

Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu

Datum: 17.5.2010 | Autor: Ing. Hana Doležilková, Ph.D. |

Jedním z opomíjených faktorů, které ovlivňují návrh větrání a kvalitu vnitřního vzduchu, je kvalita venkovního ovzduší. Článek dále popisuje vnitřní i vnější ovzduší včetně škodlivin, které se ve vzduchu vyskytují.

V současné době je velmi aktuálním tématem kvalita vnitřního prostředí budov. Kvalita vnitřního vzduchu je závislá na mnoha faktorech, zejména na: kvalitě venkovního ovzduší, množství vzdušných škodlivin, objemu větracího vzduchu a větracím systémem. Ve většině případů je kvalita vzduchu v budovách horší než kvalita vzduchu ve venkovním prostředí. V současnosti je snaha, aby energeticky úsporná budova byla současně i budovou se zdravým vnitřním prostředím.

1. INTERAKCE VENKOVNÍHO A VNITŘNÍHO OVZDUŠÍ

Kvalita vnitřního vzduchu samozřejmě závisí na kvalitě venkovního ovzduší, neboť do budov přivádíme venkovní vzduch větráním. Větrání venkovním vzduchem sice odvádí škodliviny vzniklé v budově, ale přináší s sebou do interiéru škodliviny z venkovního ovzduší. Zhoršená kvalita vnějšího ovzduší je především výsledkem spotřeby energie v dopravě, průmyslu a užívání budov.

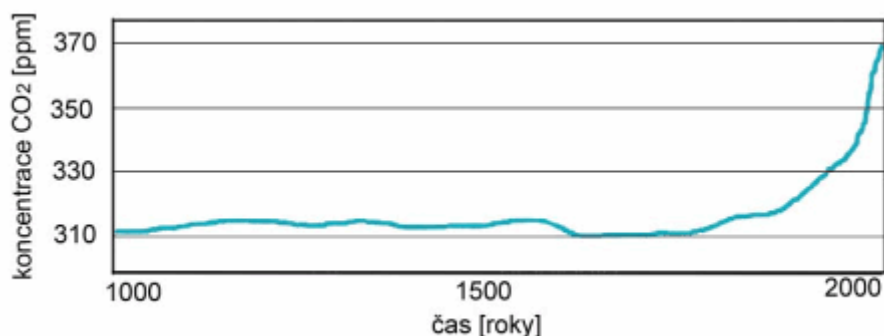
Škodliviny spojené s provozem budov činí cca 40 % celkové produkce škodlivin a z toho větrání představuje až 50 % produkce škodlivin [3]. Větrání budov potřebuje po většinu roku úpravu vzduchu - ohřev, chlazení, vlhčení a odvlhčování. V případě nuceného větrání potřebuje dále energii pro transport vzduchu. Takto spotřebovaná celková energie působí další zvýšení venkovního znečištění. Venkovní znečištění může mít různé dopady vzhledem k měřítku, ve kterém je odraženo - lokální (město), regionální (SO₂, NO_x) nebo globální (CO₂).

Rozvoj průmyslu a urbanizace vytvořil významné problémy se znečištěním ve městech. Oxid siřičitý, částice, oxidy dusíku a oxid uhelnatý přímo ovlivňují lidské zdraví. Důležitá je poloha sání větracího vzduchu, protože na každé straně budovy může být různá úroveň znečištění. Důležité je čištění vzduchu, které sníží množství škodlivin, zejména částic. Čištění vzduchu je ovšem komplikované u přirozeného větrání, neboť se tak sníží průtok vzduchu.

Význam má nejen množství přiváděného venkovního vzduchu, ale také jeho kvalita. Ve většině městských prostředí je kvalita vzduchu horší než v prostředí na venkově. Pro stejnou kvalitu vnitřního vzduchu je tedy ve městě potřeba přivést více vzduchu a lépe ho čistit. I přes tento známý fakt toto neberou požadavky na větrání v úvahu a nestanovují různé množství větracího vzduchu pro znečištěné a neznečištěné vnější ovzduší.

Přiváděním venkovního vzduchu do budovy dochází k ředění škodlivin vznikajících v interiéru, ale současně jsou venkovní škodliviny dopravovány do budov. Nemusí tedy platit, že intenzivním větráním v silně znečištěných lokalitách dosáhneme vyšší kvality. Na druhou stranu škodliviny vně budovy a škodliviny produkované uvnitř budovy nemusí být stejné a pak by intenzivní větrání bylo přínosné.

Na obr. 1 je zobrazen nárůst koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře od roku 1000 do roku 2000. V posledních 180 letech došlo s rozvojem průmyslu k výraznému nárůstu koncentrace oxidu uhličitého ve venkovním prostředí.

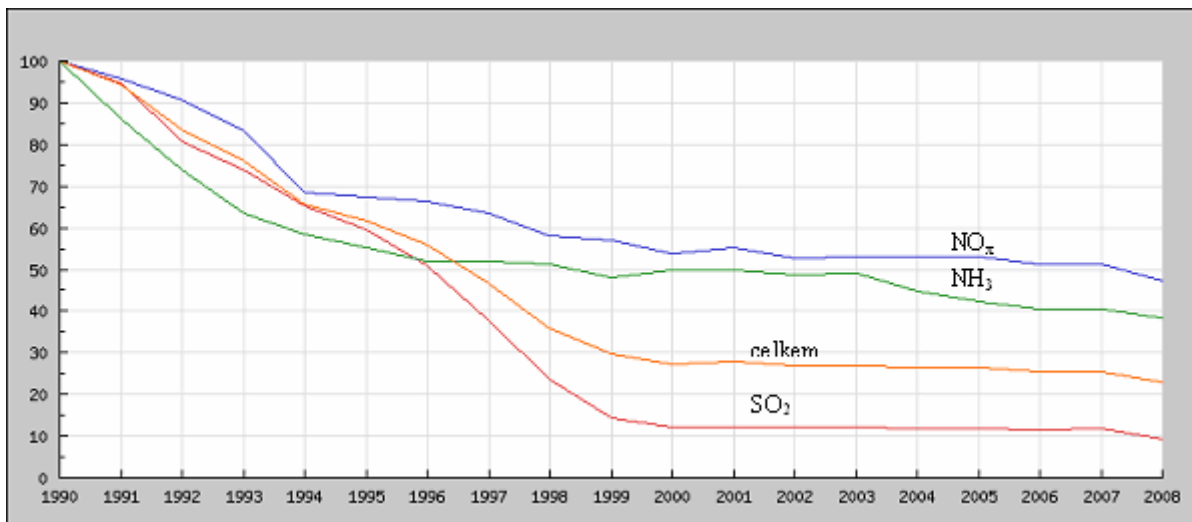


Obr. 1) Vývoj koncentrace oxidu uhličitého [33]

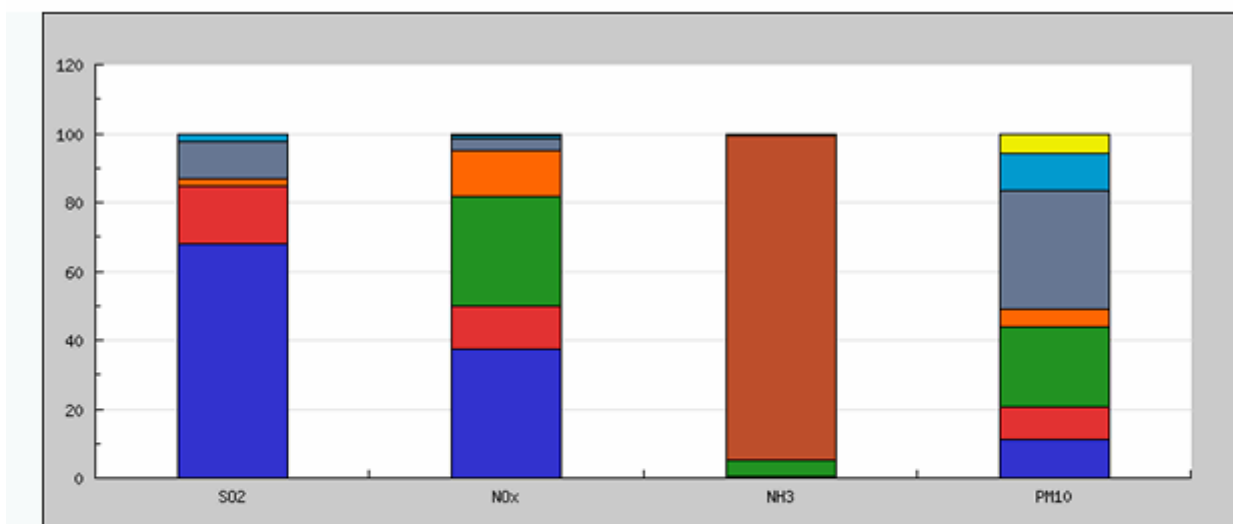
2. KVALITA VENKOVNÍHO OVZDUŠÍ

V 70. a v 80. letech 20. století patřilo znečištění ovzduší v některých průmyslových oblastech naší republiky mezi nejhorší v Evropě. Po roce 1989 byla zavedena řada opatření ke snížení znečištění ovzduší zejména v energetice a dalších průmyslových odvětvích a díky tomu došlo k poklesu znečištění ovzduší řadou látek (SO₂, prachovými částicemi, oxidy dusíku). K zásadnímu poklesu emisí všech základních znečišťujících látek, a to o 50 % (NO_x) až téměř 90 % (TZL, SO₂), došlo v 90. letech. V současné době produkce celkových emisí stále mírně klesá, obavy ale vzbuzuje rostoucí trend emisí TZL a NO_x z mobilních (zejména ze silniční dopravy) a malých zdrojů, tj. především z vytápění domácností. I přes pokračující pokles emisí **od roku 2000 koncentrace znečišťujících látek v ovzduší neklesají** - lze zaznamenat spíše stagnaci nebo dokonce mírný růst koncentrací uvedených znečišťujících látek. Občasné výkyvy jsou dány především meteorologickými a rozptylovými podmínkami. Důvody, proč nedošlo k pokračování klesajícího trendu koncentrací znečišťujících látek v ovzduší, nejsou plně objasněné.

V České republice patří mezi hlavní znečišťující látky ovzduší tuhé znečišťující látky (TZL), oxid siřičitý (SO₂), oxidy dusíku (NO_x), oxid uhelnatý (CO), těkavé organické látky (VOC), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) a amoniak (NH₃). K současným nejvýznamnějším zdrojům emisí patří výroba elektrické a tepelné energie (produkce SO₂ a NO_x), silniční doprava (produkce NO_x, TZL a VOC) a vytápění domácností (produkce TZL a PAU). Zemědělství je hlavním zdrojem NH₃, používání rozpouštědel je pak hlavním zdrojem VOC.



Obr. 2) Emise od roku 1990 do roku 2008, ČR [potenciál tvorby částic, index 1990=100], Zdroj: ČHMÚ



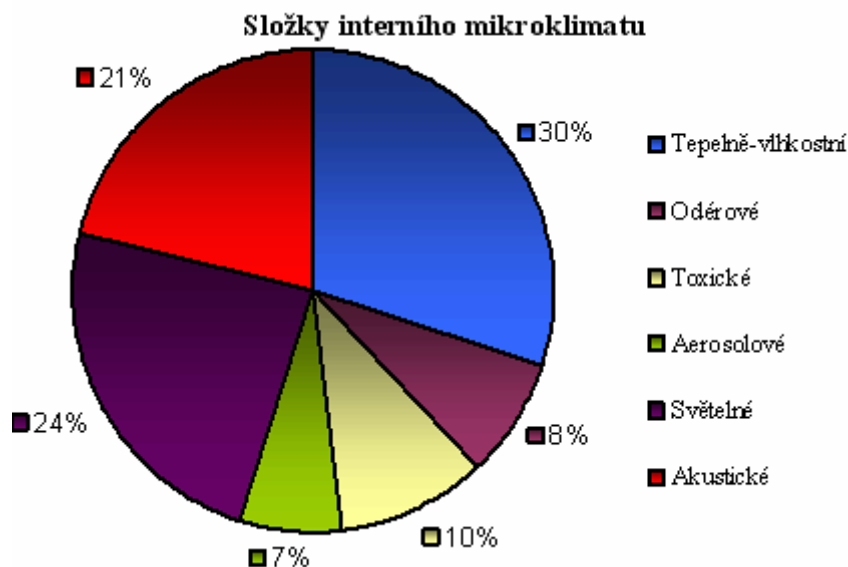
Legenda:

■	Věřejná energetika	■	Vytápění domácností
■	Výrobní procesy se spalováním	■	Výrobní procesy bez spalování
■	Doprava	■	Zpracování mrvy
■	Služby, domácnosti a zemědělství (spalování paliv, bez vytápění domácností)	■	Ostatní sektory

Obr. 3) Zdroje emisí a jejich podíl na emisí jednotlivých látek, ČR [%], Zdroj: ČHMÚ

3. KVALITA VNITŘNÍHO VZDUCHU

Kvalita vnitřního vzduchu je tvořena: tepelně-vlhkostním, oděrovým, aerosolovým, toxickým a mikrobiálním mikroklimatem. Podíly jednotlivých složek na celkovém stavu interního mikroklimatu jsou patrné z obr. 4.



Obr. 4) Průměrné podíly jednotlivých složek na stavu interního mikroklimatu [18]

Tepelně-vlhkostní mikroklima je složka prostředí tvořená tepelnými a vlhkostními toky, které exponují subjekt a spoluvytvářejí tak jeho celkový stav. Je nejdůležitější složkou pro zajištění vnitřního prostředí budov, především z hlediska zdraví a spokojenosti lidí, ale i ve vztahu k životnosti stavebních materiálů, budov, výrobních technologií a podobně. Teplota a vlhkost vzduchu se v budovách úzce vzájemně ovlivňují a podmiňují.

Tepelná pohoda je tradičním faktorem hodnocení stavu vnitřního prostředí. Tepelnou pohodu lze charakterizovat jako stav, kdy prostředí odnímá člověku jeho tepelnou produkci v rozmezí jeho termoregulace. Optimální tepelně vlhkostní stav vnitřního prostředí je důležitý nejen pro zdraví člověka, ale i pro správné fungování vlastní stavby. Vzhledem k individuálním odchylkám fyziologických funkcí lidí nelze zajistit pocit pohody v místnosti všem lidem. Vždy se vyskytuje přibližně 5 % nespokojených, kteří pociťují tepelnou nepohodu.

Činitelé rozhodující o tepelně vlhkostní pohodě prostředí:

- teplota vzduchu
- teplota okolních ploch event. střední radiační teplota
- rychlost proudění vzduchu v oblasti pobytu člověka
- vlhkost vzduchu
- tepelně izolační vlastnosti oděvu
- tělesná aktivita člověka

Oděrové mikroklima je složka prostředí tvořená oděry - toky oděrových látek v ovzduší, které exponují subjekt a spoluvytvářejí tak jeho celkový stav. Oděry jsou plynné složky ovzduší vnímané jako vůně nebo zápachy, produkované člověkem nebo jeho činností, příp. uvolňované ze stavebních konstrukcí. Do interiéru budov vstupují oděry jednak z venku, jednak zevnitř - ze vzduchotechnických zařízení, stavebních materiálů, zařizovacích předmětů a hlavně z činnosti člověka. Mimo běžné oděry (kouření, příprava jídel) se v interiéru dnes vyskytují i styreny, formaldehydy a odparu z nátěrů, tedy látky dříve neznámé. V interiéru vzniká při pobytu lidí CO₂ a tělesné pachy - antropotoxiny, které jsou obecně indikátorem kvality vnitřního vzduchu.

Odérová složka determinuje výměnu vzduchu v interiéru obytného prostředí. Není to ani potřeba kyslíku pro dýchání, která je ve srovnání s požadavky na odstraňování odérů minimální (potřebné množství vzduchu je pouze cca $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu), ani potřeba odstraňování toxických plynů, které se běžně v těchto interiérech nevyskytují.

Jako kritériální a exaktně měřitelná hodnota se všeobecně udává koncentrace Pettenkoferovo kritérium jako 0,10 % CO_2 (Max von Pettenkofer, 1877) a pro odstranění pocitu vydýchaného vzduchu z produkce tělesných odérů pak dokonce 0,07 % CO_2 . Na odstraňování běžných tělesných pachů klasický Pettenkoferův normativ tedy požaduje $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu, tato hodnota je stále základní veličinou standardů většiny vyspělých států. Vychází z ní standard ASHRAE. [6]

Zásadním způsobem lze kvalitu odérového mikroklimatu v budovách ovlivnit pouze dostatečným přívodem čerstvého vzduchu.

Toxické mikroklima je složka prostředí tvořená toky plynných toxických látek s patologickými účinky, které exponují subjekt a spoluvytvářejí jeho celkový stav. Charakteristickými jsou zejména oxidy síry (SO_x), oxidy dusíku (NO_x), oxid uhelnatý (CO), ozon (O_3), smog, formaldehyd atd. V interiéru budov je zdravotně nejzávažnějším plynem CO. Ve špatně nebo cirkulačně větraných kuchyních s neodvětranými plynovými sporáky vzniká oxid dusíku NO_x , až $50 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$ s prokazatelně karcinogenními účinky. [6]

Aerosolové mikroklima je složka prostředí tvořená aerosolovými toky v ovzduší, které exponují subjekt a spoluvytváří tak jeho celkový stav. Aerosoly rozumíme pevné částice (prachy) nebo kapalně částice (mlhy) rozptýlené v ovzduší. Ve venkovním ovzduší velkoměst se spád prachu pohybuje v hodnotách až $1100 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ za rok, při běžné koncentraci 1 až $3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. V čistém horském prostředí se vyskytují koncentrace od 0,05 do $0,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Domovní prach, zvláště částice pod $1 \mu\text{m}$ je další hlavní příčinou postižení astmatem. Většina prachových částic je nositelem elektrického náboje, elektrický náboj částice získávají třením. Speciálním zdravotním problémem ve stavebnictví je azbestový prach. [6]

Mikrobiální mikroklima je tvořeno mikroby neboli mikroorganismy nacházejícími se v ovzduší - pyly, bakterie, viry, plísně a jejich spory, které exponují subjekt a spoluvytvářejí tak jeho celkový stav. Vážným problémem se v poslední době stávají alergické syndromy na spory různých druhů plísní a pylové částice. Kvalita mikrobiálního mikroklimatu se hodnotí podle únosné koncentrace mikrobů. Pro obytná prostředí činí max. 200 až $500 \text{ mikrobů} \cdot \text{m}^{-3}$, v operačních sálech max. $70 \text{ mikrobů} \cdot \text{m}^{-3}$. Ve venkovním prostředí měst jsou koncentrace až $1500 \text{ mikrobů} \cdot \text{m}^{-3}$. Dosud nejúčinnějším způsobem, jak snížit mikrobiální koncentrace v budovách, je kvalitní filtrace přiváděného vzduchu. [6]

4. ŠKODLIVINY V OVZDUŠÍ

Škodliviny v obytných budovách jsou buď produkovány přítomností člověka nebo mohou být přiváděny z venkovního prostředí. V následujícím textu je souhrn nejběžnějších škodlivin, které se vyskytují ve vnitřním a vnějším vzduchu.

4.1. Oxid uhličitý

Oxid uhličitý je nejběžnější *škodlivinou* ovzduší obytných budov. Jeho koncentrace jsou vždy vyšší v interiérech než ve venkovním prostředí. Zdrojem tohoto plynu je především člověk,

jeho metabolismus, dýchací a termoregulační pochody. Také spalování pevných paliv je zdrojem oxidu uhličitého a vodní páry. Současně se zvyšující se koncentrací oxidu uhličitého se pak zvyšuje i množství vodní páry v ovzduší a tím i relativní vlhkost vzduchu. Počet osob přítomných v místnosti, velikost prostoru a nedostatečné větrání jsou hlavní příčinou zvyšování koncentrace oxidu uhličitého.

4.2. Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, proto i životu nebezpečné zvyšování jeho koncentrací je lidskými smysly nepostřehnutelné. Hlavním zdrojem tohoto plynu ve vnitřním prostředí je nedokonalé spalování - kamna na pevná paliva, plynové spotřebiče bez odtahu, krby, nevětrané kuchyně s plynovým sporákem, ale také garáže v těsné blízkosti obytných prostor. Zemní plyn používaný ve většině domácností k vaření, vytápění nebo ohřevu teplé vody obsahuje 5 % oxidu uhelnatého. Významným zdrojem CO je také kouření tabákových výrobků.

4.3. Oxidy dusíku

Oxid dusičitý a oxid dusnatý se ve vnitřním prostředí mohou nacházet v koncentracích způsobující prokazatelný vliv na zdraví. Základním zdrojem oxidů dusíku jsou emise z automobilové dopravy a ze stacionárních zdrojů spalujících fosilní paliva. Zdrojem ve vnitřním prostředí je používání plynu pro vaření, vytápění a ohřev teplé vody.

4.4. Oxidy síry

Kamna na uhlí, kerosen a naftu jsou zdrojem oxidu siřičitého ve vnitřním prostředí, i když převažující komponentou jeho zvýšených koncentrací v bytech je venkovní ovzduší v oblastech s výskytem tepelných elektráren.

4.5. Formaldehyd

Formaldehyd je plynná složka, jenž se ve vnitřním prostředí uvolňuje ze stavebních materiálů, kosmetických, čistících a desinfekčních prostředků, nábytku, podlahovin, kobereců, tapet a laků. Je obsažen v mnoha mořidlech na dřevo. Formaldehyd je též produktem nedokonalého spalování paliv, tabákového dýmu a meziproduktem fotochemické oxidace uhlovodíku v atmosféře. Venkovní znečištění, zejména z dopravy, nemá na výslednou koncentraci ve vnitřním prostředí významný vliv. Výsledná koncentrace formaldehydu v interiéru závisí značně na teplotě a vlhkosti, na stáří a množství nábytku. Jeho koncentrace jsou vysoké zejména tam, kde bylo použito ke konstrukci domu dřevotřískových desek nebo močovino-formaldehydové izolace. I po dvaceti letech se hodnoty mohou pohybovat kolem 300 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Koncentrace formaldehydu závisí především na stáří a množství nábytku v interiéru. Nejčastěji se pohybuje v rozmezí 29 - 60 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. [2]

4.6. Organické chemické látky

Jsou to sloučeniny schopné za přítomnosti slunečního záření tvořit fotochemické oxidanty reakcí s oxidy dusíku. V naprosté většině jde o tzv. těkavé organické látky (VOC - volatile organic compound). Soubor těchto látek (bez formaldehydu) produkovaných v interiéru člověkem, stavebními materiály a dalšími zařízeními je označován TVOC (the Total of all Volatile Organic Compounds).

Hlavním zdrojem těkavých organických látek v interiérech je kouření, používané čisticí prostředky, deodoranty, kosmetické přípravky, osvěžovače vzduchu, vonné oleje, nátěry, barvy a laky, koberce, podlahoviny, fungicidy, desinfekční, deratizační a desinsekční prostředky, rozpouštědla a lepidla při rozsáhlých rekonstrukcích místností či budov. V domácnostech jich lze identifikovat asi na 2000, v běžné domácnosti se jich vyskytuje okolo 50 a u řady z nich byly prokázány negativní zdravotní účinky. Odstranění organických chemických látek z ovzduší je možné pouze dostatečným větráním.

4.7. Polycyklické aromatické uhlovodíky

Představitelem pro hodnocení účinků polycyklických aromatických uhlovodíků na lidské zdraví je benzo(a)pyren. Vzniká nedokonalým spalováním fosilních paliv jak ve stacionárních tak i v mobilních zdrojích, ale také některé technologie jako je výroba koksu a železa. Ze stacionárních zdrojů jsou to především domácí topeniště, z mobilních zdrojů se jedná zejména o vznětové motory spalující naftu. Znečištění ovzduší benzo(a)pyrenem je tudíž problémem jak v dopravně a průmyslově zatížených oblastech, tak i v malých sídlech, kde obyvatelé vytápí své domácnosti tuhými palivy.

4.8. Azbest a další minerální vlákna

Azbest byl a je používán pro své výhodné protipožární a tepelně izolační vlastnosti. V průběhu užívání může docházet k mechanickému poškození povrchu výrobků a k uvolňování vláken azbestu do ovzduší.

4.9. Suspendované částice

Hlavním emisním zdrojem suspendovaných částic je silniční doprava, vytápění domácností a výrobní procesy. Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi je tudíž problémem zejména v dopravně a průmyslově zatížených oblastech, ale i v malých sídlech v zimním období, pokud domácnosti topí tuhými palivy. Suspendované částice jsou dle Nařízení vlády č. 350/2002 Sb. ve znění 429/2005 Sb. definovány takto: "suspendované částice jsou pevné nebo kapalné částice, které v důsledku zanedbatelné pádové rychlosti přetrvávají dlouhou dobu v atmosféře".

4.10. Domácí prach

Domácí prach představuje komplex pevných částic různé velikosti. Z hlediska původu jde o částice organické i anorganické. Částice nad 100 μm sedimentují velmi rychle a do dýchacích cest se prakticky nedostanou. Menší částice mohou být neustále přítomny v ovzduší jako aerosoly. Částice, jejichž velikost je mezi 10 a 100 μm , jsou většinou zachyceny v horních cestách dýchacích, částice menší než 10 μm pronikají do dolních partií dýchacích cest. Částice menší než 2,5 μm se dostávají až do plicních alveolů, jsou někdy nazývány respirabilními částicemi. [2]

4.11. Přízemní ozón

Přízemní ozon nemá v ovzduší svůj vlastní emisní zdroj. Vzniká v důsledku fotochemických reakcí svých prekurzorů, NO_x a VOC. Tyto prekurzory jsou produkovány silniční dopravou (NO_x i VOC), spalováním fosilních paliv (NO_x) a používáním rozpouštědel (VOC). VOC jsou významně produkovány i přírodními zdroji, tj. lesními porosty. Složitý chemismus ozonu, možnost jeho dálkového přenosu popř. přenosu jeho prekurzorů a vzniku ozonu na

místech vzdálených od emisních zdrojů, kde nedochází k jeho zpětnému odbourávání oxidy dusíku, je důvodem překročení jeho limitu nad rozsáhlými oblastmi. Nadlimitní koncentrace ozonu jsou opakovaně zjišťovány na většině území ČR.

4.12. Odéry

Odéry (vůně, zápach) tvoří velmi složité organické plynné sloučeniny obsažené ve vzduchu. Působí velmi nepříznivě na stav prostředí a jsou častou příčinou zhoršení kvality vzduchu v místnostech. Vyskytují se v neměřitelných koncentracích, proto je objektivní monitorování a bilancování jejich aktuálně působících hodnot velmi náročné. Hodnocení jejich vlivu a bilancování se často převádí na procenta koncentrací CO₂. Stupeň zápalu je přijatelný, nepřekročí-li koncentrace CO₂ hodnotu 0,15 % [6].

4.13. Radon

Radon je bezbarvý plyn, těžší než vzduch, bez chuti a zápachu. Vzniká v průběhu uran-radiové rozpadové řady a do domů se dostává z podloží, ze stavebních materiálů, z vody a se zemním plynem. Postupným vyzařováním částic alfa a beta se uran změní v olovo, takže každý atom uranu získá přechodně vlastnosti různých kovů, také je přechodně inertním plynem. V této etapě své existence se může výrazně více uvolnit z pevných látek a šířit se vzduchem. Po přeměně atomu radonu vznikají většinou ještě ve vzduchu rychle za sebou atomy polonia, olova a vizmutu (krátkodobé dceřiné produkty radonu) a další dlouhodobý radionuklid olova. Tyto krátkodobé dceřiné produkty radonu jsou pro zdravotní účinky "radonu" velmi důležité.

4.14. Vlhkost, vodní zisky

Vlhkost vnitřního vzduchu může negativně ovlivnit zdraví uživatelů budov, jednak přímo aktuální nízkou či vysokou relativní vlhkostí nebo nepřímo vytvořením podmínek pro bujení mikroorganismu a plísní. Vodní zisky v obytných budovách tvoří produkce páry člověka, odpařování z teplých jídel a vodních hladin.

Obýváním prostor a lidskou činností se do vzduchu podle odhadů dostává v průměru ve čtyřčlenné domácnosti 12,5 kg vodní páry denně [7]. Nárazové množství vodní páry může být částečně pohlcováno omítkami či dalšími materiály v bytě a postupně odvětráváno.

5. ZÁVĚR

Budovy by měly být navrhovány ve vzájemné interakci s okolním venkovním prostředím. Optimalizaci vnitřního prostředí lze docílit větráním s dostatečným přívodem čerstvého vzduchu. Větrání venkovním vzduchem odvádí škodliviny, které jsou produkovány v budově, ale může s sebou přinášet škodliviny z venkovního vzduchu. Obecně je na venkově kvalita venkovního ovzduší lepší než ve městech. Pro stejnou kvalitu vnitřního vzduchu je tedy potřeba přivést ve městě více vzduchu.

Větrání venkovním vzduchem sice odvádí škodliviny vzniklé v budově, ale přináší s sebou do interiéru škodliviny z venkovního ovzduší.

6. LITERATURA

- [1] *Ochrana ovzduší [online]. Materiály institutu environmentálního inženýrství Vysoké školy báňské - Technická univerzita Ostrava. Dostupný z [www](#)*
- [2] *Oficiální www stránky Ústavu biomedicínského inženýrství [online]. Ústav biomedicínského inženýrství. Praha: 2003. Dostupný z [WWW](#)*
- [3] *Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy. European Communities. Luxemburg 2003. 92s. ISBN 92-894-5664-7.*
- [4] *DOLEŽÍLKOVÁ, H. Residenční mikroprostředí. Disertační práce, ČVUT v Praze, 2007*
- [5] *Oficiální webové stránky CENIA, české informační agentury životního prostředí. Dostupné z [www http://vitejtenazemi.cenia.cz/](http://vitejtenazemi.cenia.cz/), <http://indikatory.cenia.cz/>*