

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

---

Studijní program: Chemie

Studijní obor: Chemie životního prostředí



# VYUŽITÍ AZBESTU, SANACE ZAMOŘENÝCH PROSTOR A RIZIKO VLIVU NA LIDSKÝ ORGANIZMUS

The Use of Asbestos, Remediation of Contaminated Areas  
and the Risk of Impact of the Human Organism

Radek Štípek

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jiří Bendl, CSc.

Praha 2013



## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci, pod vedením RNDr. Jiřího Bendla, CSc., vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu.

Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 18. února 2013

.....  
Radek Štípek

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá způsoby využívání azbestových minerálů, metodami bezpečného odstraňování azbestové zátěže a onemocněními vyvolanými expozicí azbestovým vláknům, z nichž nejnebezpečnější je krokydolit. Pozornost je věnována jejich fyzikálně-chemickým a strukturním vlastnostem, třídění, a vysvětlení procesů jejich vzniku s uvedením oblastí výskytu v České republice i ve světě. Je popsána historie využívání azbestů od starověku po 20. století, včetně hmotnostní bilance azbestu spotřebovaného v technosféře, která za posledních sto let činí téměř 194 mil. tun. Dále se zaměřuje na stavební protipožární, izolační materiály a další výrobky s různým obsahem azbestu, jichž je ve světě celkem evidováno přes 3000 a na charakteristiku materiálů nahrazujících azbest, jako např. keramická, skleněná a uhlíková vlákna, aramidy, wollastonit, vermikulit a perlit. Popisuje metody stanovení azbestových vláken v ovzduší, vodě a půdě a kompletní průběh sanace zamořených objektů. Azbestová vlákna představují riziko pro lidské zdraví v podobě azbestózy, diagnostikované poprvé roku 1900, pleurální hyalinózy, karcinomu plic a mezoteliomu pleury, u nichž první důkazy spojitosti s expozicí azbestu pochází z roku 1955 a na jejichž základě jsou dle Mezinárodního úřadu pro výzkum rakoviny (IARC) všechny druhy azbestu klasifikovány jako prokázaný lidský karcinogen skupiny 1. V závěru práce je uveden souhrnný vývoj českých a evropských legislativních opatření týkajících se azbestové problematiky.

**Klíčová slova:** amfiboly, azbest, azbestocement, azbestové materiály, azbestové minerály, azbestové vlákno, azbestóza, enkapsulace, eternit, karcinom plic, mezoteliom, protipožární materiály, sanace azbestu, serpentiny, stanovení azbestu, stavební a demoliční odpady, těžba azbestu, vlastnosti azbestu

## **ABSTRACT**

The work deals with the uses of asbestos minerals, methods of safe disposal of asbestos and the disease burden caused by exposure to asbestos fibers, of which the most dangerous is crocidolite. Attention is paid to the physical-chemical and structural properties, classification and explanation of the processes of their formation, indicating areas of the Czech Republic and abroad. Describes the history of asbestos use since ancient times to the 20th century, including mass balance asbestos consumed in the technosphere that over the past hundred years, amounts to almost 194 million tons. It then focuses on building fire protection, insulation and other products with different content of asbestos in the world which total over 3000 and registered on the characteristics of asbestos substitute materials, such as ceramic, glass and carbon fibers, aramids, wollastonite, vermiculite and perlite. Describes methods for determination of asbestos fibers in the air, water and soil as a complete course of rehabilitation of contaminated objects. Asbestos fibers pose a risk to human health in the form of asbestosis, first diagnosed in 1900, pleural hyalinosis, lung cancer and mesothelioma of the pleura, where the first evidence of association with exposure to asbestos dates back to 1955 and on the basis of which are according to the International Agency for Research on Cancer (IARC) all types of asbestos classed as a proven human carcinogen group 1. In conclusion, the aggregate development of Czech and European legislative measures on asbestos issues.

**Keywords:** amphiboles, asbestos, asbestos-cement, asbestos materials, asbestos minerals, asbestos fiber, asbestosis, encapsulation, eternite, lung cancer, mesothelioma, fireproof materials, remediation of asbestos, serpentine, determination of asbestos, construction and demolition waste, asbestos mining, asbestos properties

# OBSAH

ÚVOD .....	7
<b>1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O AZBESTU .....</b>	<b>8</b>
1.1 Charakteristika a vlastnosti .....	8
1.2 Složení, struktura a třídění azbestových minerálů .....	8
1.3 Vznik a původ .....	12
1.4 Oblasti výskytu .....	13
<b>2 VYUŽITÍ AZBESTU .....</b>	<b>15</b>
2.1 Historie využití azbestu .....	15
2.2 Historie těžby a hmotnostní bilance azbestu v technosféře .....	16
2.3 Průmyslové využití azbestů .....	18
2.3.1 Protipožární a izolační materiály ve stavebnictví .....	18
2.3.2 Další oblasti dřívějšího využití .....	21
2.3.3 Azbest ve stavebních, demoličních a dalších odpadech .....	21
2.3.4 Náhrada azbestu bezpečnějšími materiály .....	22
<b>3 DETEKCE VÝSKYTU A SANACE ZAMOŘENÝCH PROSTOR .....</b>	<b>28</b>
3.1 Limity a stanovení azbestu v ovzduší .....	28
3.2 Limity a stanovení azbestu ve vodě .....	32
3.3 Stanovení azbestu v půdě .....	33
3.4 Metody sanace azbestového nebezpečí .....	35
<b>4 AZBEST JAKO LÁTKA OHROŽUJÍCÍ ZDRAVÍ .....</b>	<b>41</b>
4.1 Vývoj informovanosti o zdravotních rizicích azbestu .....	41
4.2 Onemocnění způsobená azbestovými vlákny .....	42
4.2.1 Azbestóza .....	49
4.2.2 Karcinom plic .....	50
4.2.3 Hyalinóza pleury .....	52
4.2.4 Mezoteliom pleury .....	52
4.2.5 Prevence poškození zdraví .....	55
4.3 Legislativa České republiky v rámci EU .....	57
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>60</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>61</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>61</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>62</b>

## ÚVOD

Hlavním cílem této práce, pro jejíž vypracování se staly podnětem informace v médiích věnující se zamoření školních budov azbestem uvolněným rekonstrukcí, je přiblížit čtenáři azbestovou problematiku v kontextu historie jeho využití spojeného s dlouhodobě opomíjenými zdravotními riziky, které jsou v případě dětí zvláště vysoké.

První kapitolu jsem věnoval popisu základních fyzikálně-chemických vlastností azbestů, chemického složení a specifické morfologie utvářené metamorfogenními procesy, neboť tyto informace tvoří základ celé problematiky azbestu. Na základě současného třídícího systému jsou charakterizovány hlavní skupiny a formy azbestových minerálů, včetně oblastí jejich výskytu v České republice i ve světě.

Druhá kapitola pojednává o historii využití azbestu od antiky k vynálezu eternitu na přelomu 19. a 20. století až do 80. let 20. století a zabývá se těžbou a spotřebou azbestu formou hmotnostní bilance azbestu v technosféře. Jsou představeny způsoby využití azbestu ve stavebních materiálech s přehledem nejběžnějších výrobků, následuje postup nakládání se stavebními a demoličními odpady s obsahem azbestu, včetně dělení podle původu. Kapitulu uzavírá charakteristika moderních materiálů azbest nahrazujících.

Třetí kapitola je zaměřena na limitní hodnoty, normy a metody, kterými jsou azbestová vlákna stanovována v ovzduší, vodě a půdě. Dále je zde uveden kompletní postup sanačních prací včetně podrobného popisu enkapsulace azbestových materiálů a prací ukončovacích s výčtem bezpečnostních opatření.

Závěrečná kapitola uvádí čtenáře do zdravotní problematiky azbestu jako rizikového faktoru pro zdraví lidí, jehož si povšiml již řecký učenec Strabón. Povědomí o tomto riziku se významněji rozšířilo na přelomu 19. a 20. století, kdy roku 1900 byla jako onemocnění poprvé diagnostikována azbestóza. První důkazy spojitosti expozice azbestu a karcinomu plic pocházejí z roku 1955. Dle hodnocení IARC z roku 1972 byly následně azbesty klasifikovány jako prokázaný lidský karcinogen skupiny 1, z nichž krokydolit je považován za nejvíce karcinogenní. Čtenář nalezne mezinárodní klasifikaci onemocnění a způsob označování azbestového nebezpečí včetně R, S - vět, dále vysvětlení rizikovosti a hlavní faktory spoluovlivňující vznik azbestózy, karcinomu plic a pleurální hyalinózy. Podrobně je popsána problematika mezoteliomu pleury jako nejtěžšího onemocnění i fyzikálně-chemický mechanismus působení azbestu na organismus a jeho obranné možnosti.

Práci zakončuje souhrn přísných preventivních opatření k ochraně zdraví lidí, kteří mohou přijít s azbestem do kontaktu a je uveden i vývoj legislativních opatření ČR a EU.

# 1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O AZBESTU

## 1.1 Charakteristika a vlastnosti

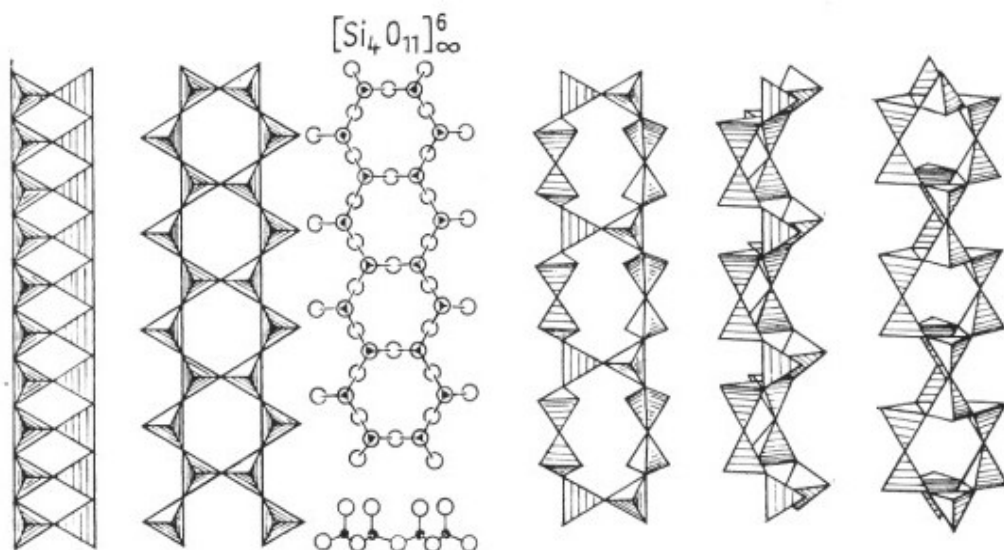
Azbest (dříve osinek) je obecný technický a obchodní název souhrnně označující dvě hlavní skupiny přirozeně se vyskytujících silikátových minerálů – amfibolů a serpentínů. Azbesty mají jedinečné fyzikálně-chemické vlastnosti, z nichž nejtypičtější a společné pro obě skupiny jsou podélná štěpitelnost na velmi tenká, dlouhá (délka mnohonásobně převyšuje průřez), flexibilní vlákna, s vysokou pevností v tahu (umožňující v případě serpentínů spřadatelnost), žáruvzdornost a nehořlavost – bod tání závisí na celkovém množství hořčíku a železa, nachází se v rozmezí teplot 1 100 °C pro amfibolové azbesty a 1 500 °C u serpentínového azbestu (pro porovnání – ocel měkne a ztrácí pevnost od 900 °C, tažnost se zvyšuje od 450 °C [25]) a inerce vůči kyselinám a zásadám.

Díky těmto vyjímečným vlastnostem byly azbesty hojně využívány např. pro výrobu ohnivzdorných oděvů (serpentiny), nebo jako protipožární výplňový a izolační materiál ve stavebních hmotách - mají nízkou tepelnou vodivost (součinitel tepelné vodivosti při teplotě 20 °C je 0,12 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>), ale i jako elektroizolační materiál pro nízkou elektrickou vodivost (relativní permitivita papíru z azbestu je 3,0-4,0). Hustota azbestu se pohybuje v závislosti na typu mezi 2 550 až 3 500 kg.m<sup>-3</sup> při 20 °C, na stupnici tvrdosti dosahují amfibolové azbesty hodnoty 5-6, serpentínové pak 2,5 [12,42]. Sorpční kapacita azbestů je způsobená velkým povrchem mezivláknitých struktur. Azbestová vlákna poměrně snadno adsorbují polyaromatické uhlovodíky (PAU), jako např. naftalen nebo fenantren. Avšak při hodnotách těchto látek typických pro volné ovzduší jsou absorpční schopnosti relativně málo účinné. Pro nízkou schopnost hydratace se azbesty přidávaly do hydroizolačních hmot nebo do směsí pro výrobu vodovodního a odpadního potrubí [70].

## 1.2 Složení, struktura a třídění azbestových minerálů

V současnosti se azbesty třídí podle mineralogického systému Huga Strunze, založeným na chemické příbuznosti minerálů s podobnými fyzikálními a morfologickými vlastnostmi, který minerály dělí do deseti velkých tříd, dále do oddělení a skupin, kde jako silikáty (či alumosilikáty - ve struktuře může být část centrálních atomů Si nahrazena atomy Al) náleží do deváté řady. Jejich mineralogické složení je relativně komplikované. Základ tvoří silikáty (obsah Si 40-60 %) v různých poměrech kombinované s oxidy Al, Ca, Fe, Mg, Na, a Ti, zastupujícími se vzájemně ve struktuře amfibolů a některými stopovými prvky.

Krystalová struktura je tvořena spojením základních jednotek čtyřstěnu  $\text{SiO}_4^{4-}$  v řetězy a pásy neomezené délky (inosilikáty). Při takovém řetězovém uspořádání, připadají na každý ion  $\text{Si}^{4+}$  stechiometricky tři ionty  $\text{O}^{2-}$ . Pokud vznikne pás ze dvou řetězců, odštěpí se ze čtyř čtyřstěnů vždy jeden další ion  $\text{O}^{2-}$ , spojením dvou řetězců  $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$  pak vzniká neomezeně dlouhý pás  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$  (Obr. 1), v případě zdvojení se vzorec s ohledem na celistvost atomových indexů zapisuje jako  $([\text{Si}_8\text{O}_{22}]^{12-})$ . Azbestové minerály dělíme na dva základní typy – nejhojněji zastoupeny jsou ze všech azbestů serpentiny, tvoří 90-95 % celkového množství azbestů a dále amfiboly, zastoupené jen 5-8 %. Existuje cca 500 typů minerálů, které nelze zařadit do serpentinové ani amfibolové skupiny, avšak krystalizují v tzv. *azbestotvarém habitu* - zpracováním se odlučují tenká dlouhá vlákna, např.: pilolit ( $\text{Mg}_4\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{27} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ), paramontmorillonit ( $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_5(\text{OH})_{12}$ ) nebo pektolit ( $\text{Ca}_2\text{NaSi}_3\text{O}_8(\text{OH})$ ). Jejich význam pro stavebnictví či průmysl je malý [71,88].



**Obr. 1:** Typy dvojitých řetězců tetraedrů  $\text{SiO}_4^{4-}$ . Druhý a třetí sloupec odleva definuje základní strukturální motiv amfibolů [75].

### a) Amfiboly

Jako amfiboly jsou označovány pseudohexagonální inosilikáty s dvojitým dvoučlankovým řetězem tetraedrů  $\text{SiO}_4^{4-}$  s periodickým opakováním skupin čtyř tetraedrů  $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$  a štěpnými rovinami svírajícími  $124^\circ$  úhel [61]. Mohou být jednoklonné (klinoamfiboly) a kosočtverečné (orthoamfiboly). Na příčných řezech sloupcovitých krystalů, jejichž plochy jsou skelně lesklé, lze pozorovat úhel štěpných trhlin, který je rozlišovacím znakem od podobných pyroxenů, protože ty mají na příčném řezu sloupcovitým krystalem úhel štěpných trhlin téměř  $90^\circ$ .

Amfiboly jsou svým vzhledem a proměnlivým chemickým složením velmi rozmanitá skupina minerálů. Spolu s pyroxeny, slídami, živci a křemenem jsou nejrozšířenějšími horninotvornými minerály vyvřelých i přeměněných hornin, tvoří cca 5 % zemské kůry. Mezi amfibolovými azbesty je nejrozšířenější amosit (*popsal Hall, 1918*), tzv. hnědý azbest, tvořící jehlice s ostrými hranami, krokydolit (*popsal, Hausmann 1831, Obr. 2*), tzv. modrý azbest, vytvářející svazky snadno štěpitelné do kratších a tenčích vláken, a fibrózní i nefibrózní druhy antofylitu (*popsal Schumacher, 1801*), aktinolitu (*popsal Kirwan, 1794*) a tremolitu (*popsal Hoepfner, 1790*), přirozeně se vyskytující v životním prostředí [13,81].

**Tab. 1: Amfibolové azbesty [88].**

Minerál	Vzorec	Hustota (kg.m <sup>-3</sup> )	Barva
Riebeckit (Krokydolit) CAS 12001-28-4	$\text{Na}_2\text{Fe}_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$	3300–3400	šedá, zelená, hnědá, modrá
Antofylit CAS 77536-67-5	$\text{Mg}_7[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$	2850–3100	bílá, zelená, šedohnědá, hnědá
Tremolit CAS 77536-68-6	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$	2900–3100	bílá až šedá, zelená
Aktinolit CAS 77536-66-4	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$	3000–3200	světle až tmavě zelená, šedočerná
Grunerit (Amosit) CAS 12172-73-5	$\text{Fe}_7[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$	3400–3500	šedá až tmavě zelená

Pozn. : CAS – Chemical Abstracts Service – registrační číslo chemických látek



**Obr. 2:** Vlákenná odrůda riebeckitu – krokydolit (Griqualand, JAR).  
Velikost vzorku 5 × 3,5 cm [29].

## b) Serpentin

Serpentinové minerály jsou fylosilikáty (plošná struktura tetraedrů  $\text{SiO}_4^{4-}$ ) Mg, případně Al, příbuzné jílovým minerálům, slídám, chloritům a mastku. Serpentin se vyskytuje ve třech formách: antigorit, lizardit a chryzotil (*popsal Kobell, 1834*), tzv. bílý azbest, tvořící vláknité až plstnaté lesklé agregáty (Tab. 2, Obr. 3, 4). Samostatná vlákna jsou dlouhá, jemná, ohebná a proto dobře spřádatelná. Mají tetraedrickou či dioktaedrickou strukturu stáčeující se do spirálovitých trubičkovitých útvarů (válcovitá mřížka) s vnějším průměrem do 30 nm, jejichž vnitřní část je vyplněna amorfní silikátovou hmotou. Symetrie je monoklinická, vzácněji rombická, osou vlákna může být osa a (orthochryzotil) nebo osa b (parachryzotil). Chryzotil je horninotvorný minerál tvořící žilky pronikající serpentinitem (hadcem), vlákna jsou na rozdíl od amfibolů kolmá na stěny pukliny [13,95].

**Tab. 2:** Serpentinový azbest [88].

Minerál	Vzorec	Hustota ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	Barva
Chryzotil CAS 12001-29-5	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	2550	bílá, světle zelená, hnědá



**Obr. 3:** Detail vláken chryzotilu v hornině, lokalita Holubov, 2005, zvětšeno  $5 \times$  [99].

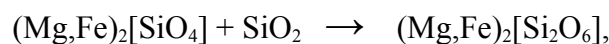


**Obr. 4:** Vlákenný chryzotil, Cassiar, Kanada, vzorek  $6,5 \times 4,5$  cm. Sbírký Geologického pavilonu Vysoké školy báňské -Technické univerzity Ostrava, J. Jirásek 2006 [30].

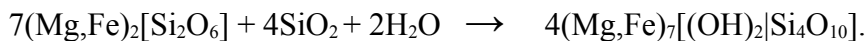
### 1.3 Vznik a původ

Na počátku vzniku azbestových minerálů je vznik magmatu (silikátová tavenina skládající se z  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  a  $\text{K}_2\text{O}$ ) roztavením pevných hornin, jeho výstup do svrchních částí zemské kůry nebo až na zemský povrch, dále diferenciace a počáteční krystalizace, během které se utváří první silikátové minerály a začíná tak stadium hlavní krystalizace horninotvorných minerálů v určitém pořadí. Krystalizace bazické lávy má při konstantním tlaku 500 MPa následující průběh:

Ochlazením taveniny na 1 120 °C začíná krystalizace olivínu, při 1 090 °C pyroxenu



poklesem teploty na 965 °C dojde k chemickým reakcím mezi taveninou a oběma vytvořenými minerály a vzniká amfibol, který při této teplotě nahrazuje olivín, pyroxen pak při 940 °C



Amfibol po spotřebě pyroxenu krystalizuje z taveniny (společně s titanitem) do 890 °C, ochlazením na 825-780 °C krystalizuje plagioklas a dochází k utužení zbytků taveniny. Výsledkem celého procesu je nerostná asociace amfibolu, plagioklasu a titanitu.

Azbestové minerály vznikají kontaktní, regionální nebo metasomatickou metamorfózou převážně v zemské kůře, ale i v blízkosti zemského povrchu a jde o procesy, při kterých se hornina nerostným složením a strukturou přizpůsobuje novým termodynamickým podmínkám lišícím se od těch, při kterých původně vznikala [41].

- ▶ **Kontaktní (dotyková) metamorfóza** - probíhá vlivem tepla na kontaktu s ochlazujícím se magmatem za relativně nízkých tlaků, bez většího přínosu a výnosu látek.
- ▶ **Regionální (oblastní) metamorfóza** - postihuje rozsáhlé oblasti v relativně menších hloubkách za působení litostatického tlaku, vyšších teplot a stressu, v určité míře se projevuje aktivita fluidní fáze, zásadní vliv má délka trvání metamorfních procesů.
- ▶ **Metasomatická metamorfóza** - výrazně mění nerostné složení a chemismus horniny. K procesu dochází hlavně vlivem hydrotermálních roztoků (hydrotermální metasomatóza) za působení litostatického tlaku, teploty a stressu. Faktory určující výsledek přeměny jsou délka jejich trvání, charakter a kvantita fluidní fáze, zajišťující přínos a výnos látek v systému, zásadní vliv má také původní složení přeměňované horniny [41].

Příkladem metasomatické přeměny (zpravidla karbonátů), kdy vznikají amfiboly z hornin tvořených především z pyroxenů a dalších minerálů, je tzv. skarnizace, ale ke vzniku skarnů může docházet i regionální metamorfózou hornin vhodného složení. Například tremolit se vyskytuje v metamorfních a metasomatických horninách vznikajících z ultrabazických hornin za spolupůsobení hydrotermálních roztoků v trhlinách a kontaktech hornin o různém chemickém složení. Vzniká při rozkladu dolomitu za přítomnosti křemene následující reakcí:



Odrůda tremolitového azbestu abchazit (*popsal Jefremov, 1938*), je typický až 16% obsahem CaO, vzniká v závislosti na tlaku při teplotách 400-550 °C [41,101].

Další metasomatická přeměna, serpentinizace, postihuje hlavně ultrabazické horniny a dochází při ní k hydrotermálnímu rozkladu olivínu a Mg-pyroxenů během přeměny peridotitů, pyroxenitů a dunitů na serpentinity (hadce). Tímto typem metamorfózy vznikají všechny tři formy serpentínů. V serpentinizovaných ultrabazikách tvoří serpentiny (např. chryzotil) žilky, s mocností 1-10 cm (Obr. 3) [41,85,101].

## 1.4 Oblasti výskytu

### a) Výskyt v České republice a na Slovensku

Na území České republiky (dále jen ČR) nebyla objevena žádná významná ložiska azbestových minerálů, pouze na několika lokalitách byly nalezeny jako doprovodný minerál ložních rud, kde došlo jen ke krátkodobé pokusné těžbě.

Z amfibolových azbestů je v České republice nejhojnější antofylit, jehož výskyty jsou: Barovice u Chotěboře (Havlíčkovobrodsko), Bernartice u Dolních Kralovic (Benešovsko), Bezděčín a Všeclapy (Táborsko), Golčův Jeníkov, Heřmanov, Chvaletice (Pardubicko), Kácov u Uhlířských Janovic (Kutnohorsk), Mirovice (Písecko), Mladotice a Pařížov (Chrudimsko), Plaňany (Kolínsko), Sítiny (Chebsko), Stříbrné Hory, Dlouhá Ves u Přibyslavi, Zlatá Koruna (Českokrumlovsko), Vlčice ve Slezsku (Šumpersko).

V menším počtu se v ČR nachází výskyty aktinolitu - Třemošnice u Časlavi, Nová Ves u Mariánských Lázní a Sítiny u Sokolova (Chebsko), Habry, Mýtinka, Pluhův Bor, Sobotín (severní Morava), Dubová u Nasavrku a tremolitu - Bohdaneč u Ledče nad Sázavou (Kutnohorsk), Kámen u Pacova (Pelhřimovsko), Mnichov u Mariánských Lázní, Kladrubská hora (Táborsko), Strážné u Vrchlabí (Trutnovsko), Vápenná, Žulová (Šumpersko), Nedvědice, Prosetín a Dehetník – spolu s aktinolitem (Chrudimsko).

Ostatní amfibolové azbesty se v ČR téměř nevyskytují, amosit byl zaznamenán pouze mikroskopicky v železnatém skarnu v Županovicích, krokydolit pak v Obřím dole (Trutnov). Nejznámější výskyt chryzotilu jako součásti serpentinitů je hadcová step u Mohelna, dalším známým výskytem je Holubov u Křemže (Českobudějovicko) a Mirovice (Písecko). Dále pak Zlatá Koruna, Kutnohorsko, Bernartice, okolí Mariánských Lázní, Tábora, Letovic, Přísečnice (Krušnohorsko), západní Morava - Hrubšice, Nová Ves nad Oslavou a okolí Modřice u Brna.

Na Slovensku jsou naleziště amfibolových azbestů Beňuš (Brezno), Hnúšť'a-Likier, Klenovec (Rimavská Sobota), Muránska Dlhá Lúka, Dobšiná, Jelšava (Rožňava), Pohronská Polhora (Banská Bystrica), Málinec, Kalinovo (Lučenec), a chryzotilu Breznička (Lučenec), Jaklovce (Spišská Nová Ves), Rudník (Košice ) [90,93,101].

## **b) Výskyt ve světě**

Azbesty byly (a v některých zemích stále jsou) těženy, zpracovávány a vyváženy v různém množství zeměmi celého světa. Světová naleziště nejčastěji chryzotilového azbestu se nacházela ve Spojených státech amerických (dále jen USA) – ložisko Eden (Vermont), důl Libby (Montana), Mesabi Range (Minnesota), v Pensylvánii a Severní Karolině). Významná byla těžba a zpracování u města Asbestos v kanadské provincii Quebec, a také v Austrálii. Azbest těžily i jihoamerické státy jako Brazílie a Bolívie.

Na území bývalého Sovětského svazu (území dnešní Ruské federace) se rovněž nachází několik významných ložisek, jako ložisko Baženovo - Sverdlovská oblast, Orenburská oblast, Zabajkalský kraj či Ilčirské hadce. V Gruzii jsou známa ložiska abchazitu (viz. oddíl 1.3 Vznik a původ) v horském hřebenu Adangia v Abcházii a naleziště se vyskytují na území Kazachstánu – region Kustanaj, Aktjubinsk. Těžbou azbestu se zabývaly také Čína, Indie, Írán a africké státy jako např. Jihoafrická republika (JAR) - Kapský pás, Penge a Zimbabwe [101].

V Evropě bylo objeveno mnoho nalezišť, z nichž jsou z historického hlediska (viz. oddíl 2.1 Historie využití azbestu) nejznámější Joensuu ve Finsku, naleziště v Řecku, které mělo v těžbě azbestu před jeho zákazem v Evropské unii (dále jen EU) silnou pozici, např. v okolí měst Kozani (lokality Servia, Zidani), Larissy, Thessaloniki, Dramy, východořeckého Alexandroupolis, v pohoří Ymmitos (lokality Kaisariani) u Athén a na ostrovech Evia, Skyros a Rhodos, mimo Řecko bylo nejvýznamnější ložisko na hoře Olympos (Kypr). Na Korsice byl na azbest bohatý východ ostrova, v oblasti Cap Corse. Azbesty byly hojné v italských, např. Val Antigorio a také rakouských Alpách (Kraubath, Waldviertel, Habachtal, Zillertal). Svá naleziště mají i v jižním Švédsku a v Norsku (Kongsberg) [19].

## 2 VYUŽITÍ AZBESTU

### 2.1 Historie využití azbestu

Objev jedinečných vlastností azbestu a první způsoby využívání sahají hluboko do minulosti. Nejstarší písemné záznamy o azbestu obsahují díla řeckého geografa, historika a filozofa Strabóna (ostrov Ewoia – první azbestový důl) a encyklopedie přírodních věd „*Naturalis historia*“ římského filozofa a válečníka Gaia Plinia Secunda z roku 77 př. n. l., který odvozuje jeho název od řeckého „*asbestoz*“ - „*nezničitelný*“ či „*nepalitelný*“, vyjadřující jeho ohnivzdornost, pro kterou byly azbesty využívány jako tepelně-izolační materiály.

V některých archeologických nálezech z Finska byly objeveny zbytky keramiky z doby 2500 př. n. l. s obsahem azbestových vláken – ta se mísila do jílovitých zemin užívaných hrnčíři. V období antiky byla v Řecku a Egyptě používána vlákna chryzotilového azbestu pro výrobu odolných textilií, např. oděvy zemřelých, na Korsice pak k výrobě keramiky. Peršané azbest označovali jako „*kůži salamandra*“ či „*skalní kůži*“ a využívali jej na výrobu nehořlavých ubrusů. Během staletí lidé nacházeli různé způsoby využití, např. při výrobě knotů do olejových lamp, pohřebních rubášů a ve středověku dokonce jako součást brnění. Jako součást stavebních materiálů se azbest využíval již v dobách Svaté říše římské.

V 18.-19. století vlivem průmyslové revoluce se objevily první pokusy o průmyslové zpracování azbestu, a to na severu Itálie roku 1808, kde byly těženy amfibolové azbesty. K otevření prvního komerčního azbestového dolu došlo v roce 1879 v kanadském Quebecu. V 19. století se tedy azbest používal převážně jako izolační materiál, např. železniční konstruktéři používali azbestové materiály jako izolace kotlů a potrubí v parních lokomotivách [1,9,14,65,73].

Na přelomu 19. a 20. století vybudoval v Schöndorfu v Horním Rakousku Ludwig Hatschek (\*1856, Těšetice u Olomouce) továrnu stavebního zboží s úpravou azbestu (*Ludwig Hatschek Vöcklabruck*), kde smísením azbestových vláken s portlandským cementem (90 % cementu, 10 % azbestu) získal materiál s ideálními vlastnostmi – nehořlavý, o nízké hmotnosti s dlouhou životností, který nechal pod názvem Eternit (*latinsky aeternitas* – věčný) v roce 1900 patentovat jako novou nehořlavou střešní krytinu a patent získal v roce 1901. Od roku 1903 firma pod názem *Eternit-Werke Ludwig Hatschek* vyráběla střešní krytiny, trubky, obrubníky i květináče. Eternit byl na počátku 20. století, kdy značnou část světové produkce azbestu kontrolovala Velká Británie, vyvážen do celého světa jako střešní krytina (zejména na rodinné domky) i jako fasádní obklady.

Na našem území byl první podnik založen po roce 1920. Během 2. světové války byl azbest považován za strategickou surovinu (využíván při stavbě válečných lodí) a výroba Eternitu byla omezena nebo zcela zastavena (továrny přecházely na zbrojní výrobu). V roce 1945 byla společnost znárodněna a začleněna do *Eternitových závodů, národního podniku Praha*, stejně tak závod v Častolovicích, Ostravě i podnik *Eternitové závody Hatschek a spol.* v Šumperku a *Eternitové závody Wildmann, Hatschek a spol.* v Olomouci a Berouně [62].

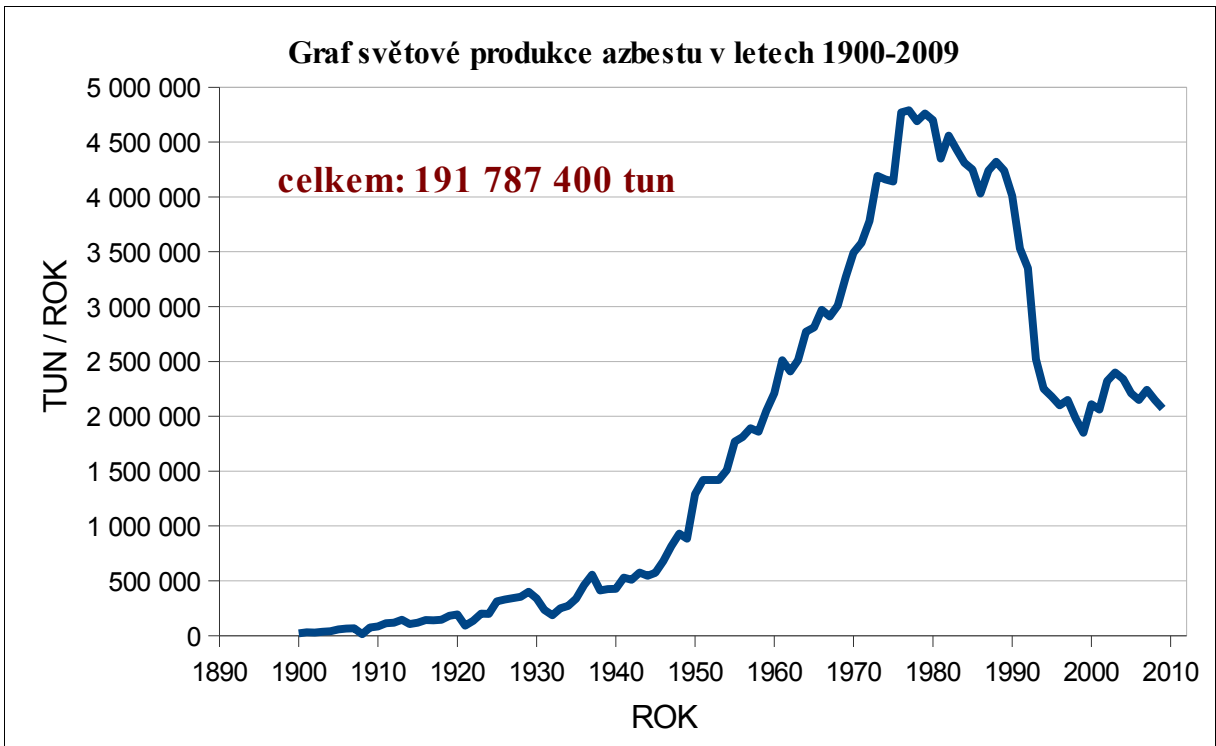
V pozdějších letech se začal technicky upravovat, zejména po zjištění zdravotních rizik. Vrcholem dosáhla produkce azbestu v 70. a 80. letech 20. století, kdy většina vytěženého azbestu našla uplatnění ve stavebnictví (protipožární zábrany, izolace potrubí a elektroizolace boilerů, pecí), kde znamená riziko např. pro hasiče, demoliční pracovníky, instalatéry, elektrikáře, izolatéry, údržbáře, ale dostával se i do celé řady průmyslových výrobků, jako je obložení brzd, vodní filtry, cigaretové filtry, zvuková izolace a třeba i zahradní nábytek [9,13,73].

## **2.2 Historie těžby a hmotnostní bilance azbestu v technosféře**

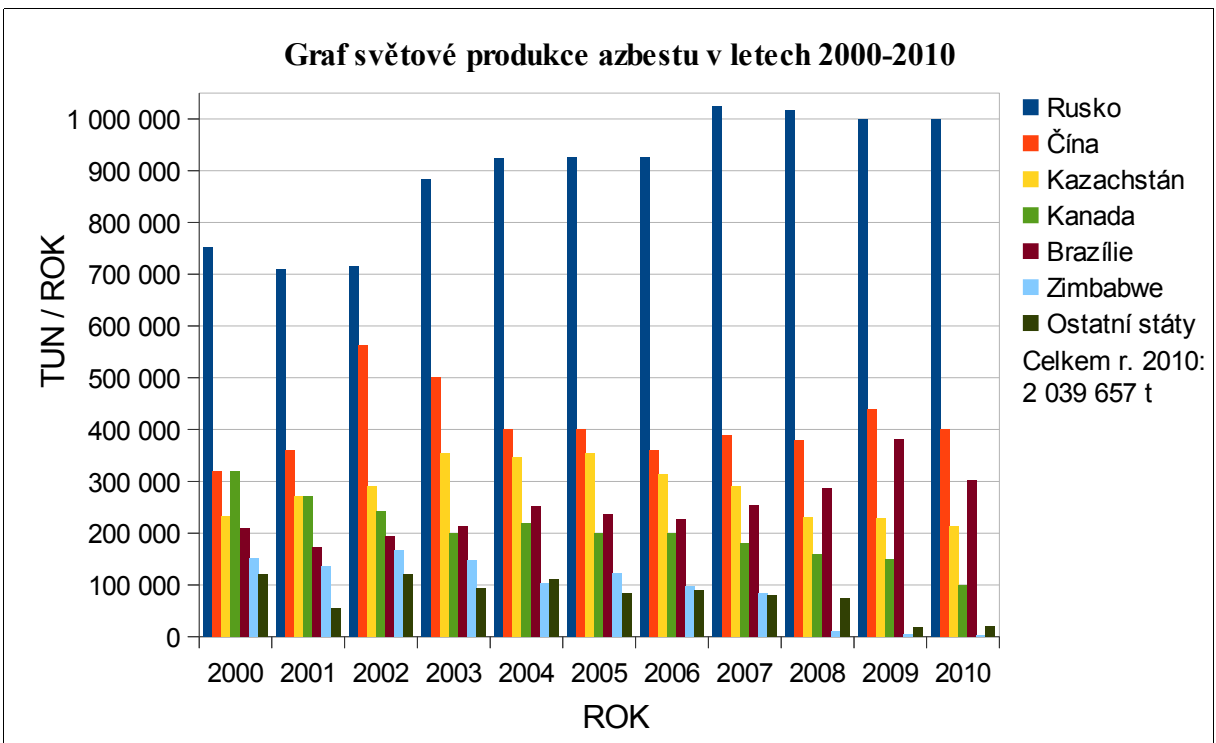
V historii se zabývalo azbestovou výrobou přes sto zemí, přičemž naprostá většina světové produkce, tvořená z 90 % chryzotilem, zbývajících 10 % je ze 2/3 tvořeno krokydolittem, z 1/3 amositem, byla použita ve stavebních materiálech [74].

Maxima dosáhla světová těžba a spotřeba azbestu v 70. letech 20. století, kdy bylo těženo téměř 5 mil. tun/rok, např. Kanada v roce 1973 vytěžila 2 mil. tun azbestu. Do roku 1980 těžba mírně poklesla na 4,8 mil. tun. S postupným šířením zákazů prodeje azbestových výrobků od roku 1990 celosvětová produkce rychle klesala, v roce 2000 byla odhadována na 1,9 mil. tun. Od roku 2000 do současnosti se na světové produkci azbestu podílí nejvíce těchto šest států – Rusko, Čína, Kazachstán, Kanada, Brazílie a Zimbabwe. V současné době se těžba pohybuje na úrovni cca 2 mil. tun/rok. Velikost světových zásob identifikovaných nalezišť je odhadována na cca 200 mil. tun [13,34].

Obr. 5 uvádí celkovou světovou produkci azbestu v letech 1900-2009, Obr. 6 pak popisuje produkci azbestu výše jmenovanými státy v období let 2000-2010.



**Obr. 5:** Světová produkce azbestu v letech 1900-2009.



**Obr. 6:** Světová produkce azbestu v letech 2000-2010.

Integrálním součtem celkové světové produkce azbestu v letech 1900-2009 a celkové světové produkce azbestu za jednotlivé státy v roce 2010 na grafech z Obr. 5 a 6 sestavených na základě údajů z [8,27], byla vypočtena hodnota 193 827 057 tun vytěženého azbestu.

Na našem území byl azbest krátkodobě zkušebně těžen u obcí Mirovice, severně od Písku a Jedov, západně od Náměště nad Oslavou. Mezi lety 1975-1990 bylo do Československa dováženo až 50 000 tun azbestu za rok, z nichž cca 70 % spotřebovalo jedenáct podniků vyrábějících ročně zhruba 100 000 m<sup>3</sup> azbestocementových stavebních hmot s průměrným obsahem 20 % čistého azbestu na m<sup>3</sup> [93,101].

## **2.3 Průmyslové využití azbestů**

### **2.3.1 Protipožární a izolační materiály ve stavebnictví**

Nejvyužívanější byl azbest ve stavebnictví, které spotřebovalo přes 90 % vytěženého azbestu a kde také v současné době představuje největší problém. Kvalita azbestů je dána délkou vláken a jejich ohebností, proto se při výrobě azbestocementových výrobků (celkově největší spotřeba) obsahujících 15-40 % azbestu, do výplní podlahových krytin a stavebních materiálů používaly spíše amfibolové azbesty. Azbest byl díky výborným izolačním a žáruvzdorným vlastnostem své vláknité struktury využíván jako azbestocementová střešní krytina – Eternit (viz. oddíl 2.1 Historie využití azbestu a Obr. 8) a proto patří k nejvýznamnějším zdrojům expozice azbestem v budovách, hlavně rodinných domků a chat. Tyto materiály patří mezi tzv. silně vázané azbestové materiály. Do této skupiny patří také asfaltové výrobky, tmely atd. Dříve byla azbestová vlákna používána také jako izolační materiál v protipožárních přepážkách a v pláštích lehkých příček nejrůznějších staveb, a to i bytových [13,65,77].

Zejména u vícepodlažních staveb se používalo žáruvzdorných azbestových nástřiků (Obr. 7) nebo izolačních desek obsahujících azbest na fasádách. Skupina těchto materiálů, do které patří také izolační šňůry, se označuje jako tzv. slabě vázané azbestové materiály - produkty, ze kterých se může azbest uvolnit relativně snadno a hrozí tak nebezpečí úniku vláken do ovzduší a vdechnutí; obecně jsou za tyto materiály považovány ty s měrnou hmotností pod 1 000 kg/m<sup>3</sup> [77].



**Obr. 7:** Protipožární nástřík ocelové konstrukce [21].



**Obr. 8:** Vlnitá střešní krytina [22].

#### **Přehled nejčastějších způsobů využití azbestu [1,13,15]:**

- ▶ žáruvzdorné a zvukoizolační azbestocementové obklady stěn v interiérech i exteriérech, stříkaná izolace na ocelových, dřevěných nebo betonových konstrukcích
- ▶ těsnění požárních uzávěrů ve stropních dutinách, v podhledech, izolace vzduchotechniky mezi požárními sekcemi, větrací šachty z lehkých žáruvzdorných stavebních desek, komínové roury
- ▶ dekorativní nátěry a omítky, lepidla a pryskyřice podlahových krytin, např. vinylových dlaždic, tmely
- ▶ střešní krytiny, vlnovky, šablony, asfaltové pásy, hydroizolační opláštění stropů a stěn v prostorech bazénů, sprch a šaten, opláštění stropů garáží
- ▶ těsnění a izolace vodovodního a kanalizačního potrubí i samotné trubky, vyložení vrtů na jímání podzemních vod, drenážní trubky, okapové žlaby
- ▶ izolace v domácích elektrospotřebičích (vysoušeče vlasů, žehličky, toustovače, konvice na kávu), v elektrických akumulacích kamnech, izolační šňůry, izolace kabelových vedení
- ▶ podložky pod elektrické a plynové vařiče, zástěny ke kamnům, obložení radiátorů, těsnění strojů pracujících za vysokých teplot

V Československu se v 70.-80. letech používaly tzv. *boletické panely*, které tvoří obložení fasád sídlištních škol, zdravotnických zařízení, nákupních středisek a dalších staveb. Boletický panel je konstrukční prvek vyráběný v mnoha variantách, kdy základem je ocelový rám z vnější strany obložený pohledovým sklem a z vnitřní strany pak deskovými materiály s protipožárně-izolační azbestovou úpravou (seznam stavebních materiálů s obsahem azbestu vyráběných na našem území uvádí Tab. 3). Podle poslední analýzy České školní inspekce bylo těchto azbestových desek použito v ČR při výstavbě minimálně 293 škol [97].

**Tab. 3:** Přehled stavebních materiálů s obsahem azbestu, které byly v Československu a České republice vyráběny [51].

Výrobky	Výrobci	Místo výroby	Ukončení výroby
asfaltové pásy Aralebit, Arabit, Bitagit, Cufolbit, Plastbit	Izolační závody s.p., Krkonošské papírny s.p., Dehtochema s.p.	Brno, Hostinné, Bělá pod Bezdězem	1990
asfaltové desky Asbit s mikromletým azbestem	Izolační závody s.p.	Brno	1990
izolační šňůra, netkané textilie Netas, izolační deska IDK	Azbestos s.p.	Zvěřínek	1990
nástřiky ocelových konstrukcí Pyrotherm	Stavební izolace s.p., Jednotné rolnické družstvo	Praha, Dlhá Ves, Čičajovce, Parchovany	1992
protipožární sendvičové desky s vlnitou hliníkovou fólií v jádru Pyral	Stavební izolace s.p.	Praha	1992
termoizolační desky Izomín, Akumín, Calothermex	Rudné baně s.p., Stavební závody těžkého strojírenství	Nová Baňa, Baňská Štiavnica	1992
sendvičové desky s pěnovým polystyrenem	Azbestocementové závody s.p.	Nitra	1995
exteriérové a podstřešní desky Dekalit, Lignát, Cembalit, Cemboplat, Unice	Azbestocementové závody s.p., Eternitové závody s.p., Severočeské dřevořádkové závody s.p.	Beroun, Hranice, Černousy, Púchov, Nitra, Šumperk	1995
vlnitá střešní krytina typu A, B, střešní šablony Eternit, Beronit, hřebenáče, tvarovky a střešní větrací prvky	Azbestocementové závody s.p., Eternitové závody s.p.	Beroun, Šumperk, Hranice, Nitra, Púchov	1996
tlakové a kanalizační roury a tvarovky	Azbestocementové závody s.p.	Beroun, Hranice, Nitra	1999
interiérové velkoplošné desky Dupronit a Ezalit typu A, B, C	Azbestocementové závody s.p., Eternitové závody s.p.	Beroun, Šumperk, Nitra, Púchov	1995 2000

Pozn.: s.p. - státní podnik

### **2.3.2 Další oblasti dřívějšího využití**

Ve světě je celkem evidováno cca 3 000 typů materiálů s různým obsahem azbestu, do nichž byl přidán pro zlepšení vlastností. Většinu těchto materiálů tvoří výše zmiňované azbestocementové trubky a izolační ochranné desky (asi 70 %), dlaždice a obklady tvoří cca 10 %, azbestový papír a lepenka cca 7 % a ještě cca 5 % připadá na brzdové destičky, řemenové pohony a hnací pásy motorů, hlavně v automobilech, železničních lokomotivách, vagonech a vozech městské dopravy a jako protipožární úprava v lodích, letadlech, tancích či jiných terénních vozidlech a dokonce ve výtazích [73,77].

Zbývající procenta tvoří textilie a ohnivzdorné potahy, zřídka se vyskytovaly speciální případy, např. díky hydroizolačním schopnostem se používal v zahradních doplňcích (květinových truhlících) různé velikosti a tvaru (Beroun, Nitra – Azbestocementové závody s.p., výroba ukončena 1999) [51].

### **2.3.3 Azbest ve stavebních, demoličních a dalších odpadech**

Největší zátěž představují materiály obsahující azbest při údržbě a rekonstrukcích budov, bytových jader v domech a podobných stavebních úpravách, demolicích starých budov. Ve většině případů dojde k narušení materiálů s azbestem a zvýšení koncentrace jemných vláken na pracovišti a v okolí prováděných prací. V případě rekonstrukcí a demolic se nejprve provádí kompletní sanace objektu – odstranění veškerého materiálu obsahujícího azbest, čímž ale vzniká stavební a demoliční odpad, klasifikovaný *zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech* jako nebezpečný, vykazující karcinogenitu. Tyto odpady se nerecyklují - výjimku tvoří výrobní odpady ze zpracování azbestu, kdy recyklace probíhá ve vlastní výrobě, kde vznikají a produkt je následně použit pro další výrobu [31,51].

Odborné stavební firmy provádějící odstranění stavebních materiálů s obsahem azbestu jsou povinny tyto práce ohlašovat podle *zákona č. 392/2005 Sb.* nejpozději 30 dní před jejich započítím Krajské hygienické stanici (s výjimkou údržby, odběru vzorků ovduší či nedestruktivních prací prováděných zřídka, a to méně než 4 hodiny za směnu nebo méně než 8 pracovních týdnů v roce), zajistit správný technologický postup odstraňování stavebních materiálů minimalizující únik azbestového prachu do ovduší či únik kapalin s obsahem azbestu a následně zajistit předání k bezpečné likvidaci.

Veškeré odpady obsahující azbest vznikající na pracovišti musí být bezodkladně posbírány do uzavíratelných plastových pytlů, nádob (kontejnerů) s označením o obsahu azbestu (viz. oddíl 4.2 Onemocnění způsobená azbestovými vlákny) odvezeny a uloženy dle

*zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, § 17a), vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadu na skládky, na skládkách skupiny S-NO (skládky nebezpečných odpadů) nebo některých skládkách skupiny S-OO (skládky ostatních odpadů) – zde však jen do vybraných sektorů a bez obsahu jiných nebezpečných příměsí ve shodě s provozním řádem skládky. Místo uložení musí být izolováno inertním materiálem pro technické úpravy skládek a musí být označeno v situačním plánu skládky (dokumentace s plánkem umístění odpadu se archivuje) a nesmí zde být za provozu ani po uzavření skládky prováděny žádné práce (např. vrty, výkopy) způsobující uvolnění azbestu do prostředí. Podle odborných analýz je na skládkách každoročně uloženo cca 30 000 tun odpadu obsahujícího azbest [31,51].*

Odpady s azbestem dle *zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a vyhlášky č. 381/2001 Sb.* jsou řazeny v *Katalogu odpadů* podle svého původu na odpady z anorganických chemických procesů (např. z výroby a zpracování halogenů, odpady z elektrolýzy, ze zpracování azbestu), odpady z tepelných procesů (např. z výroby azbestocementu), z elektrického a elektronického zařízení (např. vyřazená zařízení obsahující volný azbest), odpady s obsahem azbestu vzniklé z elektroodpadů, brzdové destičky s azbestem, dále odpadní obaly (kovové obaly obsahující azbest jako výplňovou hmotu), absorpční činidla, čisticí tkaniny, filtrační materiály, ochranné oděvy, odpadní vyzdívky pocházející z metalurgických a nemetalurgických procesů obsahující azbest a stavební a demoliční odpady včetně vytěžené kontaminované zeminy (např. izolační a stavební materiály s obsahem azbestu) [2,4,63].

#### **2.3.4 Náhrada azbestu bezpečnějšími materiály**

Azbesty se nahrazují moderními chemickými typy vláknitých materiálů, zejména cementovými výrobky s několika druhy vláken, která ale podle některých studií také nejsou zcela bez rizika. Nehořlavé paropropustné vláknité izolace jsou nabízeny v podobě izolačních rohoží mezi střešní krokve, na stropy, potrubí a ve formě desek pro izolaci fasád a pochozích povrchů. Nejpoužívanější jsou umělá minerální vlákna (tzv. MMMF - Man Made Mineral Fibers) jako jsou keramická vlákna (Sibral<sup>®</sup>, Fiberfrax<sup>®</sup>), minerální izolace (skleněná textilní vlákna, čedičové vlny), aramidy (Kevlar<sup>®</sup>, Tvaron<sup>®</sup>, Nomex<sup>®</sup>, Kermel<sup>®</sup>, P84<sup>®</sup>), polytetrafluoretylen (Teflon<sup>®</sup>, Polyflon<sup>®</sup>), uhlíková vlákna (Celion<sup>®</sup>, Sigrafil<sup>®</sup>, Tenax<sup>®</sup>), dále minerál wollastonit a nevláknité materiály jako vermikulit a perlit.

## ► Keramická vlákna

Vysokoteplotní izolační materiály z hlinito – křemičitých vláken (složení –  $\text{SiO}_2$  45-60 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  40-55 %). Suroviny se taví s dalšími přísadami, např.  $\text{B}_2\text{O}_3$ , při 2 000 °C. Tavenina je rotačně rozvlákněna a vzniká jemné, dlouhé vlákno s průměrem 2-3  $\mu\text{m}$ . Výrobky, jako rohože, desky, cementy, vrstvené textilie, tmely, se používají jako štíty, pláště a těsnění pro průmyslové pece, sušárny, kotle a další technologická zařízení do teploty 1 260 °C [66].

## ► Minerální izolace

### • Kamenná vata (vlana)

Získává se současným tavením horniny (čedič, vápenec, siderit, dolomit), písku, vápence a recyklátu skla (70 %), z kapek taveniny jsou pak vytahována vlákna o průměru cca 3  $\mu\text{m}$ , která se upravují na požadovanou délku dle druhu užití tepelné izolace. Soudržnost vaty se zvyšuje použitím pojiva (až 7 % bakelitu – fenolformaldehydový polykondenzát dodávající skelné vatě žlutavé zabarvení), pro omezení prašnosti se přidává až 0,5 % silikonového oleje. Bod tání tohoto materiálu činí 960 °C. V porovnání se skelnou vatou má lepší tepelně-izolační vlastnosti [49].

### • Skelná vata (vlana)

Vyrábí se tavením křemičitého písku, vápence, dolomitu, boraxu, živce, síranu sodného a recyklátu skla, z taveniny jsou vytahována vlákna následně vázaná bakelitem (viz. výše). Materiál je pružnější a jeho bod tání je 450 °C. Používá se ve formě fasádních desek impregnovaných silikonovým olejem nebo izolačních rohoží potažených hliníkovou fólií [49].

### • Skleněná textilní vlákna

Pro výrobu se užívá tři druhů skla s obsahem 50 %  $\text{SiO}_2$  a různým obsahem dalších prvků.

**E – sklo** - obsahuje 55 %  $\text{SiO}_2$ , 18 %  $\text{CaO}$ , 8 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 4,6 %  $\text{MgO}$  a  $\text{B}_2\text{O}_3$  – vlákna jsou užívána jako elektroizolační materiál

**S – sklo** – obsahuje  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ , pro teploty přes 1 000 °C, je méně pružné

**C – sklo** – obsahuje  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}_2$  a jde o mimořádně odolné chemické sklo

Skleněné vlákno vzniká odtahováním skelné taveniny z trysky rychlostí 30-60 m/s. Jednotlivá vlákna o průměru 4-13  $\mu\text{m}$  se spojují do svazků, šlichtují (opatřují ochrannými látkami) a navijí. Zpracovávají se na tkaniny o měrné hmotnosti 600 až 1 300  $\text{g}/\text{m}^2$  a síle 0,8 až 2 mm, bod tání se pohybuje kolem 1 200  $^{\circ}\text{C}$ . Kombinuje se s aramidovými nebo uhlíkovými vlákny. Ze skleněných vláken jsou vyráběny ochranné oděvy pro hutníky a svářeče, tepelné izolace ve formě rohoží [24,48].

### ► Uhlíkové vlákno

Atomy uhlíku tvoří krystaly orientované paralelně k ose vlákna, což způsobuje, že vlákno s průměrem 5-8  $\mu\text{m}$  je velmi pevné s průměrnou hustotou 1 750  $\text{g}/\text{cm}^3$  a nízkou tepelnou vodivostí. Od ostatních vláken se odlišují výrazně menším modulem pružnosti v kolmém směru k ose vlákna, křehkostí (větší než u skleněných vláken), má však vyšší koeficient tepelné roztažnosti než sklo. Uhlíková vlákna jsou vyráběna z prekurzorů – PAN – polyakrylonitrilových vláken a pyrolyzních olejů a smol z destilace ropy. PAN vlákna se preoxidují a karbonizují při teplotách 1 200 až 1 400  $^{\circ}\text{C}$  v inertní atmosféře nebo se dále zpracovávají při teplotách 2 200 až 3 000  $^{\circ}\text{C}$  za vzniku grafitické struktury. V případě pyrolyzních olejů a smol je třeba surovinu nejprve zvláknit, další postup – karbonizace nebo grafitizace je obdobný, jako u PAN. Uhlíková vlákna lze kombinovat se skleněnými resp. aramidovými, používají se výhradně pro technické účely jako výztuž kompozitů ve strojírenství, leteckém průmyslu ve formě mletých vláken, sekaných pramenů, filamentů, rohoží, tkanin. Vyrábí se vlákna s různou pevností, pružností, mletá - jemný prášek vhodný jako přísada do různých materiálů, např. termoplastů [94].

### ► Aramidy

Aromatické polyamidy vznikají napojením aromatických struktur na polyamidový řetězec. Aramidové vlákno je vyrobené z polyamidu s dlouhým uhlovodíkovým řetězcem s 85 % peptidických vazeb spojujících dvě aromatická jádra. Mají několikanásobně větší pevnost v poměru k váze a 2  $\times$  větší modul pružnosti se schopností absorbovat energii. Jsou žáruvzdorné (při přímém kontaktu s plamenem neodkapávají), odolné proti chemikáliím (většinou organických rozpouštědel) a jsou nevodivá. Nevýhodou je citlivost na ultrafialové záření, vlhkost a salinitu. Aramidová vlákna se používají jako výztuž kompozitů dopravních prostředků, stavebního materiálu a jako ochranné oděvy pro horké provozy, kde nahrazují azbestové materiály [23]. Roční světová produkce roku 2009 byla 64 000 tun (2/3 p-aramidy a 1/3 m-aramidy) [92].

## ► Meta-aramidy

### • Nomex<sup>®</sup>

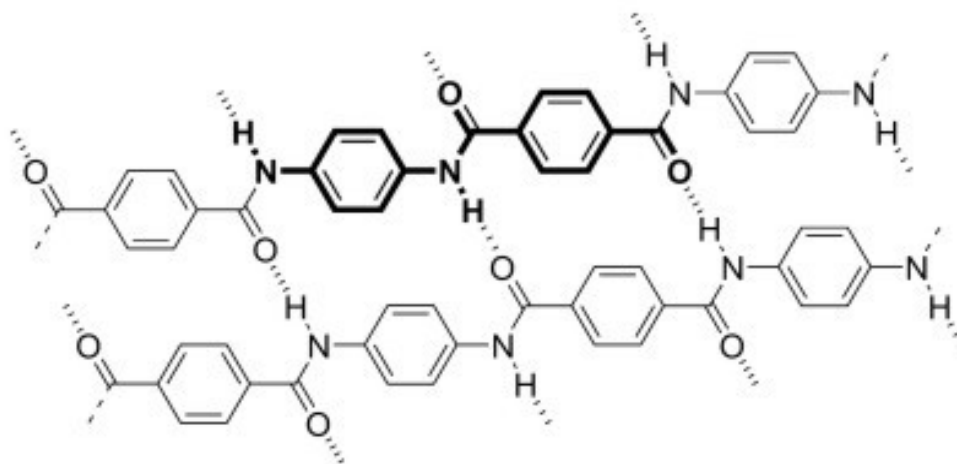
Metafenylen-izoftalamid – MPIA – vyráběny od 60. let minulého století. Používají se zejména jako materiál pro výrobu ochranných oděvů pro hasiče (kombinězy – kapuce nad maskou hasiče, bundy, trička, spodní prádlo, rukavice, příslušenství a výstroj (šněrovačla, oděvní šňůry, popruhy). Dále se používá jako tepelná bariéra ochranných prostředků při svařování a tepelná ochrana namáhaných pevnostních šňůr. Dlouhodobě tepelně odolnější než Kevlar [23].

## ► Para-aramidy

P-fenylen-tereftalamidy – PPTA, Kevlar<sup>®</sup>, Twaron<sup>®</sup>, Kermel<sup>®</sup> – materiály vyvinuté během 70. let 20. století, vynikající vysokou pevností (5 × pevnější než ocel při stejné hmotnosti), tepelnou odolností (bod tání přes 550 °C) i nízkou hmotností [23,58].

### • Kevlar<sup>®</sup>

Je syntetizován z reakční směsi monomeru 1,4-phenylen-diamin (para-phenylendiamin), CaCl<sub>2</sub> a terephthaloyl chloridu s organickým rozpouštědlem n-methylpyrrolidonem kondenzační reakcí za vzniku kyseliny chlorovodíkové jako vedlejšího produktu. Reakcí vzniká materiál, tvořený polymerními řetězci orientovanými ve směru vlákna, se vzorcem [-CO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-CO-NH-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-NH-]<sub>n</sub>. [86].



**Obr. 9:** Struktura Kevlaru [86].

Pro udržení polymeru v průběhu syntézy vláken ve formě roztoku se používá kyselina sírová. Kevlar získává svou pevnost z vodíkových vazeb mezi karbonylovými skupinami a protony na sousedních polymerních řetězcích a z  $\pi$ -vazby mezi vlákny (Obr. 9). Tento materiál má velmi dobrou odolnost proti vysokým i nízkým teplotám, zachovává si svou pevnost a pružnost. Ze tří druhů se jako náhrada azbestu používá Kevlar 29<sup>®</sup> pro výrobu ohnivzdorného ochranného oblečení, helem, horkovzdušných filtrů, kompozitních materiálů v oblastech, kde je třeba vysoké pevnosti a teplotní stability (např. letecký průmysl, obložení brzd, převodové řemeny). Vyrábí se ve formě stříže, nekonečného vlákna či drti, a to samostatně nebo v kombinaci se skleněnými či uhlíkovými vlákny [86].

- **Twaron<sup>®</sup>**

Lehké a silné vlákno, termostabilní a chemicky odolné. Vyrábí se v několika formách, např. vlákno, stříž nebo prášek.

- **Kermel<sup>®</sup>**

Měkká nehořlavá tkanina, tvořená směsí viskózy a aramidového vlákna, užívaná k výrobě ochranných oděvů, opakovaným oděrem mírně ztrácí pevnost [33].

- ▶ **Aramidimid**

Vlákno je nehořlavé, charakteristické svou pružností, stabilní do teploty 400 °C, vyráběné jako filament a stříž na výrobu ohnivzdorných oděvů, přicházejících do styku s pokožkou (např. hasičské obleky). Vlákno může být v pletenině zastoupeno 50, 70 nebo 100 % [23].

- ▶ **Polytetrafluorethylen**

PTFE nebo PF 4, také Teflon<sup>®</sup>, Algoflon<sup>®</sup>, Hostaflon<sup>®</sup>, Fluon<sup>®</sup>, Polyflon<sup>®</sup> - je významný krystalický fluorovaný polymer bílé barvy, parafinického vzhledu s vysokou pevností vazby C-F, určující charakteristické vlastnosti: odolnost proti vysokým teplotám (stabilní od -170 °C do +250 °C, avšak od 380 °C vznikají plynné produkty, při zahřívání bez plamene nevzplane do 575 °C. Tepelným rozkladem vzniká např. fluorovodík, hexafluorpropylen, oktafluorcyklobutan, perfluorizobutylen, tetrafluoretylen), výborné dielektrické vlastnosti, odolnost proti chemikáliím (kyseliny, zásady, soli, rozpouštědla, i za zvýšených teplot, není odolný roztaveným alkalickým kovům, elementárnímu fluoru, roztoku sodíku v amoniaku a některým organokovovým sloučeninám alkalických kovů), má výborné těsnící účinky a v rozsahu pracovních teplot je fyziologicky nezávadný [91].

### ► Wollastonit

Průsvitný, bílý až šedý vláknitý inosilikát –  $\text{CaSiO}_3$ , tvoří vláknité agregáty s rovnoběžnou nebo paprscitou stavbou (křehké bílé jehlice), vzniklý kontaktní metamorfózou. Průmyslově je využíván až od roku 1953 [98]. Nahrazuje azbest jako přísada do některých keramických výrobků (dlaždice, izolátory), izolačních materiálů ve stavebnictví a jako plnivo plastů (zlepšuje pevnost v tlaku, ohybu a tvarovou stálost), barev (neutralizuje kyselé prostředí a zvyšuje tak odolnost vůči atmosférickým vlivům), lepidel a omítkových materiálů [32]. Wollastonit se používá jako těsnicí materiál a jako desky ze směsi minerálních, keramických a wollastonitových vláken spojených plnivem. Vysoká tepelná a chemická odolnost a elektroizolační vlastnosti jej činí ideální náhradou azbestu [26].

### ► Vermikulit

Fylosilikát ze skupiny smektitů -  $(\text{Mg,Fe,Al})_3(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$ , vznikající hydratací magmatických minerálů (hydratovaná slída), často vázaný s azbestem, kde se identifikuje pomocí rentgenové difrakce. Název je odvozen od latinského „*vermiculus*“ - „*červík*“, kvůli dlouhým, zakřiveným krystalkům, které vznikají náhlým zahřátím na teplotu 700-900 °C, při níž se uvolňuje krystalická voda, mění se v interlaminárním prostoru na páru, zvětšující objem 15-25 × [64,96]. Vlastnost se nazývá exfoliace - tepelná expanze. Tento tzv. expandovaný vermikulit má nízkou tepelnou vodivost, je ohnivzdorný, a proto je využíván hlavně jako náhražka azbestu v automobilovém průmyslu jako izolační protipožární a těsnicí materiál (sypaná izolace). Je kompatibilní s cementem, přidává se do lehčených stavebních hmot, jako plnivo do barev a omítek [42].

### ► Perlit

Je amorfni křemičitan hlinitý (tzv. *kyselé vulkanické sklo*) s obsahem 1-5 % vody. Tepelným zpracováním (expandací) je ze surového perlitu vyráběn tzv. *expandovaný perlit* – při teplotě 850-900 °C měkne, vázaná voda se uvolní a působí expanzi materiálu 7-15 ×. Při 900 až 1 300 °C vznikají lehké, drobné pórovité kuličky bílé až šedobílé barvy různých velikostí. Expandovaný perlit má výborné tepelně a zvukově-izolační vlastnosti, je chemicky inertní, nehořlavý, netoxický, objemově stálý s velice nízkou měrnou hmotností. Je použitelný v rozsahu teplot - 200 °C až + 900 °C. Ve stavebnictví používán volně sypaný nebo jako lehké, tepelně-izolační omítky a malty, izolace šterbin, izolační tvarovky, násypy stěn s vnitřními extrémními teplotami a vlhkostí, stropní tvárnice nad velmi teplými prostory, tepelně-izolační násypy podlah [57].

### 3 DETEKCE VÝSKYTU A SANACE ZAMOŘENÝCH PROSTOR

#### 3.1 Limity a stanovení azbestu v ovzduší

Nízké hodnoty azbestu je možné nalézt téměř v každém vzorku vzduchu. V případě venkovských oblastí lze zjistit cca 0,03-3 F/m<sup>3</sup>, ve městech až 300 F/m<sup>3</sup> (F – fiber, vlákno). Nadprůměrné množství vláken je možné zjistit rovněž v okolí budov, kde bylo použito azbestových stavebních materiálů, během demolice nebo rekonstrukce, a také v blízkosti skládek, kde nebyly materiály s obsahem azbestu chráněny před větrnou erozí. V uzavřených prostorách závisí koncentrace vláken na typu použití (izolace, stropní desky, podlahové krytiny, příčky) a na stavu materiálů - uvnitř budov s drobnými vrstvami obsahujícími azbest lze naměřit koncentrace 1 000-10 000 F/m<sup>3</sup>. Nejvyšší koncentrace azbestu ve vzduchu byly zjištěny v pracovním prostředí při manipulaci s azbestovými materiály (doly a průmysl zpracovávající azbest), v průměru 10<sup>6</sup> F/m<sup>3</sup> a v jejich blízkosti, kde jsou koncentrace v řádu tisíců F/m<sup>3</sup> [3,15,34,70].

Např. v Německu jsou doporučeny pro venkovské a zemědělské oblasti průměrné roční hodnoty méně než 100 F/m<sup>3</sup>, v hustě obydlených průmyslových oblastech mezi 50-200 F/m<sup>3</sup>, v blízkosti emisních zdrojů 100-330 F/m<sup>3</sup> [70].

Na koncentraci vláken v ovzduší má vliv hlavně objem výroby a povětrnostní podmínky, např. od závodu na výrobu azbestocementu ve vzdálenosti do 1 km ve směru proudění vzduchu se koncentrace vláken pohybuje od 600 do 2 200 F/m<sup>3</sup>, avšak při silném proudění vzduchu se vlákna mohou rozptýlit v okruhu 5 km od zdroje. Ke zvýšení koncentrace vláken může docházet i při výměně zachytných filtrů odprašovacích zařízení. Dalším významným zdrojem azbestových vláken jsou brzdová obložení, např. na velmi frekventovaných komunikacích lze naměřit koncentrace až přes 3 000 F/m<sup>3</sup>. Z ovzduší je odstraňován pouze srážkami (déšť, sníh, mlha), což vede ke splachu do vod, usazování na zemi a vsakování do půdy [34,70].

Pro koncentrace v odpadním plynu měřené u výpustí ze zařízení zpracovávajících azbest se uvádí tento přepočtový faktor - hmotnostní koncentrace 0,1 mg/m<sup>3</sup> odpovídá počtu 2 mil. definovaných vláken. Ohlašovací práh při vypouštění 1 000 000 m<sup>3</sup> vzduchu ročně je hmotnostní koncentrace 1 mg/m<sup>3</sup>. Pokud je hmotnostní tok emisí azbestových vláken vyšší než 0,5 g/h, limit 0,1 mg/m<sup>3</sup> nesmí být překročen [34].

Pro vnitřní prostředí budov, kde se shromažďuje větší počet osob (školy, nemocnice, obchody atd.) platí pro azbestová vlákna (ještě bez rizika na zdraví) limitní hodinová koncentrace  $1\ 000\ \text{F}/\text{m}^3$  určená *vyhláškou ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb.*, která stanovuje hygienické limity fyzikálně-chemických a biologických ukazatelů.

Pro pracoviště, kde se manipuluje s azbestovým materiálem, pro sanační a demoliční práce mimo budovu, platí jako akceptovatelné riziko limitní koncentrace  $0,1$  respirabilních  $\text{F}/\text{cm}^3$ , resp.  $100\ 000\ \text{F}/\text{m}^3$  určená *Narižením vlády č. 441/2004 Sb.*[3].

### **Pro práci s azbestem platí 2.-4. kategorie expozičních limitů určených délkou a intenzitou expozice [10]:**

#### **Druhá kategorie zahrnuje:**

Každodenní expozice (KE) při průměrném expozičním limitu (PEL) v pracovním ovzduší od  $0,2$  do  $0,6\ \text{F}/\text{cm}^3$  pro chryzotil nebo od  $0,1$  do  $0,3\ \text{F}/\text{cm}^3$  pro ostatní druhy azbestů a občasné expozice (OE) při PEL v tříměsíčním období vyšším než  $12$  (ale ne víc než  $36$ )  $\text{F}/\text{cm}^3/\text{den}$  nebo od  $6$  do  $18\ \text{F}/\text{cm}^3/\text{den}$  pro ostatní druhy azbestu.

#### **Třetí kategorie zahrnuje:**

KE při PEL vyšším než platí pro daný druh azbestu (ne vyšší než trojnásobek hodnoty), v případě směsi azbestových vláken platí hodnota PEL pro amfibolové azbesty a OE při hodnotách  $\text{F}/\text{cm}^3/\text{den}$  pro různé druhy azbestů, nepřekračující trojnásobek hodnot druhé kategorie.

#### **Čtvrtá kategorie zahrnuje:**

Expozici o vyšší koncentraci prachu než ve 3. kategorii.

Pro stanovení koncentrace vláken azbestu v pracovních a obytných prostorech budov, kde se azbest nachází, např. jako izolace nebo protipožární úprava stavebních materiálů, se provádí odběr vzorků. Výsledky analýzy odebraných vzorků jsou využívány jako podklad pro rekonstrukce budov a jejich užívání po odstranění azbestového nebezpečí, proto je velmi důležitá příprava postupu jejich odběru.

Např. česká norma ČSN EN ISO 16000–7 popisuje vhodné postupy měření koncentrace vláken azbestu ve vnitřním (pracovním) ovzduší budov při běžném užívání budovy pro ověření, zda nápravná opatření byla účinná, tzv. *běžné vzorkování*. Odběry se provádí periodicky, přičemž počet měření je dán rozdílem mezi naměřenou a limitní hodnotou.

Pokud se při běžném užívání stanovuje krátkodobá koncentrace vláken před pracemi, které mohou způsobit jejich uvolňování, jde o tzv. *vzorkování pozadí*. Jedná-li se jen o běžnou údržbu, provádí se tzv. *vzorkování pro ověření vlivu činnosti*. Při tzv. *výzkumném vzorkování* se sledují změny v koncentraci vláken při změnách užívání budovy, při nečekaném poškození azbestových materiálů nebo se tyto situace uměle vyvolávají. Během odstraňování azbestových materiálů se provádí tzv. *vzorkování úniků*, zda nedochází k úniku kontaminovaného vzduchu z místa sanace do okolí, a také tzv. *osobní vzorkování*, kterým se sleduje expozice osob odběrem vzorků v jejich dýchací zóně. Na konci sanačního procesu se před ukončením bezpečnostních opatření a odstraněním zábran provádí tzv. *výstupní vzorkování* dokládající, že v sanované budově nejsou žádná vlákna, která by mohla znamenat nebezpečí expozice po přechodu k běžnému používání budovy [11].

### **Metody stanovení v ovzduší**

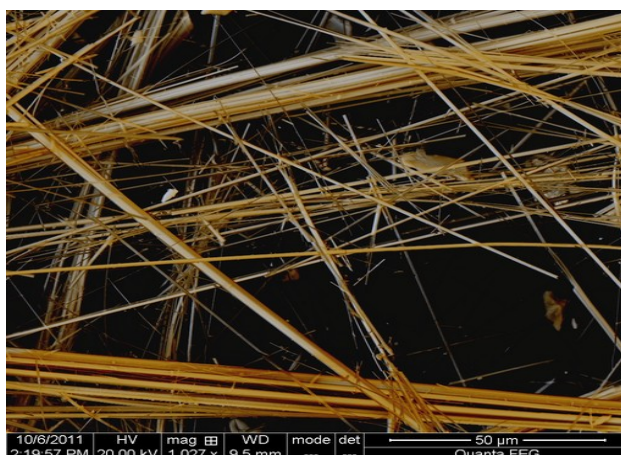
Stanovení minerálních vláken v ovzduší dle metodiky AHEM (Acta hygienica epidemiologica et microbiologica), Příloha 13/86 „*Standardní metodika pro stanovení početní koncentrace minerálních vláken v pracovním ovzduší*“ a *Nařízení vlády č. 178/2001 Sb.*, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, Příloha 3. Touto metodikou se stanovuje početní koncentrace azbestových vláken v pracovním prostředí a při stavebních činnostech (rekonstrukce, demolice). Na odběrovém přístroji se před odběrem nastavuje průtok vzduchu na 1 litr/min  $\pm$  5 % (udržuje se v rozmezí  $\pm$  10 % počáteční hodnoty). Konečný objem se odečítá s požadovanou mírou nejistoty [3].

Délka odběru vzorku se pohybuje v řádech minut až hodin a určuje se dle odhadu optimální koncentrace vláken na jednotku plochy na filtru (mezi 100 až 450 F/mm<sup>2</sup>). Vzorky vzduchu se prosávají přes membránové filtry (vyrobené ze smíšených esterů či dusičnanů celulózy) s velikostí póru 0,45  $\mu$ m až 1,2  $\mu$ m, o průměru 25 mm (odběr v dýchací zóně pracovníků) nebo 35 mm (odběr větších objemů, ve stacionárních odběrových soupravách), které se v souladu se zásadami absolutní čistoty po skončení odběru umístí na podložní sklíčko, zprůhlední aceton-triacetinovou metodou a překryje krycím sklíčkem. Pro potvrzení přítomnosti azbestových vláken je možno vzorek v prostředí bromidu draselného proměřit IR – metodou obsahuje-li vzorek azbest, je diagnostikována přítomnost IR (infračervených) absorpčních pásů při spektru 400 až 4 000 cm<sup>-1</sup>[15,85]. K identifikaci a stanovení koncentrace azbestových vláken jsou používány metody počítání vláken mikroskopickými metodami.

Např. norma Mezinárodní organizace pro normalizaci ISO (International Standard Organisation) 10397 „*Pro stanovení azbestu v odpadních plynech pomocí mikroskopických metod*“, definující azbestové vlákno jako částici o délce  $\geq 5 \mu\text{m}$ , průměru  $< 3 \mu\text{m}$  o poměru délky a průměru  $> 3:1$  [28,85].

K analýze vzorků lze použít jako standardní metodu optickou mikroskopii s fázovým kontrastem (Phase Contrast Microscopy – PCM), např. metoda (National Institute for Occupational Safety and Health) NIOSH 7400 z roku 1994. Malý fázový posun související se změnou amplitudy během průchodu světla vzorkem je převeden na kontrast, nejmenší detekovatelný průměr vlákna touto metodou je 0,2-0,3  $\mu\text{m}$ , ale nelze přesně odlišit azbestová vlákna od jiných. Metoda je rychlá, vhodná pro přímou analýzu pracovního prostředí. Lze použít metodu optické mikroskopie v polarizovaném světle (Polarized Light Microscopy – PLM). Zvětšení u obou metod je  $400 \times$  až  $1\,000 \times$  [52,85].

Další možné metody jsou skenovací elektronová mikroskopie (Scanning Electron Microscopy – SEM) s mikroanalýzou EDAX (Energy dispersive analysis of X-rays - rentgenová fluorescenční analýza s rozptylem energie) a transmisní elektronová mikroskopie (Transmission Electron Microscopy - TEM), např. NIOSH method 7402 z roku 1994. US EPA (United States Environmental Protection Agency – Agentura ochrany životního prostředí Spojených států) požaduje TEM při kontrole sanací škol, počítají se pouze vlákna s průměrem pod 0,25  $\mu\text{m}$  odpovídající výše uvedené PCM definici. Metoda je náročná na čas a přípravu vzorku, ale umožňuje jednoznačnou identifikaci azbestových vláken (lepší rozlišení než PCM). V případě těchto dvou metod je zvětšení  $2\,000 \times$  až  $10\,000 \times$ . SEM má snadnější přípravu vzorku a přesnější určení morfolofie než TEM, ale její instrumentace je dražší. Získané výsledky však nelze plně srovnávat, neboť u uvedených metod se analytické možnosti liší [53,85].



**Obr. 10:** Snímek azbestových vláken – amosit pořízený SEM [84].

### 3.2 Limity a stanovení azbestu ve vodě

Azbest se do vody dostává v důsledku eroze přírodních nalezišť, z úložišť azbestového odpadu, z azbestocementového potrubí, či filtrováním vody přes filtry, které jej obsahují [34]. Při vypouštění 1 000 m<sup>3</sup> odpadní vody ročně je ohlašovací práh pro emise azbestu a přenosy do vody při koncentraci 1 mg/l. V Informačním Bulletinu hl. hygienika ČR z roku 1994, Příloha č. 35, str. 5 a 6 se uvádí používání azbestocementového potrubí pro pitnou vodu jako nevhodné přesto, že nebezpečnost s vodou požitých azbestových vláken nebyla průkazně doložena [35].

WHO (World Health Organisation – Světová zdravotnická organizace) ve své publikaci z roku 1996 s názvem „*Guidlines for drinking water quality*“ uvádí, že výsledky epidemiologických studií s pokusy na zvířatech nepotvrzují pravděpodobnost zvýšení rizika vzniku onkologického onemocnění gastrointestinálního traktu (GIT) jako následku pití vody s obsahem azbestových vláken, a proto není třeba stanovit limitní hodnotu azbestových vláken v pitné vodě [3,34,35].

Roku 1997 byl v časopise „*Cancer Causes and Control*“ publikován článek „*Drinking water and cancer*“ souhrn výsledků epidemiologických studií z nichž jednoznačně nevyplývá schopnost azbestových vláken obsažených a požitých v pitné vodě způsobit rakovinu GIT nebo ledvin. Předpokládá se, že propustnost stěn GIT je pro vlákna azbestu omezená, jak na základě odborných studií publikuje v roce 1998 „*Environmental Health Criteria 203*“.

Článek v časopisu „*Medical Hypotheses*“ s názvem „*Asbestos fibres in drinking water: are they carcinogenic or not ?*“ přináší shrnutí publikací maďarských vědců, které se zabývají kokarcinogenním účinkem vláken azbestu a na ně naadsorbovaných organických látek v pitné vodě. Při experimentech s laboratorními zvířaty, kterým byla podávána pitná voda s obsahem azbestových vláken a benzo[a]pyrenu, došli vědci k závěru, že azbestová vlákna v pitné vodě mohou zvyšovat účinek karcinogenních organických látek v ní obsažených [35].

V USA jsou v zásobárnách pitné vody koncentrace azbestových vláken pod 1 mil. F/l, v oblastech azbestových dolů a zařízení na jeho zpracování byly odebrány i vzorky s obsahem vláken 10-300 mil. F/l. US EPA i přes nejednoznačnost škodlivosti vláken azbestu v pitné vodě a pravděpodobně malou rizikovost stanovila limitní hodnotu na  $7 \times 10^6$  F/l [34,35].

## **Stanovení azbestových vláken v pitné vodě se provádí na stejném principu dle Standardních amerických metod a metod US EPA:**

- ▶ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Vydání 21. Washington 2005.
- ▶ EPA /600/4–83–043 (US EPA 100.1) Analytical Method for the Determination of Asbestos Fibers in Water.
- ▶ EPA/600R-94/134 Asbestos by Transmission Electron Microscopy Determination of Asbestos Structures over 10  $\mu\text{m}$  in Length in Drinking Water.

Těmito metodami se zjišťuje počet částic i jejich velikost (počítají se částice s délkou vláken větší než 10  $\mu\text{m}$ ). U vodních vzorků odebraných z přírodního zdroje je nutné předem zoxidovat organickou hmotu zachycenou s azbestem ozonem nebo ultrafialovým (UV) zářením. Odebrané vzorky vody se nejprve přefiltrují přes membránový filtr (velikost pórů 0,22-5  $\mu\text{m}$ ) nebo polykarbonátový filtr (velikost pórů < 0,1  $\mu\text{m}$ ). Pro samotné stanovení se používá TEM, kdy se pracuje se zvětšením 10 000  $\times$  až 20 000  $\times$ . Naměřené hodnoty jsou vyjádřeny jako počet jednotlivých strukturních jedinců na 1 litr.

V České republice se pro stanovení azbestu v pitné vodě využívala „Metodická příručka pro analýzu pitných vod a jejich zdrojů“ ministerstva zdravotnictví z roku 1992, která již dnes pro stanovení počtu vláken v pitné vodě není doporučována.

*Směrnice Evropského společenství pro pitnou vodu 98/83/EC ani vyhláška Ministerstva zdravotnictví 376/2000 Sb., zabývající se pitnou vodou nenařizuje sledování limitů ani neuvádí žádnou normovanou metodu [3,35,46].*

### **3.3 Stanovení azbestu v půdě**

Než se v životním prostředí rozptýlená azbestová vlákna usadí (v půdě nebo sedimentu vodního toku) mohou díky svým mikroskopickým rozměrům přetrvávat dlouhou dobu ve vzduchu a putovat na velké vzdálenosti nebo mohou být unášena vodou. Jak rychle k usazení dojde, záleží na jejich velikosti a jakmile se tak stane, schopnost pohybu vláken se velmi omezí a protože jsou velmi odolná proti vnějšímu působení, zůstávají v půdním prostředí po velmi dlouhou dobu [34]. Azbestová vlákna se mohou v půdě vyskytovat nejen díky lidské činnosti, ale i jako důsledek zvětrávání přírodních ložisek, hlavně serpentinitů. Pro stanovení azbestových vláken v půdním materiálu existuje několik druhů metod, založených na analýze chemického složení, krystalové struktury a morfologie vláken [3,69].

## a) Standardizované metody

### ► Transmisní elektronová mikroskopie – Transmission electron microscopy (TEM)

Na základě výskytu a morfologie jsou částice identifikovány jako částice azbestu, poté následuje analýza chemického složení jednotlivých částic metodou EDAX, většinou jde o částice s průměrem 0,01  $\mu\text{m}$ . Metody: „*Method for the determination of asbestos in bulk building materials*“ - US EPA 600/R-93-116 (Chatfield: Semi – Quantitative), US EPA 600/R-93-116 (Quantitative), (New York State Department of Health Eastside - Legal Assistance Program) - NYSDOH - ELAP TEM 198.4, NIOSH 7402, American Society for Testing and Materials - ASTM D6281-98 ISO 10312, US EPA method 68-02-3266 - level I and level II [69]. Zpracování analyzovaného materiálu a stanovení azbestových vláken pomocí TEM popisuje např. metoda US EPA 540-R-97-028 „*Superfund Method for the Determination of Releasable Asbestos in Soils and Bulk Material*“. Z analyzovaného materiálu je přesetím oddělena jemnozrná frakce (částice do 1 mm), která je kvartací rozdělena na vzorky o hmotnosti 50-80 g, a ty jsou posléze v elutriátoru roztrženy dvěma filtry o různé velikosti pórů, jež se po provedení zkoušky zvažují. Metodou TEM jsou analyzovány ty nejjemnější částice zachycené při zkrápnění v pračce vzduchu. Pro analýzu množství vláken azbestu je také provedena některá z optických metod [3,89].

### ► Fázová kontrastní mikroskopie – Phase Contrast Microscopy (PCM)

Metoda je užívána jako referenční při určování rizika během nakládání s nebezpečným odpadem. Analyzovány však mohou být pouze částice větší než 5  $\mu\text{m}$  a nelze druhy vláken přesně identifikovat. Metoda: NIOSH 7400 [52,69].

### ► Optická mikroskopie v polarizovaném světle – Polarized Light Microscopy (PLM)

Nejrozšířenější standardizovaná screeningová metoda identifikace krystalické fáze v pevné matici (půda) probíhající na základě optických vlastností vláken do velikosti 1  $\mu\text{m}$ . Metody: „*Interim Method for the Determination of Asbestos in Bulk Insulation Samples*“ - US EPA 600/M4-82-020, US EPA/600/R-93/116 – Point Counting – US EPA 400 Point Count, NYSDOH, ELAP PLM 198.1 – Point Counting – Stratified, NIOSH 9002. Metoda California Environmental Protection Agency - Method 435, „*Determination of asbestos content of serpentinite aggregate*“ z roku 1991, používá PLM pro stanovení procentuálního množství azbestových vláken v celkovém množství nahodile vybraných částic zkoumaného materiálu. Analytická chyba tohoto stanovení se pohybuje kolem 2 % [3,15].

Popis identifikace vláken azbestu metodou PLM v kombinaci s fázovou kontrastní optickou mikroskopií uvádí např. Schneider a další ve své publikaci „*Development of a method for the determinativ of low kontent of asbestos fibres in bulk material*“ z roku 1998. Metodu PLM popisuje i nizozemská norma: NEN 5707:2003 „*Soil – Investigation, sampling and analysis of asbestos in soils and stockpiles*“. Po prosetí (metody US EPA uvádí elutriometr) materiálu na zrnitostní třídy 0,5-1 mm, 1-2 mm, 2-4 mm, pro stanovení azbestových vláken v zrnitostní třídě < 0,5 mm doporučuje SEM. Analytické metody, které se principiálně shodují s metodami US EPA uvádí metodická příručka „*Asbestos Contaminated Soil Guidance Document*“ coloradského ministerstva zdravotnictví a životního prostředí z roku 2007. [3,80].

### **b) Nestandardizované metody**

Skupina italských vědců (Foresti a kolektiv) popisuje v publikaci „*Determination of low leveles of free fibres of chryzotile in contaminated soils by XC – ray diffraction and FTIR spectroscopy*“ kvantitativní stanovení vláken chryzotilu v písčítých a jílovitých půdách za použití elutriátoru po sedimentační analýze, metodu rentgenové difrakce s využitím standardu a následné FTIR (Fourier transform infrared), mezích detekce 0,01-1 %). Při použití elutriátoru pro sedimentační analýzu se stanovením standardní metodou rentgenové difrakce bylo dosaženo pouze 0,5% meze detekce [20,69].

## **3.4 Metody sanace azbestového nebezpečí**

Při manipulaci s azbestovými materiály v budovách, zejména při jejich demontáži, se zvyšuje riziko úniku azbestových vláken do prostředí, proto musí být voleny takové technologické postupy, jimiž bude možné nechtěnému uvolňování předejít [63].

Azbest a materiály, které jej obsahují, musí být před prováděním rekonstrukcí a demolic bezpečně odstraněny, v případě ponechání na místě důkladně zajištěny. Prašnost lze snížit vlhčením demontovaných materiálů vodou, specializované firmy však používají technologické postupy, kdy jsou azbestové stavební materiály před demontáží opatřeny nástřikem polymerními hmotami - speciálními enkapsulačními přípravky, např. produkty americké firmy Fuller (výrobní značkou Foster®), které splňují přísné požadavky organizace US EPA a jsou certifikovány jako ochranný nátěr na materiály obsahující azbest také v ČR.

Všechny azbestové materiály se v první fázi enkapsulace (zapouzdření) opatří podkladovým uzavíracím primerem, který zapouzdří jednotlivá vlákna nebo skupinu vláken azbestu, na něj se aplikuje vrchní uzavírací nátěr, vytvářející na povrchu nepropustnou, souvislou a pružnou vrstvu, která po celou svoji dobu životnosti (min. 35 let) zabraňuje oddělování azbestových vláken a jejich úniku do ovzduší, čímž zaručuje bezpečnost při ponechání na místě nebo odstranění [39,63].

#### **a) Postup prací odborné firmy při sanaci azbestu [39]**

- ▶ prohlídka objektu zaměřená na přítomnost azbestových materiálů včetně změření množství respirabilních vláken ve vzduchu ve všech prostorech, kde se azbest vyskytuje, vystavení příslušného protokolu
- ▶ vypracování projektu sanace, demontáže, odstranění a zneškodnění azbestového odpadu
- ▶ provedení sanace a likvidace azbestu při dodržení pracovních postupů dle norem US EPA
- ▶ ošetření azbestových materiálů enkapsulantem s možností ponechání na původním místě
- ▶ vyčištění objektu od respirabilních vláken pod přípustnou normu a zajištění kontrolního měření na přítomnost zbytkových vláken, vystavení příslušného protokolu a certifikátu
- ▶ předání vzniklých azbestových odpadů k bezpečnému uložení
- ▶ vypracování a archivace závěrečné zprávy o odstranění azbestové zátěže

#### **b) Postup technologie odstraňování materiálů obsahujících azbest**

Prostor, kde dochází k částečnému nebo kompletnímu odstranění stavby, musí být vymezen tzv. kontrolovaným pásmem (Obr. 11), kde je nutno dodržovat přísná bezpečnostní opatření (zákaz konzumace potravin, kouření apod.). Sanační zóna musí být spolehlivě utěsněna, proto je umožněn přechod do kontrolovaného pásma pouze přes tzv. hygienickou smyčku (dekontaminační prostor pracovníků a veškerého zařízení a materiálů – Obr. 12), ve které se pracovníci převlékají do speciálních obleků tvořených celotělovou ochrannou kombinézou, speciální obuví, rukavicemi a respirační maskou (Obr. 14). Použité ochranné oděvy se přepravují s azbestovými odpady do specializovaných čistíren v uzavřených obalech či se likvidují spolu [51].

Kontrolované pásmo je před začátkem sanace hermeticky uzavřeno se zajištěním odsávání vzduchu tak, aby docházelo k pěti až osminásobné výměně vzduchu za hodinu. Tok vzduchu v sanační zóně, který je průběžně monitorován, zabezpečují podtlaková zařízení, která pomocí nasávání přes HEPA (High Efficiency – Particulate Air) filtry H13 vytvoří podtlak -20 kPa čímž zaručují, že azbestová vlákna uvolněná při demontáži, neuniknou mimo prostor kontrolovaného pásma [55,77].



**Obr. 11:** Kontrolované pásmo [22].



**Obr. 12:** Dekontaminační komory [22].



**Obr. 13:** Balení azbestového materiálu [22].



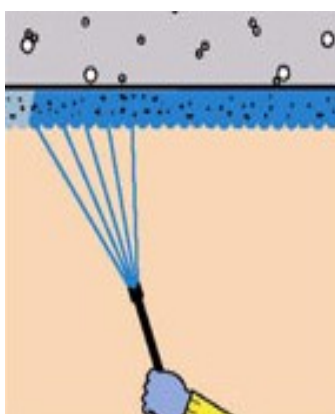
**Obr. 14:** Výstroj pracovníka odstraňujícího azbest [22].

### c) Příklad enkapsulace výrobkem Foster® 32-60/61 Asbestos Removal Encapsulant

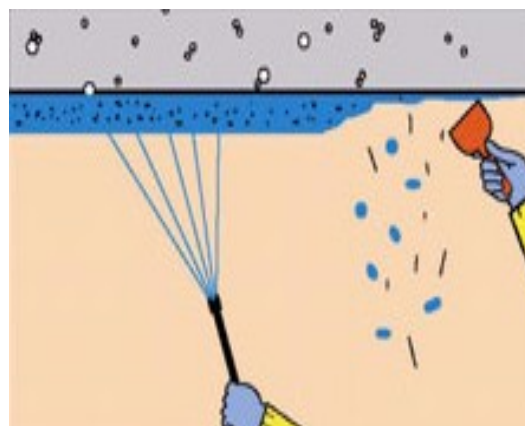
Polymerní přípravek, použitelný na všechny druhy azbestů, proniká materiálem v závislosti na jeho charakteru a složení, absorbuje jednotlivá vlákna a pevně je spojuje dohromady. Zvlhčením vzduchu v počáteční fázi aplikace je usnadněno přilnutí enkapsulantu k vláknité hmotě, ředěním enkapsulantu lze dosáhnout zvýšení pronikavosti výrobku materiálem, avšak

příliš zředěný přípravek má menší enkapsulační schopnosti. Enkapsulant se aplikuje jakýmkoliv typem moderního elektrického bezvzduchového stříkacího zařízení pro barvy na vodní bázi, např. na azbestocement v dostatečném množství, závislém na síle a savosti daného materiálu tak, aby pronikl až na podklad. V průběhu enkapsulačního procesu (cca 12 hodin) je nutné ověřovat pevnost zpracovávaného materiálu, neboť dojde-li k vysušení zpracovávané vrstvy před odstraněním, nerozpustná povaha vytvrzeného enkapsulantu nedovolí opětovné provlhčení. Po dokončení procesu odstraňování se odhalený podklad znovu ošetří enkapsulantem za účelem reziduální enkapsulace vláken, neodstraněných v předchozím procesu. Před přelakováním musí podklad min. 24 hodin schnout. Na podlahy může být použit jen v případě kompatibility s již suchou vrstvou enkapsulantu a překryt novou podlahovou krytinou [18].

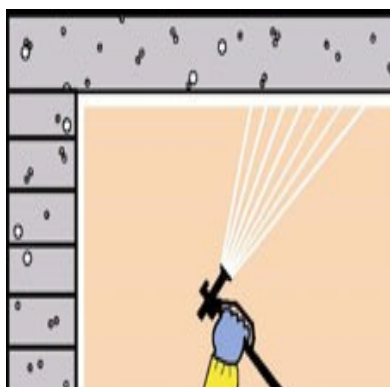
Obr. 15 až 18 ilustrují postup enkapsulace azbestových materiálů.



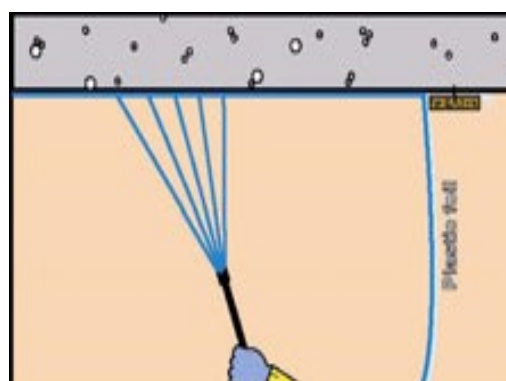
**Obr. 15:** Penetrace azbestu enkapsulantem (primer - Foster® 32-20/21/22) [17].



**Obr. 16:** Aplikace enkapsulantu nízkotlakým bezvzduchovým zařízením, odstraňování (Foster® 32-90 nebo 32-60/61) [17].



**Obr. 17:** „Uzamykání“ reziduálních vláken na stěnách a stropech (Foster® 32-80) [17].



**Obr. 18:** „Uzamykací“ postřik na stále horké povrchy (Foster® 32-22) [17].

**d) Popis dalších výrobků podle místa a způsobu použití [16]:**

▶ **Foster® 32-20/21/22 Protector Sealant**

Penetrační a impregnační prostředek s tmelícím účinkem, penetrující do hloubky, který po vytvrzení vytváří pevný povrch odolný proti poškození.

▶ **Foster® 32-47 Floor Tile Adhesive Remover**

Odstraňovač lepidla na dlaždice - účinně smáčí azbestová vlákna, obsažená v rozpuštěném lepidle. Takto ošetřené podlahové povrchy jsou kompatibilní s Foster® 32-20 a 32-60, používá se také k fixaci zbytkových vláken.

▶ **Foster® 30-52 Fireflex Weatherproof Coating / Adhesive**

Pružná ohnivzdorná nátěrová hmota pro spojování a ochranu azbestové izolace a na podklady po odstranění azbestu.

▶ **Foster® 32-80 Bridging Mastic Asbestos Free**

Prostředek s tmelícím účinkem, určený k omezení uvolňování azbestu z konvenčně aplikovaného i stříkaného azbestocementu. Můstkový typ enkapsulantu tvořící po zatvrdnutí odolnou omyvatelnou elastomericovou vrstvu. Lze aplikovat na většinu povrchů včetně pevně slepených již natřených a na tvrdé nesavé typy izolací, které běžné penetrační typy enkapsulantů nepřijmou.

▶ **Foster® 32-90 Asbestos Removal Sufractant**

Detergent rychle pronikající azbestocementem, přilne na jednotlivá vlákna vlivem povrchového napětí. Je aplikovatelný na amfibol, amozit a krokydolit, pro jeho konzistenci může být aplikován jakýmkoli typem vysokotlakého nebo nízkotlakého bezvzduchového zařízení. Při aplikaci je nutno dodržovat opatření OSHA (Occupational Safety and Health Administration - Správa bezpečnosti a ochrany zdraví při práci) a US EPA.

▶ **Foster® 32-95 Penetrative Stripping Agent**

Penetrační nátěr speciálně určený pro důkladné a efektivní smáčení azbestu, výrazně snižující uvolňování vláken do ovzduší.

▶ **Foster® 84-20 Hi-Temp Lock-Down**

Těsnicí nástřiková hmota na bázi křemíku pro zapouzdření zbytkových vláken na horkých površích (až do 1 200 °C), ze kterých byl odstraněn azbest, např. izolace turbín, kotlů apod.

Podlahy a povrchy jsou po dokončení prací vyčištěny od nečistot a prachu speciálními vysavači (Obr. 19) poháněnými stlačeným vzduchem, které jsou konstruovány tak, aby byly schopny bezpečně a efektivně zachytit a uložit nebezpečný prach [70].

Vysavače jsou vybaveny třístupňovou filtrací - jednorázový papírový nebo SMS pytel vyrobený ze 100% polypropylenu, textilní filtr s vysokou účinností a HEPA filtr ve vlastní komoře, zachycující až 99,97 % částic větších než 0,6  $\mu\text{m}$ . Po sanaci následuje vyčištění vzduchu v sanovaných prostorách vysokovýkonnými čističi (ventilátory) vzduchu s kapacitou až 15 000  $\text{m}^3/\text{hod}$ . V sanovaných prostorách je následně odebrán vzorek vzduchu, který je zaslán do smluvní laboratoře. Na základě výsledků analýzy je vystaven závěrečný protokol o nezávadnosti a čistotě vzduchu v sanovaném prostředí [55,56,77].



**Obr. 19:** Osávání podlahy [22].

Odstraňováním stavebních materiálů ošetřených během sanačních prací enkapsulačními prostředky vzniká stavební a demoliční odpad - o způsobu označování a o nakládání s ním pojednává oddíl 4.2 Onemocnění způsobená azbestovými vlákny a pododdíl 2.3.3 Azbest ve stavebních, demoličních a dalších odpadech [31,63].

## 4 AZBEST JAKO LÁTKA OHROŽUJÍCÍ ZDRAVÍ

### 4.1 Vývoj informovanosti o zdravotních rizicích azbestu

Všeobecné povědomí o škodlivosti azbestového prachu na lidské zdraví se začalo rozšiřovat na přelomu 19. a 20. století. Příkladem je zpráva „*O zlych následcích azbestového prachu*“ zabývající se pracovním prostředím továren, kde byl zpracováván a využíván, přednesená v roce 1898 v britském parlamentu. Roku 1900, byla jako onemocnění poprvé diagnostikována azbestóza u pracujících v azbestovém průmyslu a v roce 1926 byl poprvé odškodněn za újmu na zdraví způsobenou expozicí azbestu americký tovární dělník [34,73].

Poznatky o nebezpečnosti azbestu a o možných zdravotních rizicích se rozrůstaly a postupem času se začalo o azbestu psát v odborných knihách a časopisech, zpočátku však velmi omezeně. Např. Americká asociace průmyslové hygieny (American Industrial Hygiene Association – AIHA) vydávala časopis „*AIHA Journal*“, v němž se ve 40. letech objevil jeden článek věnující se azbestu a podobně v 50. letech byl zveřejněn jeden článek zabývající se azbestovým průmyslem. Roku 1948 byla vydána kniha „*Industrial Hygiene and Toxicology*“ (*Průmyslová hygiena a toxikologie*), z jejíhož obsahu je pět stran věnováno ohrožení pracovníků azbestózou, ve druhém vydání této knihy (1958) jsou problematice vymezeny dvě strany. Na počátku 60. let se na základě zjištění, že vedení azbestových dolů a průmyslových odvětví azbest zpracovávajících věděla o nebezpečí pro jejich pracovníky, objevily první soudní spory o náhradu za poškozené zdraví a až v pozdních 60. letech bylo rozhodnuto, že toto riziko musí být v pracovním prostředí sledováno, potenciálním nebezpečím produktů obsahujících azbest se však až do pozdních 70. a raných 80. let nikdo nezabýval. V roce 1966 a 1977 (druhé vydání) vyšla kniha s názvem „*Occupational Diseases: A Guide to Their Recognition*“ (*Nemoci z povolání: Průvodce jejich rozpoznáváním*) zabývající se stejně jako „*Industrial Hygiene and Toxicology*“ azbestózou u dělníků pracujících s azbestem, a to celkem na sedmi stránkách. Z roku 1971 pochází titul „*Fundamentals of Industrial Hygiene*“ (*Základy průmyslové hygieny*) zmiňující azbest ve dvou paragrafech, ve druhém vydání z roku 1988 je azbestu věnováno plných 18 stran. Americká společnost bezpečnostních inženýrů (American Society of Safety Engineers - ASSE) publikuje měsíčník „*Journal of the American Society of Safety Engineers*“, v němž v letech 1972-1980 vyšlo šest článků o azbestu, např. v roce 1972 informace o normě pro azbestový prach a v roce 1975 o odstraňování azbestového nebezpečí.

Po roce 1972 vstoupily v platnost předpisy OSHA zaměřené na drtírny azbestu a také průmyslové podniky produkující azbestové výrobky, kde byl přípustný expoziční limit ve vzduchu stanoven na  $5 \text{ F/cm}^3$ . Rok 1975 je do jisté míry přelomový, neboť se v časopise „*AIHA Journal*“ objevila první zmínka o možném riziku pro konečné uživatele azbestových výrobků v článku „*Kontrola azbestu při práci u parních turboagregátů*“, který označoval tepelnou izolaci jako zdroj expozice azbestu, celkem bylo zveřejněno dvanáct článků zabývajících se touto problematikou. Druhé vydání „*The handbook of Occupational Safety and Health*“ (*Příručka bezpečnosti a ochrany zdraví při práci*) z roku 1976 se o azbestu zmiňuje v podkapitole „*Nekovové prachy*“ a náklad z roku 1987 se věnuje azbestu dokonce na devatenácti stranách. Odborné časopisy pro pracovníky BOZP (*Bezpečnost a ochrana zdraví při práci*) byly sice široce dostupné v odborných knihovnách, avšak do pozdních 70. let informovaly o nebezpečí expozice azbestu velmi omezeně, ani konference BOZP se tomuto tématu nevěnovaly s výjimkou laboratorních metod ve vybraných odvětvích [72,73].

Se zvyšující se informovaností zaměstnanců započaly soudní spory, v nichž tito požadovali náhradu za škodu na zdraví způsobenou expozicí azbestu, např. ve Velké Británii se domáhají odškodnění pracovníci průmyslu exponovaní od 40. do 90. let.

Roku 2009 byli souzeni manažeři italské pobočky švýcarské firmy Eternit, kteří byli obviněni z porušování bezpečnostních předpisů při práci s azbestem a zavinili tak smrt zaměstnanců podniku, ale i obyvatel měst Bagnoli na jihu, Cavagnolo, Rubiera a Casale Monferrato na severu země. Celkem zemřelo na komplikace způsobené azbestem cca 1 500 lidí, několik set dalších onemocnělo [36].

## **4.2 Onemocnění způsobená azbestovými vlákny**

Dle Mezinárodního úřadu pro výzkum rakoviny (IARC - International Agency for Research on Cancer), jsou všechny azbesty klasifikovány jako prokázaný lidský karcinogen skupiny 1. První důkazy pocházejí z roku 1955 a z prvního hodnocení IARC z roku 1972 vyplývá, že bylo prokázáno riziko vzniku karcinomu plic a mezoteliomu u pracovníků dolů a zařízení na zpracování amositu, krokydolitů a chrysotilu. Onemocnění byla diagnostikována též u členů jejich rodin a lidí žijících v sousedství dolů. Vznik onemocnění hrozí i při pobytu v budovách, v nichž je azbest zabudován, např. v administrativních budovách, nemocnicích, školách, při jejichž stavbě se v minulosti azbestové materiály zcela běžně používaly [51].

Na základě výsledků experimentálních a epidemiologických studií IARC, definuje WHO azbest jako prokazatelný lidský karcinogen, tedy jako látku, jejíž vdechování může způsobit azbestózu, hyalinózu, karcinom plic a mezoteliom s tím, že u azbestu neexistuje bezpečná úroveň expozice, tedy nejvyšší přípustná koncentrace [13,15].

**a) Hodnoty azbestu v ovzduší, které způsobují onemocnění plic, závisí na celé řadě faktorů, z nichž nejdůležitější jsou tyto [13,34]:**

- ▶ doba od první expozice
- ▶ celková doba expozice azbestu (vztah míry a doby expozice je zvláště významný u karcinomu plic)
- ▶ zda je dotyčný kuřákem (při stejné expozici azbestových vláken jsou kuřáci ohroženi karcinomem plic více než nekuřáci)

**b) Poškození zdraví z azbestu** jsou uvedeny v seznamu nemocí z povolání - příloha *Narizení vlády 290/1995 Sb.* Kapitola III. Nemoci z povolání týkající se dýchacích cest a plic, Položka 2 [13].

**Nemoci plic, pohrudnice (pobřišnice) způsobené prachem azbestu [13]:**

- ▶ **BENIGNÍ** – nenádorová, nezhoubná
  - azbestóza
  - pleurální hyalinóza (s poruchou plicních funkcí)
- ▶ **MALIGNÍ** – zhoubné nádory
  - rakovina plic či hrtanu (spojená s azbestózou nebo hyalinózou pleury)
  - mezoteliom pohrudnice nebo pobřišnice

Podle přílohy č. 8 k *vyhlášce č. 232/2004 Sb. zákona o chemických látkách a přípravcích*, týkající se klasifikace, balení a označování nebezpečných chemických látek a přípravků, všechny výrobky s obsahem azbestu musí být označeny podle Obr. 20 takovýmto štítkem (nebo visačkou) pevně připojeným k výrobku či jeho obalu, nebo přímým potiskem na výrobku či jejich obaly. Výška (H) štítku, visačky či potisku je min. 5 cm a šířka min. 2,5 cm. V horní části označení ( $h_1 = 40 \% H$ ) je uvedeno bílé písmeno „a“ na černém pozadí, v dolní části ( $h_2 = 60 \% H$ ) je pak uveden standardní text v bílé nebo černé barvě na červeném pozadí. Označení výrobku formou potisku se provádí jednobarevně v kontrastu s barvou podkladu. Označení se umístí na každou dodávanou jednotku nebo součástku, jen v případě, že nelze připevnit k výrobku či jeho obalu štítek nebo visačku, použije se příbalový leták [67].



Obr. 20: Označování výrobků obsahujících azbest, Big-bag s označením, že se jedná o azbestový odpad [6,67].

c) Pro upozornění na azbestové nebezpečí se užívají tyto konkrétní výstražné symboly a tzv. R, S věty a jejich kombinace [34,76]:

- **Standardní věty označující specifickou rizikovost (R-věty)**

**R 20** Zdraví škodlivý při vdechování

**R 21** Zdraví škodlivý při styku s kůží

**R 22** Zdraví škodlivý při požití

**R 23** Toxický při vdechování

**R 24** Toxický při styku s kůží

**R 25** Toxický při požití

**R 20/21/22** Zdraví škodlivý při vdechování, styku s kůží a při požití

**R 20/21/22/23 Zdraví škodlivý:** nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním, stykem s kůží a požíváním

**Toxický:** nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním

**R 23/24/25** Toxický při vdechování, styku s kůží a při požití

**R 45** Může vyvolat rakovinu

**R 48** Při dlouhodobé expozici nebezpečí vážného poškození zdraví

**R 48/20 Zdraví škodlivý:** nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním

- **Standardní pokyny pro bezpečné nakládání (S-věty)**

**S 22** Nevdechujte prach

**S 45** V případě nehody, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc, (je-li možno, ukažte toto označení)

**S 53** Zamezte expozici - před použitím si obzarejte speciální instrukce

Ohrožení běžné populace azbestem je za normálních okolností málo pravděpodobné, onemocnění vznikají zejména při a po profesionálních expozicích azbestu a vyvíjí se dlouhodobě (doba latence 10 až 40 let) od prvního kontaktu s azbestem, většinou v době, kdy exponovaný s azbestem již nepřichází do kontaktu. Vlákna o velikosti mikronů mohou poletovat v ovzduší několik desítek hodin a sebemenší pohyb je opět aktivizuje, proto azbest představuje závažné riziko, jsou-li azbestové materiály mechanicky narušovány neboť hlavní expoziční cestou jsou plíce [13].

Negativní účinky azbestu spočívají především v mechanickém dráždění citlivých tkání. Vlákna se mohou dostat až do plicních sklípků, kde způsobí dráždivou místní reakci a tím mohou iniciovat vážné onemocnění. K proniknutí do lidského organismu může dojít i jinými způsoby - mezi možné, ale vzácné zdravotní následky spolknutí azbestových vláken, obsažených ve vodě či hlenu z plic, patří rakovina gastrointestinálního traktu nebo vlákna mohou proniknout střevní stěnou a dostat se do krve (ohrožení kardiovaskulárního, imunitního systému), většinou však všechna projdou během několika dní střevy a jsou vyloučena ve stolici. Nové výzkumy dokonce možnost vzniku rakoviny touto cestou vyvracejí. V případě kontaktu ostrých vláken s pokožkou může dojít k zabodnutí a záněstu do kůže a následnému vzniku tzv. azbestové bradavice [13,34].

Při posuzování rizika karcinogenního potenciálu vláken azbestu je hlavním sledovaným ukazatelem početní koncentrace respirabilních vláken s délkou menší než 5  $\mu\text{m}$  o průměru menším než 3  $\mu\text{m}$  a poměru délky k průměru větším než 3:1 v pracovním ovzduší, dále se bere v úvahu doba jejich přetrvávání ve tkáních spojená s rozpustností, štěpitelností, povrchové vlastnosti (hladká vlákna s ostrými špičatými konci se snadno zabodávají do plicní tkáně, symetrická vlákna se ukládají s nižší pravděpodobností než vlákna nesymetrická, např. vlnitý chryzotil) a chemické složení, které mají vliv na rychlost očišťovacích procesů [34,51].

Lidský organismus se snaží vdechnutým vláknům, která nebyla zachycena řasinkami na začátku horních cest dýchacích a pronikla hlouběji, bránit, např. mukociliárním čistěním - vylučováním hlenu, který je následně vykašláván, nejsou však dostatečně účinné, navíc obranyschopnost může být oslabována, a to hlavně kouřením, neboť azbest zvyšuje vstřebávání a zpomaluje vylučování karcinogenů (např. benzo[a]pyren) obsažených v dehtu z cigaretového kouře [13,65].

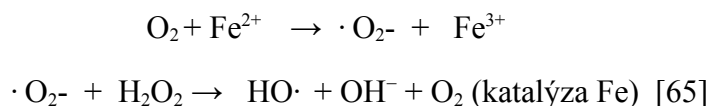
### **Mechanismus působení vlákna a obranné reakce organismu**

Jakmile se azbestové vlákno dostane do plic, organismus aktivuje místní reakci imunitního systému - dochází k aktivaci, lysozomálních enzymů, cytokinů a makrofágů, které vlákno dokáží pohltit, avšak nedokáží je rozložit [13,70].

Vláknem makrofág zevnitř poškodí, ten odumře, přičemž dojde k vyjití obsahu enzymů (způsobují místní podráždění tkáně) i s azbestovým vláknem, které může být pohlceno dalším makrofágem. Proces se opakuje, šíří a tkáň je tak trvale poškozována. Plicní makrofágy při fagocytóze azbestových vláken spotřebují vysoký počet molekul kyslíku, tzv. respirační vzplanutí a produkují volné radikály  $\cdot\text{OH}$ ,  $\cdot\text{O}_2^-$ , označované jako ROS (Reactive Oxygen Species) [65]. Peroxid vodíku produkovaný mitochondriemi se pak v přítomnosti  $\text{Fe}^{2+}$  redukuje tzv. *Fentonovou reakcí* a vzniká hydroxylový radikál, vysoce reaktivní částice tvořící posléze např. lipoperoxidy:



Kyslík povrchovou reakcí s azbestovým vláknem uvolňuje redoxně-aktivní Fe, katalyzující reakci superoxidového aniontu s peroxidem vodíku za vzniku hydroxylového radikálu:



Volné kyslíkové radikály (ROS) a látky vzniklé jejich působením jako lipoperoxidy, způsobují oxidativní stres, jehož následkem je poškození buněčných biomembrán, např. zasažené mitochondrie pak vylučují proteiny, které vyvolávají apoptózu neboli řízenou smrt buněk [65].

Azbestové vlákno zabodnuté nejčastěji v plicní tkáni tedy vyvolává genotoxický oxidativní stres, který vede k místnímu narušení tkání a tím ke vzniku chronických zánětlivých reakcí nebo zhoubného bujení, pro které je typické poškození deoxyribonukleové kyseliny (DNA) tvorbou 8-OHDG (hydroxydeoxyguanosin), tzv. DNA aduktů [68].

Míra poškození tkání a DNA závisí na koncentraci Fe na povrchu azbestových vláken – amfibolová vlákna obsahují od 27 do 33 %, chrysotilová vlákna jen 6 % Fe, avšak jejich cytotoxický efekt je zesilován ionty  $Mg^{2+}$  [65]. Organismus se proti působení volných radikálů v důsledku expozice azbestu brání tvorbou antioxidantů, snižujících jejich reaktivitu a tím také i pravděpodobnost jejich vzniku, jako např. superoxid dismutáza, glutathion peroxidáza, melatonin nebo jejich příjmem v potravě, např. vitaminy, karotenoidy, flavonoidy, polyfenoly. Nadměrný obsah Fe v organismu lze redukovat podáváním chelatačních činidel, která na sebe nadbytečný kov naváží a jsou následně z organismu vyloučena, např. desferioxamin, EDTA (kyselina ethylendiamintetraoctová, Chelaton II) [68].

Jiný způsob zneškodňování vláken, možný jen u chrysotilových, která se v plicích štěpí na menší částice, je částečné rozpouštění enzymy v plicích tekutinách. Naproti tomu amfiboly se v plicích neštěpí a proto ani nerozpouštějí. U lidí vystavených amfibolu se totiž vyvinul mezoteliom častěji než u lidí exponovaných chryzotilu. Dokladem je pokus se zvířaty dlouhodobě vystavenými atmosféře s konstantní koncentrací amfibolových vláken, jejichž koncentrace v plicích se lineárně zvyšovala, při stejném pokusu s několikaměsíční expozicí chryzotilu se jejich koncentrace v plicích zvířat ustálila, což potvrzuje schopnost organismu chryzotilová vlákna částečně zneškodňovat. Stejná koncentrace vláken krokydolitu v ovzduší vyvolává čtyřikrát (u amozitu dokonce desetkrát) častěji onemocnění rakovinou plic než chryzotilu - chryzotil má tedy menší rizikový faktor pro vznik maligního pleurálního mezoteliomu (dále jen MPM) než amfiboly [70].

Rakovinotvorné vlastnosti látek jsou vyjadřovány jednotkou rizika a dávky. Jednotka rizika je vyjádřením pravděpodobnosti, s jakou člověk, který během průměrného věku sedmdesáti let dýchá nepřetržitě vzduch s koncentrací azbestových vláken  $1 \text{ mg/m}^3$ , onemocní na rakovinu jimi vyvolanou. V případě azbestu je jednotka rizika  $2 \cdot 10^{-5}$ , to znamená, že mezi 100 000 lidmi exponovanými celý život, vyvolá azbest dva případy rakoviny [70]. Do plic se dostávají jen vlákna s průměrem pod  $3 \mu\text{m}$  (tzn. 1 000-20 000 vláken denně při koncentraci 100 až  $1\,000 \text{ F/m}^3$ ). Např. ve Velké Británii se připouští ve školách koncentrace do  $500 \text{ F/m}^3$ . U dětí je však dokázána vyšší vnímavost ke karcinogenům v důsledku nevyzrálosti organismu (u dětí 2-16 let až  $3 \times$  vyšší) – mají vyšší depozice azbestu v plicích v důsledku odlišných

anatomicko-fyziologických charakteristik dýchání a také delší délku dožití a tím vyšší riziko vzniku onemocnění při dlouhé latenci. Jednotka dávky (též kumulativní dávka - koncentrace vláken za dobu expozice) vyjadřuje množství škodliviny, které zapříčiní jeden případ rakoviny na 100 000 lidí exponovaných po celý život. V případě azbestu dosahuje hodnoty 50 F/m<sup>3</sup>. Při celoživotní expozici koncentracím azbestu 1 000 F/m<sup>3</sup> v populaci s 30 % kuřáků je riziko vzniku rakoviny v rozmezí 10<sup>-6</sup> až 10<sup>-5</sup> a v případě MPM 10<sup>-5</sup> až 10<sup>-4</sup> [13,70].

Podle Mezinárodní organizace práce (International Labour Organisation – ILO), způsobil azbest v roce 1998 v průmyslových zemích Severní Ameriky, Evropy a Japonska jenom jako příčina mezoteliomu (podle odhadů na základě shromažďovaných dat), úmrtí cca až 10 000 pracovníků ve stavebnictví, z toho v USA 3 000 případů, což je méně než 0,04 % všech úmrtí v USA a v Evropě kolem 5 000 případů. Většina případů úmrtí v důsledku expozice azbestu je rakovina plic, na kterou v zemích západní Evropy, Severní Ameriky a Japonsku ročně umírá až 20 000 lidí ročně.

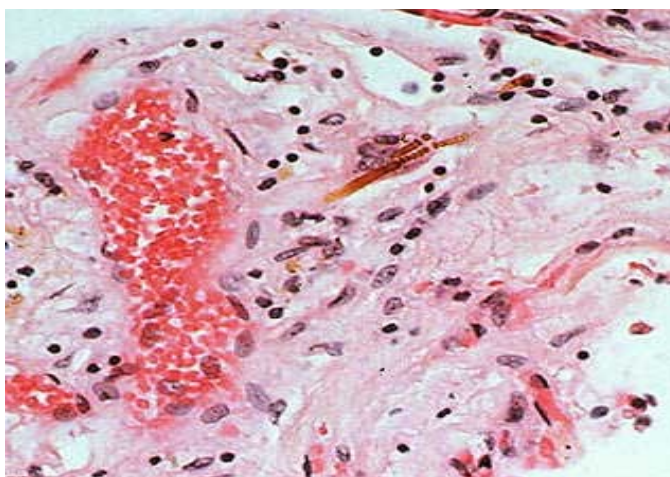
U malignit z azbestu je celosvětově zaznamenáván nárůst zejména u mezoteliomu, hlavně v posledních 25 letech. V Evropě se počet MPM má každoročně zvyšovat až na 9 000 úmrtí v roce 2018 [60]. V příštích 35 letech je v západní Evropě předpokládáno cca 250 000 úmrtí jako důsledek expozice azbestu v minulosti. Výjimku tvoří severské země, kde počet nových případů MPM v posledních letech stagnuje a jeví mírnou tendenci k poklesu, přesto je např. ve Švédsku zaznamenáno více úmrtí následkem dlouhodobého účinku expozice azbestu, než je celkový počet případů smrtelných pracovních úrazů [13]. V ČR jsou trendy u maligních onemocnění z azbestu obdobné jako v okolních státech (tj. nárůst počtu případů), např. incidence karcinomu plic v Olomouckém kraji je nad celostátním průměrem a jeví vzestupnou tendenci – v letech 1995-2000 se prevalence zvýšila na 680 z 586 případů na 100 000 obyvatel [50].

Počet profesionálně exponovaných osob v ČR byl odhadován v roce 1997 v rámci CAREX - Mezinárodního informačního systému profesionálních expozicí karcinogenům na základě získaných hodnot hygienické služby na více jak 55 000 pracovníků, z toho 28 000 ve stavebnictví. Z tohoto důvodu je sledování osob profesionálně exponovaných (dispenzarizace) nutností [13,83].

### 4.2.1 Azbestóza

Případy azbestózy byly dokumentovány již na přelomu 19. a 20. století. Závažnost onemocnění závisí především na množství vdechnutých azbestových vláken, z nichž nejnebezpečnější jsou ta o velikosti 5 až 0,3  $\mu\text{m}$ , a dále na délce expozice. Onemocnění vzniká v důsledku dlouhodobého vdechování nižších koncentrací s latencí 20-30 let. Vlákná způsobují těžké postižení plicního parenchymu (Obr. 21). U lidí vystavených vysokým koncentracím při výkonu povolání, např. dělníků, pracujících v prostředí se zvýšenou emisí azbestových vláken, se pomalu vyvíjí difúzní fibróza plic a pohrudnice - funkční plicní epitel se mění na fibrózní vazivo (tkáň získává zjizvený vzhled), které neumožňuje plicní tkáni plné rozpínání (snížení plicní poddajnosti – compliance) a tím činí dýchání obtížným – často je přítomna chronická bronchitida, dech je krátký, nemocný trpí suchým (neproduktivním) kašlem a progredující námahovou, později i klidovou dušností, způsobenou snížením přítoku krve do plic, kterým se tak nedostává patřičné množství kyslíku. Tento nedostatek se organismus snaží nahradit zvýšenou srdeční činností, která může dále vést ke zbytnění srdečního svalu [34,59].

Přesto, že jde o závažné onemocnění, které může vést ke smrti, má obvykle pozvolný průběh s typickým nálezem na rentgenu plic, kde je patrné symetrické postižení, postupně se šířící, nepravidelná lineární až skvrnitá zastínění, začínající v dolních plicních polích. Azbestózu lze jako nemoc z povolání hlásit od roku 1947, na našem území bylo od roku 1964 hlášeno 244 případů [13,59].



**Obr. 21:** Částice azbestu v plicní tkáni [59].

#### 4.2.2 Karcinom plic

Karcinom plic je nejčastější formou rakoviny v průmyslových oblastech se silně znečištěným ovzduším. Poznatky o spojitosti expozice azbestu a karcinomu plic pochází z poloviny 30. let 20. století [40], celkové riziko expozice amfibolu nebo směsi amfibolu a chrysolitu je 3-4 × větší oproti expozici pouze chrysotilu [44,51]. Souvislost mezi karcinomem plic a expozicí azbestu poprvé potvrdily kohortové studie u pracovníků textilního průmyslu v polovině 50. let 20. století [7,14]. Mimořádně vysoké riziko rakoviny plic způsobené interakcí expozice azbestu a kouření, které potencuje značné karcinogenní účinky azbestových vláken, bylo pokusně vysvětleno u dělníků, kteří byli téměř všichni kuřáci pracující s tepelnou izolací [79]. Tab. 4 ukazuje vztah interakce kouření a expozice azbestu ve vztahu k rakovině plic u dělníků ze Spojených států (USA), Velké Británie (VB) a Kanady.

**Tab. 4:** Riziko rakoviny u kuřáků exponovaných azbestu [5].

Zaměstnání	Relativní riziko	95% CI	
		Horní okraj	Dolní okraj
Izolatéři (USA)	1	0	5
Dělníci pracující s amozitem	5,3	0,3	2,6
Ženy v dělnických profesích (VB)	0,7	0,1	3,4
Muži v dělnických profesích (VB)	3	0,8	7,5
Horníci, drtiči (Quebeck, Kanada)	1,8	0,7	5,4
<b>Celkem</b>	1,8	1,1	2,8

Další studie specificky zaměřené na hodnocení relativního významu jednotlivých povolání byly provedeny v USA a Kanadě [45]. Výzkum vztahů expozice-účinek a expozice-odpověď potvrdil souvislost mezi expozicí a velikostí odpovědi a také synergické účinky kouření a expozice azbestu [37]. Důkazy se opírají o více než 100 kohortových studií, množství studií případů a kontrol, experimenty na zvířecích a buněčných modelech, z nichž ty nejdůležitější s nejlepším bodovým odhadem 2,0 [37] a 2,3 byly předmětem rozborů – IARC 1977, Steenland 1996 [87], IPCS (International Programme on Chemical Safety - Mezinárodní program pro bezpečnost chemických látek) 1998, Nurminen a Karjalainen 2001 [54]. Výsledky studií vztahu dávka-odpověď s individuálním hodnocením délky a intenzity expozice jsou uvedeny v Tab. 5 [43].

**Tab. 5:** Odhad nárůstu relativního rizika rakoviny plic u mužů v kohortových studiích hodnotících individuální expozici [43].

Studie	Typ vláken	Počet úmrtí na rakovinu plic	Vzestup relativního rizika
<b>Těžba a zpracování</b>			
McDonald et al.1980	Chryzotil	230	0,0004
McDonald et al.1986	Tremolit	23	0,01
Amandus and Wheeler 1987	Tremolit	20	0,0006
Armstrong et al., 1989	Krokydolit	92	0,01
<b>Textil</b>			
Dement et al. 1982	Chryzotil	26	0,01
McDonald et al. 1983	Chryzotil	59	0,01
McDonald et al. 1983	Směs	53	0,009
Peto et al. 1985	Směs	93	0,01
<b>Cementové výrobky</b>			
Henderson and Enterline 1979	Směs	63	0,001
Hughes et al., 1987	Směs	22	0,0003
<b>Obložení brzd apod.</b>			
Berry and Newhouse 1983	Směs	143	0
McDonald et al. 1984	Chryzotil	73	0

Riziko úmrtí na karcinom plic u nekuřáků exponovaných azbestu se v literatuře uvádí asi  $4,85 \times$  vyšší, u exponovaných kuřáků je více než  $50 \times$  vyšší, ve srovnání s neexponovanou populací nekuřáků a pro neexponované kuřáky je toto riziko vyšší  $11 \times$ . Azbest podle odhadů způsobuje pouze 2-3 % všech případů karcinomu plic, některé studie uvádí dokonce 4-12 %. Onemocnění se projevuje až po 15 letech a maximum jeho výskytu je mezi 20-30 lety od počátku expozice, kdy rovněž záleží na její míře [51]. Je-li karcinom plic spojen s azbestózou nebo hyalinózou pleury, lze onemocnění hlásit jako nemoc z povolání [12,59].

### **4.2.3 Hyalinóza pleury**

Hyalinóza pleury patří k nejčastějším projevům expozice azbestu, k výskytu dochází zhruba u 1/3 exponovaných osob. Vznik a rozsah onemocnění závisí především na míře expozice, projevuje se nejdříve za 15 let, k výraznějšímu zhoršení tohoto onemocnění dochází po 30 až 40 letech od počátku expozice. Dochází k lokálním změnám vaziva v reakci na přítomnost azbestových vláken v pleurální (pohrudniční) dutině, postihují parietální či viscerální pleuru (pohrudnici či poplicnici), případně i peritoneum (pobřišnici). K transportu vláken azbestu dochází lymfatickou cestou z alveolů (plicních sklípků) nebo přímým přestupem přes pleuru. Onemocnění má různé formy, mohou se tvořit ohraničené, kalcifikované plaky nebo difúzní pleurální zhuštění, jako následek opakovaných pleuritid, či se tvoří okrouhlé atelektázy (nevzdušnost plic) a bývá většinou objeveno náhodně na rentgenu plic a pokud není rozsáhlé, obvykle nevede k výrazným zdravotním obtížím, jako je pokles plicních funkcí. V případě, že je spojena s poruchou funkcí plic, lze ji od roku 1996 ohlásit jako nemoc z povolání. Do současnosti bylo hlášeno přes 200 případů [13,59].

### **4.2.4 Mezoteliom pleury**

Pleura je vazivová blána pokrývající jak hrudní stěnu - pleura parietální (pohrudnice), tak také plíce - pleura viscerální (poplicnice), mezi nimi je prostor vyplněný tekutinou umožňující pohyb. Nádorové onemocnění vycházející z pleurálních epitelů, se nazývá maligní pleurální mezoteliom (MPM). Jde o velmi agresivní formu zhoubného nádoru, který někdy bývá označován jako „azbestová rakovina“ [82]. Podíl MPM a karcinomu plic je u exponovaných osob cca 1:2. Narozdíl od karcinomu plic, u MPM kouření pravděpodobnost výskytu onemocnění nezvyšuje, rakovinné bujení vzniká na vnitřní výstelce dutiny hrudní (i břišní), nebo na povrchu plic, zatímco pro rakovinu plic je typické zasažení jejich vnitřních částí.

Hlavním faktorem vzniku MPM je délka a průměr vlákna - ta o velikosti 1-0,3  $\mu\text{m}$  se dostávají spolu s vdechovaným vzduchem až do alveolů, odkud se mohou dostat k pleuře, čímž dochází k mechanickému dráždění a poškození buněk s karcinogenním účinkem, který je výrazně vyšší u amfibolů. Předmětem výzkumu jsou i genetické predispozice a vliv virových infekcí. MPM je relativně vzácné onemocnění, avšak zvýšená incidence (počet případů za rok) je i u osob žijících ve společné domácnosti s exponovanými pracovníky, kteří domů přinášejí azbestová vlákna ve vlasech a šatech [13,59,82].

První publikace dokazující, že expozice azbestu je kromě rakoviny plic i příčinou MPM s prokazatelnou latencí 30-40 let, a proto se vyskytuje nejčastěji mezi 50.-70. rokem, pochází z 60. let 20. století [51,100]. Se vzrůstající těžbou azbestu od 60. let, stoupal s odstupem 30 až 40 let i výskyt MPM, u mužů  $3,5 \times$  a u žen  $1,4 \times$ . V posledních desetiletích mortalita na MPM stoupá o 5-10 % ročně a maximum výskytu onemocnění se odhaduje kolem roku 2020. Incidence je v současnosti v ČR u mužů odhadována na 10-66, u žen pak na 1-25 případů na 1 000 000 osob. Výskyt MPM v ČR sledují Ústav pro zdravotnické informace a statistiku a Národní registr nemocí z povolání [82].

#### **a) Příznaky onemocnění**

MPM patří k nejzlobnějším a nejobtížněji ovlivnitelným onemocněním s malou šancí na vyléčení (medián přežití 4-18 měsíců), často je diagnostikován až po úmrtí pacienta. Hlavním příznakem MPM je dušnost, bolest na hrudi, v zádech podle rozsahu nádoru (jím způsobeným výpotkem), sílící dráždivý kašel (později i vykašlávání krve), horečka, noční poty, úbytek váhy a snížení chuti k jídlu, anemie, slabost, chrapot, poruchy polykání, zvětšování obvodu pasu (nádor prorůstá do dutiny břišní), vyklenutí postižené části hrudníku [60,82].

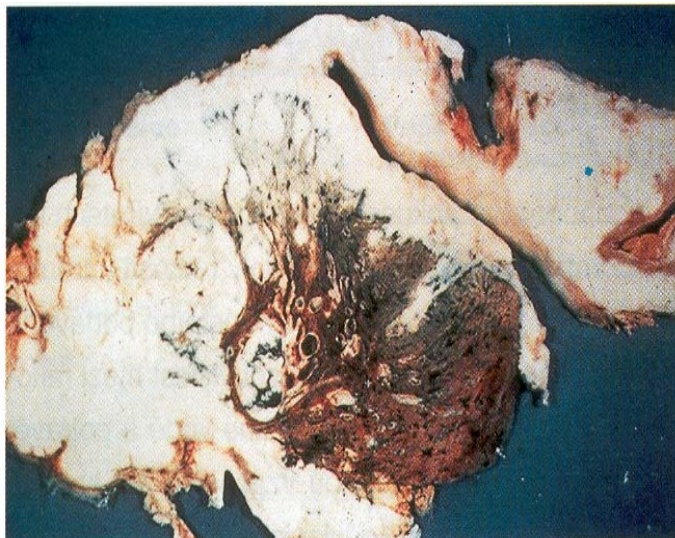
**Podle současné klasifikace má MPM čtyři stadia [60,82]:**

- I. stadium:** zasahuje pravou či levou pleuru, může se stejnostranně šířit do plic, osrdečníku nebo bránice, bez postižení lymfatických uzlin
- II. stadium:** zasahuje povrch stejnostranné pleury, plíce, nebo bránici, může prorůstat stejnostranně do osrdečníku či průdušnice, bez postižení lymfatických uzlin
- III. stadium:** zasahuje stejnostranně hrudní stěnu, svaly, žebra, srdce, jícen či ostatní orgány, lymfatické uzliny na straně nádoru mohou být postiženy
- IV. stadium:** zasahuje lymfatické uzliny na druhé straně hrudníku, než se vyskytuje nádor, postihuje druhostrannou pleuru či plíci, prorůstá do orgánů dutiny břišní či krku, zřídka jsou přítomny vzdálené metastázy

#### **b) Stanovení diagnózy**

Na základě anamnézy (soubor údajů od narození do současnosti), která se zaměřuje na výskyt nádorových onemocnění v rodině, délku, trvání a typ obtíží, kuřáctví včetně pasivního a na zjištění expozice chemickým či fyzikálním rakovinotvorným látkám v pracovním prostředí, je určeno, zda se nejedná o nemoc z povolání. Základním vyšetřením - poslech a pohmat hrudníku a lymfatických uzlin v oblasti krku a nadklíčku, (lze najít uzliny postižené nádorem), z odběru krve, eventuálně dalších biologických tekutin (pohrudniční výpotek může

obsahovat nádorové buňky) za účelem provedení laboratorních vyšetření a pro následující vyšetření zobrazovacími instrumentálními metodami. Nejčastěji je diagnóza stanovena histologickým rozbořem odebrané nádorové tkáně v místním nebo celkovém znečitlivění (biopsie) [60,82].



**Obr. 22:** Mezoteliom pleury [51].

#### c) Instrumentální metody vyšetření [60,82]

- ▶ **Rentgenové vyšetření hrudníku (RTG)** – základní zobrazovací vyšetření plic, mezihrudí skeletu hrudníku. Onemocnění je rozpoznatelné nepravidelným uzlovitým ztluštěním pleury a kalcifikací.
- ▶ **Počítačová tomografie (CT)** – preferována k určení rozsahu onemocnění, vztahu k okolním strukturám a potvrzení či vyloučení metastáz.
- ▶ **Magnetická rezonance (MRI)** – umožňuje posouzení prorůstání nádoru do hrudní stěny, bránice či osrdečníku, či ke zjištění mozkových metastáz. Někdy doplňuje CT.
- ▶ **Pozitronová emisní tomografie (PET)** – prokazuje chemické a metabolické změny nádorové tkáně, čímž odhaluje změny ve tkáních dříve, než by byly prokázány RTG, CT nebo MRI, používá se k identifikaci rozsahu tumoru a přítomnosti metastáz.
- ▶ **Ultrazvukové vyšetření** – může prokázat přítomnost metastáz v ostatních orgánech, postižení lymfatických uzlin a přítomnost pohrudničního výpotku.
- ▶ **Bronchoskopické vyšetření** – nález bývá u MPM negativní. Při lokální anestezii je zaveden tenký přístroj do dýchacích cest umožňující prohlédnutí průdušnice, průdušek a odebrání vzorků k histologickému a cytologickému vyšetření.

#### **d) Metody léčby**

Chirurgická léčba je možná jen u ohraničené formy nádoru a je doplněna systémovou chemoterapií, která může tlumit příznaky nemoci (dušnost a bolest) a zamezuje recidivě nádoru a jeho šíření. Spočívá v podávání cytostatik (např. cisplatina) v kombinaci s kyselinou listovou a vitamínem B<sub>12</sub>, které snižují nežádoucí účinky léčby (nevolnost, zvracení, neutropenie - úbytek bílých krvinek, horečky, trombocytopenie - úbytek krevních destiček - hrozí krvácivost, anemie). Chemoterapie bývá provázena dočasnou ztrátou vlasů, někdy dochází k přechodnému poškození sliznice v ústech a sliznice střev. Další možností je radioterapie - radikální ozáření - je využíváno k odstranění nepříjemných symptomů nemoci při prorůstání nádoru do hrudní stěny. Radioterapie může být provázena nevolností, slabostí, zarudnutím a suchostí kůže v ozařované oblasti. Po ukončení léčby zhoubného onemocnění je nutno pacienta sledovat, intervaly mezi lékařskými kontrolami pak závisí na stádiu onemocnění a klinickém stavu pacienta [60,82].

#### **4.2.5 Prevence poškození zdraví**

S nárůstem poznatků o zdravotních účincích azbestu se jeho výroba a použití postupně omezovaly – protiprašná opatření od poloviny 70. let, pokles spotřeby azbestu a postupný přechod na bezazbestovou výrobu od 90. let, od roku 2000 následovalo omezení dovozu, distribuce a zpracování.

V ČR je od roku 2003, stejně jako ve všech členských zemích EU od roku 2005, používání azbestových materiálů, s výjimkou asanačních, výzkumných nebo analytických zakázáno, avšak některé státy v unii a mimo ni tak učinily již před tímto datem, např. Norsko, Švédsko a Švýcarsko v letech 1984-1989, Rakousko, Holandsko, Finsko, Itálie, Německo, Francie, Belgie a Velká Británie v letech 1990-1999 a mezi roky 2000-2005 USA, Austrálie, Brazílie, JAR, Japonsko, Lucembursko, Portugalsko, Španělsko, Řecko.

Veškeré materiály s azbestovými vlákny jsou postupně odstraňovány a nahrazovány bezpečnějšími. Jedná se o základní kroky v prevenci vzniku onemocnění způsobených azbestovými vlákny [9,13].

**Pro sanační, výzkumné a analytické práce platí následující pravidla prevence [12,13]:**

► **Organizace práce:**

Podání hlášení orgánu ochrany veřejného zdraví podle prováděcího právního předpisu min. 30 dní před zahájením prací s expozicí biologickými činiteli a azbestem, vymezení kontrolovaného pásma s přísnými bezpečnostními pravidly, kontrola a pravidelná údržba odsávacích zařízení, pracovních oděvů a pomůcek, evidence exponovaných pracovníků a zajištění preventivní péče.

► **Technické a technologické úpravy:**

Užití enkapsulantů, místní odsávání, hermetizace, fixace, pravidelné čištění podlah, stěn a povrchů, odstraňování odpadů v uzavřených a označených obalech, zajištění bezpečného skladování a zacházení s nebezpečnými chemickými látkami (biologickými činiteli) dle právních předpisů, měření faktorů pracovních podmínek a odstranění příčin překročení limitních hodnot ukazatelů biologických expozičních testů.

► **Osobní ochranné prostředky:**

Používání pouze nepoškozených celotělových ochranných obleků, respirátorů, filtrů a masek uchovávaných odděleně od civilních oděvů na určeném místě.

► **Kontrola zdravotního stavu pracovníků:**

Preventivní prohlídky u osob exponovaných azbestu podle závažnosti rizika, jejichž náplní je provedení anamnézy, vlastního lékařského vyšetření včetně zhodnocení vlivu expozice ve vztahu k ostatním nemocem, RTG hrudníku hodnocené dle mezinárodních standardů ILO pro hodnocení změn způsobených azbestem a vyšetření plicních funkcí – spirometrie, vyšetření celkové plicní kapacity a difúzní kapacity plic.

**Preventivní prohlídky se provádí:**

- **Vstupní** - před nástupem do zaměstnání s rizikem expozice
- **Periodické** - v pravidelných intervalech: do 15 let od začátku expozice 1× za 2-3 roky  
více než 15 let od začátku expozice 1× za 1-2 roky
- **Výstupní** - při ukončení pracovního poměru
- **Následné** - 1 × za 1-3 roky
- **Mimořádné** - mimo pravidelné termíny (např. po dlouhodobé nemoci, která by mohla mít vliv na změnu zdravotní způsobilosti)

► **Zdravotní výchova** - podpora nekuřáctví, dodržování opatření k ochraně zdraví

Preventivní lékařská vyšetření nemusí být zaměřena vždy jen na odvětví, kde pracovníkům hrozí pravidelná expozice (doly, průmyslové podniky azbest zpracovávající, stavebnictví), např. v USA byl vypracován program „The Veterans Administration’s Asbestos Abatement Program“, zahrnující periodické lékařské prohlídky, zaměřené na identifikaci azbestózy a rakoviny plic u zdravotnického personálu, zdůrazňující kouření jako synergický faktor. Intaktní a neporušený materiál obsahující azbest nepředstavuje zdravotní riziko, avšak je nutno dbát u takových staveb preventivních bezpečnostních pravidel, hlavně registrovat všechny možné zdroje azbestových vláken před sanací objektů, pravidelně kontrolovat stav po enkapsulaci bez rozdílu, zda budou v bezpečné formě odborně odstraněny, ponechány na místě nebo dojde k celkové demolici budovy, aby nedošlo k jejich úniku a zamoření okolí [12,13,70].

### **4.3 Legislativa České republiky v rámci EU**

Legislativa ČR popisuje problematiku azbestu řadou právních předpisů vlastních a přijatých souvisejících s členstvím země v Evropské unii. Již od roku 1967 jsou všechny typy azbestu podle klasifikace IARC *Směrnici rady* (dále jen SR) *548/EEC*, hodnoceny jako karcinogeny [51]. O devět let později vydaná *SR 1976/769/EHS* hovoří o nutnosti sjednocování právních a správních předpisů pro omezení používání nebezpečných látek, jako je azbest, ve všech členských zemích. Evropské společenství zavedlo pro ochranu zaměstnanců v roce 1983 *SR 477/EEC*, která zakazuje aplikaci azbestu nástřikem a zároveň stanovuje expoziční limity, [34] a dále *SR 478/EEC* zavádějící povinné označení všech výrobků s azbestem a s výjimkami zakazující použití a prodej chrysotilu [78].

O dva roky později bylo *SR 610/EEC/1985* zakázáno použití všech amfibolů. Další nařízení Rady Evropského společenství, *SR 217/EEC/1987*, se zabývala kontrolou azbestového odpadu v rámci prevence znečišťování životního prostředí [63]. Roku 1991 Evropské společenství novou *SR 382/EEC* snížilo pro chryzotil max. hladinu expozice na 0,6 F/ml a pro amfiboly na 0,3 F/ml vzduchu a byly zrušeny výjimky ze zákazu používání chryzotilu [34]. Vydáním *Směrnice komise 1999/77/EEC* Evropská komise rozhodla o úplném zákazu všech azbestů a začátku jeho odstraňování. Podle čl.16 *Směrnice 1999/31/EC Příloha II* byla *Rozhodnutím Rady 2003/33/EC* stanovena kritéria pro příjem azbestových odpadů na skládkách. Evropský parlament vydal *SR2003/18/EC* o ochraně zaměstnanců před riziky expozice azbestu při práci nahrazující původní Směrnici z roku 1983 [51,63].

Nejdůležitější zákonná opatření v Československu spojená s azbestem byly hlavně zákon č. 20/1966 Sb. o péči o zdraví lidu ve znění pozdějších předpisů, Směrnice ministerstva zdravotnictví (dále jen MZ) č. 49/1967 ve znění Směrnic MZ č. 17/1970 o posuzování zdravotní způsobilosti k práci a vyhláška MZ č. 145/1988 o Úmluvě č. 161 o závodních zdravotních službách. V Československu bylo zakázáno aplikovat azbest nástřikem a jeho použití povoleno jen tam, kde nebylo možno užít jiný materiál, Směrnici MZ – hlavního hygienika č. 64/1984 Sb., která azbest zařadila mezi prokázané lidské karcinogeny [63,78].

Onemocnění způsobená azbestovými vlákny byla v ČR zařazena Přílohou k Nařízení vlády (dále jen NV) č. 290/1995 Sb., na seznam nemocí z povolání. Rok 1997 přinesl zákaz výroby azbestocementu a dalších materiálů, proto by v budovách stavěných po tomto datu již neměly být přítomny. 1. ledna 1999 začala platit vyhláška ministerstva životního prostředí (dále jen MŽP) č. 301/1998 Sb. stanovující seznam chemických látek a omezující jejich distribuci a používání a vstoupil v platnost zákon č. 157/1998 Sb., o chemických látkách upravující jejich klasifikaci, registraci, balení, označování, uvádění na trh a manipulaci s nimi, avšak byl posléze nahrazen zákonem č. 352/1999 Sb., definující v Příloze č. 2 aktinolit, amosit, antofylit, krokydolit a tremolit jako látky v ČR zakázané, s výjimkou chrysotilu, jehož použití zůstalo povoleno např. pro vojenské účely [51,63]. Podle zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví se musí všechny práce s azbestem (odstraňování, demolice) hlásit 30 dní před zahájením Krajské hygienické stanici. Odpady s obsahem azbestu se zabývá zákon o odpadech č. 185/2001 Sb., vyhláška MŽP č. 381/2001 Sb., stanovující Katalog odpadů a Seznam nebezpečných odpadů týkající se udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a vyhláška MŽP č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, stanovující podmínky jejich ukládání na skládky. NV č. 178/2001 Sb. stanovující podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, zařazuje azbest v „Seznamu karcinogenů“ do skupiny karcinogenů 1, limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů vnitřního prostředí staveb pak stanovuje vyhláška MZ č. 6/2003 Sb. [63,78].

Vstupem ČR do EU platí zákaz uvádění výrobků obsahujících azbest na trh podle zákona č. 356/2003 Sb., o chemických látkách a přípravcích ve znění pozdějších předpisů. Podmínkami pro práce s azbestem, biologickými činiteli a jejich zařazováním do kategorií se zabývá vyhláška MZ č. 432/2003 Sb. stanovující limitní hodnoty ukazatelů BET (biologické expoziční testy) a podmínky odběru biologického materiálu pro jejich provedení.

Problematiku materiálů s azbestem a azbestovým odpadem řeší *zákon č. 188/2004 Sb.* a *vyhláška MŽP č. 221/2004 Sb.*, a několik zákonů z roku 2005, např. *zákon č. 7/2005 Sb.*, *zákon č. 106/2005 Sb.* a dále *vyhláška č. 294/2005 Sb.*, která popisuje technické požadavky na ukládání odpadů na skládky a využívání povrchu terénu nad nimi. Další postupy při nakládání s azbestovými odpady jsou uvedeny v *Metodickém pokynu MŽP pro nakládání se stavebními a demoličními odpady* [34,63,78].

V roce 2006 byla EU zahájena kampaň o azbestu v jejímž rámci vydal Evropský parlament *Nařízení č. 166/2006EC* zřizující Evropský registr úniků a přenosů znečišťujících látek (*European Pollutant Release and Transfer Register dále – E-PRTR*) - tento registr určuje prahovou hodnotu 1kg/rok pro úniky azbestu do vody, půdy a vzduchu ze zařízení na výrobu materiálů s azbestem. Pokud jde o demoliční práce, musí být podle *vyhlášky č. 499/2006 Sb.*, *o dokumentaci staveb*, před jejich započatím proveden stavebně technický průzkum na výskyt azbestu. Podmínky ochrany pracovníků při těchto činnostech jsou dány *zákonem č. 309/2006 Sb.* a *vyhláškou č. 394/2006 Sb.*, určující podle informací o rozsahu a době trvání prací, zda jde o práce s ojedinělou a krátkodobou expozicí azbestu. Ochranou zdraví při práci s azbestem se znovu zabývá *NV č. 361/2007 Sb.*. Zda jsou všechny předpisy pro nakládání s azbestem dodržovány, kontroluje Česká inspekce životního prostředí [38,78].

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo shrnout informace o celkové problematice azbestu v životním prostředí. Vycházíme-li z dostupných údajů, je patrné, že azbest je stále obsažen v mnoha, především stavebních, materiálech stále se vyskytujících ve veřejných budovách. Lidé tak mohou být dlouhá léta exponováni azbestu, aniž by si uvědomovali riziko, jaké pro jejich zdraví tato expozice znamená.

Z poznatků získaných prostudováním informací z odborné literatury a databázových informačních zdrojů vyplývá, že azbest provází lidstvo značnou částí jeho historie, zvláště pak v posledních dvou staletích byl masivně využíván pro své specifické fyziálně-chemické vlastnosti. Práce přitom poukazuje na skutečnost podceňování rizikovitosti azbestu navzdory znalostem o vážných onemocněních způsobených dlouhodobou expozicí a představuje možnosti minimalizace zdravotního a ekologického rizika.

Závěrem je nutno dodat, že azbestová zátěž představuje závažné zdravotní a ekologické riziko pro současné i budoucí generace, neboť jak je v práci uvedeno, nejen že odstraňování azbestových materiálů je záležitost dlouhodobá, finančně i technologicky náročná, azbest je stále v nezanedbatelné míře těžen a zpracováván, spotřebováván je pak hlavně v rozvojových zemích, kde nejsou zavedena omezující opatření.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Typy dvojitych řetězců tetraedrů $\text{SiO}_4$ .....	9
Obr. 2: Vlákniatá odrůda riebeckitu – krokydolit (Griqualand, JAR) .....	10
Obr. 3: Detail vláken chryzotilu v homině (Holubov, ČR) .....	11
Obr. 4: Vlákniatý chryzotil (Cassiar, Kanada) .....	11
Obr. 5: Světová produkce azbestu v letech 1900-2009 .....	17
Obr. 6: Světová produkce azbestu v letech 2000-2010 .....	17
Obr. 7: Protipožární nástřik ocelové konstrukce .....	19
Obr. 8: Vlnitá střešní krytina z eternitu .....	19
Obr. 9: Struktura Kevlaru .....	26
Obr. 10: Snímek azbestového vlákna pořízený rastrovacím elektronovým mikroskopem ...	32
Obr. 11: Kontrované pásmo .....	37
Obr. 12: Dekontaminační komory .....	37
Obr. 13: Balení azbestového materiálu .....	38
Obr. 14: Výstroj pracovníka odstraňujícího azbest .....	38
Obr. 15: Penetrace azbestu enkapsulantem (primer) .....	39
Obr. 16: Aplikace enkapsulantu nízkotlakým bezvzduchovým zařízením, odstraňování ....	39
Obr. 17: „Uzamykání“ reziduálních vláken na stěnách a stropech (Foster® 32-80) .....	39
Obr. 18: Obr. č. 19: „Uzamykací“ postřik na stále horké povrchy (Foster® 32-22) .....	39
Obr. 19: Osávání podlahy .....	41
Obr. 20: Označování výrobků obsahujících azbest, Big-bag s označením, že se jedná o azbestový odpad .....	44
Obr. 21: Částice azbestu v plicní tkáni .....	50
Obr. 22: Mezoteliom pleury .....	54

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Amfibolové azbesty .....	10
Tab. 2: Serpentinový azbest .....	11
Tab. 3: Přehled stavebních materiálů s obsahem azbestu, které byly v Československu a České republice vyráběny .....	20
Tab. 4: Riziko rakoviny u kuřáků exponovaných azbestu .....	50
Tab. 5: Odhad nárůstu relativního rizika rakoviny plic u mužů v kohortových studiích hodnotících individuální expozici .....	51

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Asbestos History, 2010. Mesothelioma Asbestos Awareness Center.  
<http://www.maacenter.org/asbestos/history.php> (accessed Aug 05, 2012).
- [2] Azbest: Nakládání s azbestovými materiály a odpady, 2007. Krajská hygienická stanice Jihomoravského kraje se sídlem v Brně.  
[http://www.khsbrno.cz/katalog/souodkaz/hok\\_azbest\\_hok.doc](http://www.khsbrno.cz/katalog/souodkaz/hok_azbest_hok.doc) (accessed June 28, 2012).
- [3] Azbest, 2012. IRZ. <http://www.irz.cz/node/120> (accessed June 22, 2012).
- [4] BÁČOVÁ, M. *Základní knihnice odborných činností ve výstavbě: Odstraňování staré azbestové zátěže při provádění udržovacích prací, změn dokončených staveb a odstraňování staveb*; Informační centrum ČKAIT: Praha, 2007.
- [5] BERRY, G.; NEWHOUS, M. L.; ANTONIS, P. Combined effects of asbestos exposure and smoking on mortality from cancer and mesothelioma in factory workers. *Br J Ind Med* **1985**, *42*, 12–18.
- [6] Big-bag s označením, že se jedná o azbestový odpad, 2012. REMOVAL.  
<http://removal.cz/aktuality/kde-konci-azbestovy-odpad/> (accessed April 01, 2012).
- [7] BRESLOW, L. Industrial aspects of bronchogenic neoplasma. *Dis Chest* **1955**, *28*, 421–430.
- [8] BUCKINGHAM, D. A.; VIRTA, R. L. Asbestos statistics 2010, 2012. U.S. Geological Survey. <http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/asbestos.pdf> (accessed March 19, 2012).
- [9] ČERVENKA, V.; et al. *Výbrané kapitoly ze základní problematiky azbestu: Azbest a jeho nebezpečnost*; Skanska: Praha, 2006.
- [10] ČÍŽEK, J. Chemické látky - Azbest, 2002. ČSCHI. <http://www.cschi.cz/urppz/azbest.asp> (accessed Feb 11, 2012).
- [11] ČSN EN ISO 16000–7. *Vnitřní ovzduší – Část 7: Postup odběru vzorku při stanovení koncentrace azbestových vláken v ovzduší*. Praha: ČNI, 2008.
- [12] DLOUHÁ, B. Azbest v pracovním prostředí., 2006. SZÚ.  
<http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/azbest-v-pracovnim-prostredi> (accessed Jan 13, 2012), Praha.
- [13] DLOUHÁ, B. Azbest – vliv na zdraví., 2012. SZÚ.  
[http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz\\_dny\\_a\\_seminare/2012/2\\_dlouha\\_azbest\\_vliv\\_na\\_zdravi.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz_dny_a_seminare/2012/2_dlouha_azbest_vliv_na_zdravi.pdf) (accessed Aug 13, 2012), Praha.
- [14] DOLL, R. Mortality from lung cancer in asbestos workers. *Br J Ind Med* **1955**, *12*, 81-86.
- [15] EMINGER, S. AZBEST- situace ve zkratce, 2011. EnwiWeb.  
<http://www.enwiweb.cz/clanek/bozp/88621/azbest-situace-ve-zkratce> (accessed July 30, 2012).

- [16] Enkapsulace, 2012. TEMATI. <http://www.temati.com/cz/encapsulation.aspx> (accessed Aug 02, 2012).
- [17] Enkapsulace, 2012. TEMATI. [http://www.temati.com/files/Downloads/General/UK/Selection\\_Guide/Selection\\_guide-Asbestos\\_Abatement-WEB.pdf](http://www.temati.com/files/Downloads/General/UK/Selection_Guide/Selection_guide-Asbestos_Abatement-WEB.pdf) (accessed March 02, 2012).
- [18] Enkapsulace, 2012. TEMATI. [http://www.temati.com/files/Downloads/TDS/CZ/TDS%20Foster/TDS-Foster\\_32-60\\_61\\_CZ.pdf](http://www.temati.com/files/Downloads/TDS/CZ/TDS%20Foster/TDS-Foster_32-60_61_CZ.pdf) (accessed June 02, 2012).
- [19] FABÍK, M.; NOVÁK, F.; Kužvart, M. *Ložiska nerudných surovin ČSR*; Univerzita Karlova: Praha, 1983.
- [20] FORESTI, E.; GAZZANO, M.; GUALTIERI, A. F.; LESCI, I. G.; LUNELL, B.; PECCHINI, G.; RENNA, E.; ROVERI, N. Determination of low levels of free fibres of chrysotile in contaminated soils by X-ray diffraction and FTIR spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **2003**, 376 (5), 653–658.
- [21] Fotogalerie objektů s možným obsahem azbestu, 2012. OMNIPURE. <http://www.omnipure.cz/?fotogalerie-objektu-s-moznym-obsahem-azbestu> (accessed Feb 03, 2012).
- [22] Fotogalerie z prací, 2012. REMOVAL. <http://removal.cz/galerie/fotogalerie-z-praci/> (accessed Jan 09, 2012).
- [23] GILLEPSIE, J. W.; CHAIR, Jr.; et al. *High-Performance Structural Fibers for Advanced Polymer Matrix Composites*; The National Academies Press: Washington, 2005.
- [24] GRÉGR, J. Skleněná vlákna - historie a současnost, 2003. Czech designe. <http://www.czechdesign.cz/index.php?lang=1&clanek=34&status=c> (accessed April 16, 2012).
- [25] HERKA, P. Požární odolnosti betonů - Praktické zkoušky a změny ve zkušebních tělesech, 2010. TV STAV. <http://tvstav.cz/clanek/374-pozarni-odolnosti-betonu-prakticke-zkousky-a-zmeny-ve-zkusebnich-telesech> (accessed Aug 08, 2012).
- [26] CHRT, J.; WOLLER, F. Wollastonit - nová surovina v České republice ? *Geologický průzkum* **1990**, 32 (7), 205–208.
- [27] International Minerals Statistics and Information, 2012. U.S. Geological Survey. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/> (accessed July 09, 2012).
- [28] ISO 10397. *Stationary source emissions – Determination of asbestos plant emissions – Method by fibre count measurement*. Geneva: ISO, 1993.
- [29] JIRÁSEK, J. Riebeckit - Sbírkový geologického pavilonu VŠB-TU Ostrava, 2007. Geologie VŠB. <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/nerudy/riebeckit.html> (accessed July 02, 2012).

- [30] JIRÁSEK, J. Chryzotil - Sbírký geologického pavilonu VŠB-TU Ostrava, 2006. Geologie VŠB. <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/nerudy/chryzotil.html> (accessed Aug 02, 2012).
- [31] Kde končí azbestový odpad ?, 2012. REMOVAL. <http://removal.cz/aktuality/kde-konci-azbestovy-odpad/> (accessed Feb 05, 2012).
- [32] KEEGAN, N. *Raw Materials for Pigments, Fillers and Extenders*, 3rd ed.; Worcester Park: Industrial Minerals Information Limited, 1999.
- [33] Kevlar, 2006. CoJeCo – vaše encyklopedie. [http://www.cojeco.cz/index.php?s\\_term=&s\\_lang=2&detail=1&id\\_desc=387428](http://www.cojeco.cz/index.php?s_term=&s_lang=2&detail=1&id_desc=387428) (accessed Jan 28, 2012).
- [34] KLEGER, L. Azbest, 2010. Arnika. <http://arnika.org/azbest> (accessed April 07, 2012).
- [35] KOŽÍŠEK, F.; PUMMAN, P. Stanovisko NRC pro pitnou vodu k používání azbestocementových potrubí pro dopravu pitné vody část 1., 2002. [www.szu.cz](http://www.szu.cz). <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/azbest.pdf> (accessed July 13, 2012), Praha.
- [36] LÉBR, T. Vražedný azbest přivedl před italský soud bývalé šéfy společnosti Eternit. *iDNES.cz* [Online] 2009. [http://zpravy.idnes.cz/vrazedny-azbest-privedl-pred-italsky-soud-byvale-sefy-spolecnosti-eternit-1be-/zahranicni.aspx?c=A091210\\_143601\\_zahranicni\\_ash](http://zpravy.idnes.cz/vrazedny-azbest-privedl-pred-italsky-soud-byvale-sefy-spolecnosti-eternit-1be-/zahranicni.aspx?c=A091210_143601_zahranicni_ash) (accessed Aug 12, 2012).
- [37] LEE, P. Relation between exposure to asbestos and smoking jointly and the risk of lung cancer. *Occupational and Environmental Medicine* 2001, 58, 145–153.
- [38] Legislativa zabývající se problematikou azbestu, 2007. Hygienická stanice hl. m. Prahy. [http://www.hygpaha.cz/files/Azbest\\_legislativa\\_web.pdf](http://www.hygpaha.cz/files/Azbest_legislativa_web.pdf) (accessed May 05, 2012).
- [39] Likvidace azbestového nebezpečí, 2003. EKOSTAR. <http://ekostar.cz/index.php?2> (accessed July 02, 2012).
- [40] LYNCH, K. M.; SMITH, W. A. Pulmonary asbestosis III: Carcinoma of the lung in asbestos-silicosis. *Am J Cancer* 1935, 24, 56–64.
- [41] MALIŠ, J. Geneze minerálů. Geologie VŠB. <http://geologie.vsb.cz/malis/Vznik%20miner%C3%A1l%C5%AF.pdf> (accessed Feb 05, 2012), VŠB-TU Ostrava.
- [42] MALIŠ, J.; VAVRO, M.; KURKOVÁ, Z.; ŘEZNÍČEK, P. Vermikulit a jeho použití pro technické a stavební účely. *Minerální suroviny - Surowce mineralne* 2005, 7 (4), 22–25.
- [43] McDONALD, J. C. *Epidemiology of work related diseases*; BMJ Publishing Group: London, 1995.
- [44] McDONALD, J. C. *Recent results in cancer research: Cancer risk due to asbestos and man-made fibres*; Springer-Verlag: Berlin – Heidelberg, 1990.

- [45] McDONALD, A. D.; McDONALD, J. C. Malignant mesothelioma in North America. *Cancer* **1980**, *46*, 1650–1656.
- [46] Metody měření znečišťujících látek v únicích do vody, 2012. IRZ. <http://www.irz.cz/node/120> (accessed Jan 13, 2012).
- [47] MIKULČÁK, J.; et al. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky*, 3rd ed.; Prometheus: Praha, 2004.
- [48] MILITKÝ, J. Vysoce výkonná vlákna, 2008. FT VŠLIB. [http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20081021/3-vysoce\\_vykonna.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20081021/3-vysoce_vykonna.pdf) (accessed June 13, 2012).
- [49] Minerální vata – fakta – díl 1., 2011. Tepelná izolace Josef Cifrain. <http://www.tepelna-izolace.cz/mineralni-vata-fakta-dil-prvni.html> (accessed Aug 06, 2012).
- [50] NAKLÁDAL, Z.; NAKLÁDALOVÁ, M.; JANOUT, V.; KOLLÁROVÁ, H. Azbest na pracovišti a karcinom plic. *Pracovní lékařství* **2005**, *57* (2), 41–42.
- [51] Nakládání s odpady obsahujícími azbest, 2012. SZÚ Praha. [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/puda/legislativa\\_odpady/odpady\\_azbest.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/puda/legislativa_odpady/odpady_azbest.pdf) (accessed March 30, 2012).
- [52] NIOSH method 7400. *Manual of Analytical Methods: Asbestos and other fibers by PCM*. Washington: OSHA, 1994.
- [53] NIOSH method 7402. *Manual of Analytical Methods: Asbestos by TEM*. Washington: OSHA, 1994.
- [54] NURMINEN, M.; KARJALAINEN, A. Epidemiologic estimate of the proportion of fatalities related to occupational factors in Finland. *Scandinavian Journal Work* **2001**, *27*, 161–213.
- [55] Odstraňování azbestu z interiérů, 2012. REMOVAL. <http://removal.cz/odstranovani-azbestu-z-interieru/> (accessed July 01, 2012).
- [56] Odstranění azbestu, 2007. Corro Bohemia. <http://www.corro.cz/cs/odstraneni-azbestu.php> (accessed March 04, 2012).
- [57] O perlitu, 2011. PERLIT. <http://www.perlit.cz/?re=1&sk=1> (accessed Feb 04, 2012).
- [58] Para-aramids, 1997. IPCS Inchem. <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol68/p-aram.html> (accessed Jan 14, 2012).
- [59] PELCLOVÁ, D. *Nemoci z povolání a intoxikace*, 2nd ed.; Karolinum: Praha, 2006.
- [60] PETO, J.; DECARLI, A.; LA VECCHIA, C.; LEVI, F.; NEGRI, E. The European mesothelioma epidemic. *British Journal of Cancer* **1999**, *79*, 666–672.

- [61] PETRÁNEK, J. Geologická encyklopedie - Amfibol, 1993. ČGS.  
<http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?> (accessed July 20, 2012).
- [62] PÍŠA, R. Je libo eternit nebo věčnost ? *Věstník Muzea cenných papírů č.4* [Online] **2010**.  
<http://www.das-mcp.cz/muzeum/inc1/ve1004.pdf> (accessed April 25, 2012).
- [63] Postup při řešení problematiky azbestových odpadů, 2006. EnviWeb.  
<http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/58279/postup-pri-reseni-problematiky-azbestovych-odpadu> (accessed March 04, 2012).
- [64] POTTER, M. J. Mineral Commodity Summaries - Vermiculite, 2007. Minerals USGS.  
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/vermiculite/vermimcs07.pdf>  
 (accessed May 10, 2012), USA: U.S. Geological Survey.
- [65] POUZAR, M. Toxické účinky azbestu, 2012.  
[http://www.mpouzar.net/prednasky\\_prumtox.htm](http://www.mpouzar.net/prednasky_prumtox.htm) (accessed April 03, 2012), Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice.
- [66] Produkty - Žároizolační materiály, 2011. INHEAT.  
<http://www.inheat.cz/produkty&idk=33> (accessed Feb 03, 2012).
- [67] Příloha č. 8 k vyhlášce č. 232/2004 Sb., 2012. EuroChem Group Portals.  
[http://www.wcontact.cz/index/toxi2006/232\\_a8.htm](http://www.wcontact.cz/index/toxi2006/232_a8.htm) (accessed Jan 06, 2012).
- [68] RACEK, J. Oxidační stres a možnosti jeho ovlivnění; Galén: Praha, 2003.
- [69] RACLAVSKÁ, H.; KUCHAROVÁ, J.; PLACHÁ, D. *Podklady k provádění Protokolu o PRTR – Přehled metod a identifikace látek sledovaných podle Protokolu o registrech úniků a přenosů znečišťujících látek v únicích do půd*; VŠB: MŽP Praha, 2008.
- [70] REICHRTOVÁ, E. Azbest ve vol'nom ovzduší. *Vesmír* [Online] **1997**, 76, 271.  
<http://www.vesmir.cz/clanek/azbest-vo-volnom-ovzdusi> (accessed July 15, 2012).
- [71] REMY, H. *Anorganická chemie*; SNTL: Praha, 1972.
- [72] RINGO, W. P. Asbestos as a work hazard. Determining what was known and when. *Professional Safety* **2004**, 49 (10), 51–56.
- [73] ROBERTA, C.; BARBALCE. A Brief History of Asbestos Use and Associated Health, 2004. EnvironmentalChemistry.  
<http://EnvironmentalChemistry.com/yogi/environmental/asbestoshistory2004.html> (accessed June 03, 2012).
- [74] Ročenka nerostných surovin, 2002. ČGS-Geofond.  
[http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur\\_rocenky/rocenkanerudy02/html/import\\_sur.htm](http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur_rocenky/rocenkanerudy02/html/import_sur.htm) (accessed March 24, 2012).
- [75] RÖSLER, H. J. *Lehrbuch der Mineralogie*, 5th ed.; Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie: Leipzig, 1991.

- [76] R, S věty, 2007. Chemservis. <http://www.chemservis.cz/vety.htm> (accessed June 27, 2012).
- [77] Sanace azbestu, 2010. BELFOR. [http://www.belfor.com/Uploads/Documents/BELFOR\\_sanuje\\_azbest.pdf](http://www.belfor.com/Uploads/Documents/BELFOR_sanuje_azbest.pdf) (accessed April 02, 2012).
- [78] Sbírka zákonů, 2012. epravo. <http://www.epravo.cz/top/zakony/sbirka-zakonu.html> (accessed Feb 07, 2012).
- [79] SELIKOFF, I. J.; HAMMOND, E. C.; CHURG, J. Asbestos exposure, cigarette smoking, and neoplasia. *JAMA* **1968**, *20* (4), 104–110.
- [80] SCHNEIDER, T.; DAVIES, L. S. T.; BURDETT, G.; TEMPELMAN, J.; PULLEDA, S.; JORGENSE, O.; BUCHANAN, D.; PAOLETTI, L. Development of a method for the determination of low content of asbestos fibres in bulk material. *Analyst* **1998**, *123*, 1393–1400.
- [81] SKÁLA, R. Nová klasifikace a nomenklatura skupiny amfibolů. *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze* **1998**, *6*, 295–300.
- [82] SKŘIČKOVÁ, J.; STAŇKOVÁ, Y. O maligním pleurálním mezoteliomu, 2010. Česká onkologická společnost České lékařské společnosti Jana Evangelisty Purkyně. <http://www.linkos.cz/zhoubne-nadory-prudusek-plic-a-pohrudnice-c33-34/o-malignim-pleuralnim-mezoteliomu/> (accessed Jan 24, 2012).
- [83] SMERHOVSKY, Z.; KAUPPINEN, T. *Occupational exposure to carcinogens in the Czech Republic in 1997*; Finnish Institute of Occupational Health: Helsinki, 2000.
- [84] Snímek azbestových vláken – amosit (SEM), 2012. Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě - Oddělení Očkování a cestovní medicíny v Brně. <http://www.ockovanibrno.cz/Content/files/novinky/azbest1.png> (accessed May 20, 2012).
- [85] Speciální analýzy, 2011. ALS Laboratory Group. [http://www.alsglobal.eu/cz/category\\_specialtyservices.asp?Division=ENV](http://www.alsglobal.eu/cz/category_specialtyservices.asp?Division=ENV) (accessed March 25, 2012).
- [86] Specifikace materiálu: Kevlar, 2008. ODETKA. [http://www.odetka.cz/net20/cz/specmat\\_kevlar.aspx](http://www.odetka.cz/net20/cz/specmat_kevlar.aspx) (accessed May 03, 2012).
- [87] STEENLAND, K.; LOOMIS, D.; SHY, C.; SIMONSEN, N. Review of occupational lung carcinogens. *American Journal of Industrial Medicine* **1996**, *29*, 474–490.
- [88] STRUNZ, H.; NICKEL, E. H. *Strunz Mineralogical Tables*, 9th ed.; Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung: Stuttgart, 2001.
- [89] Superfund Method for the Determination of Releasable Asbestos in Soils and Bulk Material, 2004. EMSL Analytical. <http://www.emsl.com/index.cfm?nav=News&action=show&NewsID=47> (accessed May 25, 2012).

- [90] SVOBODA, K. Československé azbesty. *Geologický průzkum* **1987**, 29 (3), 71–75.
- [91] Teflon (PTFE), 2009. VSS. <http://www.vss-plasty.cz/plastove-polotovary/teflon.html> (accessed June 30, 2012).
- [92] Technical textiles, 2012. Business co-ordintaion house. <http://www.bch.in/about-technical-textiles.html> (accessed May 06, 2012).
- [93] TUČEK, K. *Naleziště českých nerostů a jejich literatura 1951 - 1965*; Academia: Praha, 1970.
- [94] Uhlíkové vlákno, 2012. Wikipedie: otevřená encyklopedie. [http://cs.wikipedia.org/wiki/Uhl%C3%ADkov%C3%A9\\_vl%C3%A1kno](http://cs.wikipedia.org/wiki/Uhl%C3%ADkov%C3%A9_vl%C3%A1kno) (accessed April 07, 2012).
- [95] VELEBIL, D. Serpentina, 2008. <http://www.velebil.net/mineraly/serpentina> (accessed April 27, 2012).
- [96] Vermiculite : Vermiculite mineral information and data, 2012. MINDAT. <http://www.mindat.org/min-4170.html> (accessed May 29, 2012).
- [97] VIKTORA, A. Azbestová hrozba visí nad tisíci školami i nemocnicemi. *iDNES.cz* [Online]2011. [http://zpravy.idnes.cz/azbestova-hrozba-visi-nad-tisici-skolami-i-nemocnicemi-p1v-/domaci.aspx?c=A111129\\_210734\\_domaci\\_abr](http://zpravy.idnes.cz/azbestova-hrozba-visi-nad-tisici-skolami-i-nemocnicemi-p1v-/domaci.aspx?c=A111129_210734_domaci_abr) (accessed July 21, 2012).
- [98] VIRTA, R. L. Minerals Yearbook 2006 - Wollastonite, 2007. Minerals USGS. URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/wollastonite/wollamyb06.pdf> (accessed July 18, 2012), USA: U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey.
- [99] Vlákna azbestu, 2005. Jihočeský mineralogický klub. <http://www.mineraly.org/klubjm/muzeum/032/text.htm> (accessed Feb 12, 2012).
- [100] WAGNER, J. C.; SLEGGES, C. A.; MARCHAND, P. Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in the Mort Western Cape Province. *Br J Ind Med* **1960**, 17, 260–271.
- [101] ZIMÁK, J. Ložiska nerostných surovin, část 3, 2005. Katedra geologie PřF UP Olomouc [http://www.geology.upol.cz/Soubory/2005\\_Zimak\\_Jiri\\_Loziska\\_nerostnych\\_surovin3.pdf](http://www.geology.upol.cz/Soubory/2005_Zimak_Jiri_Loziska_nerostnych_surovin3.pdf) (accessed Jan 18, 2012).

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych srdečně poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Jiřímu Bendlovi, CSc. za odborné vedení, vstřícnost, poskytnuté cenné rady a pomoc při zpracování této bakalářské práce. Bylo mi ctí zpracovávat bakalářskou práci pod jeho vedením.