

AZBESTOVÁ A MINERÁLNÍ VLÁKNA VE VNITŘNÍM OVZDUŠÍ

FRANTIŠEK SKÁCEL^a, ZOJA GUSCHLOVÁ^b
a VIKTOR TEKÁČ^a

^a Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší
VŠCHT v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, ^b Foster
Bohemia s.r.o., Mezi Rolemi 54/10, 155 00 Praha 5
Frantisek.Skacel@vscht.cz

Klíčová slova: azbestová vlákna, minerální vlákna, vnitřní ovzduší

Obsah

1. Úvod
2. Zdroje vláken ovlivňujících kvalitu vnitřního a venkovního ovzduší
3. Metody stanovení početní koncentrace vláken a vyjadřování výsledků měření
4. Metody odstraňování vláken z vnitřního ovzduší
5. Závěr

1. Úvod

Azbestová a minerální vlákna respirabilní a thorakální frakce¹ ve vnitřním ovzduší představují v případě jejich inhalace skryté potenciální riziko pro lidský organismus. Podle WHO (Světové zdravotnické organizace) jsou za respirabilní vlákna považována vlákna, která jsou delší než 5 μm s průměrem menším než 3 μm a poměrem délky a průměru vlákna větším než 3:1 (cit.²). Jedním z běžných zdrojů kontaminace vnitřního ovzduší anorganickými nekovovými vlákny (azbestová a minerální vlákna) mohou být použité stavební vláknité materiály, které v čase degradují.

Azbest je obecný název pro skupinu přirozeně se vyskytujících vláknitých silikátů. Tvoří dvě základní skupiny a to serpentiny (chryzotil, CAS č. 12001-29-5) a amfiboly (aktinolit, CAS č. 77536-66-4; amozit, CAS č. 12172-73-5; antofylit, CAS č. 77536-67-5; krokydolit, CAS č. 12001-28-4; tremolit, CAS č. 77536-68-6)². Azbest má mimořádné chemicko-fyzikální vlastnosti. Je odolný vůči vysokým teplotám a chemickým vlivům. Díky tomu byl v minulosti velmi hojně používán ve stavebnictví jako stavební, izolační a těsnicí materiál.

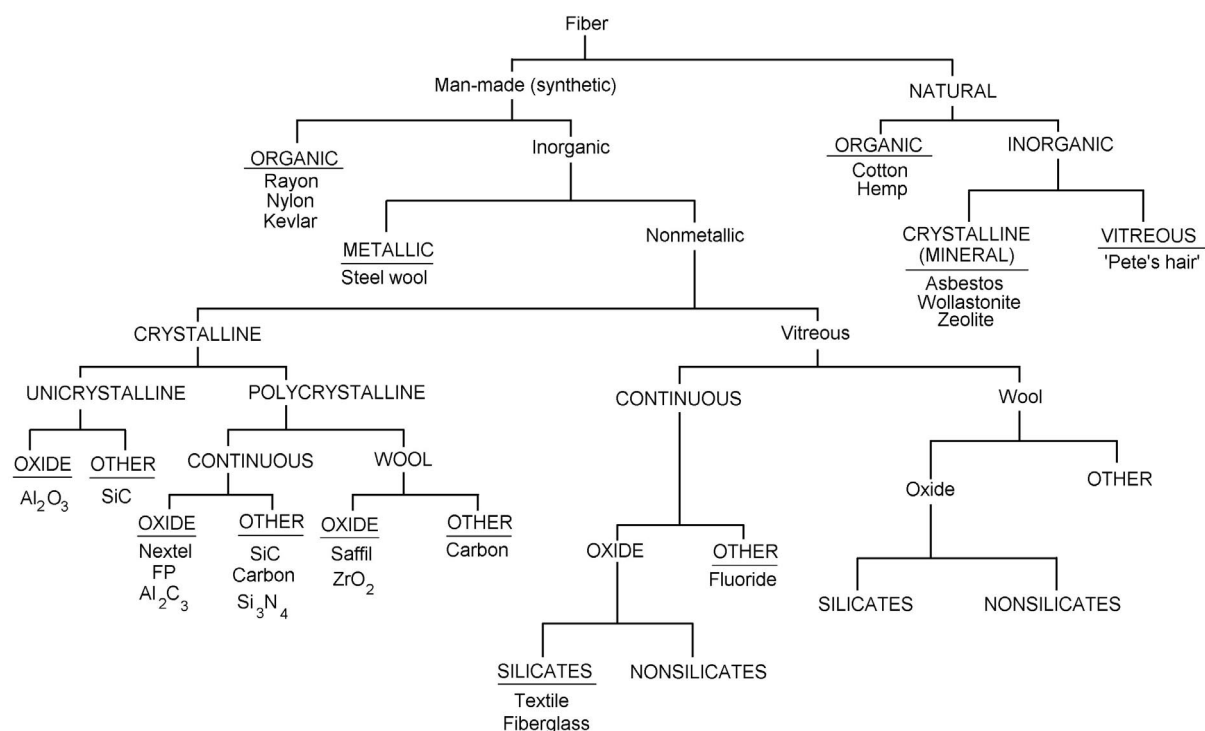
Azbest řadíme mezi znečišťující látky pracovního a životního prostředí. Azbestový prach působí negativně zejména na orgány dýchacích cest. Při inhalaci mohou azbestové respirabilní vláknité částice pronikat hluboko do

plicních sklípků (alveol), kde působí dráždivou místní reakci. Riziko onemocnění i progresu trvá i po ukončení expozice azbestovým prachem, kdy se i po řadě let mohou projevit nemoci způsobené azbestovými respirabilními vlákny, a to benigní (nezhoubná), např. azbestóza či pleunární hyalinóza, a dále maligní (zhoubná) nádorová onemocnění, např. rakovina plic či maligní mezoteliom. Z tohoto důvodu jsou všechny druhy azbestu podle WHO řazeny do I. skupiny karcinogenních látek a podmínky ochrany zdraví při práci s ním jsou stanoveny zákonnými předpisy.

Podle WHO není možné stanovit zdravotně nezávadnou koncentraci (prahovou hodnotu) azbestových respirabilních vláken, je však nutné zamezit jejich uvolňování do prostoru a tím jejich koncentraci minimalizovat³. Zdravotní riziko vzrůstá zvláště s koncentrací azbestových vláken v prostoru a s dobou jejich působení na osoby (tzv. dobou expozice). Podle odhadu zemřelo na následky dlouhodobé inhalace nadlimitních koncentrací respirabilních azbestových vláken v členských zemích EU v průběhu let 2003 až 2008 cca půl miliónu osob⁴. Škodlivost anorganických vláken je ovlivněna i dalšími parametry, např. bioperzistencí (rozpustnost vláken v plicích) a dávkou inhalovanou hluboko do plic⁵.

Problematikou výskytu azbestových a minerálních vláken v ovzduší se zabývá zákon o ochraně veřejného zdraví⁶, který ukládá zaměstnavatelům povinnost evidence po dobu 10 let od ukončení expozice při práci s azbestem. Prováděcí předpis k zákonu⁷ stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností staveb zařízení pro výchovu a vzdělávání, vysokých škol, škol v přírodě, staveb pro zotavovací akce, staveb zdravotnických zařízení léčebně preventivní péče, ústavů sociální péče, ubytovacích zařízení, staveb pro obchod a staveb pro shromažďování většího počtu osob⁸. Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí staveb se pokládají za splněné, nepřekročili-li střední hodnota hodinové koncentrace zjišťované látky v měřeném intervalu za standardních podmínek limitní koncentrace uvedené v příloze zákona⁶. Pro azbestová a minerální vlákna (průměr < 3 μm , délka > 5 μm a poměr délky a průměru vlákna > 3:1) je touto limitní koncentrací 1000 vláken v 1 m^3 . Z biologického hlediska mají největší význam tzv. kritická vlákna, jejichž rozměry odpovídají údajům uvedeným ve vyhlášce, kterou se stanoví příslušné hygienické limity pro vnitřní ovzduší⁸. Uvedená limitní hodnota vychází z výsledků práce řady autorů a pracovních skupin^{9,10}, z nichž vyplývá, že nadměrné riziko rakoviny plic nastává u populace obsahující 30 % kuřáků při překročení uvedeného limitu s pravděpodobností $1 \cdot 10^{-5}$ až $1 \cdot 10^{-6}$.

Schéma rozdělení vláken je na obr. 1.



Obr. 1. Schéma rozdělení vláken

2. Zdroje vláken ovlivňujících kvalitu vnitřního a venkovního ovzduší

Stavební materiály

Při různých činnostech spojených s údržbou objektů, při demolicích starých budov, při rekonstrukci budov, bytů, bytových jader a dalších stavebních úpravách se velmi často lze setkat se stavebními materiály obsahujícími azbest. Při rekonstrukcích, úpravách či demolicích tak vzniká potenciálně nebezpečný stavební odpad. Odpady obsahující azbest jsou klasifikovány jako odpady nebezpečné, ve smyslu zákona o odpadech¹¹, neboť vykazují vlastnost H7 (karcinogenitu). Tyto odpady již nelze nijak využívat. Musí se ukládat na speciálních skládkách zřízených státem dle platné legislativy, kde opět hrozí při neodborné manipulaci s tímto materiálem kontaminace daného prostředí.

Riziko kontaminace prostředí může rovněž nastat při těžební činnosti, ražení tunelů, při běžných výkopových činnostech apod.

Vedle toho probíhá výstavba nových budov, či zateplování stávajících budov, kde se běžně používá tepelně-izolačních vláknitých materiálů (Orsil, Rockwool, Izover, Ursa atd.). Při instalaci či demontáži těchto stavebních materiálů dochází ke kontaminaci daného prostředí respirabilními anorganickými vlákny. Kontaminaci prostředí je minimalizovat v případě, že použité zateplovací vlák-

nité moduly jsou potaženy ochranou prodyšnou tenkostěnnou fólií. Na trhu jsou běžně dostupné již řadu let, avšak jejich použití v praxi je minimální z důvodu vyšší ceny. Nelze opomenout vysokoteplotní izolační vláknité materiály (Sibral, Insulfrax, Isofrax, Sibrex, Tibrex, Izobrex atd.), které se běžně využívají v keramických a sklářských továrnách, ocelárnách, ropných rafinériích, chemických továrnách.

V tab. I je uveden základní přehled výrobků s obsahem azbestových vláken, které byly v minulosti v České republice vyráběny. V tab. II jsou uvedeny příslušní výrobci.

Přírodní zdroje

Azbest je vláknitý silikát přirozeně se vyskytující v přírodě. Nejznámější přírodní zdroje chryzotilu jsou ložiska v Rusku (Minusinská pánev, Ural), ložiska v Arizoně (Salt River, Sierra Ancha), v USA (Skalisté hory), ložiska jihoafrického Transvaalu (Carolina), ložiska v Kanadě (Quebec), v Zimbabwe (Shabani, Mashaba), v Číně (Pao-Tchou, Lai-Yuan), v Britské Kolumbii, v Itálii, v Indii (Roro). Na území bývalého Československa se chryzotil těžil do konce 90. let pouze na Slovensku u Dobšíně. V ČR se chryzotil vyskytuje v Mirovicích u Písku, v Jedově u Náměště nad Oslavou, v Nové Vsi u Moravského Krumlova, v Holubově, ve Zlaté Koruně,

Tabulka I

Základní přehled výrobků s obsahem azbestových vláken, které byly v ČR v minulosti vyráběny

| Výrobek | Doplňující údaje | Ukončení výroby |
|--|---|-----------------|
| Střešní šablony Eternit, Beronit | šedé, černé, červené; $\rho = 2100 \text{ kg m}^{-3}$ | 1996 |
| Vlnitá střešní krytina typu A a B | desky šedé, černé, červené, zelené i jiné barvy, různých rozměrů; $\rho = 1800 \text{ kg m}^{-3}$ | 1995 |
| Hřebenáče, tvarovky a střešní větrací prvky | různé doplňky k základním střešním prvkům | 1996 |
| Izolační šňůra | o průměru 1 až 50 mm | 1990 |
| Netkané textilie NETAS | tloušťka 0,6–1,1 mm | 1990 |
| Izolační deska ID a IDK 30 | tloušťka 1–6 mm | 1990 |
| Květinové truhlíky a zahradní doplňky | různé velikosti a tvary | 1999 |
| Tlakové a kanalizační roury a tvarovky | průměr 50 až 1 000 mm, různé délky | 1999 |
| Interiérové velkoplošné desky (Dupronit A, B, C, Ezalit A, B, C) | tloušťka 6, 8, 10, 12 mm, v přírodní světle šedé barvě; $\rho = 600$ až 2000 kg m^{-3} | 1995 |
| Exteriérové a podstřešní desky (Dekalit, Lignát, Cembalit, Cemboplast, UniceL, Lignopal) | tloušťka 6, 8, 10, 12 mm, v přírodní světle šedé barvě; $\rho = 600$ až 2000 kg m^{-3} | 1995 |
| Sendvičové desky s pěnovým polystyrenem | | 1995 |
| Desky Pyral | požárně odolné sendvičové desky s vlnitou hliníkovou fólií v jádru | 1992 |
| Desky Izomin, Akumin, Calothernex | termoizolační desky; $\rho = 250$ až 400 kg m^{-3} | 1992 |
| Asfaltové pásy (Aralebit, Bitagit, Cufolbit, Arabit-S, Plasbit, Probit) | výrobky s mikromletým azbestem | 1990 |
| Stříkaná omítka Pyrotherm | protipožární nástřiky zejména na ocelové konstrukce | 1992 |
| Protipožární nástřik Limpet | nástřiky na ocelové konstrukce (výškové budovy) | |
| HORP | přípravek k zakrytí vlhkosti u svislých stěn | |
| Klingerit | plochá těsnění přírub vysokotlakého potrubí | |

Tabulka II

Přehled výrobců materiálů s obsahem azbestových vláken v ČR a SR

| Název výrobce | Místo výroby |
|---|---------------------------------|
| Azbestocementové závody, n.p. (s.p.) | Beroun, Hranice, Nitra, Púchov |
| Eternitové závody, n.p. (s.p.) | Šumperk |
| Azbestos, n.p. (s.p.) | Zvěřínek |
| Izolační závody, n.p. (s.p.) | Brno |
| Stavební izolace, n.p. (s.p.) | Praha |
| Severočeské dřevařské závody, n.p. (s.p.) | Česká Lípa |
| Krkonošské papírny, n.p. (s.p.) | Hostinné |
| Dehtochema, n.p. (s.p.) | Bělá pod Bezdězem |
| Slovenské závody technického skla | Bratislava |
| Rudné Bane, n.p. (s.p.) | Báňská Štiavnica |
| Stavební závody těžkého strojírenství | Nová Baňa |
| Jednotné rolnické družstvo | Dlhá Ves, Čičajovce, Parchovany |
| Obvodní podnik služeb | Horní Počernice |

v Újezdci u Českých Budějovic, v Raškově u Šumperka aj. Pokusná těžba probíhala u Jedova a Mirovic ve 20. letech minulého století. V obou případech byla ložiska neperpektivní s ohledem na jejich malý rozsah, nízký obsah a špatnou kvalitu suroviny.

Tremolit-aktinolitová ložiska se nacházejí v Kanadě (Quebec), v Rusku (Ural), v Kazachstánu, v Itálii (Lombardie). Ložiska krokydolu jsou převážně v JAR (Koegas, Prieska, Msauli), v Austrálii, v Bolívii a na Ukrajině. Amozitová ložiska jsou v JAR (Penge, Pietersburg). Ložiska antofylitu se nacházejí v USA (Apalačské pohoří), v Brazílii, v Rusku (Ural, na Sibíři), ve Finsku. V ČR byla nalezena ložiska antofylitu u Věžné, Býšovice a Zlatkova u Nedvědic a u Jedova u Náměště nad Oslavou. Ložisko tremolitu bylo nalezeno u Loužnice u Železného Brodu. Ve všech případech se jednalo o malá ložiska se špatnou kvalitou suroviny.

Souhrnná světová těžba dosahovala svého maxima koncem 70. let. V té době přesahovala těžba azbestu 4,5 miliónů tun ročně. V důsledku zjištění negativního dopadu na lidské zdraví byla těžba a používání azbestu ve vyspělých zemích světa postupně omezována až úplně zakázána. Celosvětově byl zaznamenán výrazný pokles až na počátku 90. let.

3. Metody stanovení početní koncentrace vláken a vyjadřování výsledků měření

Měření koncentrace azbestových a minerálních vláken ve vnitřním ovzduší se provádí v souvislosti se sledováním krátkodobé nebo dlouhodobé expozice obyvatel. Hlavní cíle sledování azbestu ve vnitřním ovzduší jsou uvedeny v následujícím přehledu.

- Stanovení koncentrace vláken během běžného užívání a chování v prostorách budovy pro diagnostické účely (běžné vzorkování), které lze provádět periodicky pro ověření dlouhodobé účinnosti nápravných opatření. Odběr vzorků probíhá během běžného užívání budovy.
- Stanovení krátkodobé koncentrace vláken v obyvatelných prostorách během běžného užívání před činností, která může vést k uvolňování azbestu (vzorkování pozadí). Odběr vzorků probíhá během běžného užívání budovy těsně před plánovanou činností.
- Určení vlivu běžných údržbových prací na koncentraci vláken v budově, kde jsou použity materiály obsahující např. azbest (vzorkování pro ověření vlivu činností). Odběr vzorků probíhá během sledovaných činností nebo údržby statickým nebo osobním vzorkováním.
- Pro určení, zda se koncentrace vláken udržuje pod určenou mezí, při níž lze odstranit časové zábrany prostoru odstraňování nebo přerušit bezpečnostní opatření, a může začít využívání prostor, v nichž bylo odstraňování materiálů uvolňujících vlákna (výstupní vzorkování). V průběhu vzorkování se narušují povrchy, simulují se proudění vzduchu a vibrace typické pro stav předpokládaný při novém způsobu využití.

- Pro určení expozice osob vlákny v ovzduší; odběr vzorků se pro tyto účely provádí v dýchací zóně osob v průběhu sledované činnosti (osobní vzorkování).

Plán odběru vzorků

Pro měření početní koncentrace azbestových a minerálních vláken ve vnitřním ovzduší má zásadní význam pečlivá příprava zahrnující především vypracování podrobného plánu odběru vzorků. Tento plán zahrnuje určení souboru místností sledované budovy, v nichž se odběr vzorků uskuteční, podmínky prostředí (např. simulace běžných podmínek jejich využití), rozmístění vzorkovacích stanovišť, časový plán odběru vzorků (doba průměrování), objem vzorků, odběr slepých vzorků apod. v souladu s určeným cílem měření.

Vzorkovací stanoviště pro sledování kvality vnitřního ovzduší

Vzorky vzduchu se obvykle odebírají v budovách, v nichž se vyskytují stavební materiály s obsahem azbestu. Optimální místa pro odběr vzorků vzduchu lze určit pouze po důkladné prohlídce celé budovy zaměřené na zjištění výskytu a druhu použitých materiálů s obsahem azbestu, na umístění systémů ventilace a na činnosti obyvatel. V místech, v nichž se vyskytuje materiál s obsahem azbestu, by se měly odebírat vícenásobné vzorky a v přilehlých prostorách, kde nelze předpokládat výskyt azbestových vláken v ovzduší, by se měly odebrat srovnávací vzorky.

Rozmístění a počet vzorkovacích stanovišť závisí na počtu, velikosti a uspořádání jednotlivých místností v budově. K určení souboru vzorkovacích stanovišť se používá dvou postupů. V budovách s malým počtem místností, v nichž se nevyskytují velké místnosti, je výhodné charakterizovat budovu pomocí „jednotkových místností“, z nichž lze vypočítat počet vzorků, které je nutné pro určitý účel měření odebrat. Jednotková místnost¹² je místnost s maximální půdorysnou plochou 100 m² a maximální délkou 15 m. Za určitých situací se soubor méně než 4 místností, jejichž celková plocha nepřesahuje 100 m², může uvažovat jako jednotková místnost za předpokladu, že mezi nimi existuje dostatečná výměna vzduchu. V opačném případě se každá jednotlivá malá místnost uvažuje jako jediná jednotková místnost. V každém prostoru odstraňování, s výjimkou velmi malých místností o ploše menší než 10 m², je třeba odebrat nejméně dva vzorky charakterizující jednotkovou místnost. Ve větších prostorách se počet jednotkových místností vypočte za použití empirické rovnice (1) a zaokrouhlí nahoru na celé číslo¹²:

$$n_{RU} = \frac{14 A}{730 + A} \quad (1)$$

kde n_{RU} je počet jednotkových místností a A plocha velkého prostoru ve čtverečních metrech.

Počet vzorků pro posouzení určité plochy při různých typech vzorkování je uveden v tab. III a IV.

V budovách s velkým počtem jednotlivých místností nebo velmi velkými místnostmi se soubor vzorkovacích stanovišť určuje náhodným výběrem^{12,13}.

Vzorkovací systémy se zpravidla umísťují nejméně 2 m od stěn s pouzdrům filtru ve výši 1,2 m až 1,5 m nad zemí. Je třeba brát v úvahu umístění ústí přívodů vzduchu tak, aby odebrané vzorky reprezentovaly co možná nejvíce vzduch v místnosti.

Tabulka III
Rozdělení velkých místností do jednotkových místností¹²

| Plocha velké místnosti [m ²] | Počet jednotkových místností |
|--|------------------------------|
| <100 | 1 |
| <300 | 2 |
| <600 | 4 |
| <1000 | 6 |
| <2000 | 8 |
| <5000 | 10 |
| <10 000 | 12 |
| >10 000 | nejméně 13 |

Tabulka IV
Minimální počet náhodných vzorků potřebný pro posouzení velkých budov^{12,13}

| Počet posuzovaných jednotkových místností N^a | Minimální požadovaný počet vzorků běžné vzorkování | Počet posuzovaných jednotkových místností výstupní vzorkování, vzorkování pozadí |
|--|---|---|
| 1 až 2 | 2 | 2 |
| 3 až 4 | 2 | 3 |
| 5 až 6 | 3 | 4 |
| 7 až 8 | 3 | 5 |
| 9 až 11 | 3 | 6 |
| 12 až 14 | 3 | 7 |
| 15 až 17 | 4 | 8 |
| 18 až 20 | 4 | 9 |
| 21 až 25 | 5 | 10 |
| 26 až 31 | 5 | 11 |
| 32 až 38 | 6 | 12 |
| 39 až 46 | 6 | 13 |
| 47 až 55 | 7 | 14 |
| více než 55 | $N/8$ (zaokrouhlit nahoru) | $N/4$ (zaokrouhlit nahoru) |

^a N je skutečná hodnota n_{RU} , zaokrouhlená nahoru

Odběr vzorků vnitřního ovzduší

K odběru vzorků slouží běžné vzorkovací tratě s průtokem 3 až 30 l min⁻¹. K záchytu vláken slouží polymerní membránové filtry pokryté naprášenou vrstvou zlata a zbavené organických nečistot v nízkoteplotním plazmatu¹³.

Podmínky odběru vzorků musí být zvoleny tak, aby při vzorkování nedocházelo k snižování koncentrace vláken v důsledku nežádoucí výměny vzduchu, tzn. okna i dveře musí být při odběru vzorků uzavřeny. Vzorkovací doba obvykle přesahuje 4 hodiny v průběhu normálního využití sledované budovy.

Před jakoukoli simulací činnosti by měl být daný prostor prohlédnut s cílem zjištění jakéhokoli podezřelého prachu či nečistot s možným obsahem azbestu. Pro určení, zda má být simulace činnosti uskutečněna, lze využít zkoumání nalezených vzorků prachu či nečistot polarizačním mikroskopem.

Ve vzorcích odebraných za statických podmínek nemusí být přítomnost azbestových či minerálních vláken zjištělná, a to dokonce ani tehdy, leží-li značné množství azbestu na povrchu prostor, v nichž se uskutečňuje odběr vzorku. Z toho důvodu se pro účely měření koncentrace vláken uvolňovaných do ovzduší za běžných podmínek používání simulují činnosti srovnatelné s činnostmi, které probíhají za těchto obvyklých podmínek^{12,13}. Simulace podmínek používání je proces, při němž je veškerý prach, který může být usazen na površích v místnosti, rozptýlán do ovzduší této místnosti způsobem srovnatelným

s procesy, které vedou k jeho výskytu v ovzduší místnosti při nejaktivnější činnosti při jejím běžném používání. Simulovaná činnost slouží ke dvěma účelům, ke zjištění reálných hodnot početní koncentrace vláken ve vnitřním ovzduší za podmínek běžného užití nebo k prokázání, že prostory právě zbažené azbestu mohou být opět používány i v případě simulované nejvyšší možné koncentrace vláken. Odběr vzorků vzduchu lze ovšem provádět i za běžného užití a obývání, při nichž není žádné simulace zapotřebí.

Při simulaci provozních podmínek se provádí definované ofukování/víření a v určitých případech vytváření rázových zatížení (doplňková metoda používaná např. v místnostech s koberci). Definované ofukování či víření usazených částic, které mohou obsahovat respirabilní anorganická vlákna, je prováděno v daném prostoru vždy pomocí vířidla s regulovaným proudem vzduchu 4 m s^{-1} ($\pm 20 \%$) minimálně v okruhu 3 až 5 m okolo vzorkovací sondy. Doba definovaného ofukování/víření je individuální, závisí na prašnosti monitorovaného prostředí. Vytváření rázových zatížení se provádí např. v tělocvičně pomocí nárazů míče v okruhu 5 m kolem vzorkovací sondy alespoň 40krát. V místnostech pokrytých kobercí se provádí simulace pádů předmětů typických pro danou prostorovou buňku. Je důležité tyto nárazy vytvářet opět minimálně v okruhu 5 m okolo vzorkovací sondy dopadem těles z výšky 1 m alespoň 5krát. Doba rázových zatížení je opět individuální, závisí na prašnosti monitorovaného prostředí.

Ve zvláštních případech, kdy jsou zapnuty speciální odsávací jednotky, se tato simulace nerealizuje se (např. během sanace, kde je zajištěna tlaková diference v rozmezí 20–40 Pa).

Úprava a analýza vzorků vnitřního ovzduší

Exponované filtry se před analýzou zbavují organických nečistot v nízkoteplotním plazmatu¹³. Pro stanovení početní koncentrace vláken má být použito ploch minimálně 1 mm^2 náhodně rozložených na filtru¹³.

Pro stanovení azbestových a minerálních vláken ve vnitřním ovzduší budov musí být použity normované analytické metody. V současné době lze podle cíle měření použít jednu ze čtyř normovaných analytických metod. Volba vhodné metody nezáleží pouze na cílech měření, ale rovněž na frakci velikostí sledovaných vláken, nejistotě identifikace složení vláken a na požadavcích určených právními předpisy nebo limitními hodnotami kvality ovzduší.

Pro běžný monitoring expozice osob v pracovním prostředí, kde se manipuluje s azbestem nebo kde se azbest zpracovává, se používá metody stanovení početní koncentrace počtu anorganických vláken v ovzduší optickou mikroskopií s fázovým kontrastem s použitím membránových filtrů¹⁴. Tato metoda není určena k identifikaci vláken a azbestová vlákna tenčí než přibližně $0,2 \text{ }\mu\text{m}$ jsou pod hranicí viditelnosti. Touto metodou lze stanovit pouze početní koncentraci vláken delších než $5 \text{ }\mu\text{m}$ s průměrem

přesahujícím $3,0 \text{ }\mu\text{m}$, nelze ji proto využít pro žádný z cílů měření uvedených v úvodu.

Pro měření početní koncentrace azbestových a minerálních vláken delších než $5 \text{ }\mu\text{m}$ a tloušťky v rozmezí $0,2$ až $3,0 \text{ }\mu\text{m}$ se používá metody skenovací elektronové mikroskopie ve spojení s energiově disperzní rentgenovou analýzou pro určení složení vlákna^{12,13,15}. Každé vlákno je klasifikováno podle svého chemického složení a početní koncentrace se uvádí pro každou formu zvlášť. Moderní systémy využívající rentgenové záření umožňují rozlišení vláken všech modifikací azbestu. Tato metoda je vhodná pro splnění cílů uvedených v úvodu.

Pro stanovení azbestových vláken se dále používá metody transmisní elektronové mikroskopie (TEM) s přímým¹⁶ nebo nepřímým¹⁷ průchodem. Metoda TEM umožňuje detekci azbestových vláken kratších než určená minimální délka $5 \text{ }\mu\text{m}$ a tenčích než $0,1 \text{ }\mu\text{m}$, nelze ji proto využít pro žádný z cílů měření uvedených v úvodu. Výhodou použití metody TEM s nepřímým průchodem je neomezená depozice částic na odběrovém filtru, protože ji lze upravit v laboratoři při přípravě vzorků pro analýzu metodou TEM. Tento postup však může vést k odlišné distribuci velikostí azbestových vláken při přípravě mikroskopických vzorků v porovnání s distribucí zjištěnou metodou TEM s přímým průchodem a příprava mikroskopického vzorku pro nepřímý průchod rovněž často způsobuje výrazný nárůst uváděných koncentrací azbestových vláken.

Pro určení, zda není překročena limitní hodnota koncentrace azbestových a minerálních vláken ve vnitřním ovzduší⁸ v měřeném intervalu za standardních podmínek, se používá metody skenovací elektronové mikroskopie (SEM) se zvětšením 2000 až 2500:1 (cit.¹³). Pro určení složení zachycených vláken slouží energiově disperzní rentgenová analýza (EDXA).

Nastavení napětí urychlovače SEM (15 kV) a EDXA spektrometru musí splňovat podmínku viditelnosti vláken chryzotilu tloušťky $0,2 \text{ }\mu\text{m}$, která jsou velice málo kontrastní.

Klasifikace vláken probíhá na základě výsledků analýzy EDXA. Vlákna se na základě určení poměru Si/Mg rozdělují do tří skupin:

- chryzotil,
- amfibolový azbest: amosit a krocidolit (vzácně aktinolit, tremolit a antofylit),
- ostatní anorganická vlákna.

Pro výpočet průměrné hodnoty početní koncentrace vláken v ovzduší se použije objemově vážený průměr, který je zcela určen dvěma parametry, tj. výsledným počtem vláken ve vzorku (x_i) a příslušným objemem vzorku vzduchu (V_p):

$$C = \frac{\sum x_i}{\sum V_p} \quad (2)$$

Samotný objem vzorku vzduchu V_p určuje mez detekce:

$$E = \frac{2,99}{\sum V_p} \quad (3)$$

Při vyloučení systematických chyb je zřejmé, že náhodné odchylky početní koncentrace vláken vykazují lognormální distribuci s velkým počtem nízkých výsledků a několika velmi vysokými výsledky. Naměřená početní koncentrace vláken se obvykle liší od skutečné hodnoty. Odchylna vzniká ve všech fázích měřicího postupu:

- při odběru vzorku (vzorkovací doba, simulace využití místností, měření protoklého množství vzduchu),
- při úpravě vzorku (čištění filtrů v nízkoteplotním plazmatu),
- při analýze vzorku (nastavení přístrojů, počítání vláken, měření a identifikace).

Při použití metody SEM má zvláštní význam detekce a analýza tenkých vláken s průměrem $<0,2 \mu\text{m}$, vyhodnocení agregovaných stlačených vláken a identifikace vláken pomocí EDXA.

Náhodnou složku celkové chyby výsledků měření lze vyjádřit pomocí Poissonovy statistické metody. Na jejím základě lze vypočítat horní a dolní mez konfidenčního intervalu na hladině 95 % významnosti pro aktuální zjištěnou početní koncentraci vláken pomocí rovnic¹³:

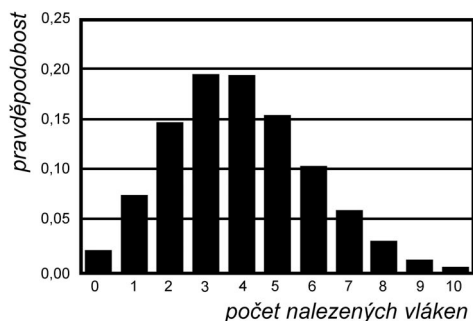
$$\lambda_u = \frac{1}{2} \cdot \chi_{2(n+1);0,975}^2 \quad (4)$$

$$\lambda_l = \frac{1}{2} \cdot \chi_{2n;0,025}^2 \quad (5)$$

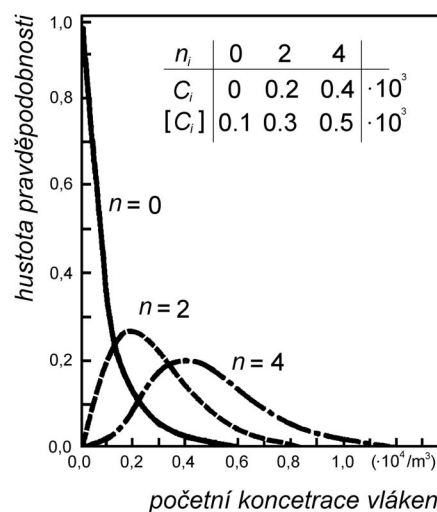
kde λ_u a λ_l jsou horní a dolní mez konfidenčního intervalu, χ^2 je hodnota χ^2 -distribuce pro $\alpha = 0,975$ a $\alpha = 0,025$ a n je počet nalezených vláken.

Rozptyl výsledků měření okolo očekávané hodnoty početní koncentrace vláken je znázorněn na obr. 2. Význam konfidenčního intervalu pro určení skutečné hodnoty početní koncentrace azbestových a minerálních vláken v ovzduší vyplývá z obr. 3.

Při hodnocení kvality vnitřního ovzduší se často uvádí rovněž horní mez konfidenčního intervalu početní koncentrace azbestových a minerálních vláken (někdy označovaná jako Poissonova hodnota koncentrace).



Obr. 2. Rozptyl výsledků měření¹³ okolo očekávané hodnoty početní koncentrace vláken $400 \text{ vláken}/\text{m}^3$ odpovídající nalezenému počtu vláken $n = 4$



Obr. 3. Rozdělení hustoty pravděpodobnosti početní koncentrace vláken pro $V_p = 0,01 \text{ m}^3$ a tři různé výsledky sčítání vláken ($n = 0, 2, 4$) (cit.¹³). Teoretické hodnoty početní koncentrace vláken (C_i) a očekávané hodnoty početní koncentrace vláken $[C_i]$

4. Metody odstraňování vláken z vnitřního ovzduší

Volba vhodného technologického postupu

Sanaci či trvalou enkapsulaci stavebních materiálů s obsahem azbestu musí provádět výhradně renomovaná firma, která zaručí řádný a bezpečný technologický postup enkapsulace či demontáže a následně předání vzniklých azbestových odpadů k bezpečnému uložení na příslušnou skládku zřízenou státem.

Zásadním problémem České republiky je skutečnost, že přes rozsáhlé použití materiálů uvolňujících azbestová a minerální vlákna neexistují schválené postupy ani systémy zajišťující vzdělávání sanačních firem v postupech sanace a školení pracovníků, kteří vykonávají sanační a kontrolní činnost, což vede k závažným zdravotním, ekonomickým, ekologickým a společenským problémům. Tato skutečnost byla hlavním podnětem přípravy tohoto sdělení.

V západních zemích EU je práce s azbestem inspektoována/dozorována nezávislými orgány, které mají oprávnění kontrolovat celý průběh prací a mohou provádět inspekci účinnosti sanace. Bez tohoto nezávislého dohledu není práce s azbestem povolena. Pokud tato práce není pod neustálým dohledem, nelze prokázat dodržení schváleného technologického postupu. Inspektoři provádějící dohled v průběhu sanačních prací provádějí nejen běžné kontroly, ale především průběžně monitorují koncentrace respirabilních anorganických vláknitých částic v KP. Zároveň kontrolují, zda nedošlo k jejich průniku mimo KP.

V případě sanace vláken v hermeticky uzavřeném

prostoru lze monitoring sanace jednoduše uskutečnit sledováním normou určené hodnoty tlakové diference pomocí jednoduchého zařízení. Kontinuální záznam této veličiny představuje nevyvratitelný důkaz kvality takto prováděné sanace. Výstupem inspekční činnosti je vždy inspekční zpráva včetně protokolů z měření koncentrace a sledování tlakové diference, která se ze zákona archivuje. Rozhodnutí, zda sanace azbestu byla či nebyla účinná, lze provést pouze na základě dokumentů a závěrů zmíněného dohledu.

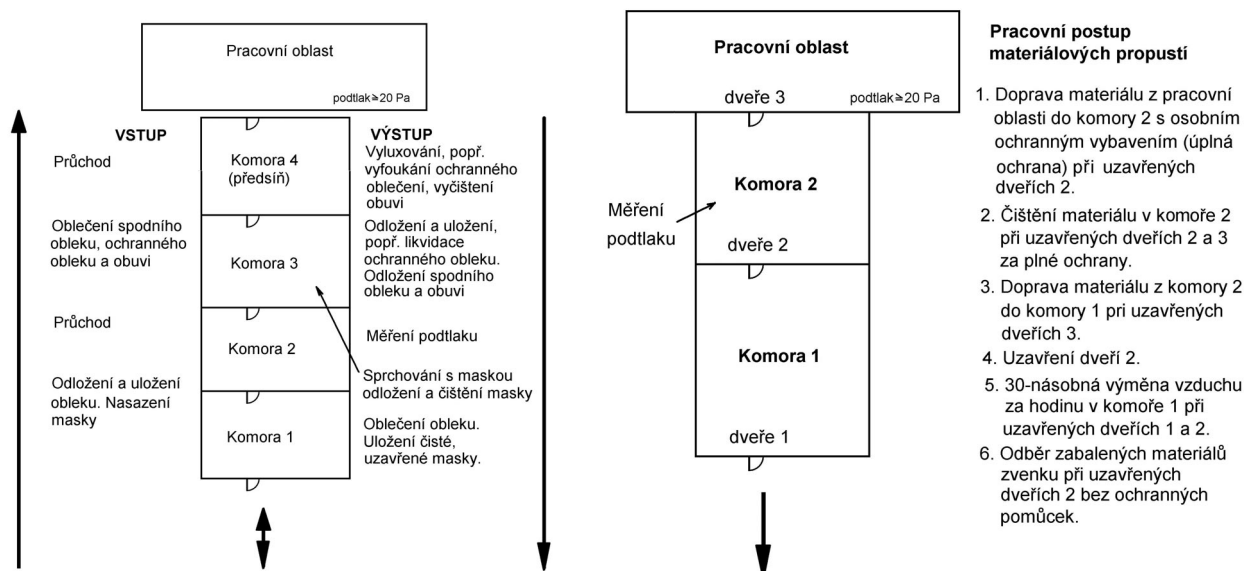
V praxi České republiky se lze běžně setkat se situací, kdy sanační firmy předkládají pouze zprávu popisující postup provedené sanace azbestu. V některých případech je tato zpráva dokonce prodávána jako zvláštní zboží nad rámec uzavřené smlouvy. Při hodnocení kvality takto prováděné sanace je však taková zpráva bezcenná, a pokud nejsou sanační práce prováděny pod dohledem, lze očekávat závažné zdravotní, ekologické, ekonomické, ale i společenské problémy. Sanace azbestu se ve většině případů musí opakovat. Tento postup je ovšem dán tím, že zákonné požadavky v České republice jsou v této oblasti velice benevolentní. Sanační firmě ze zákona⁶ vyplývá pouze 30denní ohlašovací povinnost.

Veškeré náležitosti hlášení prací s azbestem stanovuje příslušná vyhláška¹⁸. Odpady obsahující azbest musí být po celou dobu odstraňování řádně enkapsulovány speciálními přípravky určenými pro fixaci azbestových vláken (součástí hlášení vždy musí být technický a bezpečnostní list používaného enkapsulantu). Dostatečně penetrovaný azbestový materiál musí být opatrně vkládány do neprodyšných vysokopevnostních speciálních vaků či plastových fólií označených nápisem upozorňujícím na obsah azbestu. A dále ukládány v přistavených speciálních kontejnerech pro nebezpečný odpad. Vždy musí být voleny

takové technologické postupy, jimiž bude možné předejit uvolňování azbestových vláken do ovzduší.

Prostor, kde dochází k odstraňování, např. části stavby s obsahem azbestových materiálů, musí být vždy vymezen kontrolovaným pásmem (KP), v němž je nutno dodržovat speciální režimová opatření, tj. nesmí se zde jíst, pít, kouřit. KP musí být zřetelně označeno výstražnými tabulemi s nápisy upozorňujícími na práci s azbestem, vstup nepovolaným osobám zakázán. KP může být otevřené nebo hermeticky uzavřené. V hermeticky uzavřeném prostoru musí být dosaženo tlakové diference 20 až 40 Pa (cit.¹⁹). Toho se docílí pouze napojením odsávacích jednotek s HEPA filtry daného výkonu. Na hranici otevřeného či uzavřeného KP musí být vždy vybudován či umístěn (mobilní) personální dekontaminační systém (dále jen personální DS), což je soustava komor za sebou řazených, kde dochází k převlékání pracovníků do/z ochranných pracovních pomůcek a vstupu/výstupu do/z KP. Při výstupu z KP v personálním DS vždy dochází k dekontaminaci pracovního oděvu (likvidace jednorázového oděvu, likvidace jednorázového respirátoru atd.) a k celkové očištění pracovníků. Vždy, ale musí být jedna komora personálního DS napojena na odsávací zařízení s HEPA filtrem, aby byla zajištěna dostatečná tlaková diference vzduchu, aby nedocházelo k úniku azbestových vláken mimo DS. Personální DS má vždy alespoň jednu vyčleněnou komoru, která není kontaminována azbestem.

Vedle personálního DS musí být vždy zřízena tzv. materiálová propust' sloužící k transportu veškerého demontovaného penetrovaného azbestového materiálu uloženého v uzavřených neprodyšných vacích, a to z KP na tzv. mezideponii, která je mimo KP. Zde se přechodně bezpečně zabalený azbestový odpad ukládá pouze po dobu



Obr. 4. Schéma personálního DS a materiálové propustí

nezbytně nutnou. Odtud je nakládán do přistavených kontejnerů a dále transportován na příslušnou skládku. Materiálová propust' je většinou tvořena soustavou dvou komor. V komoře, která přímo navazuje na KP (otevřené či uzavřené) musí být zajištěna 30násobná výměna vzduchu za 1 hodinu pomocí odsávacího zařízení s HEPA filtrem. V tomto vymezeném prostoru dochází k čištění povrchu vaků a ke kontrole, zda jsou řádně uzavřené. Takto nasypané vaky jsou přemístěny do druhé komory, odkud jsou pracovníky zvenku odváženy na mezideponii. Je důležité upozornit, že je zakázáno používat materiálovou propust' pro vstup a výstup pracovníků z/do KP. Schéma materiálové propusti je uvedeno na obr. 4.

Již od prvního kontaktu sanační firmy s azbestovými materiály je nutno dbát na důsledné zabránění vdechnutí a zabránění kontaminace ovzduší okolního prostředí azbestovým prachem. Nesmí docházet k úniku azbestového prachu mimo KP, tedy do okolního nechráněného prostředí. Pracovní prostředí, ve kterém se provádí sanace azbestu, musí být přinejmenším monitorováno nestrannou akreditovanou zkušební laboratoří nebo akreditovaným inspekčním orgánem, které jsou akreditovány pro kontrolní měření početní koncentrace respirabilních anorganických vláken (tzv. měření během sanace). Tato povinnost vyplývá z příslušné vyhlášky¹⁸.

Jak vyplývá z nařízení vlády¹⁹, práce s azbestem lze považovat za ukončené pouze na základě vykonání závěrečných kontrolních měření početní koncentrace respirabilních anorganických vláken (tzv. měření po sanaci), a to opět akreditovanou zkušební laboratoří. Sanace azbestu může být ukončena pouze za předpokladu, že výsledky kontrolních měření budou podlimitní ve smyslu požadavků vyhlášky⁸. Výhodnějším postupem je sledování účinnosti sanace azbestových vláken, která vychází ze sledování konečné početní koncentrace respirabilních azbestových vláken s ohledem na horní mez konfidenčního intervalu početní koncentrace těchto vláken²⁰.

Význam akreditovaného dohledu nad zvoleným technickým postupem

U sanace azbestu se doporučuje kontinuální dohled inspektory akreditovaného inspekčního orgánu (tzv. inspekce účinnosti sanace, pracovně označovaná akreditovaný dozor). Inspekce účinnosti sanace mapuje a hodnotí celý průběh sanačních prací, přičemž nezbytnou součástí je provádění kontrolních měření (před, během a po sanaci) početní koncentrace respirabilních anorganických vláken v daném pracovním prostředí. Je to jediný možný adekvátní způsob, kterým lze předcházet neočekávaným problémům při sanaci. Výstupem je dokument s mezinárodní platností, který se ze zákona archivuje po dobu 40 let pro případ uznání nemoci z povolání.

V České republice však může sanaci vykonávat každý, kdo je držitelem oprávnění pro podnikání v oblasti nakládání s nebezpečnými odpady. To je naprosto neúnosný stav, díky kterému hrozí, že vybraná sanační firma svojí činností způsobí kontaminaci prostředí mimo KP a tím

ohrozí zdraví všech přítomných osob. Následná dekontaminace objektu je nejenom časově, ale i finančně nákladná.

Význam standardu TRGS 519 (cit.²⁰) vyplývá z následujících příkladů uvádějících rozdílné přístupy k sanaci budov v reálných podmínkách České republiky. Prvním příkladem „reálného“ provedení je situace, kdy firma, která má oprávnění provádět sanaci azbestu, splní ohlašovací zákonnou povinnost a ohlásí práce s azbestem příslušné hygienické stanici, která toto hlášení přezkoumá a následně vydá souhlas k sanaci. Po získání souhlasu zadá tato firma sanaci azbestových materiálů jiné nekompetentní firmě označené jako subdodavatel. Tento subdodavatel pak provádí sanační práce, aniž by měl k tomu oprávnění. O této záměně se příslušná hygienická stanice ani nedozví a k sanaci azbestových materiálů se přistupuje jako k běžnému zdravotně nezávadnému stavebnímu materiálu.

Dalším problémem je organizace měření početní koncentrace vláken ve vnitřním ovzduší. Toto měření provádí často neakreditované, popř. nezkušně akreditované laboratoře, a v ojedinělých případech dokonce jednotlivci, kteří svou kompetenci prokazují referenčním listem protokolů o provedených měřeních v souvislosti se sanací azbestu. Odběr a analýza vzorků se velmi zřídka provádí v průběhu sanace, takže její postup nelze nijakým způsobem korigovat ani řídit.

V případě sanace azbestu hraje rozhodující roli čas, tzn. doba mezi odběrem vzorků a získáním výsledků analýzy. Jakmile jsou tyto výsledky k dispozici, může dojít k řádnému ukončení práce s azbestem, tedy ke zrušení KP a všech ochranných opatření. Z tohoto hlediska nelze obhájit žádné průtahy, které svědčí o nedostatečné kompetenci zkušební laboratoře.

Správné provedení sanace vychází jednoznačně ze standardu TRGS 519 (cit.²⁰) a spočívá v jasně definovaném postupu sanační firmy, která je držitelem příslušného oprávnění. Po splnění zákonné ohlašovací povinnosti a vydání souhlasného stanoviska příslušné hygienické stanice dojde k realizaci sanačních prací v hermeticky uzavřeném nebo otevřeném KP pod dohledem akreditovaného inspekčního orgánu. Měření početní koncentrace respirabilních vláken provádí inspektor tohoto orgánu průběžně a výsledky slouží k řízení sanačního procesu. Po ukončení sanace provede inspektor zevrubné měření prostor uvnitř i vně KP a na základě výsledků měření lze ukončit inspekci účinnosti sanace azbestu. Hodnocení této účinnosti vychází z přísnějších kritérií standardu TRGS 519 (cit.²⁰) (početní koncentrace azbestových vláken nesmí překročit hodnotu 500 vláken na 1 m³ a současně Poissonova hodnota koncentrace nesmí překročit hodnotu 1000 vláken na 1 m³). Časový interval mezi odběrem vzorků a jejich analýzou nepřekračuje několik hodin.

5. Závěr

Dokonalé provedení sanace budov a prostor z hlediska výskytu azbestových a minerálních vláken splňující zákonné požadavky^{6-8,18-19} zajistí pouze dozor/dohled nestranným akreditovaným inspekčním orgánem,

kteřý potvrdí soulad prováděných prací se schváleným technickým postupem založeným na standardu TRGS 519 (cit.²⁰). Tento dokument byl upraven pro specifické podmínky České republiky²¹.

Pro hodnocení úspěšnosti sanace lze vycházet výhradně z výsledků měření početní koncentrace vláken akreditovanými zkušebními laboratořemi metodou skenovací elektronové mikroskopie (SEM) se zvětšením 2000 až 2500:1 (cit.¹³). Pro určení složení zachycených vláken slouží energiově disperzní rentgenová analýza (EDXA).

LITERATURA

1. ČSN EN 12341 Kvalita ovzduší – Stanovení frakce PM₁₀ aerosolových částic – Referenční metoda a postup při terénní zkoušce ověření požadované těsnosti shody mezi výsledky hodnocené a referenční metody (83 5612), ČNI Praha 1998.
2. WHO: Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition, European Series, No. 21, ISBN 13583, ISSN 0378-2255, Copenhagen 2000.
3. Moore M., Boymel P., Maxim L., Turim J.: Regul. Toxicol. Pharmacol. 35, 1 (2002).
4. Yano E.: Am. J. Epidemiol. 154, 538 (2001).
5. TRGS 905: Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe (2005).
6. Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů č. 258/2000 Sb. z 14.7.2000 v platném znění.
7. Vyhláška o technických požadavcích na stavby č. 268/2009 Sb., z 12.8.2009 v platném znění.
8. Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb č. 6/2003 Sb. z 16.12.2003 v platném znění.
9. Asbestos and other natural mineral fibres. Geneva, World Health Organization, 1986 (Environmental Health Criteria, No. 53).
10. Umweltbelastung durch Asbest und andere faserige Feinstäube. Berlin (West), Erich Schmidt Verlag, 1980 (Umweltbundesamt – Berichte 7/80).
11. Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů č. 185/2001 Sb. z 15.5.2001 v platném znění.
12. ČSN EN ISO 16000-7 Vnitřní ovzduší – Část 7: Postup odběru vzorku při stanovení koncentrace azbestových vláken v ovzduší, ÚNMZ Praha 2007.
13. VDI 3492 Indoor air measurement – Ambient air measurement – Measurement of inorganic fibrous particles – Scanning electron microscopy method, VDI Duesseldorf 2004.
14. ISO 8672, Air quality – Determination of the number concentration of airborne inorganic fibres by phase contrast optical microscopy – Membrane filter method, ISO Geneve 1993.
15. ISO 14966 Ambient air – Determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles – Scanning electron microscopy method, ISO Geneve 1993.
16. ISO 10312 Ambient air – Determination of asbestos fibres – Direct transfer transmission electron microscopy method, ISO Geneve 1995.
17. ISO 13794 Ambient air – Determination of asbestos fibres – Indirect-transfer transmission electron microscopy method, ISO Geneve 1999.
18. Vyhláška, kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli č. 432/2003 Sb., z 4.12.2003v platném znění.
19. Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci č. 361/2007 Sb., z 12.12.2007 v platném znění.
20. Technische Regeln für Gefahrstoffe Asbest Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten (TRGS 519), Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2007.
21. Guschlová Z.: *Technické pokyny pro sanaci azbestových materiálů vycházející z TRGS 519*. Foster Bohemia, Praha 2009.

F. Skácel^a, Z. Guschlová^b, and V. Tekáč^a
^a Department of Gas, Coke and Air Protection, Institute of Chemical Technology, Prague, Foster Bohemia Ltd, Prague); **Asbestos and Inorganic Fibres in Indoor Air**

As a consequence of the growing production and use of asbestos and inorganic fibres, measurement of their concentration in indoor air is of great importance. The relevant legal regulations require the measurement. Various methods were developed for the purpose, based on collecting airborne particles in capillary membrane filters and subsequent determination of their number concentration. Remediation of buildings with fiber-containing construction elements is an essential part of any reconstruction.