

Měření vnitřního prostředí v základních školách

Závěrečná zpráva

Z

měření kvality vnitřního prostředí a mikroklimatických parametrů ve školách

(2008)

Zpracovali pracovníci:

SZÚ Praha, centrum hygieny životního prostředí, odborná skupina hygieny ovzduší

Ing. Miroslava Mikešová (tel: 26708 2270, e-mail: mikesova@szu.cz)

RNDr. Bohumil Kotlík (tel: 26708 2375, e-mail: b.kotlik@szu.cz)

Měření vnitřního prostředí v základních školách

V dlouhodobém projektu monitorování vnitřního ovzduší, který je součástí „Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí“ byla na přelomu roku 2006-2007 realizována první etapa měření vnitřního ovzduší ve školách. Začátkem roku 2008 bylo uskutečněno měření k doplnění a rozšíření této studie.

Cílem měření vnitřního ovzduší ve školách bylo ověřit reprezentativnost výsledků a doplnit informace o prostorové variabilitě vybraných parametrů.

1. Měřené parametry

Rozsah vycházel z Vyhlášky MZ ČR č. 6/2003 Sb. a z výsledků první etapy měření vnitřního ovzduší ve školách (viz zpráva za rok 2006), které identifikovaly jako potenciálně problematické:



- dodržování hodnot mikroklimatických parametrů, a to především teploty pro kterou předpis uvádí pro chladné období roku požadované rozmezí 22 ± 2 °C, relativní vlhkosti, s požadovanou hodnotou pro chladné období minimálně 30 % a výměny vzduchu indikovatelnou hodnotami proudění vzduchu a hmotnostními koncentracemi CO₂
- expozici aerosolovým částicím frakce PM₁₀ a PM_{2,5}. Tyto frakce byly doplněny sledováním frakce PM_{1,0}.

2. Měření

V rámci projektu bylo v každém kraji proměřeno v jedné základní škole za plného (normálního) vyučovacího režimu deset učeben a popsána variabilita vybraných parametrů vnitřního prostředí. Školy (tab. č. 1) byly vybírány ve spolupráci s Krajskými hygienickými stanicemi; jediným kritériem výběru byl požadavek vícepatrové budovy (minimálně 2 patra/3 podlaží). Proměřené učebny byly umístěny v různých podlažích budov a jejich okna byla náhodně orientována vzhledem ke světovým stranám; měřeny tak byly třídy žáků prvního i druhého stupně. Měření proběhla v topné sezóně 2008 (v období leden až duben) ve všech 14ti krajích České republiky. V každé učebně byly měřeny vždy 2 vyučovací hodiny včetně přestávky mezi nimi.



Hmotnostní koncentrace aerosolových částic byly měřeny optickým čítačem částic Grimm (typ 1.107/1.109) a mikroklimatické faktory a hmotnostní koncentrace CO₂ kombinovaným přístrojem Testo (typ 442). Data byla sbírána do řídicího PC.

Tabulka č. 1: Přehled měřených škol

Kraj	Škola	Měřené učebny	Datum měření
Jihočeský	ZŠ Grünwaldova, České Budějovice	3.B, 3.A, 2.B, 2.A, 7.D, 3.C, 7.C, 9.D, 8.B, 8.C	8. - 11. 4. 2008
Jihomoravský	ZŠ Hudcova 35, Brno	5.B, 8.A, uč. angl., 4.A, 8.B, 6.A, 3.A, 7, 2.A, 1.A	25. - 28. 3. 2008
Karlovarský	ZŠ Konečná 25, Karlovy Vary	326, 235, 319, 248, 125, 434, 132, 145, 428, 251, 237	11. - 14. 3. 2008
Královehradecký	ZŠ Jiráskovo nám., Hradec Králové	32,31,56, 68, 75, 33, 73, 76, 29, 54	11. - 14. 2. 2008
Liberecký	ZŠ Husova 44, Liberec	110, 102, 206, 210, 117, 205, 309, 304, 303, 402	1. - 3. 4. 2008
Moravskoslezský	ZŠ Dělnická, Karviná	8.A, 7.A, 7.S, 1.B, 4.A, 6.B, 7.B, 1.C, 3.A, 9.C	3. - 6. 3. 2008
Olomoucký	ZŠ Vítězná 1250, Litovel	1.A, 1.C, 6.B, 9.C, 4.A, 7.A, 8.C, 2.A, 8.B, 6.C	10. - 12. 3. 2008
Pardubický	ZŠ Štefánikova, Pardubice	2.A, 9.A, 1.B, 2.B, 4.C, 7.B, 8.A, 9.B, 9.C, 5.A	4. - 7. 2. 2008
Plzeňský	ZŠ Třebízského 32, Rokycany	9.B, 6.B, 4.B, 7.A, 6.A, 2.B, 8.B, 3.A, 3.B, 5.A	3. - 6. 3. 2008
Praha	ZŠ Nad Přehradou, Praha 10	3.A, 2.B, ŠD, 2.A, 4.A, 7.B, 8.B, 8.A, 7.A, 6.A	25. - 28. 3. 2008
Středočeský	10. ZŠ, Kladno	1.A, 2.A, 3.A, 3.B, 9.A, 5.A, 7.A, A1, 9.B, N1	18. - 21. 2. 2008
Ústecký	ZŠ České Mládeže, Ústí nad Labem	6.A, 7.A, 6.B, 7.A, 5.A, 9.B, 1.A, 3.C, 2.A, 9.A+B	25. - 28. 2. 2008
Vysočina	ZŠ O. Březiny, Jihlava	2.B, 2.C, 6.B, 4.A, 5.C, 9.B, 8.A, 5.B, 4.B, 8.B	25. - 28. 2. 2008
Zlínský	ZŠ nám. Míru, Fryšták	9.A, 9.B, 5.A, 1.B, 3.A, 8.B, 1.A, 4.B, 3.B, 6.A	14. - 18. 3. 2008

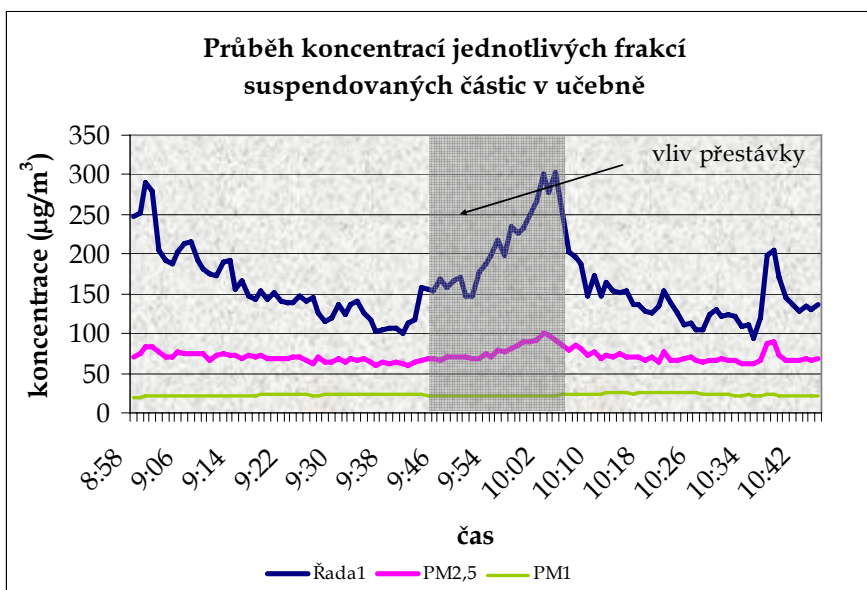
3. Výsledky měření

V této části jsou prezentovány základní charakteristiky naměřených hodnot jednotlivých parametrů, jednak vzhledem k měřené škole (tab. č. 2 a 4), jednak vzhledem ke všem změřeným učebnám (tab. č. 3.). Bylo změřeno celkem 14 základních škol, ve kterých bylo změřeno celkem 141 učeben. Měření bylo realizováno v topné sezóně (2008).

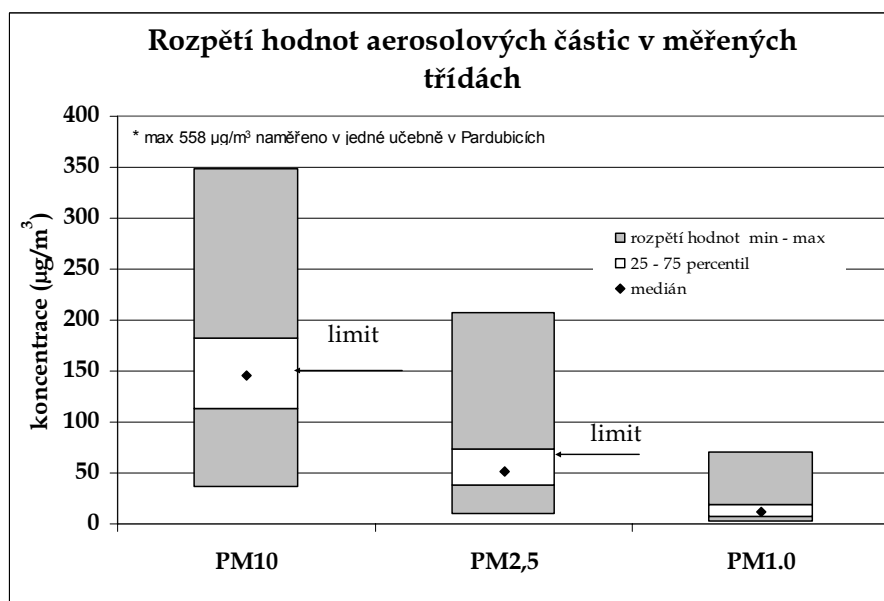
V tabulce č. 1 jsou uvedeny výsledky měření suspendovaných částic frakce PM₁₀, PM_{2,5} a PM_{1,0} v jednotlivých školách. Hodnoty suspendovaných částic, především frakce PM₁₀ a PM_{2,5}, jsou ovlivněny aktivitami ve třídě (graf č. 1 a 2), režimem úklidu a významný vliv má také typ podlahové krytiny. Přestože se použití koberců jeví jako nevhodné bylo celoplošným kobercem pokryto 3,5 % učeben a na části podlahové plochy byl koberec v 17 % učeben.

Tabulka č. 2: Přehled koncentrací suspendovaných částic v jednotlivých školách

kraj	PM ₁₀ (µg/m ³)			PM _{2,5} (µg/m ³)			PM _{1,0} (µg/m ³)		
	min	max	prům	min	max	prům	min.	max	prům
Jihočeský (Č.B.)	51	158	117	20	67	45	6	29	13
Jihomoravský (Brno)	86	278	151	17	74	43	3	17	10
Karlovarský (K.V.)	37	236	127	13	73	39	3	9	6
Královehradecký (H.K.)	158	262	204	125	169	144	43	70	58
Liberecký (Liberec)	91	349	194	55	126	84	13	31	20
Moravskoslezský (Karviná)	111	271	177	35	70	51	8	23	11
Olomoucký (Litovel)	77	227	157	22	87	51	4	31	14
Pardubický (Pardubice)	80	558	185	35	207	79	5	50	19
Plzeňský (Rokycany)	73	200	144	30	87	56	4	23	12
Praha (Praha 10)	86	242	128	32	77	54	6	35	15
Středočeský (Kladno)	85	186	141	43	106	69	13	40	20
Ústecký (Ústín/L.)	68	348	189	37	159	95	9	46	28
Vysočina (Jihlava)	106	139	120	42	60	53	8	19	12
Zlínský (Fryšták)	54	203	137	11	51	36	3	13	7



Graf č.1: Typický příklad průběhu koncentrací suspendovaných částic v učebně



Graf č. 2: Rozpětí koncentrací suspendovaných částic frakce PM₁₀, PM_{2,5} a PM_{1,0} v měřených učebnách

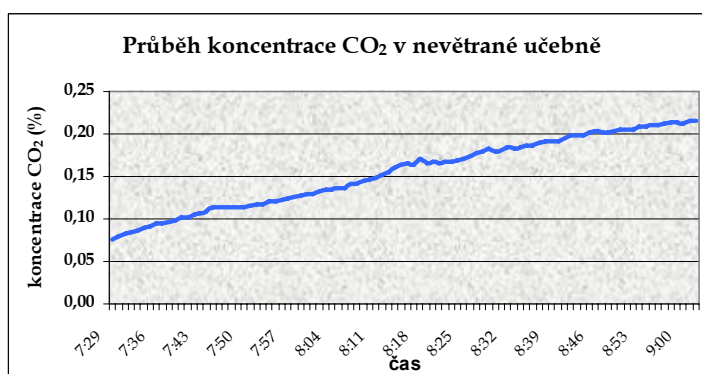
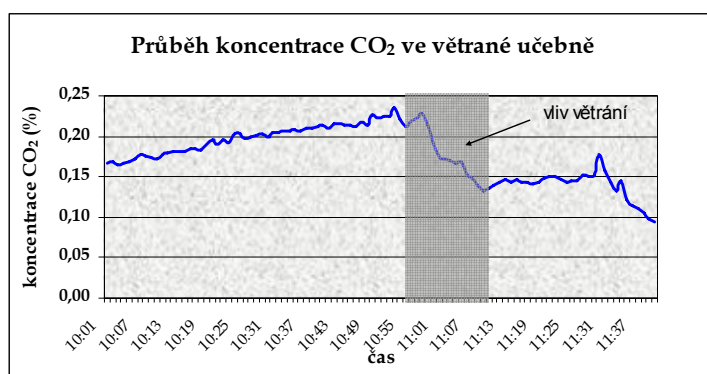
Tabulka č. 3: Základní statistické charakteristiky koncentrací aerosolových částic frakce PM₁₀, PM_{2,5} a PM_{1,0}, oxidu uhličitého a mikroklimatických faktorů (limitní hodnoty jsou stanoveny jako 60 min.) v měřených třídách

	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 v základních školách potvrdilo, že problém představují také mikroklimatické faktory včetně požadavků na výměnu vzduchu indikovanou měřenými hmotnostními koncentracemi oxidu uhličitého (viz tabulka č.3 a 4). Mikroklimatické faktory může ovlivnit chování osob (**větrání** - viz. graf č. 3, intenzita topení, zvlhčování vzduchu...) a do jisté míry i vybavení místnosti, jako je typ oken nebo použití žaluzií. V měřených školách bylo 37 % učeben vybaveno plastovými okny a 16 % učeben nemělo okenní žaluzie.

Tabulka č. 4: Přehled hodnot mikroklimatických faktorů a koncentrací oxidu uhličitého v jednotlivých školách

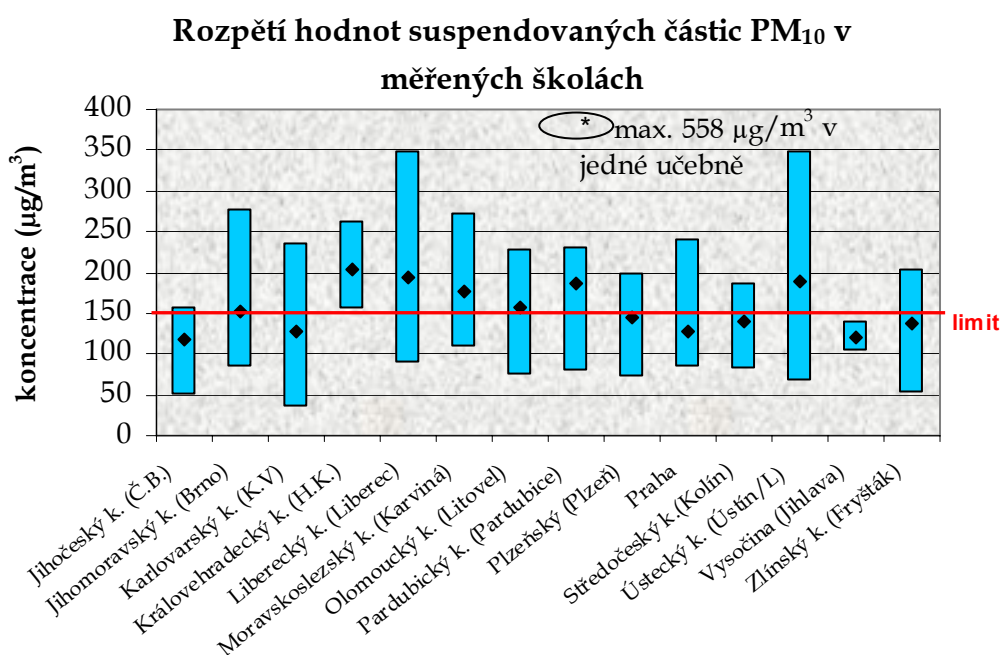
kraj	CO ₂ (%)			vlhkost (%)			teplota (°C)		
	min.	max	prům	min.	max	prům	min.	max	prům
Jihočeský (Č.B.)	0,080	0,159	0,114	27,1	43,7	34,6	23,8	27,2	25,6
Jihomoravský (Brno)	0,101	0,211	0,148	23,7	43,0	34,7	20,6	24,2	22,6
Karlovarský (K.V.)	0,075	0,177	0,108	26,4	41,8	34,1	22,6	25,7	24,1
Královehradecký (H.K.)	0,103	0,166	0,139	30,1	37,4	33,9	20,8	24,9	23,1
Liberecký (Liberec)	0,085	0,202	0,135	34,0	45,2	39,6	22,4	25,9	24,0
Moravskoslezský (Karviná)	0,098	0,258	0,149	28,6	42,4	34,5	20,9	22,9	21,7
Olomoucký (Litovel)	0,096	0,269	0,194	35,4	51,0	43,3	21,6	24,4	22,8
Pardubický (Pardubice)	0,081	0,252	0,128	27,2	43,6	32,9	23,2	28,6	25,4
Plzeňský (Rokycany)	0,110	0,295	0,174	17,7	46,6	32,5	22,9	30,0	25,3
Praha (Praha 10)	0,068	0,132	0,105	22,9	33,7	28,1	23,1	26,1	24,3
Středočeský (Kladno)	0,098	0,231	0,149	17,3	44,9	33,3	21,6	25,9	24,2
Ústecký (Ústín/L.)	0,099	0,298	0,160	30,5	51,6	39,0	22,7	26,9	24,5
Vysočina (Jihlava)	0,066	0,111	0,091	25,7	36,6	31,0	21,6	24,0	23,1
Zlínský (Fryšták)	0,072	0,198	0,145	34,2	49,0	40,3	20,7	23,7	22,2



Graf č. 3: Typický průběh koncentrace CO₂ v závislosti na režimu větrání

Z realizovaných měření vyplývá pro

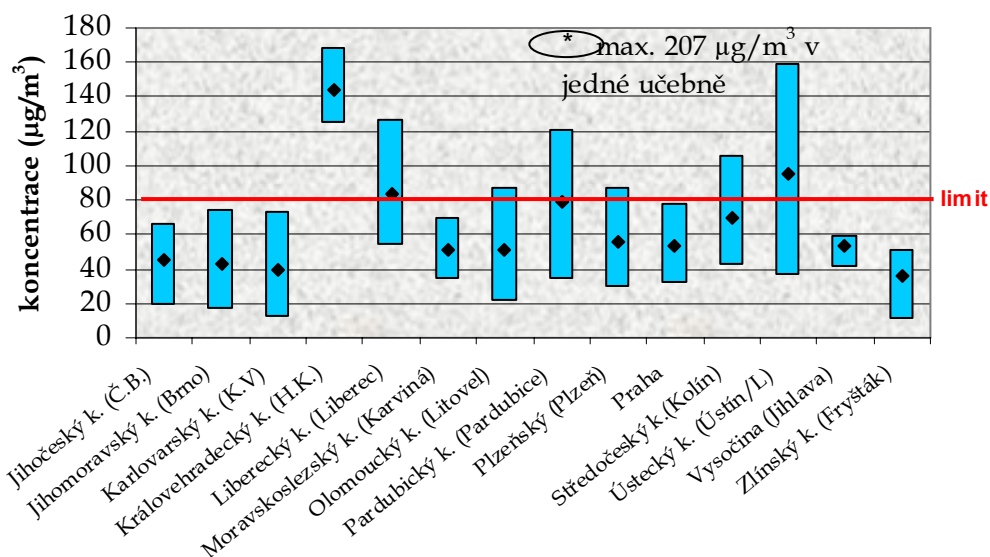
- Suspendované částice frakce **PM₁₀** (graf č. 4):
 - limitní hodnota 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ byla překročena ve 46 % učeben (65 učeben), nejvyšší koncentrace PM₁₀ (558 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) byla naměřena v učebně v Pardubicích a nejnižší v učebně v Karlových Varech (37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Limitní hodnota byla v Hradci Králové překročena ve všech učebnách, naopak v Jihlavě nebyla hodnota limitu překročena v žádné z měřených učeben.
 - největší rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou hodnotou v učebně byl zaznamenán v Pardubicích (478 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Ústí nad Labem (281 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a v Liberci (258 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) naopak nejmenší rozdíl mezi měřenými učebnami byl zjištěn v Jihlavě (34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$);
 - nejvyšší průměrná hodnota byla zjištěna ve škole v Hradci Králové (průměr z 10 měřených učeben - 204 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Nejnižší průměrná hodnota byla zjištěna ve škole v Českých Budějovicích (117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Graf č. 4: Rozpětí hodnot koncentrací suspendovaných částic frakce PM₁₀ v měřených školách

- Suspendované částice frakce **PM_{2,5}** (graf č. 5):
 - limitní hodnota 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ byla překročena ve 20 % učeben (29 učeben), nejvyšší koncentrace PM_{2,5} (207 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) byla naměřena v učebně v Pardubicích a nejnižší v učebně ve Fryštáku ve Zlínském kraji (11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), v sedmi krajích nebyla překročena limitní hodnota v žádné z měřených učeben;
 - největší rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou hodnotou v učebně byl zaznamenán ve škole Pardubicích (172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a ve škole v Ústí nad Labem (121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) naopak nejmenší rozdíl mezi měřenými učebnami byl zjištěn v Jihlavě (17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$);
 - nejvyšší průměrná hodnota ve škole byla zjištěna v Hradci Králové (průměr z 10 měřených učeben - 144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Nejnižší průměrná hodnota byla zjištěna ve škole ve Fryštáku ve Zlínském kraji (36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$);
 - naopak v Hradci Králové byla hodnota limitu překročena ve všech učebnách.

Rozpětí hodnot suspendovaných částic PM_{2,5} v měřených školách



Graf č. 5: Rozpětí hodnot koncentrací suspendovaných částic frakce PM_{2,5} v měřených školách

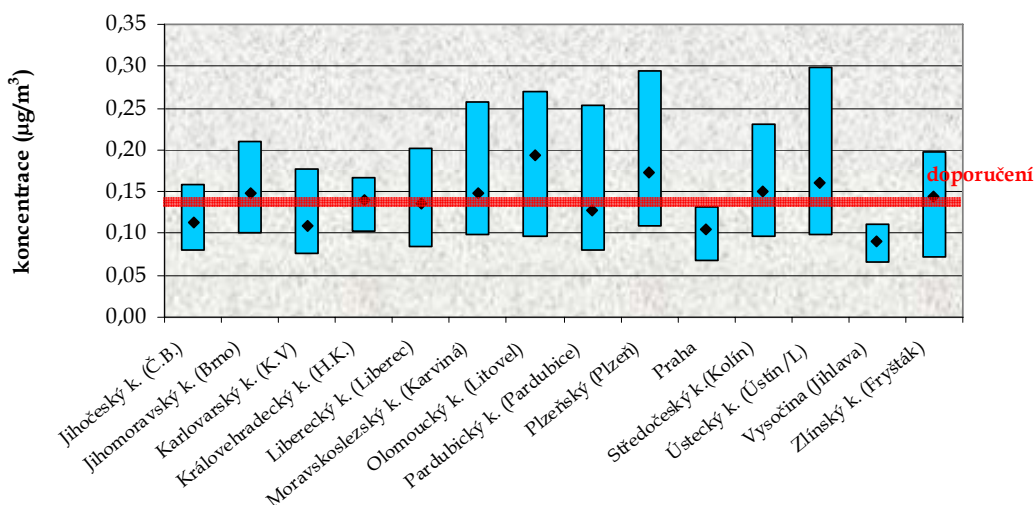
- Suspendované částice frakce PM_{1,0}

- limitní hodnota pro suspendované částice PM_{1,0} není stanovena
- největší rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou hodnotou v učebně byl zaznamenán ve škole Pardubicích (45 µg/m³) a ve škole v Ústí nad Labem (37 µg/m³) naopak nejmenší rozdíl mezi měřenými učebnami byl zjištěn v Karlových Varech (6 µg/m³), nejvyšší koncentrace PM_{1,0} byla naměřena v učebně Hradci Králové (70 µg/m³);
- nejvyšší průměrná hodnota ve škole byla zjištěna v Hradci Králové (průměr z 10 měřených učeben - 58 µg/m³). Nejnižší průměrná hodnota byla zjištěna ve škole v Karlových Varech (6 µg/m³).

- Oxid uhličitý (graf č. 6)

- maximální doporučená hodnota 0,150 obj.% byla překročena ve 34 % učeben (48 učeben), nejvyšší koncentrace CO₂ v učebně byla naměřena v Ústí nad Labem (0,298 obj.%), ve dvou školách (Praha a Jihlava) nebyla překročena doporučená hodnota v žádné z měřených učeben, naopak ve škole v Litovli v Olomouckém kraji byla hodnota 0,150 obj. % překročena v osmi z deseti měřených učeben;
- největší rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou hodnotou v učebně byl zaznamenán ve škole v Ústí nad Labem (0,199 obj.%) a naopak nejmenší rozdíl mezi měřenými učebnami byl zjištěn v Jihlavě (0,045 obj.%);
- průměrné hodnoty ve školách (průměr z deseti měřených učeben) se pohybovaly v rozmezí 0,091- 0,194 obj. %, nejvyšší průměrná hodnota byla zjištěna ve škole v Litovli v Olomouckém kraji.

Rozpětí hodnot koncentrací CO₂ v měřených školách

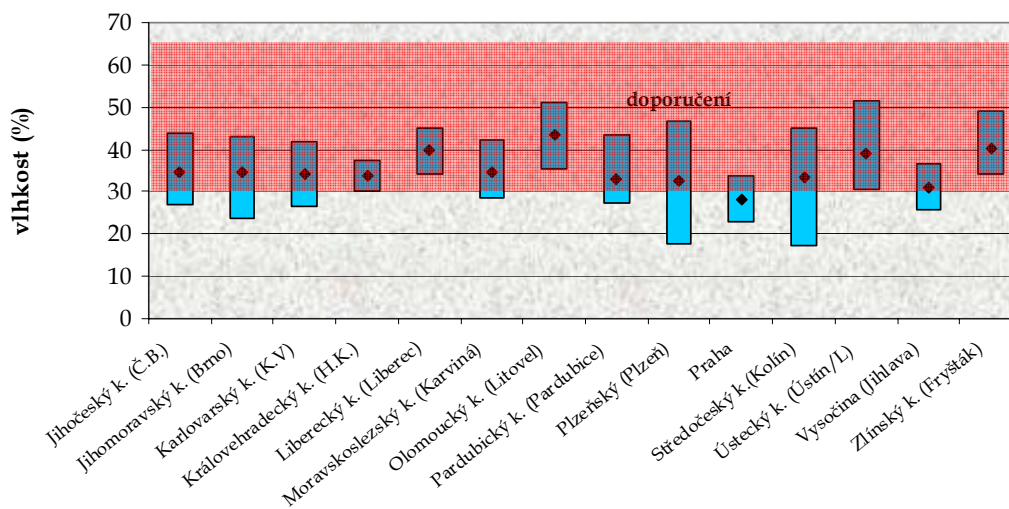


Graf č. 6: Rozpětí hodnot koncentrací oxidu uhličitého v měřených školách

- Mikroklimatické faktory – vlhkost (graf č. 7)

- doporučené rozmezí vlhkosti (30 – 65%) nebylo dodrženo ve 22 % učeben, ve všech případech se jednalo o vlhkost nižší než je doporučená hodnota, nejnižší vlhkost byla 17,3 % změřená v učebně v Kladně ve Středočeském kraji, v pěti krajích (Královehradecký, Liberecký, Olomoucký, Ústecký a Zlínský) bylo dodrženo doporučené rozmezí vlhkosti ve všech měřených učebnách, naopak v Praze byla vlhkost nižší než 30 % v sedmi z deseti měřených učeben
- největší rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou hodnotou v učebně byl zaznamenán ve škole v Rokycanech v Plzeňském kraji (28,9 obj.%) a v Kolíně v Středočeském kraji (27,5 %), naopak nejmenší rozdíl mezi měřenými učebnami byl zjištěn v Hradci Králové (7,3 %);
- průměrné hodnoty vlhkosti ve škole (průměr z 10 měřených učeben) se pohybovaly v rozmezí 28,1 – 43,3 %, nejnižší průměrná hodnota byla naměřena ve škole v Praze.

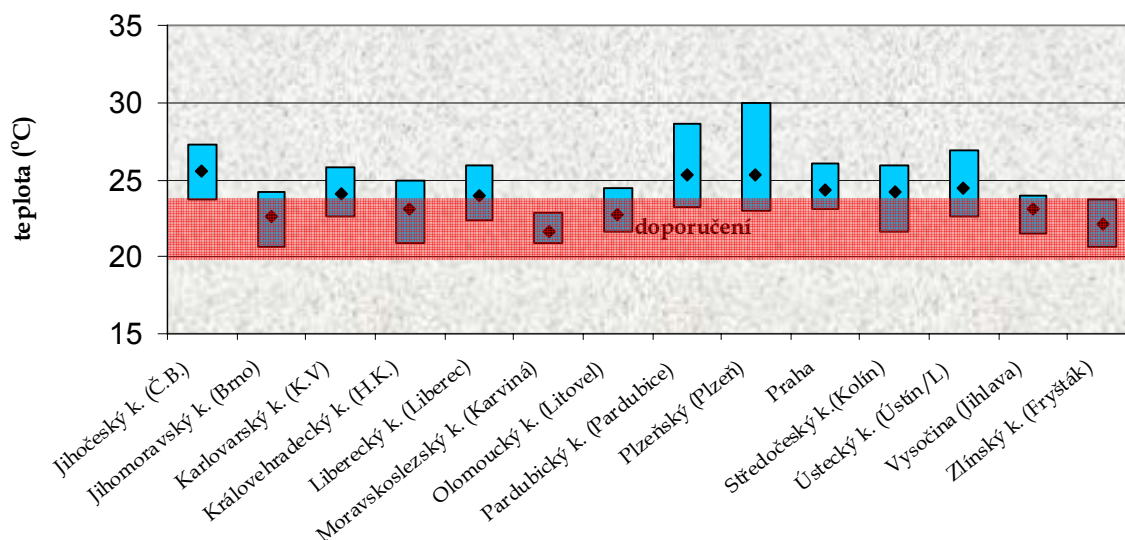
Rozpětí hodnot vlhkosti v měřených školách



Graf č.7: Rozpětí hodnot vlhkosti v měřených školách

- Mikroklimatické faktory – teplota (graf č. 8)
 - doporučené rozmezí teploty (20 – 24 °C) nebylo dodrženo ve 36 % učeben, ve všech případech se jednalo o teplotu vyšší než je doporučená hodnota, nejvyšší naměřená teplota v učebně byla změřena v Rokycanech v Plzeňském kraji (30,0 °C), ve třech krajích (Moravskoslezský, Vysočina a Zlínský) bylo dodrženo doporučené rozmezí teploty ve všech měřených učebnách, naopak v Plzeňském a Jihočeském kraji byla teplota vyšší než 24 °C v devíti z deseti měřených učeben
 - největší rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou hodnotou v učebně byl zaznamenán ve škole v Rokycanech v Plzeňském kraji (7,1 °C), naopak nejmenší rozdíl mezi měřenými učebnami byl zjištěn v Karviné v Moravskoslezském kraji (2,0 °C);
 - průměrné hodnoty teploty ve škole (průměr z 10 měřených učeben) se pohybovaly v rozmezí 21,7 – 25,6 °C, nejvyšší průměrná hodnota ve škole byla naměřena v Českých Budějovicích.

Rozpětí hodnot teploty v měřených školách



Graf č. 8: Rozpětí hodnot teplot v měřených školách

4. Závěry

Měření ve 141 učebně v deseti základních školách potvrdila, že vytipované parametry představují ve vnitřním ovzduší škol problém, a to ať už se jedná o aerosolové částice (viz graf č. 1, 2, 4 a 5) nebo mikroklimatické faktory včetně požadavků na výměnu vzduchu indikovanou měřenými hmotnostními koncentracemi oxidu uhličitého (viz graf č. 3, 6, 7 a 8).

- limit (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{hod}$) stanovený Vyhláškou MZ ČR č. 6/2003 Sb. pro aerosolové částice frakce PM_{10} byl překročen ve 65 učebnách (46,1 %), zjištěný aritmetický průměr byl 155 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a maximální naměřená hmotnostní koncentrace byla 558 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, největší rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou hodnotou v učebně byl zaznamenán ve škole Pardubicích (478 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a ve škole v Ústí nad Labem (281 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a v Liberci (258 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) naopak nejmenší rozdíl mezi měřenými učebnami byl zjištěn v Jihlavě (34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$);
- u aerosolových částic frakce $\text{PM}_{2,5}$ byl stanovený limit (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{hod}$) překročen ve 29 učebnách (20,6%), zjištěný aritmetický průměr byl 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a maximální

naměřená hmotnostní koncentrace byla $207 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nejvyšší průměrná hodnota ve škole byla zjištěna v Hradci Králové (průměr z 10 měřených učeben - $144 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a nejnižší ve škole ve Fryštáku ve Zlínském kraji ($36 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Největší rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou hodnotou v učebně byl zaznamenán ve škole Pardubicích ($172 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a ve škole v Ústí nad Labem ($121 \mu\text{g}/\text{m}^3$) naopak nejmenší rozdíl mezi měřenými učebnami byl zjištěn v Jihlavě ($17 \mu\text{g}/\text{m}^3$);

- nejvyšší doporučená koncentrace oxidu uhličitého (0,12 - 0,15 obj. %) byla překročena ve 48 učebnách (34,3 %), ve kterých tak jednoznačně nebyly splněny požadavky na výměnu vzduchu, maximální naměřená hodnota byla 0,298 obj. %, průměrné hodnoty ve školách (průměr z 10 měřených učeben) se pohybovaly v rozmezí 0,091- 0,194 obj. %, nejvyšší průměrná hodnota byla zjištěna ve škole v Litovli v Olomouckém kraji ;
- vyšší teplota než je požadavek pro chladné období roku ($< 13 \text{ }^\circ\text{C}$), byla naměřena ve 51 učebně (36%), maximální zjištěná průměrná teplota byla $30 \text{ }^\circ\text{C}$, největší rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou hodnotou v učebně byl zaznamenán ve škole v Rokycanech v Plzeňském kraji ($7,1 \text{ }^\circ\text{C}$), naopak nejmenší rozdíl mezi měřenými učebnami byl zjištěn v Karviné v Moravskoslezském kraji ($2,0 \text{ }^\circ\text{C}$), průměrné hodnoty teploty ve škole (průměr z 10 měřených učeben) se pohybovaly v rozmezí $21,7 - 25,6 \text{ }^\circ\text{C}$, nejvyšší průměrná hodnota ve škole byla naměřena v Českých Budějovicích;
- vlhkost nižší než požaduje vyhláška byla zjištěna ve 31 učebně (22,1 %), největší rozdíl mezi minimální a maximální průměrnou hodnotou v učebně byl zaznamenán ve škole v Rokycanech v Plzeňském kraji (28,9 %) a v Kolíně v Středočeském kraji (27,5 %), naopak nejmenší rozdíl mezi měřenými učebnami byl zjištěn v Hradci Králové (7,3 %), průměrné hodnoty vlhkosti ve škole (průměr z 10 měřených učeben) se pohybovaly v rozmezí 28,1 - 43,3 %, nejnižší průměrná hodnota byla naměřena ve škole v Praze.