ³)	PM _{1,0} (μg/m ³)	CO ₂ %	vlhkost %	teplota °C
min	37	11	3	0,066	17	20,6
max	558	207	70	0,298	52	30,0
medián	146	51	12	0,124	35	23,7
25percentil	113	38	8	0,103	31	22,6
75percentil	183	74	19	0,166	39	24,7
průměr	155	63	17	0,138	35	23,8
limit (doporučení)	150	80	-	(0,12 - 0,15)	30 - 65	20 - 24

- Měření potvrdilo, že koncentrace aerosolových částic a mikroklimatické faktory včetně koncentrace CO₂ představují ve školách problém

Rozpětí PM_{10} , $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$

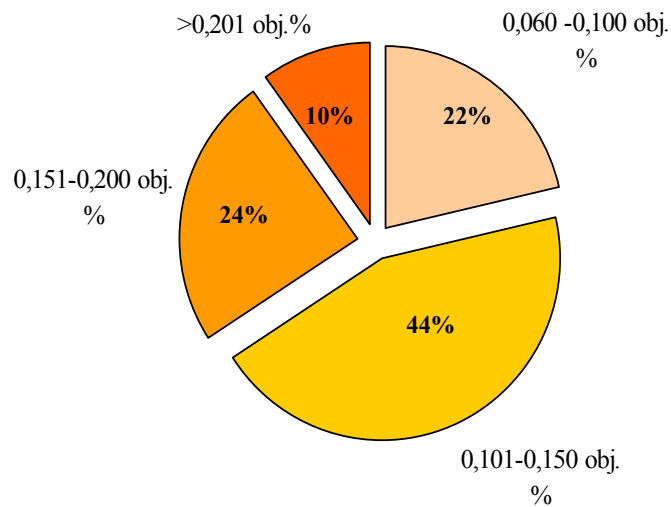


Průběh koncentrací jednotlivých frakcí suspendovaných částic v učebně

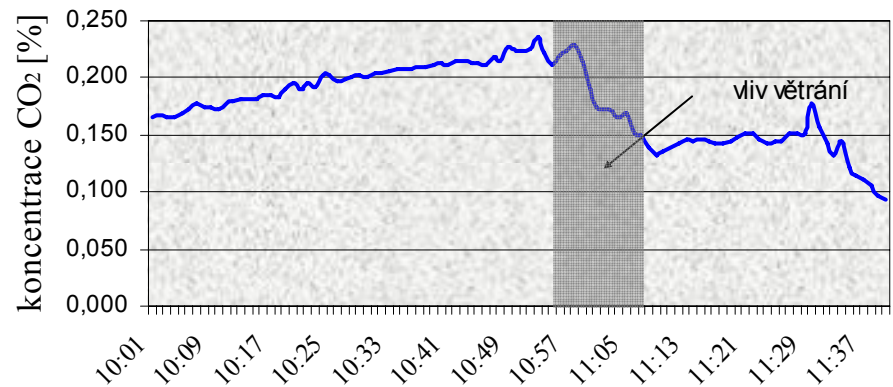


Oxid uhličitý

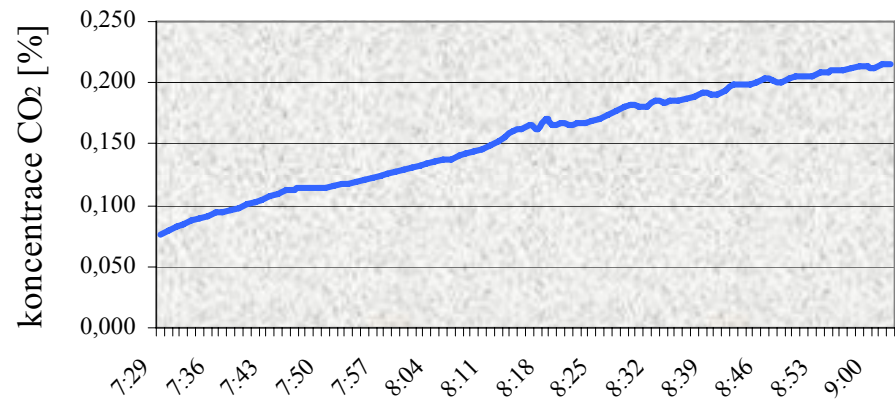
Koncentrace CO₂ v učebnách



Průběh koncentrace CO₂ ve větrané učebně



Průběh koncentrace CO₂ v nevětrané učebně



Výsledky - třídy

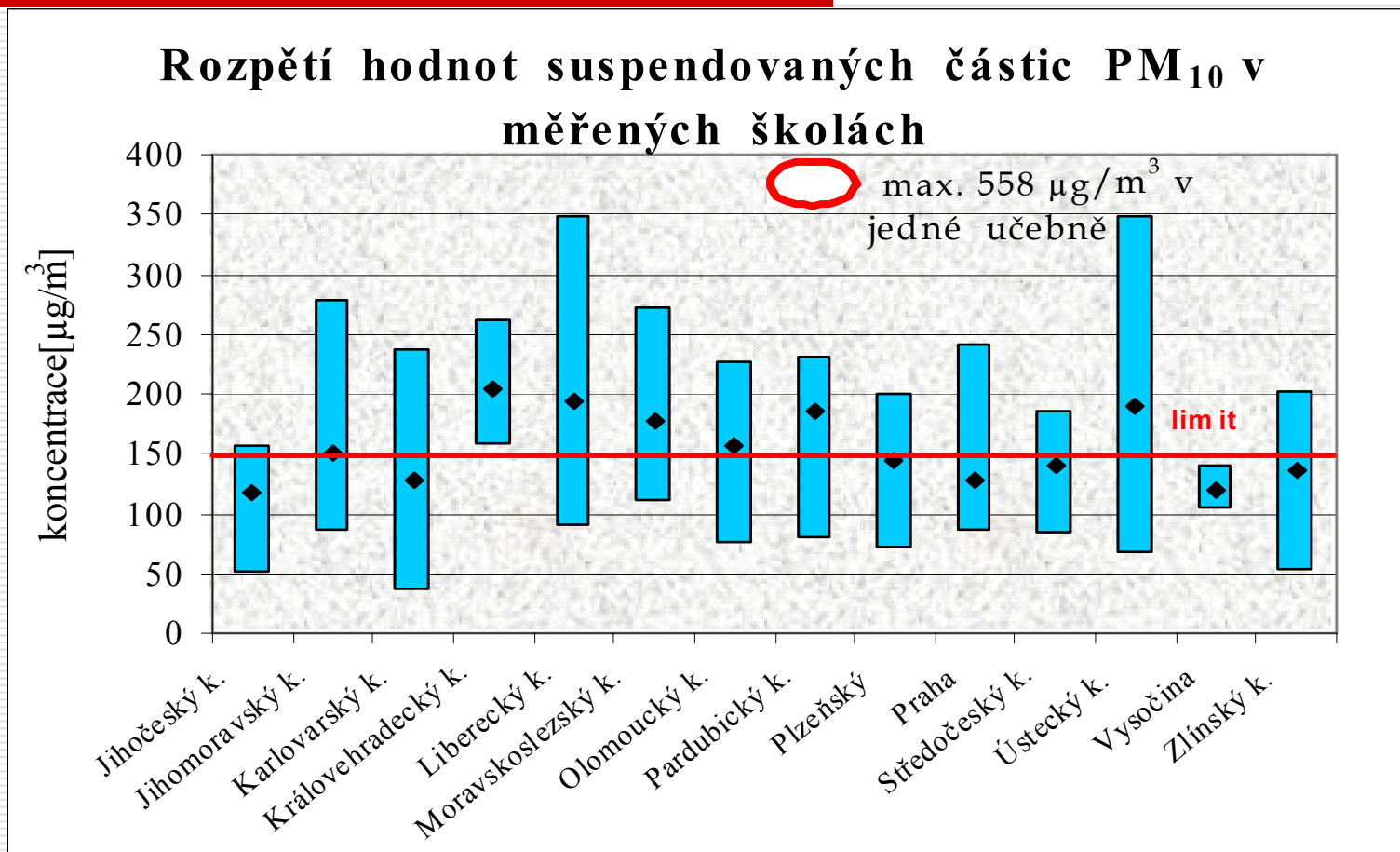
Suspendované částice

- V 65 třídách (46%) byl překročen limit pro PM_{10} ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- V 29 třídách (21%) byl překročen limit pro $PM_{2,5}$ ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

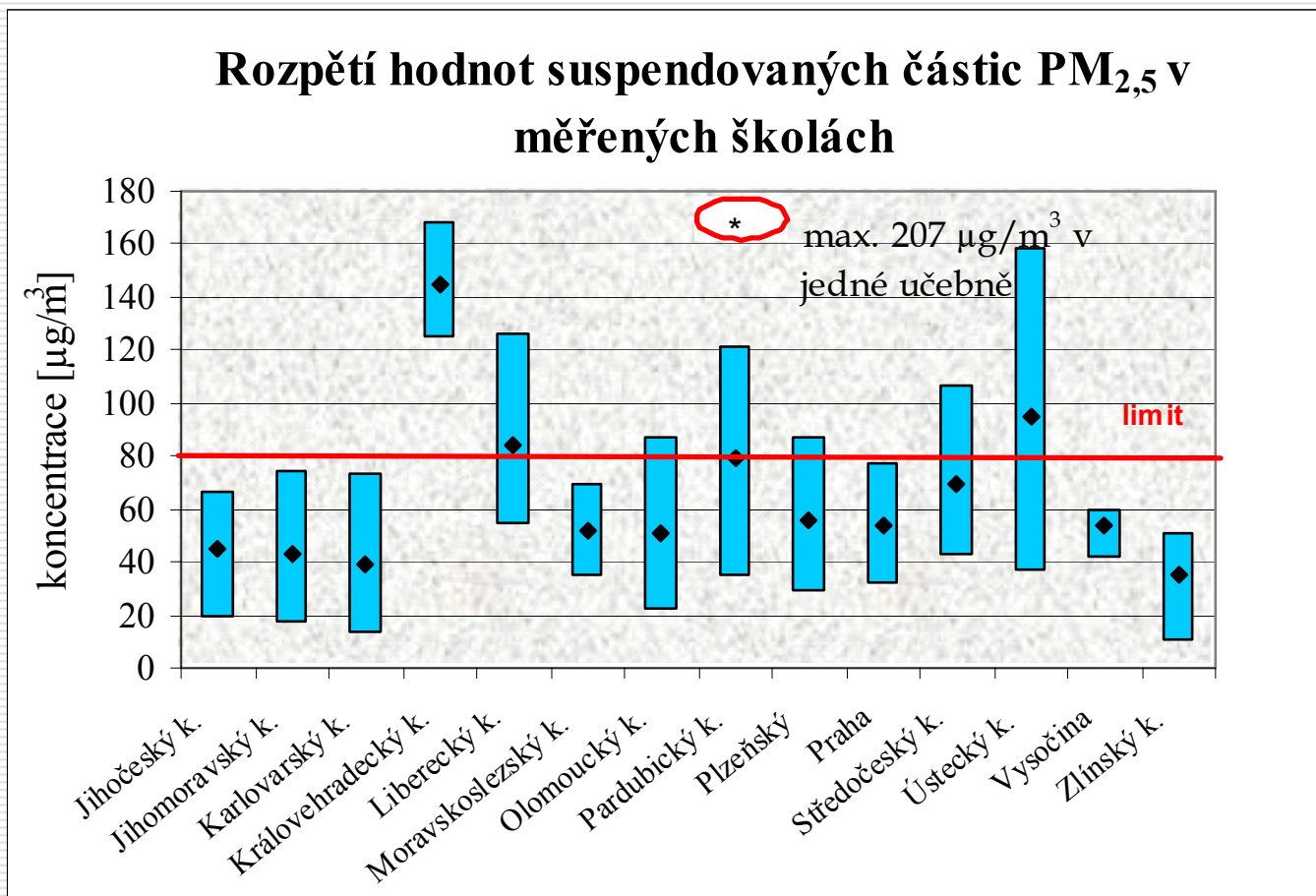
Mikroklimatické faktory + CO_2

- V 31 třídě (22 %) nebyl dodržen limit pro vlhkost (30-65%)
- V 51 třídě (36 %) nebyl dodržen limit pro teplotu (20 - 24 °C)
- V 48 třídách (34%) byla překročena max. doporučená hodnota CO_2 (0,15%)

Rozpětí PM_{10}



Koncentrace $PM_{2,5}$



Výsledky v rámci školy

- V každé škole 10 tříd

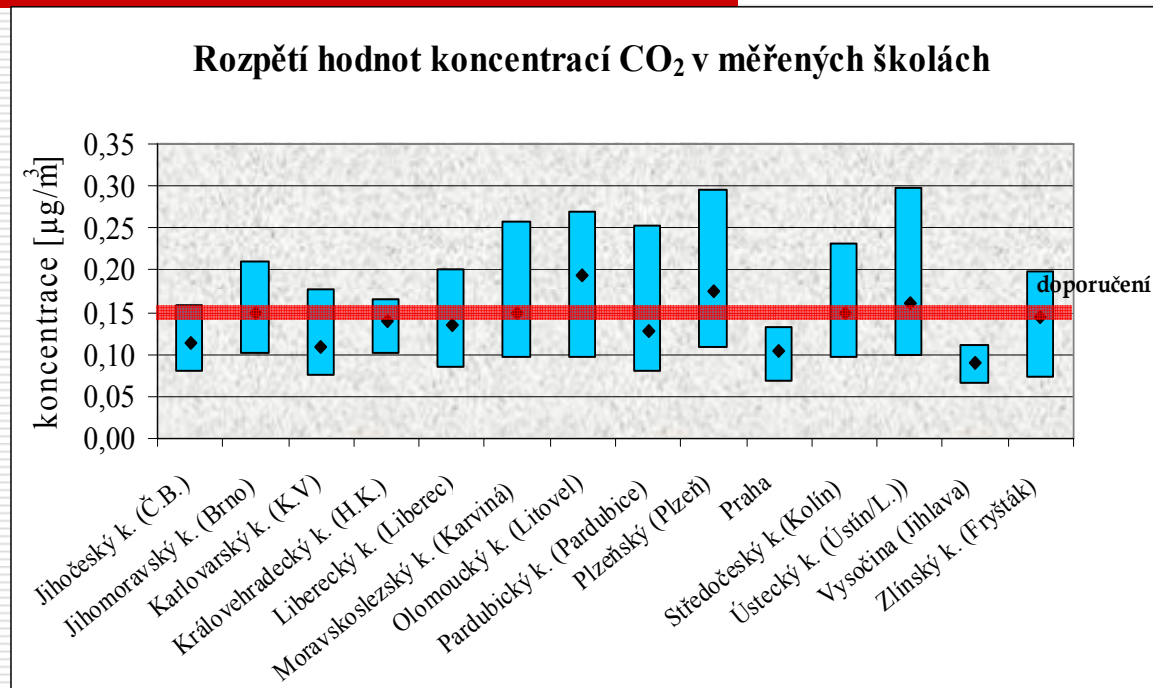
PM₁₀

- nejvyšší rozdíl mezi třídami v rámci jedné školy - 478 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nejmenší rozdíl 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, v ostatních školách 101 - 281 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- nejvyšší průměrná hodnota ve škole (průměr z 10 změřených tříd) - 204 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a nejnižší - 117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

PM_{2,5}

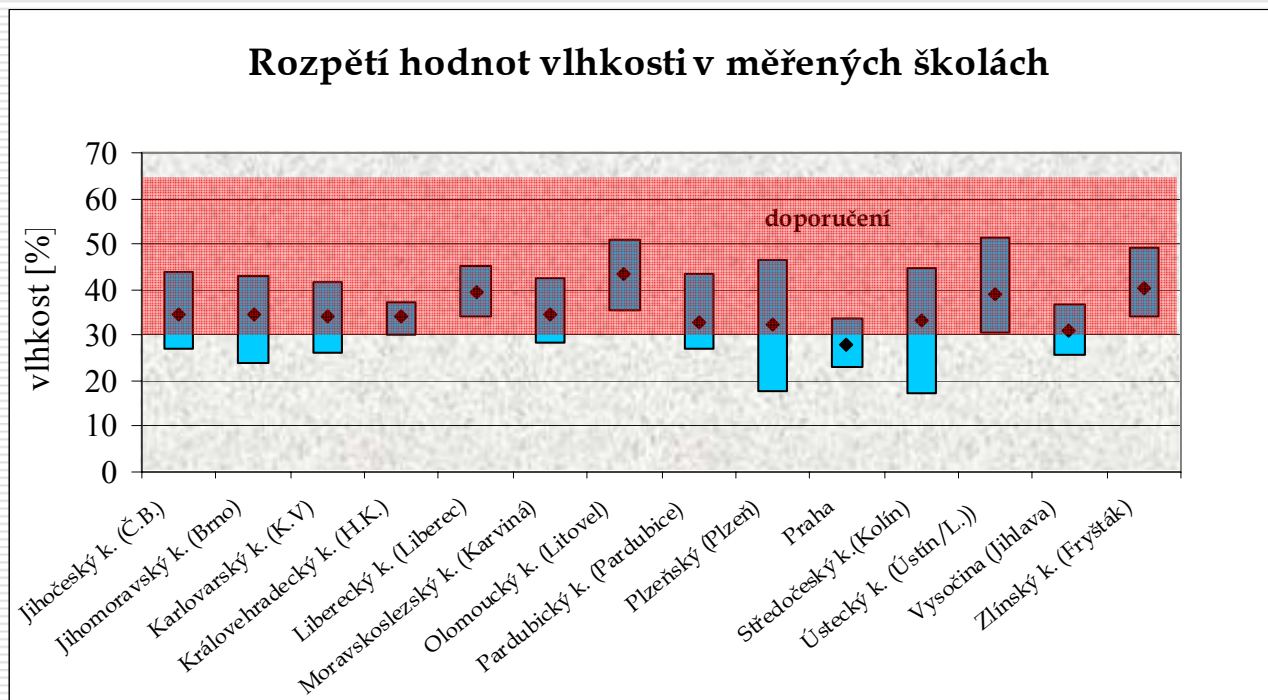
- nejvyšší rozdíl mezi třídami v rámci jedné školy 172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nejmenší rozdíl 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, v ostatních školách 40 - 121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- nejvyšší průměrná hodnota ve škole (průměr z 10 změřených tříd) - 144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a nejnižší - 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Koncentrace CO₂



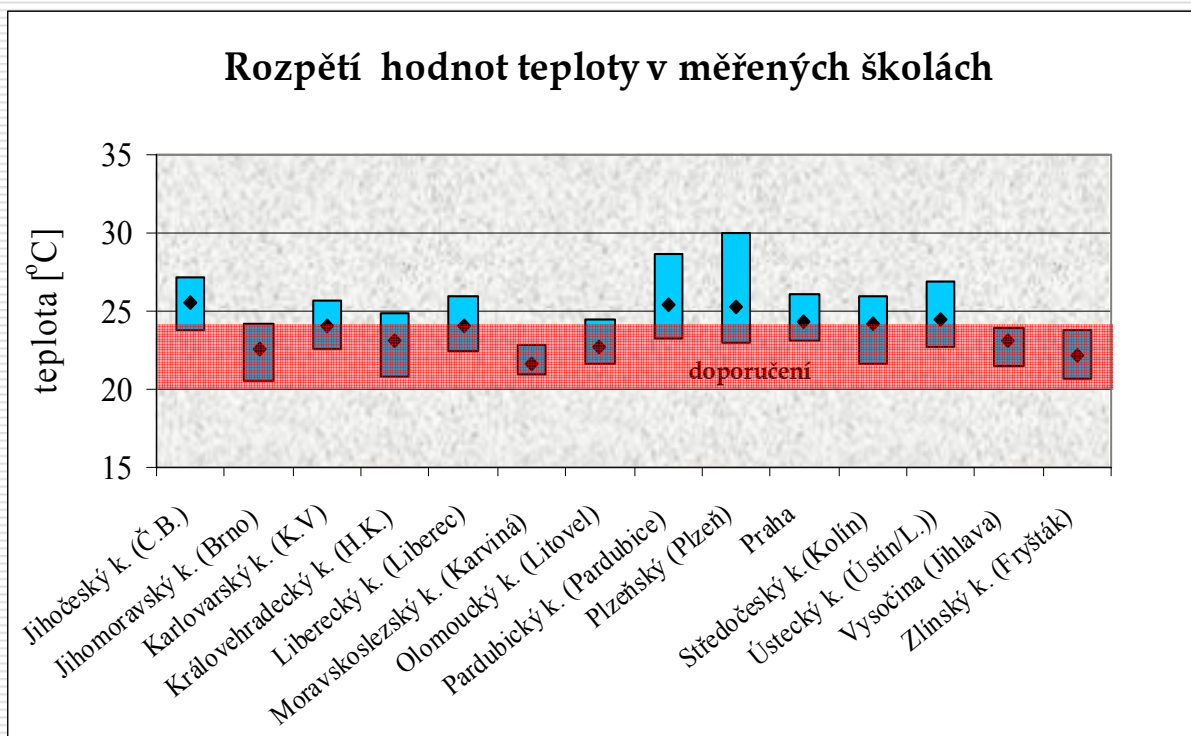
- nejvyšší rozdíl mezi třídami v rámci jedné školy byl 0,199 obj. %
- nejvyšší průměrná hodnota ve škole (průměr z 10 změřených tříd) 0,194 obj. %

Vlhkost



- nejvyšší rozdíl mezi třídami v rámci jedné školy byl 28,9%
- průměrné hodnoty vlhkosti ve škole (průměr z 10 změřených tříd) se pohybovaly od 28,1% do 43,3%

Teplota



- nejvyšší rozdíl teplot mezi třídami v rámci jedné školy byl 7,1 °C
- průměrné hodnoty teploty ve škole (průměr z 10 změřených tříd) se pohybovaly od 21,7 °C do 25,6 °C

Závěry

- Naměřené hodnoty potvrdily, že problém ve vnitřním prostředí škol představují **suspendované částice a mikroklimatické faktory**.
- Nalezené hodnoty **CO₂** ukázaly, že výměna vzduchu v učebnách byla často nedostatečná (34% tříd).
- Z rozdílů hodnot mezi třídami v rámci školy vyplývá, že na základě změření jedné třídy **nelze hodnotit školu**.

Shrnutí

- Byly vytipovány problematické parametry vnitřního prostředí škol - **prašnost** a **mikroklima** (teplota, vlhkost),
- ve třídách je často nevyhovující výměna vzduchu indikovaná **vysokými** koncentracemi **CO₂**,
- **VOC** včetně formaldehydu ve škole zásadní **problém nepředstavují**,
- rozpětí hodnot jednotlivých parametrů v různých třídách v rámci jedné školy může být značné



Děkuji za pozornost

