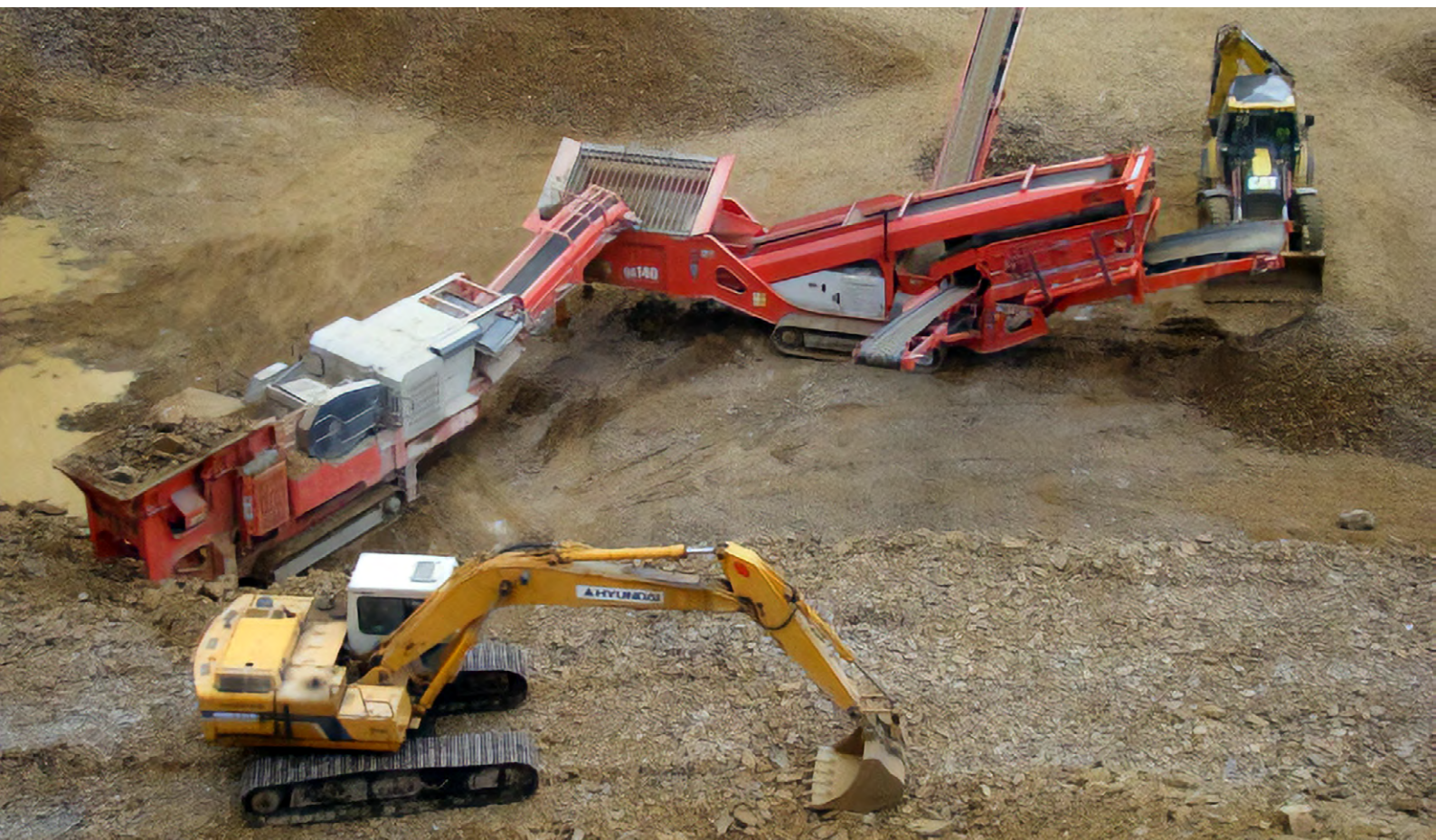


# VÝROBA A SPRACOVANIE NERASTNÝCH SUROVÍN



Príručka pre okresné úrady  
v oblasti ochrany ovzdušia

**Názov:** Výroba a spracovanie nerastných surovín

Príručka pre okresné úrady v oblasti ochrany ovzdušia

**Autori:** prof. Ing. Marián Schwarz, PhD., Ing. Vladimír Lalík, PhD.

**Jazykové korektúry:** Denisa Dovičovičová

**Grafická úprava:** Mgr. Richard Watzka

**Vydavateľ:** © Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Slovenská agentúra životného prostredia  
Tajovského 28, 975 90 Banská Bystrica

**Rok vydania:** 2023

**Počet strán:** 82

Elektronická verzia

**ISBN:** 978-80-8213-116-4

# OBSAH

<b>POUŽÍVANÉ SKRATKY</b> .....	<b>4</b>
<b>1. ŤAŽBA A MECHANICKÉ SPRACOVANIE NERASTNÝCH SUROVÍN</b> .....	<b>5</b>
1.1. Charakteristika a výskyt niektorých nerastných surovín .....	5
1.2. Ťažba nerastných surovín .....	10
1.3. Úprava nerastných surovín .....	11
1.4. Environmentálne vplyvy ťažby a úpravy nerastov .....	12
1.5. Najlepšie dostupné techniky (BAT) ťažby a úpravy rúd .....	16
<b>2. VÝROBA CEMENTU</b> .....	<b>18</b>
2.1. Vlastnosti .....	18
2.2. Environmentálne vplyvy .....	21
2.3. Najlepšie dostupné techniky (BAT) na znižovanie emisií .....	21
<b>3. VÝROBA VÁPNA</b> .....	<b>24</b>
3.1. Vlastnosti .....	24
3.2. Technologický postup výroby .....	24
3.3. Environmentálne vplyvy .....	26
3.4. Najlepšie dostupné techniky (BAT) na znižovanie emisií .....	27
<b>4. VÝROBA OXIDU HOREČNATÉHO MGO</b> .....	<b>30</b>
4.1. Vlastnosti .....	30
4.2. Technologický postup výroby .....	30
4.3. Environmentálne vplyvy .....	31
4.4. Najlepšie dostupné techniky (BAT) na znižovanie emisií .....	32
<b>5. VÝROBA KERAMIKY</b> .....	<b>34</b>
5.1. Vlastnosti, použitie, produkcia keramiky .....	34
5.2. Technológia výroby keramiky .....	35
5.3. Environmentálne vplyvy výroby keramiky .....	41
<b>6. VÝROBA SKLA</b> .....	<b>42</b>
6.1. Vlastnosti, použitie, produkcia skla .....	42
6.2. Technológia výroby skla .....	43
6.3. Environmentálne vplyvy výroby skla .....	48
<b>7. VÝROBA MINERÁLNEJ VLNY</b> .....	<b>54</b>
7.1. Technológia výroby minerálnej vlny .....	54
7.2. Environmentálne vplyvy výroby minerálnej vlny .....	56
<b>8. VÝROBA A SPRACOVANIE STAVEBNÝCH HMÔT</b> .....	<b>60</b>
8.1. Výroba betónu .....	60
8.2. Výroba bitúmenových zmesí .....	64
8.3. Recyklačné linky stavebných hmôt .....	72
<b>POUŽITÁ LITERATÚRA</b> .....	<b>76</b>

# POUŽÍVANÉ SKRATKY

AB	asfaltový betón
ARD	(Acid Rock Drainage) kyslé horninové výtoky
AMD	(Acid Mine Drainage) kyslé banské výtoky
BAT	najlepšie dostupné techniky
BREF	referenčný dokument o najlepších dostupných technikách
CB	cementový betón
ČOV	čistiareň odpadových vôd
EN	európska norma
EVA	etylénvinylacetát
IPKZ	integrovaná prevencia a kontrola znečistenia
ISO	medzinárodná organizácia pre štandardizáciu
CRT	(Cathode Ray Tube) obrazovka na princípe katódovej trubice
LCD	(Liquid Crystal Display) obrazovka z kvapalných kryštálov
MTWR	(Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities) skratka BREF-u pre nakladanie s ťažobným odpadom
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NMD	(Neutral mine drainage) neutrálne banské odtokové vody
PAU	polycyklické aromatické uhľovodíky
PCB	polychlórované bifenyly
PCDD	polychlórované dibenzodioxíny
PCDF	polychlórované dibenzofurány
PZZP	podzemné zásobníky zemného plynu
SBS	butadiénstyrén
SCR	selektívna katalytická redukcia
SD	(Saline drainage) solné odtokové vody
MIW	(Mining influenced water) vody ovplyvnené baníctvom
SNCR	selektívna nekatalytická redukcia
TAP	tuhé alternatívne palivo
TMC	technický výkon betonárne
TOC	celkový organický uhlík
TZL	tuhé znečisťujúce látky
VOC	prchavé organické látky

# 1. ŤAŽBA A MECHANICKÉ SPRACOVANIE NERASTNÝCH SUROVÍN

Produktom tejto činnosti – baníctva je surovina na ďalšie spracovanie. Z hľadiska procesov a technológií baníctvo možno rozdeliť na tri hlavné etapy: ťažba nerastov, úprava nerastov (produktom je surovina) a manažment rezíduí.

Nerastné suroviny predstavujú základ hutníckej výroby, výroby v elektrotechnickom, chemickom, stavebnom, keramickom a sklárskom priemysle. Podľa zákona č. 44/1988 Zb. o ochrane a využití nerastných surovín v znení neskorších predpisov sa nerasty delia na vyhradené a nevyhradené. Ložisko predstavuje prírodné nahromadenie nerastu. Ložiská vyhradených nerastov (vyhradené ložiská) sú vo vlastníctve štátu a ložiská nevyhradených nerastov (štrkopiesky, tehliarske suroviny a iné) sú súčasťou pozemku a vlastníkom pozemku je súčasne vlastníkom ložiska.

Vyhradené ložiská sa klasifikujú podľa viacerých kritérií:

- podľa zásob na zásoby pravdepodobné a predpokladané;
- podľa možnosti a vhodnosti hospodárskeho využitia zásob ložiska na bilančné a nebilančné zásoby; bilančné zásoby sú zásoby využiteľné pri súčasnom stave techniky, technológie a ekonomiky;
- podľa možnosti dobývania sú zásoby viazané (zásoby v ochranných pilieroch povrchových a podzemných stavieb) a voľné.

Podľa charakteru nerastu a oblasti hlavného využitia sa nerastné suroviny delia na štyri skupiny:

- energetické suroviny, kam patria uhlie, lignit, ropa, zemný plyn a urán (U). Z nich rafinárske produkty ropy a zemný plyn sú aj dôležitými surovinami na výrobu veľkoobjemových anorganických produktov, ako sú amoniak, kyselina dusičná, hnojivá, ale aj surovín pre syntetické polyméry;
- rudné suroviny predstavujú skupiny železných (čiernych) Fe-rúd a neželezných nerastov;
- nerudné nerastné suroviny zahŕňajú širokú paletu materiálov, ktorých spoločným znakom je to, že sa používajú ako pomocné prostriedky v priemyselných výrobách. Ich využitie určuje aj mineralogické zloženie a tiež zrnitosť po úprave. Rôznorodá je aj ich geologická dostupnosť. Najvýznamnejšie sú: uhličitan vápenatý (mletý a zrážaný), magnezit, živce, mastenec, kaolín, pórovité íly, perlit, bentonity, zeolity;
- stavebné nerastné suroviny: predstavujú materiály priamo aplikované v stavebníctve, ako sú štrkopiesky, stavebný kameň, tehliarske suroviny – hliny a pod.

## 1.1. Charakteristika a výskyt niektorých nerastných surovín

### 1.1.1. Energetické suroviny

**Ropa:** prírodná kvapalná zmes plyných, tekutých a rozpustených uhľovodíkov a ich derivátov s priemerným obsahom uhlíka 85 %, vodíka 13 %, kyslíka 2 % (merná hmotnosť 0,75 – 1,0 g.cm<sup>-3</sup> a zvyčajne 0,85 g.cm<sup>-3</sup>; výhrevnosť 28 – 42 MJ.kg<sup>-1</sup>). Podľa chemického zloženia sa rozlišuje viacero typov, napr. ropa parafinická, nafténická, aromatická alebo asfaltická. Ropa je základnou surovinou pre energetiku (pohonné hmoty), chemický a farmaceutický priemysel.

Najväčšie ložiská ropy a tiež zemného plynu sa na Slovensku nachádzajú na okraji Viedenskej panvy v oblasti Záhoria. Druhou oblasťou je Východoslovenská panva, kde sa nachádzajú najproduktívnejšie piesčité horizonty – spišsko-šarišská oblasť v okolí Lipian. Ťažobná spoločnosť na Slovensku: Nafta, a. s., Gbely.

**Zemný plyn:** tvorí zmes plyných a prchavých uhľovodíkov s prevládajúcim obsahom metánu ( $\text{CH}_4$ ) > 75 %. Prítomné môžu byť aj vyššie uhľovodíky a iné plyny ( $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ , vzácne plyny). Vyskytuje sa buď v samostatných ložiskách, alebo spolu s ropou, kde tvorí tzv. plynové čiapky. V ťaženom plyne bývajú aj prímеси ropy, vody a piesku. Okrem využitia v energetike zemný plyn je základnou surovinou v chemickom priemysle (výroba amoniaku, kyseliny dusičnej, dusíkatých hnojív a iných). V energetike sa nahradzuje inými palivami na báze obnoviteľných zdrojov (nosiče energie). Ložiská zemného plynu sa na Slovensku, podobne ako v prípade ropy, nachádzajú v slovenskej časti Viedenskej panvy (najpreskúmanejšia plynonosná časť Slovenska) a v časti Východoslovenskej panvy. Časť zemného plynu sa uskladňuje v podzemných zásobníkoch zemného plynu (PZZP), ktoré sa nachádzajú v južnej časti panvy (Gajary, Jakubov, Studienka, Suchohrad). Tieto PZZP sa evidujú ako ložiská, hoci nejde o prirodzenú akumuláciu plynu. Majú však významné postavenie pri transporte plynu cez územie. V súčasnosti existujú dve možnosti skladovania zemného plynu:

- a) konverzia/skvapalnenie na kvapalnú fázu (pri cca  $-160\text{ }^\circ\text{C}$ ) a jeho uskladnenie v podchladených nádržiach. Toto je vhodné a možné pre malé objemy plynu;
- b) uskladnenie plynu v podzemí, a to v pórovitých rezervoároch alebo kavernách.

Na Slovensku sa vybuďovalo niekoľko PZZP (Láb, Malacky, Suchohrad-Gajary, Jakubov) a ich výstavba pokračuje. Všetky PZZP sú v podstate konvertované bývalé plynové a ropo-plynové ložiská.

**Hnedé uhlie:** fyto génný kaustobiolit v nižšom preuholňovacom štádiu. Obsah uhlíka je nižší ako 73,5 %, obsah prchavej horľaviny nad 50 % a výhrevnosť pod  $24\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Lignit je druh hnedého uhlia, najmenej preuholňeného, zväčša xylitického charakteru, so zachovanými kmeňmi a úlomkami drevín. Hnedé uhlie, ale aj lignit sa využíva najmä v energetike, v menšej miere v chemickom priemysle. Niektoré druhy lignitu sú využiteľné ako hnojivá a ako sorbenty ťažkých kovov. Upravený lignit sa používa ako prísada pri výrobe tehál.

**Urán (U):** je najťažší prvok periodickej sústavy. Je rádioaktívny s polčasom rozpadu  $4,5\cdot 10^9$  rokov (prirodzenú rádioaktivitu majú všetky izotopy U). V čistom stave je urán biely lesklý kov. Urán sa nachádza v niekoľkých desiatkach minerálov, z ktorých najvýznamnejšie sú oxidy (uraninit/smolinec), fosfáty (torbemit, autunit), silikáty (ceffinit) a organické látky (antraxonit). Minimálna ťažená kovnosť je 0,03 – 0,1 %  $^{238}\text{U}$  v závislosti od typu ložiska a spôsobu ťažby. Produktom úpravy uránových nerastov je koncentrát obsahujúci 70 – 90 % oxidu-U. V minulosti sa zlúčeniny uránu používali pri výrobe farieb pre sklárstvo a keramiky. V súčasnosti sa z neho vyrábajú palivové články do jadrových reaktorov, na prípravu rádioizotopov pre medicínu, defektoskopiю a inde. Značné množstvo uránu je deponované v jadrových zbraniach. Teoreticky je možné prepracovanie vyhoretých palivových článkov, kde zostáva asi 80 % U. Z ekonomických a ekologických dôvodov sa o tomto spôsobe neuvažuje a vyhoreté články sa skladujú. V jadrovej energetike nie je možné uvažovať o náhrade  $^{235}\text{U}$  tóriom alebo  $^{238}\text{U}$  (zmluvy o nešírení jadrových zbraní). V prípade použitia tzv. reaktorov s rýchlymi neutrónmi (Th,  $^{238}\text{U}$ ) vznikajú štiepne materiály na výrobu jadrových zbraní. Ložiská uránu na Slovensku sa nachádzajú na dvoch lokalitách, a to v okolí Košíc a Spišskej Novej Vsi-Novoveskej Hute.

**Tabuľka 1:** Počet ložísk a ťažba energetických surovín v SR (2008)

Surovina	Ropa	Zemný plyn	Hnedé uhlie/ lignit	Urán
Počet ložísk	11	38	11 / 8	2
Ťažba	21 kt	111.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2075 kt	-

Zdroj: Baláž & Kúšik [Eds], 2009

### 1.1.2. Rudné suroviny

**Antimón (Sb):** striebrostosivý kov s nízkou tepelnou a elektrickou vodivosťou (merná hmotnosť 6,68 g.cm<sup>-3</sup>; t. t. 630 °C). Zlúčeniny antimónu sa používajú pri výrobe nehorľavých materiálov (textílie, plasty, gumy, farbivá, stavebné materiály) ako súčasti reagensov, pri výrobe zliatin s Pb, pri výrobe batérií, munície, káblov, ložiskových kovov, skla, keramiky a iné. Recykluje sa hlavne antimónové olovo z výroby batérií, literiny a ložiskového kovu.

**Meď (Cu):** mäkký kujný kov (merná hmotnosť 8,96 g.cm<sup>-3</sup>; t. t. 1083 °C). Meď sa používa hlavne v elektrotechnike (50 %), v strojárstve (20 %), v stavebníctve, pri výrobe zliatin bronzu a mosadze. Cu sa recykluje hlavne pyrometalurgickou cestou (hydrometalurgicky iba zriedkavo). Podiel recyklovanej Cu na celkovej produkcii tvorí asi 20 %.

**Olovo (Pb):** mäkký striebrosivý kov (merná hmotnosť 11,34 g.cm<sup>-3</sup>; t. t. 327 °C). Olovo sa používa hlavne pri výrobe batérií (70 %), pri výrobe farbív a chemikálií (13 %), ďalej pri výrobe kontajnerov a v iných výrobkoch na adsorpciu rádioaktívneho žiarenia. Pre svoju toxicitu sa použitie Pb v niektorých oblastiach obmedzuje a nahrádza sa inými materiálmi, napr. plastmi v stavebníctve, v automobilizme tetraetylolovo nahradili iné antideťonátory. Podiel recyklovaného Pb na celkovej výrobe neustále rastie (asi 60 % Pb je z recyklácie). Najviac recyklovaného Pb pochádza z batérií, v menšej miere zo spotrebiteľského, spracovateľského a výrobného odpadu.

**Ortuť (Hg):** striebristý kov, pri izbovej teplote tekutý (merná hmotnosť 13,5 g.cm<sup>-3</sup>; t. t. 38,87 °C), vyniká veľkou migračnou schopnosťou. Zlúčeniny Hg a jej pary sú prudko jedovaté. Len 0,02 % Hg je koncentrovaných v ložiskách a zvyšok je v disperznej forme. Napriek toxicite je Hg pre svoje špecifické vlastnosti nenahraditeľná zložka – metalurgia Au, Ag, Pt, elektrolytická výroba Cl<sub>2</sub> a NaOH, elektrotechnika a osvetľovacia technika, elektrochémiá a laboratórna technika, katalyzátory v organickej syntéze. V ostatných oblastiach sa ortuť a jej zlúčeniny nahradili alebo sa postupne nahrádzajú inými materiálmi, napr. dentálne amalgámy keramickými kompozitmi, v batériách sa Hg nahrádza Li, Ni, Cd. Údaje o recyklácii Hg sú známe z r. 2000, keď v USA celá potreba bola pokrytá recyklovanou Hg.

**Striebro (Ag):** mäkký kujný kov s vynikajúcou elektrickou vodivosťou a schopnosťou legovať iné kovy (merná hmotnosť 10,5 g.cm<sup>-3</sup>; t. t. 960 °C). Najviac Ag sa spotrebuje v elektronike a elektrotechnike, použitie v klenotníctve a fotografickom priemysle má klesajúcu tendenciu. Striebro sa používa pri výrobe zliatin (5 %) a razení mincí (3 %), pri čistení vody, výrobe zrkadiel a špeciálnych odrazových povrchov, pri výrobe batérií a katalyzátorov, v jadrovej energetike, v medicíne. Recyklácia Ag je technologicky jednoduchá, ale napriek tomu podiel recyklovaného Ag je nízky (pravdepodobne pre pokles ceny Ag a náhrady Ag inými materiálmi, napr. pri výrobe zrkadiel hliníkom a ródium, v chirurgických nástrojoch a kostných náhradách tantalom a špeciálnou oceľou). Najviac Ag sa recykluje v USA.

**Zinok (Zn):** sivý mäkký a kujný kov (merná hmotnosť 7,14 g.cm<sup>-3</sup>; t. t. 419,5 °C). Najviac Zn sa používa na pozinkovanie (47 %), výrobu zliatin (mosadz – 19 %), odliatkov (14 %), valcovaného materiálu pre stavebníctvo a výrobu batérií. Zn sa recykluje pyrometalurgicky alebo hydrometalurgicky,

hlavne z rôznorodého zinkového odpadu (šrot, plechy, zliatiny, úlety, oxidy, chemikálie). Podiel Zn recyklátu na celkovej potrebe Zn je asi 35 %.

**Zlato (Au):** žltý kujný kov (merná hmotnosť 19,3 g.cm<sup>-3</sup>; t. t. 1063 °C). Zlato má vynikajúcu elektrickú vodivosť, je odolné voči kyselinám, alkáliám a ich soliam, kyslíku, sulfánu a ľahko sa „rozpúšťa“ v Hg (vzniká amalgám). Asi 84 % Au sa využíva na výrobu šperkov, potom v elektrotechnike, na výrobu mincí a medailí, špeciálnych zliatin v leteckom priemysle, pri výrobe reflektorov infračerveného žiarenia a inde. Zlato sa recykluje z priemyselného i zlatníckeho odpadu. Odhaduje sa 30- až 50-percentný podiel recyklovaného Au na celkovej spotrebe.

**Železo (Fe):** sivý kujný kov (merná hmotnosť 7,87 g.cm<sup>-3</sup>; t. t. 1563 °C). Fe-rudy sa používajú hlavne na výrobu surového železa, a to buď neupravené, alebo ako prachové rudy a koncentráty, upravené aglomeráciou alebo peletizáciou, a na výrobu ocele. Len malá časť Fe-rudy sa používa na nemetallurgické účely (výroba pigmentov, feritov, cementu). Čisté železo pre svoje magnetické vlastnosti je významným konštrukčným materiálom v elektrotechnike. Recyklácia Fe je značne rozšírená. Podiel železného odpadu (ocelový odpad, zlomková liatina) pri výrobe ocele je v celosvetovom meradle okolo 40 %. Dôvodom využívania železného odpadu je výrazné zníženie nákladov na palivo a energiu (o 80 %).

**Tabuľka 2:** Ťažba rudných nerastov na Slovensku (r. 2008)

Kov	Fe	Cu	Pb	Zn	Hg	Ag	Au
Ťažba	392 kt	(a,b)	0,1 kt (a)	(a)	(b)	198 kg (a)	90 kg (c)

Zdroj: Baláž & Kúšik [Eds], 2009

(a) – Cu, Zn, Pb, Ag v malom množstve sa nachádzajú v zlatonosnom koncentráte z ťažby v Hodruši

(b) – Cu a Hg sa nachádzajú v sulfidovom koncentráte z polymetalickej rudy z ložiska Rudňany

(c) – Au v koncentráte z bane Rozália, Hodruša

Treba poznamenať, že mnohé z evidovaných neťažených ložísk predstavujú ložiská, kde prebiehala ťažba v minulosti (banskoštiavnicko-hodrušský rudný revír, Špania Dolina, Ľubietová, Slovenské rudohorie a iné).

### 1.1.3. Nerudné nerasty

**Azbest:** technický názov skupiny minerálov, ktoré majú charakter ohybných vlákien, tzv. chryzolitový azbest, alebo krehkých vlákien, tzv. amfibolový azbest (karcinogén). Chryzolit pokrýva asi 93 % ťažby azbestu a využíva sa najmä pri výrobe azbestového cementu (85 %), žiaruvzdorných tkanív, izolačných dosiek. Recyklácia azbestu nemá podstatný význam. Kvôli potvrdenej karcinogenite sa nahrádza inými materiálmi, ako sú vápenaté silikáty, vlákna keramické, sklenené, ocelové, ale aj organickými polymérnymi vláknami a syntetickými vláknami na báze kaolínu. Ťažba na Slovensku: v r. 2008 sa vyťažilo 200 t; ložisko Dobšiná; ťažobná spoločnosť SILICON, spol. s r. o., Dobšiná.

**Dolomit:** sedimentárna karbonátová hornina, ktorej hlavnou zložkou je minerál dolomit CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Dolomit sa využíva hlavne v hutníctve železa, v stavebníctve (stavebný kameň, surovina do omietok – brizolit), pri výrobe ohňovzdorných materiálov, v sklárskom a keramickom priemysle, pri odsírovaní spalín. Menej kvalitné dolomity sa používajú v poľnohospodárstve ako hnojivo a polovypálený dolomit aj ako adsorbent a filtračný pomocný materiál. Dolomit spolu s vápencom sa hojne využívajú ako neutralizačné činidlá v rôznych aplikáciách. Dolomit ako taký sa nerecykluje, recykluje sa iba druhotne pri niektorých výrobkoch (stavebníctvo, sklárstvo). Ťažba dolomitu na Slovensku: v r. 2008 1 544 kt/r; najväčšie ložiská sa nachádzajú v Strážovskej hornatine (Mníchova



L., Trenčianske Mitice, Malé Kršteňany, Šuja), v Považskom Inovci (Hubiná), vo Veľkej Fatre (Rakša), v Malej Fatre (Kralovany); ťažobných spoločností je niekoľko (Kameňolomy, spol. s r. o., Nové Mesto nad Váhom; Okamea, spol. s r. o., Dechtice; Dolomit, a. s., Malá Vieska; Dolkam Šuja, a. s., Rajec a iné).

**Kamenná soľ (halit):** sedimentárna hornina, zložená z NaCl. Vzniká spravidla sedimentáciou z roztokov. Halit sa využíva hlavne v chemickom priemysle (60 %, výroba NaOH, Cl<sub>2</sub>, sódy, anorganické soli), v potravinárstve (25 %), pri výrobe kaučuku, farieb, keramiky a inde. Ťažba halitu na Slovensku (r. 2008): 99 kt; ťažené ložisko Prešov – Soľná Baňa; ťažobná spoločnosť SOLIVARY, a. s., Prešov (dnes už sa halit neťaží).

**Kaolín:** biela alebo svetlo sfarbená hornina zložená z kaolinitu a z nerozložených minerálov marterských hornín (živce, slúda, kremeň). Pre svoje vlastnosti (biela farba, žiaruvzdornosť, ľahká dispergovateľnosť, nízka abrazívnosť) sa využíva v surovom stave alebo po úprave naplavením na výrobu porcelánu, obkladačiek, žiaruvzdorných materiálov, papiera (ako plnivo – asi 50 % svetovej produkcie), v kozmetike, vo farmácii a v potravinárstve. V keramickom priemysle sa recykluje časť črepov. Ťažba kaolínu na Slovensku (r. 2008): 44 kt/r; ťažené ložiská – Rudník (2 ložiská), Poltár – Horná Prievrana, Poltár – Vyšný Petrovec; ťažobné spoločnosti: Claystone, spol. s r. o., Zvolen; Kerko – Perlit, a. s., Košice.

**Keramické íly:** tvoria zmes hornín, prevažne s vysokým obsahom ílovitých materiálov, bentonitov, kaolínu, tehliarskych surovín. Hlavné minerálne zložky ílov – kaolinit, illit, montmorillonit. Využívajú sa najmä v keramickej výrobe (kamenina, biela a farebná jemná keramika). Prakticky sa nerecyklujú. Ťažba keramických ílov na Slovensku (r. 2008): 44 kt/r; ťažené ložiská – Pozdišovce, Tepličany – Viničná, Dolná Ves, Horné Lefantovce, Solčany; ťažobné spoločnosti: Kerko – Perlit, a. s., Košice; Regos, spol. s r. o., Banská Bystrica a iné.

**Magnezit (MgCO<sub>3</sub>):** najdôležitejší minerál Mg. V prírode sa vyskytuje v kryštalickej a kryptokryštalickej (celistvej) forme. Obsahuje prímеси CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, SiO<sub>2</sub> a iné, ktoré ovplyvňujú kvalitu suroviny. Za magnezit sa spravidla považuje surovina s obsahom MgO min. 40 % a obsahom CaO max. 4 %. Magnezit sa využíva na výrobu kaustického slinku, z ktorého sa vyrábajú ďalej žiaruvzdorné hmoty a izolácie, podlahové hmoty odolné voči kyselinám, v chemickom priemysle, pri výrobe papiera, umelého hodvábu, ako tmel abrazív. Mŕtvo pálený magnezit (periklast, MgO) sa používa na žiaruvzdorné výmurovky metalurgických pecí a konvertorov, cementárenských pecí, zariadení na výrobu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Recyklácia nemá podstatný význam, čiastočne recyklovateľné sú finálne výrobky (žiaruvzdorné tehly). Ťažba magnezitu na Slovensku (r. 2008): 807 kt/r; ťažené ložiská: Jelšava – Dúbravský masív; Lubeník, Hnúšťa – Mútnik; ťažobné spoločnosti: GE.NE.S, a. s., Hnúšťa; SLOVMAG, a. s., Lubeník; SMZ, a. s., Jelšava.

**Sadrovec (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) a anhydrit (CaSO<sub>4</sub>):** horniny, ktoré okrem uvedených minerálov obsahujú piesčitú, ílovitú alebo bituminóznú prímесь, prípadne pyrit, halit, karbonáty. Čistý jemnozrnný sadrovec sa nazýva alabaster. Zahriatím sadrovca na 200 °C vzniká anhydrit a naopak, hydratáciou anhydritu vzniká sadrovec. Sdrovec sa používa najmä v stavebníctve na výrobu sadry, hydraulického cementu, omietok, sadrokartónových priečok, používa sa aj vo farmácii, v medicíne, sochárstve a modelárstve. Anhydrit sa používa na výrobu umelého mramoru, obkladových dosiek, ako plnivo do papiera a inde. Sdrovec a anhydrit môžu byť zdrojom síry pre výrobu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Čiastočne je možné recyklovať sadrokartónové dosky. Ťažba sadrovca a anhydritu na Slovensku (r. 2008): 151 kt/r; ťažené ložiská: Spišská Nová Ves, Markušovce, Gemerská Hôrka; ťažobné spoločnosti VSH, a. s., Turňa nad Bodvou, VSH, a. s., VSK, a. s., Spišská Nová Ves.

**Vápenec** je sedimentárna karbonátová hornina, ktorej hlavnou horninotvornou zložkou je CaCO<sub>3</sub>, najčastejšie ako kalcit, zriedka aragonit. Vápenec sa na ložiskách často vyskytuje spolu s dolomitom. Vápence sú často sfarbené rozličnými prímесami (limonit, hematit, serpentín, organická hmota,

ílové minerály). Podľa pomeru obsahu minerálov kalcitu a dolomitu, resp. ílov sa hornina klasifikuje ako vápenec, dolomitický vápenec a ílovitý vápenec. Podľa použiteľnosti sa vápence členia na: vysokopercenčný vápenec (obsah  $\text{CaCO}_3 > 97\%$ ), ostatné vápence, vápnité sliene, cementárske korekčné a sialitické suroviny. Vysokopercenčný vápenec sa používa najmä v hutníctve (aglomerácia, prísada do vysokých pecí), chemickom priemysle (výroba celulózy, chlóróvého vápna, sódy, karbidu), gumárenskom priemysle, potravinárskom priemysle, sklárskom a keramickom priemysle (plnivo, tavidlo do skloviny, príprava glazúr), v biotechnologických a farmaceutických výrobách, ako aj v stavebníctve (výroba vápna a niektorých druhov stavebných hmôt). Menej kvalitné vápence sa používajú v poľnohospodárstve (vápnenie pôdy), v stavebníctve (stavebný a dekoračný kameň, drvené kamenivo, výroba stavebných hmôt). Surovina sa nerecykluje, resp. recykluje sa druhotne pri niektorých výrobkoch (sklárstvo, stavebníctvo).

Ťažba vápenca na Slovensku (r. 2008):  $2,5 \cdot 10^6$  t/r; ťažené ložiská vysokopercenčného vápenca: Tisovec, Jaklovce – Kurtova skala, Rohožník, Ladce – Butkov, Čachtice, Slavec, Turňa nad Bodvou; ťažobné spoločnosti: CALMIT, spol. s r. o., závod Margecany; CALMIT, spol. s r. o., závod Tisovec; VAPEX, spol. s r. o., Ladmovce; CARMEUSE SLOVAKIA, spol. s r. o., Slavec; VSH, a. s., Turňa nad Bodvou; HOLCIM (Slovensko), a. s., Rohožník.

## 1.2. Ťažba nerastných surovín

Výber spôsobu ťažby nerastov závisí od mnohých faktorov, ako sú: hodnota úžitkovej zložky/minerálu; obsah minerálu v rude; veľkosť, tvar a hĺbka rudného telesa; environmentálne podmienky okolia; geologické, hydrogeologické a geomechanické podmienky horninového masívu; seizmické podmienky oblasti; umiestnenie rudného telesa; rozpustnosť rudného telesa; environmentálne vplyvy prevádzky na okolie; obmedzenia existujúce na povrchu; možnosť získania pozemku. Dôležitým faktorom pri výbere spôsobu ťažby a následnej úpravy a spracovania je poznanie mineralogického zloženia nerastnej suroviny a zloženia sprievodných minerálov, napr. prítomnosť minerálov v uhlí. Hlavné minerály predstavujú sulfidy, oxidy, karbonáty, ktoré môžu podliehať chemicko-biologickým zmenám. S týmito premenami treba rátať pri manažmente jaloviny z ťažby a úpravy, napr. oddelená manipulácia s jalovinou po ťažbe a úprave, využitie jaloviny v zmesiach a iné. Pri ťažbe a úprave uhlia okrem problému tvorby kyslých banských vôd z biooxidácie sprievodného pyritu treba zvažovať aj prítomnosť rádioaktívnych materiálov pochádzajúcich z ložiska.

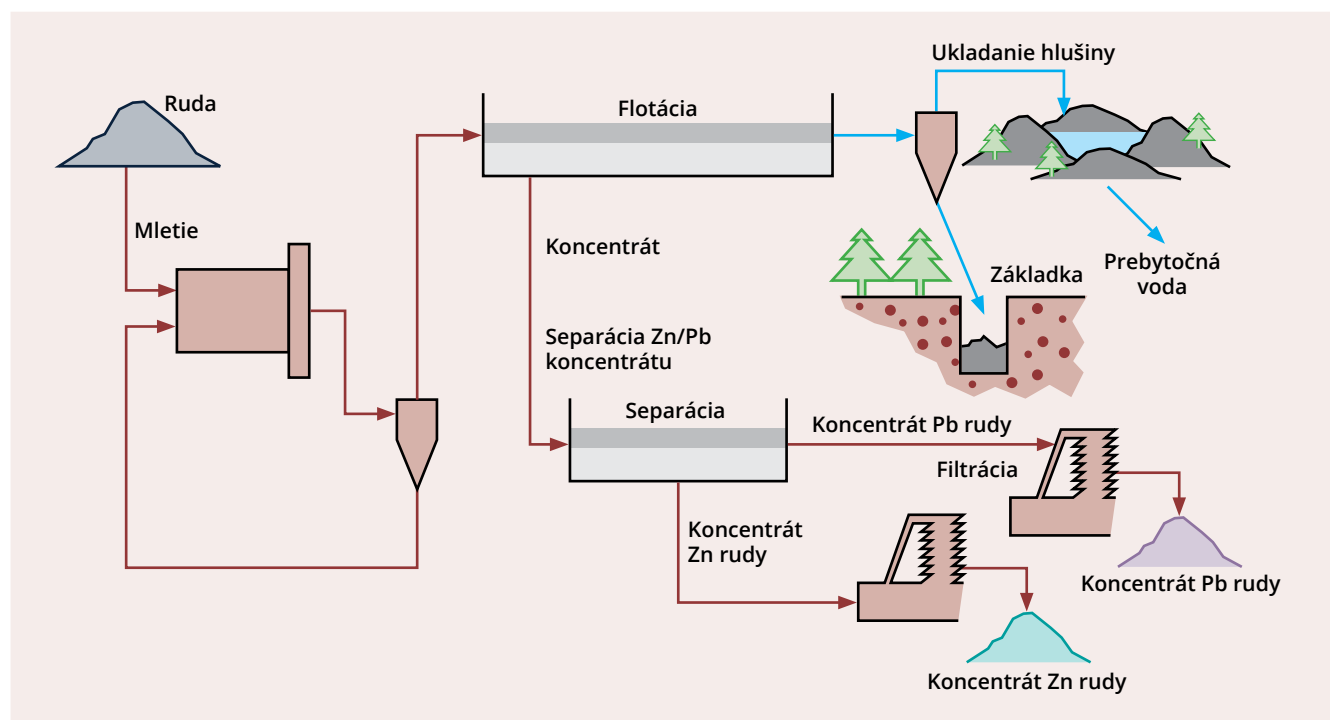
Tuhé nerasty z ložísk možno dobývať v podstate povrchovo alebo hlbinne. Povrchovo sa dobývajú nerasty vystupujúce na povrch alebo uložené len tak hlboko, že je hospodárne odstrániť či odložiť nadložnú vrstvu hornín. V prvom prípade sa dobýva lámaním a v druhom skrývkou v lomoch. Mäkkšie materiály sa dobývajú rýpadlami, tvrdšie sa najprv rozpoja trhavinou (vo veľkých lomoch sa použijú komorové alebo stenové odstrelly). V lomoch sa ťažia vápenec, dolomit, železná ruda a iné. Veľké lomy, povrchové bane, sa zakladajú dobývaním skrývkou (oddelí sa vrstva nad ložiskom/slojom). Povrchová baňa má tvar veľkej jamy (dlhá a široká 1 – 2 km, hlboká viac ako 100 m). Takto sa dobýva napr. hnedé uhlie, pyritová bridlica, kaolín, rozsievková zemina (perlit) a iné. Hlbinnou ťažbou sa dobývajú nerasty uložené hlboko pod povrchom. Hlbinná baňa má obvykle 1 ťažnú šachtu, nad ktorou je vybudovaná ťažná veža s výťahom, a 1 a viac vetracích šacht. Z ťažnej šachty vedie niekoľko zvislých a šikmých chodieb, tzv. štôlní s výskytom nerastných žíl. Odvodňovacie (nazývané aj dedičné) štôlne slúžia na odvádzanie vody z ťažobného priestoru bane. Dobýva sa buď stenovaním (pracuje sa pozdĺž steny dlhej až niekoľko stoviek metrov), alebo pilierovaním (sloj sa rozdelí na pruhy/piliere, ktoré sa dobývajú postupne). Pri hlbinnnej ťažbe so základkou sa jalovina ukladá do vyťaženého priestoru bane. Osobitným a zriedkavým spôsobom je dobývanie lúhovaním, kde sa do ložiska čerpá lúhovací roztok a odčerpáva sa roztok s vylúhovanými kovmi.

Pri hlbinej ťažbe sa takmer všetka vyťažená jalovina použije ako zakládka v bani, a tak sa minimalizuje množstvo ukladaného materiálu. Pri povrchovej ťažbe množstvo jaloviny, ktoré je potrebné uložiť (haldovať), predstavuje 1,5- až 4-násobok množstva vyťaženej surovej rudy. Okrem jaloviny patria k najvýznamnejším emisiám pri povrchovej ťažbe emisie TZL do ovzdušia, ku ktorým dochádza najmä pri spracovateľských procesoch (ťažba, drvenie na jednotlivé frakcie, nakladanie, sitovanie, preprava a pod.). Pri spracovaní často dochádza aj k fugitívnym emisiám vzhľadom na to, že procesy sa uskutočňujú v otvorenom priestore, kde nie sú zanedbateľné vplyvy počasia (rýchlosť a smer prúdenia vetra). Kameňolomy a súvisiace spracovanie kameňa sú kategorizované ako stredné a veľké zdroje znečisťovania ovzdušia, kde sa na výpočet množstva emisií používajú emisné faktory uvedené vo Vestníku MŽP, XVI, 5, str. 45, 2008. Na zníženie emisií do ovzdušia možno použiť nasledujúce opatrenia: zakrytie priestoru v smere prevládajúceho prúdenia vzduchu, skrúpanie a pod. (je dôležité sledovať vlhkosť suroviny, pretože od jej obsahu závisí množstvo prachu, ktorý sa môže rozvíriť pri náporoch vetra na otvorených plochách s uloženým sypkým materiálom).

### 1.3. Úprava nerastných surovín

Účelom úpravy je premeniť a zhodnotiť surovú rudu alebo nerudnú surovinu na predajný produkt, resp. produkt vhodný na ďalšie spracovanie. Toto sa obvykle robí v lokalite bane v úpravnickej prevádzke. Na oddelenie cenného úžitkového nerastu od sprievodných nerastov sa využívajú rôzne separačné metódy, ktoré sú založené na fyzikálnych vlastnostiach nerastov (veľkosť častíc, farba, magnetické vlastnosti a iné) alebo na fyzikálno-chemických vlastnostiach (povrchové napätie, zmáčavosť, hydrofóbnosť atď.). Výsledkom úpravy je hlavný prúd – predajný produkt a vedľajší prúd – jalovina z úpravy.

Ukážky úpravy polymetalickej Zn-Pb rudnej suroviny uvádza obr. 1.



**Obrázok 1:** Schéma úpravy polymetalickej rudy (upravené podľa Břef MTWR, kap. 3.1.2)

Základné úpravnicke operácie, ktoré sa podľa potreby kombinujú, sú nasledovné:

- drvenie a mletie (drviče a mlyny),
- triedenie podľa veľkosti (na sitách, pneumaticky),
- rozdrúžovanie užitočnej zložky od jaloviny, tzv. obohacovanie (rozdrúžovanie gravitačné a elektromagnetické, elektrostatická separácia, flotácia, filtrácia, zahusťovanie),
- spájanie malých častíc do väčších, napr. spekaním, aglomeráciou, briketovaním – hlavne pri železnej rude určenej do vysokej pece.

Väčšinou ide o mechanické operácie, len pri flotácii sa používajú chemikálie, ako sú oleje, fenoly, xantogenáty a iné. Stupeň úpravy závisí od charakteru nerastu a požiadaviek na finálny produkt pre ďalšie použitie ako suroviny v iných výrobách. Relatívne jednoduchá je úprava stavebných nerastov, kde sa prakticky mechanickými postupmi vyťažený nerast zhomogenizuje a vytriedi podľa veľkosti. Pri rudných a nerudných nerastných surovinách po počiatočnej fáze drvenia a triedenia, suchou alebo mokrou cestou, nasleduje fáza koncentrovania a obohatenia suroviny, zvyčajne flotáciou, po ktorej nasleduje odvodnenie filtráciou a finalizácia produktu. Väčšina neželezných nerastov sa vyskytuje vo forme polymetalických rúd, a tak pri procesoch obohacovania rudy sa získajú flotačné frakcie s dominantným zastúpením určitej rudy. Hlavným produktom úpravy rudných nerastov, obvykle flotáciou, je tzv. koncentrát. Vedľajším produktom je jalovina zo suchej alebo z mokrej úpravy. Každá nerastná surovina z daného ložiska si vyžaduje osobitné riešenia. Procesy úpravy pre jednotlivé nerastné suroviny podrobne rozoberá prierezový BREF dokument MWEI (2017) – Nakladanie s ťažobným odpadom.

## 1.4. Environmentálne vplyvy ťažby a úpravy nerastov

Povrchové lomy a bane pri vlastnej ťažbe výrazne menia reliéf a môžu ovplyvňovať biodiverzitu blízkeho aj širšieho okolia lomu. Rozsah zmien závisí od veľkosti bane či lomu. Nakladanie s lomom po skončení ťažby a s opustenými lomami zahŕňa rôzne rekultivačné a revitalizačné postupy a techniky. Najvýznamnejšie emisie z ťažby a úpravy nerastných surovín sú uvedené v tabuľke 3. Emisné faktory pre TZL v g/t spracovaného kameňa uvádza Vestník MŽP, XVI, 5, 2008, str. 45, bod 5. Kameňolomy a spracovanie kameňa.

**Tabuľka 3:** Emisie z ťažby a úpravy nerastných surovín

Technologická operácia ťažby a úpravy	Emisia
oddelenie hlušiny v bani	halda odvalov a výsyvky
prvotné triedenie a drvenie	a) hluk b) prach c) jalovina z prvotného triedenia
homogenizácia a druhotné drvenie, mletie a triedenie suchou alebo mokrou cestou	a) hluk b) prach c) jalovina z druhotného triedenia
flotácia a separácia fáz	a) flotačný kal – jalovina

Pri nakladaní s jalovinou sú v podstate možné tri spôsoby:

- interné využitie, napr. pre podzemné ukladanie alebo pre stavebné úpravy spojené s banskou činnosťou, ako je úprava poklesov v teréne, zvyšovanie mostov a násypov a pod.;
- externé využitie jaloviny ako suroviny pre stavebný priemysel;
- ukladanie na odvaly a odkaliská.

Najvýznamnejším vedľajším technologickým prúdom pri ťažbe a úprave nerastných surovín je **jalovina**, ktorá vyžaduje osobitné riešenia v závislosti od množstva, ale hlavne od zloženia a iných fyzikálno-chemických vlastností. Všeobecne existuje mnoho spôsobov nakladania s jalovinou, ako napr. ukladanie jaloviny z úpravy (kal, flotačný rmut) do odkalísk; ukladanie jaloviny z ťažby do podzemných alebo povrchových baní alebo použitie jaloviny na budovanie hrádzí odkalísk; ukladanie suchšej jaloviny na odvaly alebo svahy kopcov; použitie jaloviny ako materiálu na rôzne účely v území, napr. ako zmesi alebo na rekultiváciu. Pri výbere metódy nakladania s jalovinou treba zohľadniť a vyhodnotiť: náklady, environmentálne prejavy, riziko nehody. V manažmente hlušín okrem výberu miesta sú dôležité aspekty a úvahy o havarijnom režime hrádzí a odvalov, vzťah medzi charakteristikou jaloviny a jej dlhodobým správaním.

Niekoľko príkladov nakladania s jalovinou: pri hlbinej ťažbe horninové jaloviny zvyčajne zostávajú v podzemí; jaloviny z ťažby farebných kovov majú niekedy potenciál tvorby kyslých banských výtokov, a preto sa v mnohých prípadoch s nimi manipuluje separátne; jaloviny neprodukuje kyslé banské výtoky sa použijú ako zmesi na stavbu hrádzí, komunikácií alebo sa ukladajú na odvaly; jaloviny z ťažby Fe-rúd sa obvykle ukladajú na odvaly spoločne s hrubozrnnými úpravnickými jalovinami; jaloviny z ťažby Au sa ukladajú na odvaly, využívajú sa na výstavbu hrádzí alebo sa ukladajú v povrchových baniach; jaloviny z ťažby nerudných nerastov sa použijú na zakládky alebo ako zmesi sú predajným produktom; vo väčšine uhoľných baní sa jalovina ukladá na odvaly spoločne s odvodnenou jemnozrnnou jalovinou z úpravy.

Niektoré najvýznamnejšie problémy a poznatky z jalovín:

- Jalovina z výroby hliníka, tzv. červený kal, je alkalická a ukladá sa po zahutnení v konvenčných odkaliskách alebo sa ukladá do mora.
- Jalovina z úpravy farebných kovov sa väčšinou ukladá ako suspenzia do veľkých odkalísk. Rudy farebných kovov často obsahujú sulfidy (obsah tlmiacich nerastov je malý), a tak má tento odpad potenciál na tvorbu kyslých banských výtokov (AMD – Acid Mine Drainage). V rámci Európy sa na ukladanie takýchto odpadov realizovali projekty na ukladanie pod vodu (zabráni sa tvorbe AMD), ukladanie do podzemia, ukladanie do odkalísk/háld s mokrým alebo suchým prekrytím.
- Hrubozrnné jaloviny z úpravy železných rúd sa ukladajú na haldy a odvaly a suspenzie na odkalisko.
- Niektoré jaloviny z úpravy zlatonosných rúd (z baní na zlato) majú potenciál tvorby AMD. V prípade kyanidového lúhovania Au pred uložením do odkaliska je nutné urobiť rozklad zvyškového kyanidu.
- Pri nerudných surovinách niektoré prevádzky jalovinu vôbec neprodukuje alebo ju predávajú ako zmes na ďalšie použitie.
- Pri ťažbe borátov sa hrubozrnné jaloviny najprv skladujú na haldách a neskôr sa použijú na zakládku.
- V prípade kaolínu, ale aj vápenca sú známe prevádzky, kde sa jalovina najprv odvodní a potom ukladá na haldy.
- Pri ťažbe vápenca je známa prevádzka, kde sa ukladá jalovina vo forme kalu do opusteného lomu.
- V prevádzkach na ťažbu draselných solí sa pevné jaloviny ukladajú na haldy. Suspenzie sa čiastočne odvádzajú do hlbokých vrtov a čiastočne do povrchových vôd. Je tiež známy prípad ukladania do mora.
- Pri ťažbe uhlia sa hrubozrnné jaloviny po úprave obvykle ukladajú do opustených baní. Jemnozrnné kaly sa ukladajú do odkalísk alebo sa odvodňujú/filtrujú. V niektorých baniach sú odvodnené a hrubozrnné jaloviny predajným produktom.

### 1.4.1. Charakteristika jalovín z ťažby a úpravy

Poznanie vlastností ukladaného materiálu je faktorom, ktorý určuje, ako sa má s jalovinou zaobchádzať počas ťažby a úpravy, po ukončení prevádzky a v období po uzávierke (dlhodobé správanie). Charakterizácia zahŕňa rôzne fyzikálne a chemické parametre, ktoré umožňujú urobiť krátkodobý a dlhodobý odhad správania jaloviny (degradácia, solubilizácia kovov a pod.) a tiež geotechnické správanie ukladaného materiálu. Prehľad dostupných metodík pre charakterizáciu je uvedený v BREF dokumente MTWR. Pre konštrukciu úložiska (odkalisko, halda) je potrebné poznať:

- *charakteristiku rudy a jaloviny z ťažby*: množstvo, zrnitosť, mineralogické zloženie, chemické vlastnosti, kyselinotvorný potenciál, vylúhovateľné polutanty, zmeny rudy počas životnosti bane, kinetické testy, hydrologické vlastnosti a iné;
- *charakteristiku flotačných jalovín*, ktorá zahŕňa fyzikálne a chemické vlastnosti, ako sú: denné a ročné množstvá a ich kvalita, veľkosť častíc, hustota rmutu (% tuhých častíc), stabilita/plasticita, kinetické testy, kyselinotvorný potenciál, geochemická charakteristika (obsah kovov a ich správanie pri vylúhovaní), hydrologické a iné vlastnosti;
- *charakteristiku technológie úpravy*, ktorá zahŕňa: množstvo a koncentráciu použitých chemických činidiel, proces úpravy (napr. rozklad kyanidov), požiadavky na recykláciu vody, iné prístroje do odkaliska, potrubia a iné rozvody, možnosti pre povrchové a podzemné ukládanie, ako aj možnosti a vhodnosť využitia flotačných kalov pre zakládku.

### 1.4.2. Odkaliská a haldy

Odkaliská a haldy majú rôznu veľkosť, čo do plochy aj výšky. Hlavné environmentálne problémy hald a odkalísk sú spojené:

- s ich umiestnením v krajine a relatívne veľkým záberom pôdy;
- s potenciálnou emisiou prachu;
- s vypúšťaním (odvodom) znečistených vôd počas prevádzky alebo vo fáze následnej starostlivosti po ukončení prevádzky;
- s narušením haldy alebo odkaliska, ktoré môžu spôsobiť environmentálne škody a ohrozenie až stratu životov.

Základom úspešného manažmentu odkalísk je správna charakteristika materiálu a správna prognóza jeho dlhodobého správania.

**Vodné emisie odkalísk, hald a baní** predstavujú znečistenie vôd, ovplyvnených banskou činnosťou (vody nielen z odkalísk a hald, ale aj z opustených baní), môžu byť alkalické až kyslé a môžu obsahovať rozpustné kovy, kovy viazané na organických zložkách z úpravy a mnoho rôznych prírodných organických látok. Tieto látky spoločne s hodnotou pH, množstvom rozpusteného kyslíka, teplotou a inými faktormi môžu významne ovplyvňovať ich toxicitu voči flóre a faune v okolí. Osobitným environmentálnym problémom súvisiacim s baníctvom je fenomén tzv. kyslých banských výtokov/drenážnych vôd (**AMD** – Acid Mine Drainage) a kyslých horninových výtokov (**ARD** – Acid Rock Drainage). Jav AMD/ARD je proces prírodný a prebieha už stáročia, ale v dôsledku nízkeho narušenia hornín prírodným či antropogénnym zásahom boli prejavy nevýznamné. So vzrastom ťažby uhlia a iných rudných nerastov, ale aj nerudných nerastov sa AMD/ARD stali vážnym environmentálnym problémom, hlavne za ostatných cca 30 rokov. Tvorba a environmentálne vplyvy AMD/ARD súvisia s výskytom a biodegradáciou sulfidových minerálov, hlavne pyritu, a s nízkym obsahom alkalických hornín v deponovaných materiáloch.

**Havárie a poruchy odkalísk a hald** sa globálne vyskytujú pomerne často. Porušenie odkalísk a hald môže mať krátkodobý a dlhodobý účinok. Krátkodobé následky predstavujú zaplavenie, zanesenie okolia – nánosy, deštrukciu okolia, narušenie infraštruktúry, akútne otravy. Potenciálne

dlhodobé následky zahŕňajú akumuláciu kovov a iných toxických látok rastlinami a živočíchmi, kontamináciu pôdy, ohrozenie zdravia a životov ľudí a živočíchov.

**Rekultivácia a následná starostlivosť o odkaliská.** Po skončení prevádzky by lokalita mala byť pripravená na ďalšie využitie. Toto je zahrnuté v plánoch uzávierky a sanáciách vrátane monitorovania odkaliska počas životného cyklu bane a po ukončení baníckej činnosti v lokalite. V niektorých prípadoch je cieľom zanechať plochu čo najmenej dotknutú, v iných prípadoch treba rátať s výraznejšou zmenou krajiny. Vo všetkých prípadoch sa však negatívne environmentálne vplyvy musia udržiavať na minimálnej úrovni. Bane s úpravňou a odkaliskom, resp. haldou sú v prevádzke relatívne krátku dobu (roky až desiatky rokov). Avšak voľné priestory v bani – odkaliská a haldy – pretrvávajú dlho po ukončení baníckej činnosti, a preto sú mimoriadne dôležité správna uzávierka, rekultivácia a následné využívanie.

### 1.4.3. Haldy a odkaliská na Slovensku

Na Slovensku sa v r. 2012 evidovalo:

- a) celkovo 135 hald, z toho 105 hald v dobývacích priestoroch a 30 hald mimo dobývacích priestorov, ktoré zaberali 304,4 ha územia;
- b) celkovo 47 odkalísk zaberajúcich plochu 253,16 ha, z toho 26 v dobývacích priestoroch a 21 mimo dobývacích priestorov.

Odkalísk populových, rudných a priemyselných, legislatívne registrovaných ako vodné stavby, je vyše 50. Sú definované ako vodné stavby I. až IV. kategórie a podliehajú technicko-bezpečnostnému dohľadu. Sú to odkaliská s rôznym deponovaným materiálom a v rôznom štádiu existencie. Niektoré sú rekultivované, iné sú v útlmovej alebo v činnej prevádzke. Väčšinu ukladaných materiálov tvoria odpady z elektrární a teplární (popol a škvára) a odpady z úpravne rúd (flotačné kaly). Malý podiel tvoria uhoľné jaloviny, pretože sa zvyčajne po úprave využívajú. Kaly z chemických prevádzok nemajú jednotný charakter a treba k nim pristupovať individuálne. Odkaliská dnes predstavujú skládky nevyužiteľného materiálu, do budúcnosti možno aj surovinovú základňu. Súčasou realitou je skutočnosť, že odstránenie, zneškodnenie a spracovanie odpadov aj bez nepriaznivých vplyvov na ekosféru nie je známe, resp. je málo realizovateľné. Zoznam rudných odkalísk možno nájsť v publikácii Masarovičová, M. a kol., 2008.

### 1.4.4. Kyslé banské a horninové vody (AMD a ARD)

Kyslé vody s vysokým obsahom síranov sú vedľajším produktom mnohých priemyselných operácií (galvanizačné procesy, čistenie plynov a pod.). Hlavným zdrojom týchto vôd je banícka činnosť. Environmentálne riziko týchto efluentov je okrem acidity aj prítomnosť solubilizovaných kovov (Fe, Al, Mn, ťažké kovy) a metaloidov (hlavne As). AMD sú príčinou environmentálneho znečistenia v krajinách a lokalitách, kde bola a/alebo ešte prebieha ťažba a úprava rudných nerastov, ale tiež uhlia.

### 1.4.5. Biooxidácia sulfidových rúd a tvorba banských vôd

Pyrit a iné sulfidové minerály tvoria významnú časť zemského povrchu a hornín. V kompaktnej hornine prirodzená degradácia a zvetrávanie sú pomalé a temer neprebiehajú pod vodnou hladinou. Iná situácia nastane v hornine narušenej za prirodzených podmienok (tvorbou puklín, trhlín a pod.) a v hornine narušenej baníckou ťažbou nerastov (priamo v baniach alebo v deponovanom banskom odpade). V narušenej hornine sú sulfidy vystavené účinkom vody, vzduchu, slnečného žiarenia a postupne nastáva rozklad. Tento rozklad je katalyzovaný chemolitotrofnou acidofilnou mikroflórou a jeho výsledkom je generovanie acidity a rozpúšťanie sulfidov. Rýchlosť oxidácie okrem klímy v lokalite (zrážky, teplota) ovplyvňuje veľa faktorov, ako je napr. zloženie, morfológia,

kryštalinita, povrch sulfidových minerálov, priepustnosť horniny a, samozrejme, mikrobiálna biocenóza.

Minerály najčastejšie sa vyskytujúce v banských depozitoch a podliehajúce biooxidácii sú: pyrit ( $\text{FeS}_2$  – kubická sústava), pyrrotit ( $\text{Fe}_7\text{S}_8$ ), markazit ( $\text{FeS}_2$  – romboická sústava), galenit ( $\text{PbS}$ ), sfalerit ( $\text{ZnS}$ ), chalkopyrit ( $\text{CuFeS}_2$ ), millerit ( $\text{NiS}$ ), molybdenit ( $\text{MoS}_2$ ), chalkocit ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), arzenopyrit ( $\text{FeAsS}$ ), covellit ( $\text{CuS}$ ). Výsledkom týchto procesov je vznik banských výtokov/vôd/odtokových vôd, ktoré môžu byť neutrálne až silne kyslé, bez alebo s rozpustenými ťažkými kovmi, vždy však obsahujú sírany. Tieto vody podľa stupňa acidity a ďalších znakov sa označujú, ako „Acid Rock Drainage“ (ARD) – kyslé horninové odtoky, „Acid Mine Drainage“ alebo „Acid and Metalliferous Drainage“ (AMD) – kyslé banské odtoky, „mining influenced water“ (MIW) – vody ovplyvnené baníctvom, „Saline Drainage“ (SD) – slané odtoky a „Neutral Mine Drainage“ (NMD) – neutrálne banské odtoky. Všetky hlavné a minoritné solubilizované prvky v týchto vodách pochádzajú z biooxidácie sulfidov a z minerálov rozpustných v kyselinách. Hlavné solubilizované kovy sú zvyčajne Fe a Al, ale významne zastúpené môžu byť aj minoritné kovy, ako napr. Cu, Pb, Zn, Cd, Mn, Co, Ni. Niektoré metaloidné prvky ako As, Se, Sb, ale tiež stopové prvky (Cd, Cr, Mn, Mo, Zn) môžu ovplyvňovať tvorbu sekundárnych minerálov, hlavne železitých minerálov. Charakteristiky banských vôd a možnosti ich remediácie sú v tab. 4.

**Tabuľka 4:** Banské odtokové vody a možnosti ich remediácie

ARD/AMD	Neutrálne banské odtokové vody (NMD – neutral mine drainage)	Solné odtokové vody (SD – saline drainage)
pH – kyslé; vysoký obsah kovov a síranov	pH – neutrálne až alkalické; nízky až mierny obsah kovov a síranov; môžu obsahovať Zn, Cd, Mn, As, Se	pH – neutrálne až alkalické; nízky obsah kovov, mierny obsah síranov, Ca, Mg
remediácia		
neutralizácia a oddelenie kovov a síranov	odstránenie kovov a v niektorých prípadoch aj síranov	odstránenie síranov a v niektorých prípadoch aj kovov

Zdroj: [http://www.gardguide.com/index.php/Summary#Formation\\_of\\_Acid\\_Rock\\_Drainage](http://www.gardguide.com/index.php/Summary#Formation_of_Acid_Rock_Drainage),  
[http://www.gardguide.com/index.php/Main\\_Page](http://www.gardguide.com/index.php/Main_Page) > Global Acid Rock Drainage Guide

## 1.5. Najlepšie dostupné techniky (BAT) ťažby a úpravy rúd

Baňa a úpravňa sú navrhované pre ťažbu maximálne možného množstva predajného produktu a tomu je prispôsobené aj nakladanie s jalovinou a riešenie celkových environmentálnych vplyvov.

*BAT techniky pre emisie hluku:*

- použitie kontinuálnych prevádzkových jednotiek, ako sú dopravné pásy, potrubia;
- zapuzdrenie pohonov pásov na miestach, kde sú emisie hluku lokálnym problémom;
- prednostné vytvorenie vonkajšieho svahu odvalu a dopravných ciest a ochranných bariér vo vnútornom priestore odvalu.

*BAT techniky pre emisie do vody:*

- opätovné použitie technologickej vody;
- miešanie technologickej vody s inými prúdmi vody, ktoré obsahujú rozpustené kovy;
- budovanie sedimentačných nádrží na zachycovanie jemných častíc;



- odstránenie nerozpustných látok a rozpustných kovov pred vypúšťaním vody do recipientov;
- neutralizácia vypúšťaných alkalických vôd kyselinou sírovou alebo CO<sub>2</sub>;
- odstránenie arzénu z banských vôd prídavkom železitých solí.

*BAT techniky pre nakladanie s jalovinou:*

- minimalizácia množstva jaloviny, napr. vhodnou voľbou metódy ťažby (efektívnejšia je hlbinná ťažba, pri povrchovej ťažbe je zas možné využiť väčšiu časť nerastov z ložiska);
- alternatívne využitie flotačných kalov a jaloviny z ťažby, napr. použitie v zmesiach pre zakládky, pri rekultivácii iných ložísk;
- úpravy jalovín procesmi minimalizujúcimi environmentálne a bezpečnostné riziko, ako sú odpyritizovanie, prídavok materiálu so schopnosťou pôsobiť ako neutralizačné a tlmiace činidlo, neutralizácie vypúšťaných vôd;
- znižovanie spotreby činidiel pri samotnej úprave, prevencia proti vodnej erózii, prevencia proti vzniku prašnosti;
- vytvorenie plánu riadenia vodného hospodárstva na základe výpočtov vodnej bilancie, využívanie voľnej vody, monitorovanie podzemnej vody v okolí úložiska jaloviny.

*Najdôležitejšie techniky BAT pre úpravu kyslých banských efluentov:*

- aktívne metódy úpravy: prídavok vápenca, vápenného mlieka alebo nehaseného vápna, prídavok sódy v prípade vysokého obsahu Mn;
- pasívne metódy úpravy: umelé mokrade, otvorené kanály s vápencom (anaeróbna vápencová drenáž), odkláňacie vrty.

Pasívne systémy úpravy predstavujú dlhodobé riešenie po ukončení prevádzky v lokalite, a to iba v prípade, že sa použijú ako konečný krok kombinovaný s ďalšími preventívnymi opatreniami. Niektoré metódy prevencie vzniku AMD sú v tab. 5.

**Tabuľka 5:** Niektoré metódy prevencie vzniku AMD

Metóda	Podstata metódy
vodný pokryv	hladina vody vytvorí kyslíkovú bariéru (difúzia O <sub>2</sub> v H <sub>2</sub> O je 10 <sup>4</sup> menšia ako v ovzduší)
suchý pokryv	vlhká a málo priepustná vrstva vytvorí kyslíkovú bariéru
pokryv spotrebujúci O <sub>2</sub>	vlhká, málo priepustná vrstva s vysokým obsahom organických látok spotrebujúca O <sub>2</sub> znižuje transport O <sub>2</sub> k sulfidom
vytvorenie mokrade	podstata podobná ako pri vodnom pokryve s tým rozdielom, že pokryv je plytký a dno sa stabilizuje rastlinami, a tak sa zabráni vznosu kalu
zvyšovanie hladiny podzemných vôd	udržiavanie jaloviny pod hladinou podzemnej vody zadržaním vody (zvýšením infiltrácie, znížením evaporácie, zvýšením odporu proti prúdeniu podzemnej vody)
odstránenie pyritu	oddelenie pyritu z jaloviny a následne separátne nakladanie s pyritovým podielom
selektívne nakladanie s materiálom	rozdelenie jaloviny na frakcie a separátne nakladanie s frakciami s potenciálnou tvorbou AMD

## 2. VÝROBA CEMENTU

### 2.1. Vlastnosti

Cement je práškové anorganické spojivo s výraznou hydraulicitou. Po zmiešaní s vodou vytvára kašu, ktorá tuhne a tvrdne aj pod vodou a pod vodou si aj po zatvrdnutí zachováva pevnosť a objemovú stálosť.

Skladuje sa v suchom sklade, pretože musí byť chránený pred vlhkosťou. Vzdušná vlhkosť a oxid uhličitý spôsobujú čiastočnú hydratáciu a karbonizáciu cementu.

Cement je základný materiál používaný pri stavbe budov a inžinierskych stavieb. V EÚ sa v roku 2006 vyrobilo 267,5 mil. t cementu, čo predstavovalo 10,5 % celosvetovej produkcie.

#### 2.1.1. Technologický postup výroby

Cement sa môže vyrábať suchým, polosuchým, polomokrým alebo mokrým procesom. V Európe prevláda suchý proces, vo svete mokrý proces. Všetky procesy sú založené na príprave surovín a palív, pálení surovín v peciach a následnej úprave vypáleného slinku.

##### 2.1.1.1. Príprava surovín a palív

Zdrojmi oxidu vápenatého ( $\text{CaO}$ ) sú vápenec ( $\text{CaCO}_3$ ), slieňa alebo krieda. Hydraulické oxidy ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sa nachádzajú v rôznych rudách a nerastoch, ako sú piesok, bridlice, íl a železná ruda. Ako suroviny sa nepoužívajú len prírodné materiály, ale aj rôzne vedľajšie produkty a odpady – železitý prach, elektrárenský popolček alebo energosadrovec. Tieto vhodné dopĺňajú vyťaženy vápenec a prispievajú k optimálnej skladbe surovinovej múčky.

Po preprave do cementárne sa suroviny spoločne melú v kontrolovaných pomeroch tak, aby vytvorili homogénnu zmes s požadovaným chemickým zložením. Po mletí nasleduje homogenizácia, aby sa dosiahla optimálna konzistencia.

Hlavnými palivami používanými v EÚ pri výrobe cementu sú petrolkoks a uhlie. V menšej miere sa používajú zemný plyn, olejové bridlice a vykurovací olej. Vysoké teploty a dlhé doby zdržania v pecnom priestore umožňujú dokonale spáliť aj ekologicky problematické látky, pričom vznikajú základné oxidy. Teplota v plameni dosahuje až 2 100 °C a dĺžka plameňa je 15 m. Doba zdržania horiaceho paliva v plameni je pri bežných rýchlostiach prúdenia plynu v rotačnej peci asi 2 – 5 s pri teplote prúdiaceho plynu 1 200 °C. Teplota a doba zdržania spolu s mierne oxidačným prostredím preto predstavujú ideálne podmienky pre tepelnú deštrukciu a oxidáciu molekúl aj takých látok, ako sú halogénované uhľovodíky, polychlórované bifenyly (PCB) alebo polychlórované dibenzo(p) dioxíny a furány (PCDD/F).

To umožňuje využitie množstva lacnejších palív, najmä rôznych typov odpadov, ktoré by ešte pred niekoľkými rokmi skončili nevyužitú na skládke. V niektorých závodoch možno odpadmi nahradiť až 80 % fosílnych palív a prispievať tak k šetreniu prírodných zdrojov. Niektoré z alternatívnych palív predstavujú iba zdroj energie, niektoré sú so svojím nespáliteľným podielom významnou súčasťou surovinovej zmesi na výrobu cementu. V niektorých prípadoch sa táto nespáliteľná zložka môže stať veľmi dôležitým zdrojom napr. oxidu železitého v surovine.

Prvým alternatívnym palivom používaným v cementárňach boli *odpadové oleje*. Ide o veľmi jednoduché využitie energetickej hodnoty a súčasne ekologické odstránenie odpadových olejov. Získané teplo ušetrí klasické palivo, pričom sa všetky tuhé produkty spaľovania stávajú bezpečnou

súčasťou výrobku. Na rozdiel od spalovní, kde je hlavnou úlohou likvidácia odpadu a uvoľňované teplo je spolu s  $\text{CO}_2$  a popolčekom len vedľajším produktom.

*Použitie pneumatiky* využívajú cementárne nielen energeticky, ale aj materiálovo. Pneumatiky obsahujú rad oxidov a prvkov, ktoré pomáhajú pri výrobe slinku. Železné drôty a ostatné anorganické zložky zreagujú so surovinou a stávajú sa súčasťou slinkových materiálov, kde odolávajú pôsobeniu rozkladných reakcií.

Energetický potenciál vysušených čistiarenských kalov, ktorý sa pohybuje v rozmedzí 8 – 11 MJ.  $\text{kg}^{-1}$ , umožňuje ich využitie v kombinácii s uhlím alebo ťažkým vykurovacím olejom v rotačných peciach. Ťažké kovy prítomné v kaloch sú naviazané na slinok a organické zložky sa spália.

Spalovanie v cementárskej peci sa ukazuje ako optimálne riešenie využitia produktov z odstránovania tiel uhynutých zvierat – *mäsokostnej múčky*. V EÚ sa tieto materiály nesmú používať na krmné a technologické účely, je zakázané vnášať ich do pôdy, hnojiť nimi a kompostovať ich. Je nariadené ich spalovanie a spoluspalovanie. Musia však byť dodržané požiadavky ochrany životného prostredia a zdravia pracovníkov a obyvateľstva. Spalovaním mäsovej múčky pri dodržaní požiadaviek cementárskej technológie nedochádza k poškodzovaniu životného prostredia.

*Tuhé alternatívne palivo (TAP)* je materiál vzniknutý separáciou a následnou úpravou (triedenie, primárne drvenie, separácia železných kovov, sekundárne drvenie, kontrola kvality) odpadových materiálov na báze plastov, papiera, textilu, pryže a iných spáliteľných látok. Je to rozdrvená zmes látok obsahujúcich spáliteľný priemyselný a triedený komunálny odpad, s minimalizovaným obsahom nebezpečného odpadu a odpadu znečisteného nebezpečnými látkami. Odpady vhodné na výrobu TAP možno rozdeliť do piatich základných skupín:

- zmesné plasty,
- textil, textilné vlákna, koberce,
- pryž, pneumatiky,
- papier, plastopapierové kompozitné obaly,
- drevo, drevotrieska.

TAP je certifikovaný výrobok s vlastným normovým predpisom, dokladom o primárnom pôvode paliva, bezpečnostným listom a ekologickým atestom. Výrobcom paliva je zvyčajne firma pôsobiaca v oblasti nakladania s odpadmi alebo cementáreň a príjemcom paliva sú najmä cementárne a výrobné vápna.

### 2.1.1.2. Výpal slinku

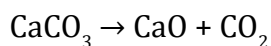
Výpal slinku je najdôležitejší proces s ohľadom na vznik emisií, akosť produktu a výrobné náklady.

Upravená surovina sa dávkuje do rotačnej pece, kde prebieha vypalovanie. Rotačná pec je ocelová rúra s pomerom dĺžky k priemeru od 10 : 1 do 38 : 1 a môže byť dlhá až 200 m. Rúra je položená na dvoch až siedmich podperách, má sklon 2,5 – 4,5 % a otočí sa 1- až 5-krát za minútu. Kombinácia sklonu rúry a otáčok spôsobuje, že sa materiál pomaly pozdĺžne pohybuje. Aby rotačná pec vydržala vysoké teploty, je celá vyložená žiaruvzdorným materiálom.

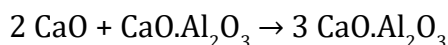
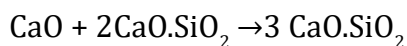
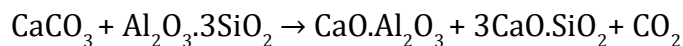
Pec má všeobecne štyri prevádzkové pásma, ktoré sú tvorené sušiacim, kalcinačným, slinovacím a chladiacim pásomom.

1. *Predhrievanie a sušenie*. V tomto pásme sa teplo spalín pochádzajúcich z kalcinačného pásma využíva na zvýšenie teploty suroviny. Surovina sa zahrieva z teploty okolitého prostredia asi na teplotu 400 °C

2. V tzv. *kalcinačnom pásme* pri teplote 400 – 900 °C sa rozkladá vápenec, pričom uniká oxid uhličitý.



3. Kalcinovaný materiál potom prechádza do slinovacieho pásma, v ktorom sa teplota zvyšuje asi na 1 450 °C. Materiál sa začína topiť a tvorí sa *slinok*. Prebiehajúce chemické a fyzikálne procesy sú zložité. Súčasne s rozkladom vápenca prebiehajú reakcie s ďalšími zložkami (íli, hlinitanmi) za vzniku kremičitanov, hlinitanov a iných.



4. V dolnej časti pece sa slinok v chladiacom pásme ochladí na teplotu 600 °C.

5. Z pece slinok vypadáva do chladiaceho zariadenia, v ktorom sa ochladí na 250 °C.

6. Vo finálnej fáze po odležaní sa slinok melie spolu s prísadami (cca 3 % sadrovca – regulácia tuhnutia; cca 15 % vysokopečnej trosky – zvýšenie hydraulických vlastností cementu) na jemnú múčku.

Spotreba surovín na 1 tonu cementu je nasledovná:

- 1,27 t vápenca, ílu, slienov,
- 0,05 t sadrovca,
- 0,14 t minerálnych prísad.

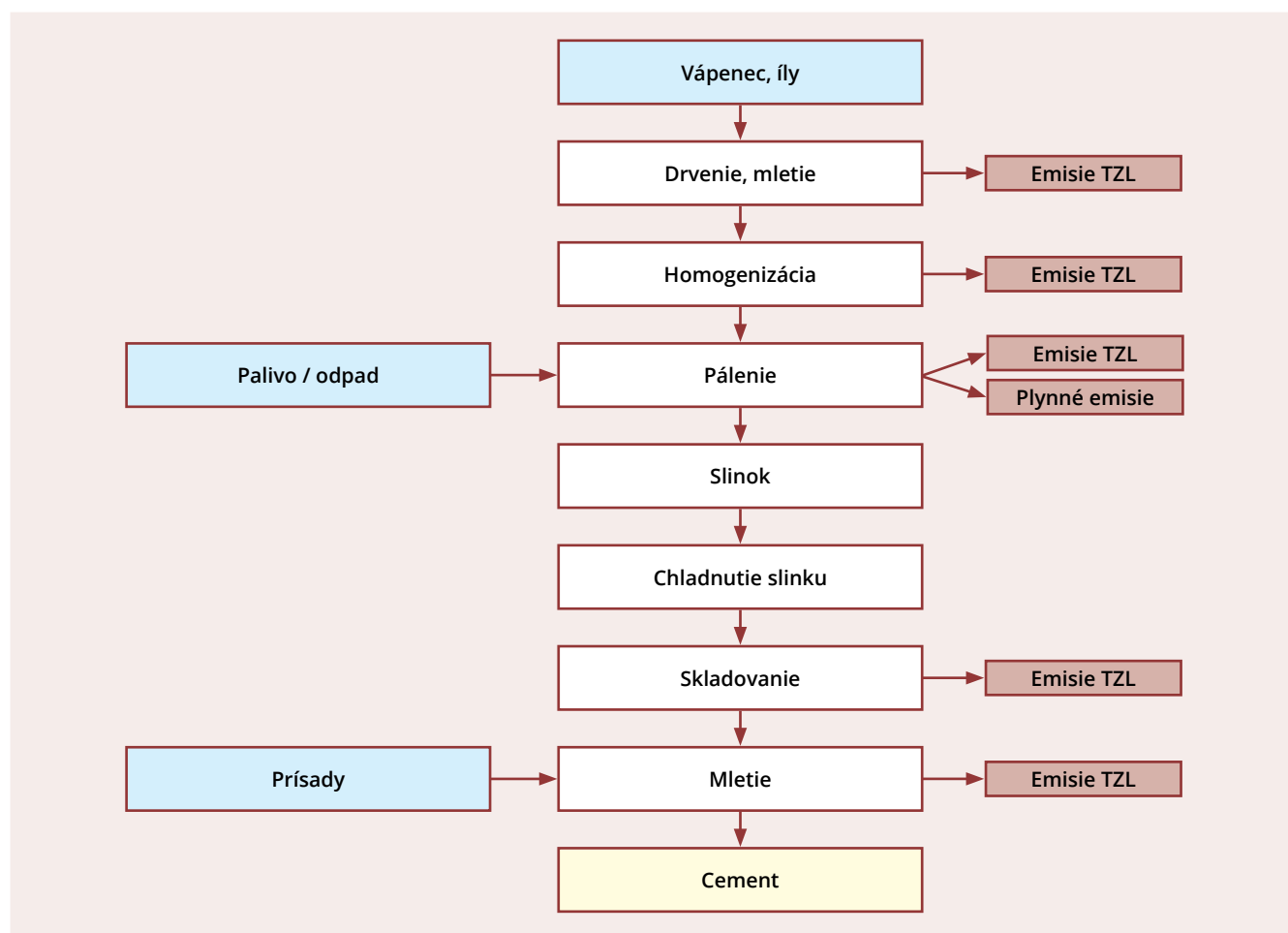
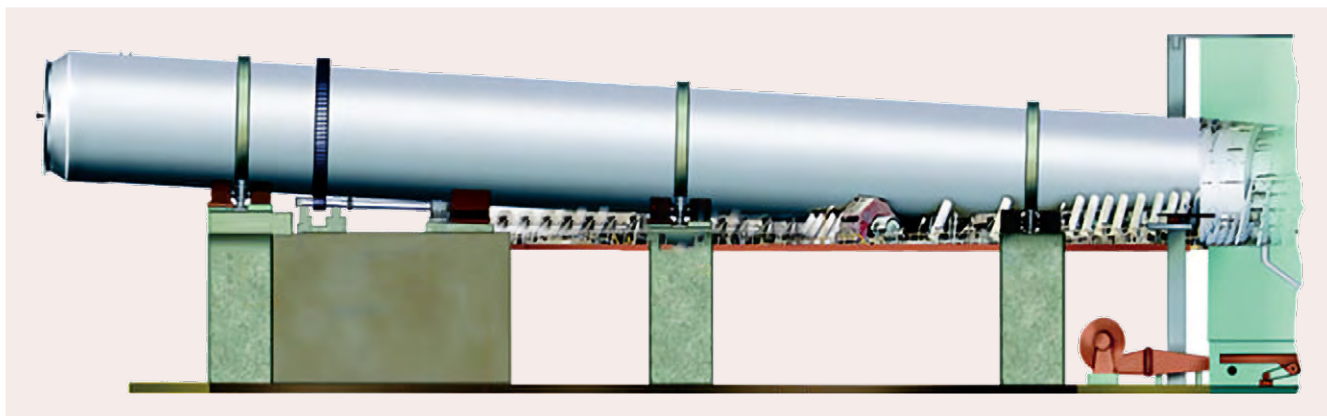


Schéma 1: Výroba cementu



**Obrázok 2:** Rotačná pec na výrobu cementu (zdroj: [www.patfab.com](http://www.patfab.com))

## 2.2. Environmentálne vplyvy

Hlavným zdrojom emisií znečisťujúcich látok pri výrobe cementu je rotačná pec. Odpadové plyny obsahujú tuhé znečisťujúce látky (TZL), oxidy dusíka ( $\text{NO}_x$ ), oxid siričitý ( $\text{SO}_2$ ), oxid uhoľnatý ( $\text{CO}$ ), celkový organický uhlík (TOC), kovy a polychlórované dibenzo(p)dioxíny a furány (PCDD/F).

Primárne opatrenia na zníženie emisií  $\text{NO}_x$  zahŕňajú chladenie plameňa, postupné spaľovanie, používanie nízkoemisných horákov. Sekundárnym opatrením je čistenie spalín systémom selektívnej nekatalytickej redukcie (SNCR) a selektívnej katalytickej redukcie (SCR).

Prvým krokom na zníženie emisií  $\text{SO}_2$  je výber palív a surovín s nízkym obsahom síry a úprava obsahu kyslíka v peci. Časť  $\text{SO}_2$  sa môže absorbovať na hasené vápno ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), pálené vápno ( $\text{CaO}$ ) alebo popolček s vysokým obsahom  $\text{CaO}$ .  $\text{SO}_2$  reaguje na  $\text{CaSO}_3$  alebo  $\text{CaSO}_4$ , ktoré potom vstupujú spolu so surovinou do pece a dochádza k ich naviazaniu na slinok.

Prítomnosť chlóru a organických látok môže spôsobiť vznik PCDD/F. K tvorbe dochádza syntézou pri chladení spalín zo 450 °C na 200 °C. Je preto dôležité, aby v rámci tohto teplotného rozsahu boli spaliny rýchlo ochladené.

Zdrojom emisií TZL sú odpady z prípravy surovín, prach z pece, prach zo zariadení na čistenie odpadového plynu, použité sorpčné činidlá zo systému čistenia odpadových plynov a obalové odpady (plast, drevo, kov, papier). Časť odpadov je možné recyklovať a znovu použiť v prevádzke. Na odstránenie TZL z rotačných pecí sa používajú elektrostatické odlučovače a textilné filtre. Zachytený prach z odlučovačov sa používa priamo vo výrobe cementu.

## 2.3. Najlepšie dostupné techniky (BAT) na znižovanie emisií

Najlepšie dostupné techniky (BAT) sú ustanovené v kapitolách 1.2.5 – 1.2.8 Vykonávacieho rozhodnutia Komisie č. 2013/163/EU z 26. marca 2013, ktorým sa stanovujú závery o najlepších dostupných technikách (BAT) podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách na výrobu cementu, vápna a oxidu horečnatého.

Tieto závery o BAT sa týkajú činností uvedených v prílohe č. 1 zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia v znení neskorších predpisov, konkrétne:

– činnosť 3.1 a) výroba cementového slinku v rotačných peciach s výrobnou kapacitou presahujúcou 500 ton za deň alebo v iných peciach s výrobnou kapacitou presahujúcou 50 ton za deň.

Na uvedené činnosti sa vzťahujú aj požiadavky zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

### Znižovanie emisí TZL

- uzavretie/zakapotovanie prašných operácií (napr. mletie, triedenie a miešanie);
- zakrytie dopravníkov a elevátorov, ak je pravdepodobné, že z materiálu sa môžu uvoľňovať emisie TZL;
- obmedzenie únikov fugitívnych emisí a netesností;
- používanie automatických zariadení a riadiacich systémov;
- zabezpečenie bezproblémovej prevádzky;
- zabezpečenie riadnej a úplnej údržby zariadenia prostredníctvom mobilného a stacionárneho vysávania;
- ventilácia a zhromažďovanie prachu v textilných filtroch; manipulovať s materiálom v najväčšej možnej miere v uzavretých systémoch udržiavaných pod podtlakom; odsávaný vzduch by sa mal pred vypustením do okolitého ovzdušia odprášiť prostredníctvom textilných filtrov;
- využitie uzavretých skladovacích priestorov; za účinné sa považujú slinkové silá, kde sú nainštalované textilné filtre, ktoré zabraňujú tvorbe emisí pri plnení a vyprázdňovaní;
- pri procesoch expedície a nakladania využitie flexibilných plniacich potrubí, ktoré smerujú k nakladacej ploche nákladných áut, pričom sú vybavené systémom na odsávanie prachu pri nakladaní cementu;
- zakrytie priestorov vyhradených na skladovanie (uzavretie clonou, murivom alebo vertikálne rastúcou zeleňou);
- používanie vodných rozprašovačov a chemických prostriedkov potláčajúcich únik TZL (pri skladovaní);
- na zníženie množstva emisí TZL z procesov výpalu, chladenia a mletia by sa malo používať suché čistenie filtráciou (elektrostatické odlučovače, textilné filtre).

### Znižovanie emisí NO<sub>x</sub>

- primárne techniky: chladenie plameňa, horáky s nízkymi hodnotami emisí NO<sub>x</sub>, pálenie v strede pece, pridávanie mineralizátorov na zlepšenie páliteľnosti surovínovej múčky, optimalizácia procesov;
- viacstupňové spaľovanie;
- selektívna nekatalytická redukcia (SNCR);
- selektívna katalytická redukcia (SCR);

pri použití SNCR:

- zavedenie primeranej a dostatočnej účinnosti zníženia NO<sub>x</sub> spolu so stabilným procesom prevádzky;
- uplatnenie vhodného stechiometrického pomeru amoniaku s cieľom dosiahnuť čo najvyššiu účinnosť zníženia NO<sub>x</sub> a s cieľom znížiť únik NH<sub>3</sub>;
- udržiavanie emisí úniku nezreagovaného NH<sub>3</sub> v odpadových plynch na čo najnižšej úrovni pri zohľadnení korelácie medzi účinnosťou znižovania emisí NO<sub>x</sub> a únikom NH<sub>3</sub>.

### Znižovanie emisí SO<sub>x</sub>

- optimalizácia procesu mletia suroviny;
- pridanie absorpčných prostriedkov do vsádzky pece;
- mokré odsírenie.

### Znižovanie emisií CO a počtu núdzových vypnutí z dôvodu zvýšeného množstva CO

- riadenie zvýšeného množstva CO s cieľom znížiť prestoje elektrostatického odlučovača (napr. riadenie procesu spaľovania, riadenie obsahu organických látok v surovinách, riadenie kvality palív a systému dávkovania palív);
- kontinuálne meranie obsahu CO prostredníctvom monitorovacích zariadení s krátkym reakčným časom, ktoré sú umiestnené v blízkosti zdroja emisií CO;
- mokré odsírenie.

### Znižovanie emisií celkového organického uhlíka

- zabránenie dávkovania surovín s vysokým obsahom prchavých organických zlúčenín (vápenec, íly).

### Znižovanie emisií HCl a HF

- používanie surovín a palív s nízkym obsahom chlóru a fluóru;
- obmedzenie obsahu chlóru a fluóru vo všetkých odpadoch, ktoré sa majú použiť ako surovina alebo palivo v cementárskej peci.

### Znižovanie emisií PCDD/F

- dôsledný výber a kontrola vstupov do pece (surovín), t. j. chlór, meď a prchavé organické zlúčeniny;
- dôsledný výber a kontrola vstupov do pece (palív), t. j. chlór a meď;
- obmedzenie, resp. vylúčenie používania odpadov obsahujúcich chlórované organické materiály;
- zamedzovanie dávkovania palív s vysokým obsahom halogénov (napr. chlór), pri sekundárnom spaľovaní;
- rýchle ochladenie pecných odpadových plynov na teplotu  $< 200$  °C a minimalizovanie času zdržania odpadových plynov a obsahu kyslíka v zónach, kde je teplota v rozmedzí od 300 do 450 °C;
- zastavenie spoluspaľovania odpadu v priebehu operácií, ako sú napr. nábeh alebo odstavovanie pece.

### Znižovanie emisií kovov

- výber materiálov s nízkym obsahom relevantných kovov a obmedzenie obsahu relevantných kovov v materiáloch (predovšetkým ortuť);
- zaručenie požadovaných vlastností použitých odpadových materiálov prostredníctvom systému zabezpečenia kvality;
- používanie účinných postupov na odstránenie TZL.

## 3. VÝROBA VÁPNA

### 3.1. Vlastnosti

Vápno používa ľudstvo už oddávna. Používanie v stavebníctve bolo rozšírené v mnohých civilizáciách vrátane starovekého Grécka, Egypta, Ríma, Mayskej ríše, Číny a Mongolska už v období 1000 p. n. l. V súčasnosti sa vápno používa v rôznych priemyselných odvetviach a poľnohospodárstve. Využíva sa ako tavidlo pri zušľachtovaní ocele, ako spojivo v stavebníctve, pri čistení odpadových vôd na odľučovanie nečistôt. Má tiež široké použitie pri neutralizácii kyslých zložiek priemyselných odpadových vôd a plynov.

Termín vápno zahŕňa *nehasené* a *hasené* vápno. Nehasené alebo „*pálené vápno*“ – je oxid vápenatý (CaO) získaný kalcináciou vápenca (CaCO<sub>3</sub>). Hasené vápno sa vyrába hasením nehaseného vápna vodou. Je tvorené prevažne hydroxidom vápenatým Ca(OH)<sub>2</sub>.

Pálené vápno sa skladuje v suchom prostredí, bez prístupu vonkajšieho vzduchu, aby sa zabránilo haseniu vzdušnou vlhkosťou. Hasené vápno absorbuje zo vzduchu oxid uhličitý, pričom vzniká uhličitan vápenatý a voda. Preto je vhodné jeho skladovanie taktiež v suchom prostredí.

### 3.2. Technologický postup výroby

Proces výroby zahŕňa prípravu vápenca a palív, kalcináciu vápenca, spracovanie nehaseného vápna, hasenie vápna, skladovanie a expedíciu finálneho produktu.

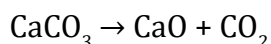
#### 3.2.1. Príprava vápenca a palív

Surovinou na výrobu vápna je vápenec, v menšej miere dolomit alebo dolomitický vápenec. Typický vápenec obsahuje viac ako 90 % CaCO<sub>3</sub> a niekoľko percent MgCO<sub>3</sub>. Vyťažенý vápenec sa drví v čelustových drvičoch na frakciu veľkosti 5 – 80 mm. Po drvení sa vápenec triedi. Pred vložením do výrobného zariadenia (pece) sa vápenec skladuje v silách alebo na skládke.

Výroba vápna je energeticky náročná, náklady na energiu predstavujú 30 – 60 % celkových výrobných nákladov. Pece sú vykurované fosílnymi palivami (pevnými, kvapalnými, plynými), odpadmi alebo biomasou. Z fosílnych palív sa najčastejšie používajú zemný plyn, koksárenský plyn, uhlie, koks, ľahký vykurovací olej. Z odpadov sa používajú olej, plasty, papier a mäsokostná múčka. Použitie odpadu môže ovplyvniť kvalitu výsledného vápna, preto sa musia pred použitím preskúmať jeho vlastnosti.

#### 3.2.2. Kalcinácia vápenca

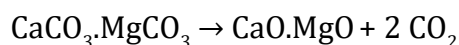
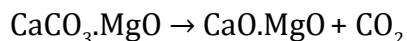
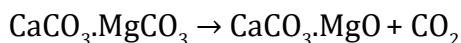
Vápno sa vyrába pálením uhličitanu vápenatého pri teplote 900 – 1 200 °C. Tento tepelný rozklad sa často označuje ako *kalcinácia*. Možno ho vyjadriť nasledujúcou rovnicou:



Proces závisí od dostatočnej teploty spaľovania, ktorá musí byť aspoň 800 °C, aby bola zaistená kalcinácia.



Rozklad dolomitu a dolomitického vápenca je omnoho zložitejší. Prebieha ako jednostupňový alebo s dvomi oddelenými stupňami, alebo cez medzistupne podľa nasledujúcich rovníc:



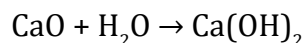
Pri kalcinácii prechádza vápenec v peci cez tri teplotné zóny:

1. *Predhrievacia zóna* – vápenec sa zahrieva na teplotu asi 800 °C priamym kontaktom s plynmi z kalcinačnej zóny zloženými z produktov spaľovania, nadbytočného vzduchu a CO<sub>2</sub> z kalcinácie.
2. *Vypaľovacia a kalcinačná zóna* – v tejto zóne dosahuje teplota > 900 °C. Povrch vápenca sa začína rozkladať pri teplotách 800 – 900 °C. Pri teplotách nad 900 °C dochádza k rozkladu pod povrchom častíc.
3. *Chladiaca zóna* – nehasené vápno sa chladí priamym kontaktom s chladiacim vzduchom, ktorý sa, naopak, predhrieva. Vápno opúšťa zónu pri teplote menšej ako 100 °C.

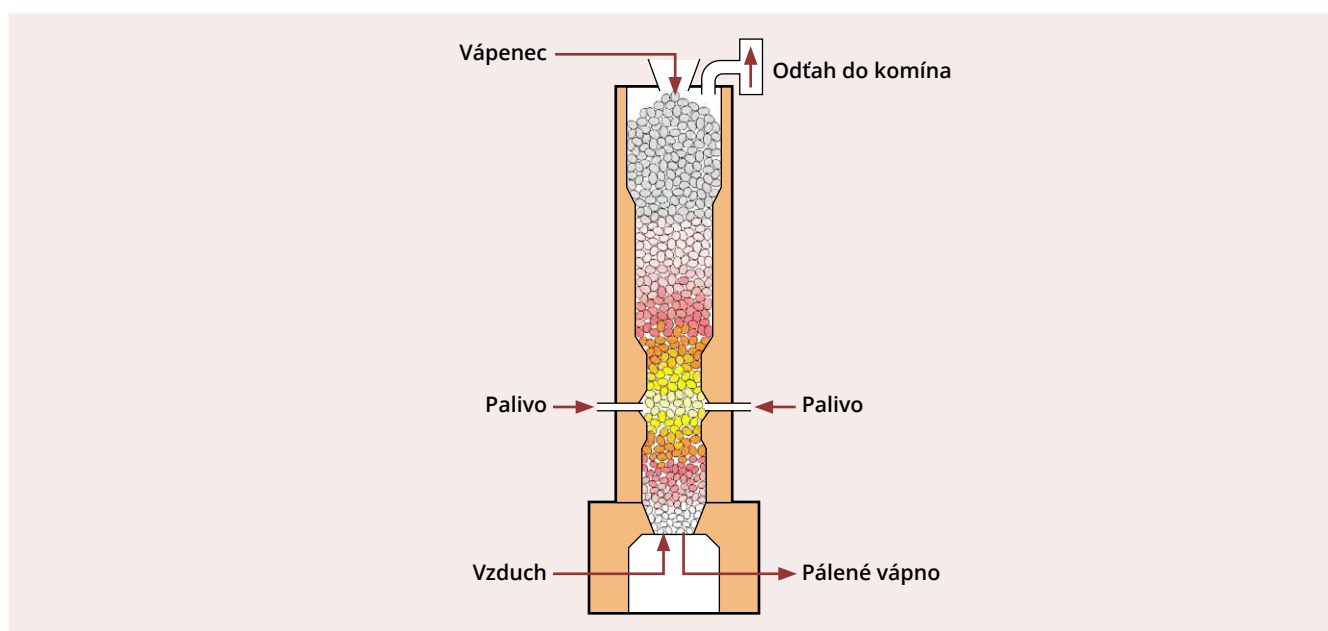
Kalcinácia prebieha v šachtových alebo rotačných peciach. Pre obidva druhy pecí je charakteristický protiprúdny pohyb pevných materiálov a plynov. Kalcinácia v peci môže trvať šesť hodín až dva dni.

Výsledný oxid vápenatý CaO – *pálené vápno* sa pred dopravou do skladovacieho sila drví, melie a triedi. Zo sila sa pálené vápno buď dopravuje ku konečnému spotrebiteľovi na použitie v podobe nehaseného vápna, alebo sa dopravuje do hydratačnej prevádzky, kde reaguje s vodou za vzniku *haseného vápna*.

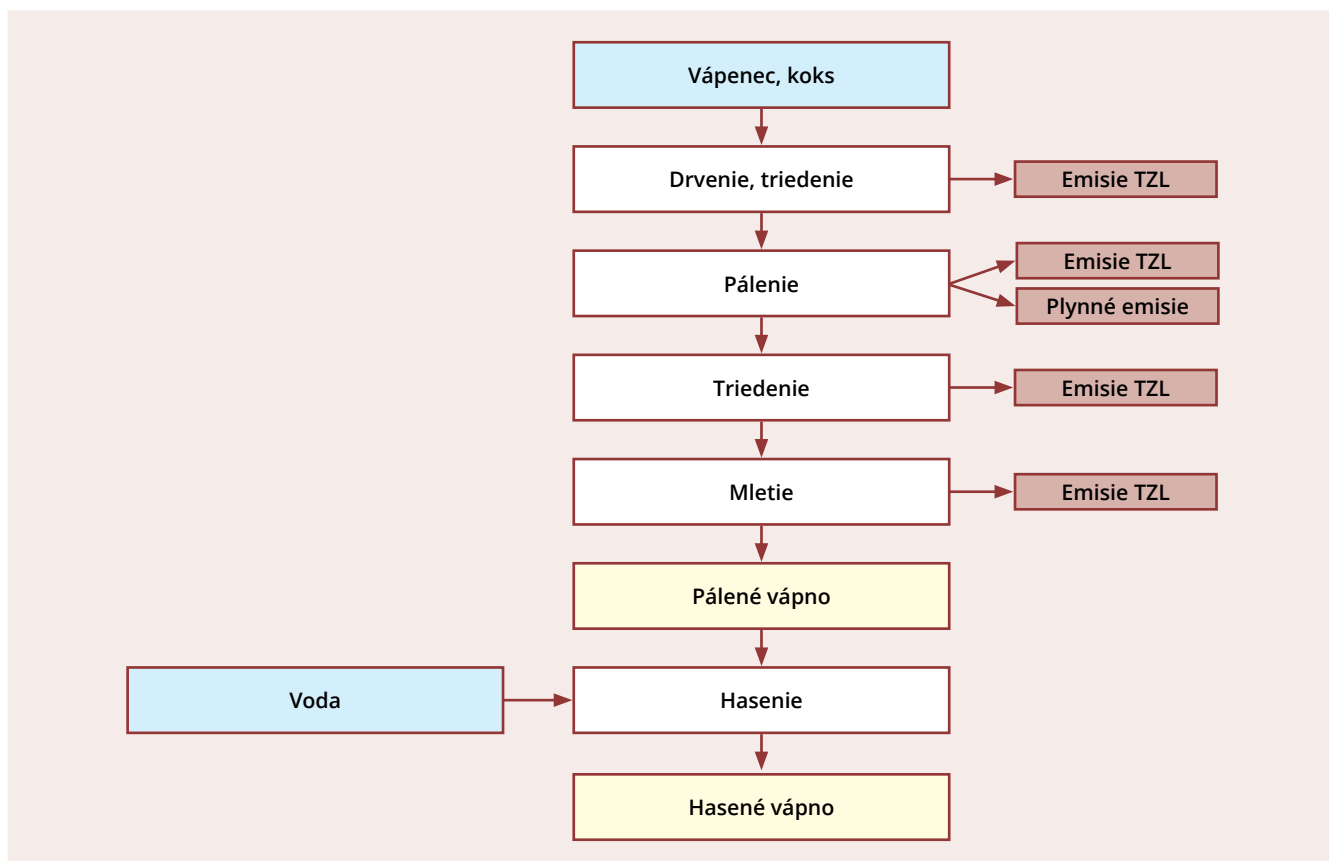
Hydratácia vápna zahŕňa pridávanie vody k oxidu vápenatému v hydrátore. Hasením sa pálené vápno mení na hydroxid vápenatý Ca(OH)<sub>2</sub> – *hasené vápno* podľa reakcie:



Množstvo pridávanej vody predstavuje asi dvojnásobok stechiometrického množstva potrebného na hydratačnú reakciu. Nadbytočná voda sa pridáva na zníženie teploty vyvolanej reakčným teplom.



**Obrázok 3:** Šachtová pec na výrobu vápna (zdroj: <http://podzemi.solvayovylomy.cz/prirucka/vapcem/vapcem.htm>)



**Schéma 2:** Výroba vápna

### 3.3. Environmentálne vplyvy

Najvýznamnejšími emisiami z výroby vápna sú TZL, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, sulfán (H<sub>2</sub>S), TOC, chlorovodík (HCl), fluorovodík (HF), ťažké kovy a PCDD/F. Hlavným zdrojom emisií je proces kalcinácie. Významné sú tiež procesy hasenia a mletia.

Emisie TZL unikajú prakticky zo všetkých výrobných operácií. Na ich zachytávanie sa používajú rôzne odlučovače, napr. cyklóny, mokré odlučovače, látkové filtre a elektrostatické odlučovače. TZL z kalcinácie zachytené v textilných alebo elektrostatických odlučovačoch sa používajú ako produkt. Emisie TZL sa znižujú aj zakapotovaním výrobných zariadení.

Na zníženie emisií NO<sub>x</sub> sa používajú primárne opatrenia (postupné spaľovanie, nízkoemisné horáky) a sekundárne opatrenia (SCR, SNCR).

Pri pálení vápna sa zachytáva väčšina síry z vápenca a paliva v pálenom vápne. Preto emisie SO<sub>2</sub> nepredstavujú vo výrobe vápna závažný problém. H<sub>2</sub>S vzniká v dôsledku redukčných podmienok, ktoré sa vyskytujú v horných častiach ťažkových pecí.

Nedokonalým spaľovaním vznikajú emisie CO a TOC. Ich koncentráciu je možné znížiť úpravou spaľovacieho procesu.

Emisie HCl a HF možno znížiť používaním surovín s nízkym obsahom chlóru a fluóru. HCl vznikajúci pri výpale sa zachytáva v pálenom vápne.

Emisie *ťažkých kovov* môžu vznikajúť pri používaní odpadových materiálov. Ich výskyt možno znížiť primárnymi opatreniami (použitím palív a surovín s nízkym obsahom kovov) alebo sekundárnymi opatreniami (odlučovaním TZL, pretože emitované kovy sú vo veľkom rozsahu viazané na TZL).

Výskyt chloridov v surovinách alebo palivách môže potenciálne spôsobovať tvorbu PCDD/F v ktorakeľkoľvek teplotnej zóne procesu, kde sa teploty pohybujú od 300 do 450 °C.

Nečistoty z prania vápenca možno použiť na rekultiváciu alebo zakrytie kontaminovanej zeminy, ako surovinu na výrobu cementu alebo na meliorácie pôd v poľnohospodárstve.

TZL emitované pri manipulácii s vápencom môžu byť opätovne použité ako surovina. TZL emitované z mlecích a triediacich zariadení je pálené vápno, ktoré sa môže použiť do výrobkov alebo v cementárňach. TZL z odlučovačov sa využívajú na stavebné účely, stabilizáciu pôdy alebo sa skládkujú.

Suspensia z mokrých odlučovačov sa deponuje na skládke. Sadrovec vzniknutý pri čistení odpadových plynov sa používa ako regulátor tuhnutia vo výrobe cementu.

### 3.4. Najlepšie dostupné techniky (BAT) na znižovanie emisií

Najlepšie dostupné techniky (BAT) sú ustanovené v kapitolách 1.3.6 – 1.3.9 Vykonávacieho rozhodnutia Komisie č. 2013/163/EU z 26. marca 2013, ktorým sa stanovujú závery o najlepších dostupných technikách (BAT) podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách na výrobu cementu, vápna a oxidu horečnatého.

Tieto závery o BAT sa týkajú činností uvedených v prílohe č. 1 zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia v znení neskorších predpisov, konkrétne:

– činnosť 3.1 b) výroba vápna v peciach s výrobnou kapacitou presahujúcou 50 ton za deň.

Na uvedené činnosti sa vzťahujú aj požiadavky zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

#### Znižovanie emisií TZL

- uzavretie prašných prevádzok (napr. mletie, triedenie a miešanie), resp. obkolesenie týchto prevádzok stenami;
- využívanie krytých dopravných pásov a výtahov, ak je pravdepodobné, že z materiálu sa môžu uvoľňovať emisie TZL;
- využitie skladovacích zásobníkov s primeranou kapacitou, indikátormi miery naplnenia s poistkovými spínačmi a filtrami na spracovanie prašného vzduchu;
- využitie procesu cirkulácie pri pneumatických dopravníkových systémoch;
- manipulácia s materiálom v najväčšej možnej miere v uzavretých systémoch udržiavaných pod podtlakom; odsávaný vzduch by sa mal pred vypustením do okolitého ovzdušia odprášiť prostredníctvom textilných filtrov;
- obmedzenie miest úniku vzduchu a miest, kde dochádza k úniku látok;
- riadna a úplná údržba zariadenia;
- používanie automatických zariadení a kontrolných systémov;
- zabezpečenie kontinuálnej bezproblémovej prevádzky;
- využitie flexibilných plniacich potrubí, ktoré smerujú k nakladacej ploche nákladných áut, pričom sú vybavené systémom na zachytávanie prachu pri nakladaní vápna;
- uzavretie priestorov vyhradených na skladovanie (uzavretie múrom, murivom alebo vertikálne rastúcou zeleňou);

- zníženie množstva fugitívnych emisií zo skladových zásob dostatočným zvlhčením miest naskladky a vykládky, ako aj pomocou dopravníkových pásov s nastaviteľnou výškou;
- pomocou postrekovacích zariadení udržiavať dané lokality mokré a čistiť ich čistiacimi vozidlami;
- využívanie vysávacích vákuových systémov pri odstraňovaní materiálov;
- priestory využívané nákladnými autami vydláždiť a udržiavať ich čo najčistejšie;
- na zníženie množstva emisií TZL z procesov iných než proces pálenia v peciach by sa mali používať textilné filtre a mokré práčky;
- zníženie množstva emisií TZL z procesov pálenia v peciach sa má vykonať filtráciou odpadových plynov.

Možno použiť tieto techniky (samostatne alebo v kombinácii):

- elektrostatický odlučovač,
- textilný filter,
- mokrý odlučovač TZL,
- cyklón (vhodný iba na predbežné prečistenie odpadových plynov).

### Znižovanie emisií NO<sub>x</sub>

- primárne techniky: výber vhodného paliva spolu s obmedzením obsahu dusíka v danom palive;
- horáky s nízkymi hodnotami emisií NO<sub>x</sub>;
- optimalizácia procesu vrátane tvarovania plameňa a teplotných profilov;
- postupné spaľovanie (neuplatňuje sa na šachtové pece);
- selektívna nekatalytická redukcia (SNCR);

*pri použití SNCR:*

- zavedenie primeranej a dostatočnej účinnosti zníženia NO<sub>x</sub> spolu so stabilným procesom prevádzky;
- uplatnenie vhodného stechiometrického pomeru amoniaku s cieľom dosiahnuť čo najvyššiu účinnosť zníženia NO<sub>x</sub> a s cieľom znížiť únik NH<sub>3</sub>;
- udržiavanie emisií úniku nezreagovaného NH<sub>3</sub> v odpadových plynoch na čo najnižšej úrovni pri zohľadnení korelácie medzi účinnosťou znižovania emisií NO<sub>x</sub> a únikom NH<sub>3</sub>.

### Znižovanie emisií SO<sub>x</sub>

- optimalizácia procesu s cieľom zabezpečiť účinnú absorpciu SO<sub>2</sub> (napr. účinný kontakt medzi pecnými plynmi a nehaseným vápnom);
- výber palív s nízkym obsahom síry;
- pridávanie absorbentov (suché čistenie, mokré odsírenie).

### Znižovanie emisií CO a počtu núdzových vypnutí z dôvodu zvýšeného množstva CO

- riadenie zvýšeného množstva CO s cieľom znížiť prestoje elektrostatického odlučovača (napr. výber surovín s nízkym obsahom organických látok, optimalizácia procesov s cieľom dosiahnuť stabilné a úplné spaľovanie);
- kontinuálne meranie obsahu CO prostredníctvom monitorovacích zariadení s krátkym reakčným časom, ktoré sú umiestnené v blízkosti zdroja emisií CO.

### **Znižovanie emisií celkového organického uhlíka**

- uplatňovanie všeobecných primárnych techník;
- zabránenie plneniu surovín s vysokým obsahom prchavých organických zlúčenín.

### **Znižovanie emisií HCl a HF**

- používanie palív s nízkym obsahom chlóru a fluóru;
- obmedzenie obsahu chlóru a fluóru vo všetkých odpadoch, ktoré sa majú použiť ako palivo v peci na výrobu vápna.

### **Znižovanie emisií PCDD/F**

- výber palív s nízkym obsahom chlóru;
- obmedzenie množstva medi, ktoré vstupuje do pece v palive;
- minimalizovanie času zdržania odpadových plynov a obsahu kyslíka v zónach, kde je teplota v rozmedzí od 300 do 450 °C.

### **Znižovanie emisií kovov**

- výber palív s nízkym obsahom kovov;
- zaručenie požadovaných vlastností použitých odpadových palív prostredníctvom systému zabezpečenia kvality;
- obmedzenie množstva príslušných kovov v materiáloch (predovšetkým ortuť).

## 4. VÝROBA OXIDU HOREČNATÉHO MgO

### 4.1. Vlastnosti

Oxid horečnatý (MgO, *magnézia*) je najdôležitejšou priemyselnou zlúčeninou horčíka. Najväčší podiel MgO sa spotrebuje pri výrobe žiaruvzdorných materiálov, vo výrobe ocele, neželezných kovov, skla, cementu a vápna. K významným spotrebiteľským odvetviam chemicky čistého MgO patrí poľnohospodárstvo, stavebníctvo, chemický a elektrotechnický priemysel.

Výroba magnézie má okrem pozitívnych prínosov aj negatívne vplyvy na svoje okolie. Z technológií sa emituje značné množstvo TZL prevažne alkalického charakteru, ktoré majú nepriaznivý vplyv na životné prostredie.

### 4.2. Technologický postup výroby

Najdôležitejšou surovinou na výrobu magnézie je magnezit ( $MgCO_3$ ).

Výroba MgO je energeticky veľmi náročná, pretože prebieha pri vysokých teplotách. Ako palivo sa najčastejšie používajú zemný plyn, petrolkoks a vykurovací olej.

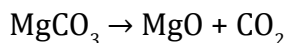
Vyťažaná surovina sa z dobývacieho procesu dopraví na povrch na spracovanie. Primárna úprava spočíva v mechanickej separácii suroviny – úžitkovej zložky od jaloviny. Surovina sa potom drví, melie a triedi. Na tepelnú úpravu magnezitu – *pálenie* sa používajú šachtové alebo rotačné pece. Technologický proces je podobný ako pri výrobe cementu. Tepelnú úpravu predstavujú štyri navzájom sa prelínajúce, presne neohraničené procesy:

- ohrev,
- dekarbonizácia,
- slinovanie,
- chladenie.



**Obrázok 4:** Rotačná pec na výrobu magnezitu  
(zdroj: <http://www.zkeqpt.com/uploads/160926/1-1609261133004b.jpg>)

Rozklad magnezitu možno vyjadriť nasledujúcou rovnicou



Vypaľovaním pri teplote 600 – 800 °C sa získa *kaustický MgO*, ktorý obsahuje ešte 3 – 8 % CO<sub>2</sub>. Používa sa na výrobu xylolitu, heraklitu a Sorelovho cementu. Pálením pri teplote 1 600 – 2 200 °C sa získa *mŕtvo vypálený MgO*, ktorý už neobsahuje CO<sub>2</sub>. Používa sa na výrobu žiaruvzdorných tehál.

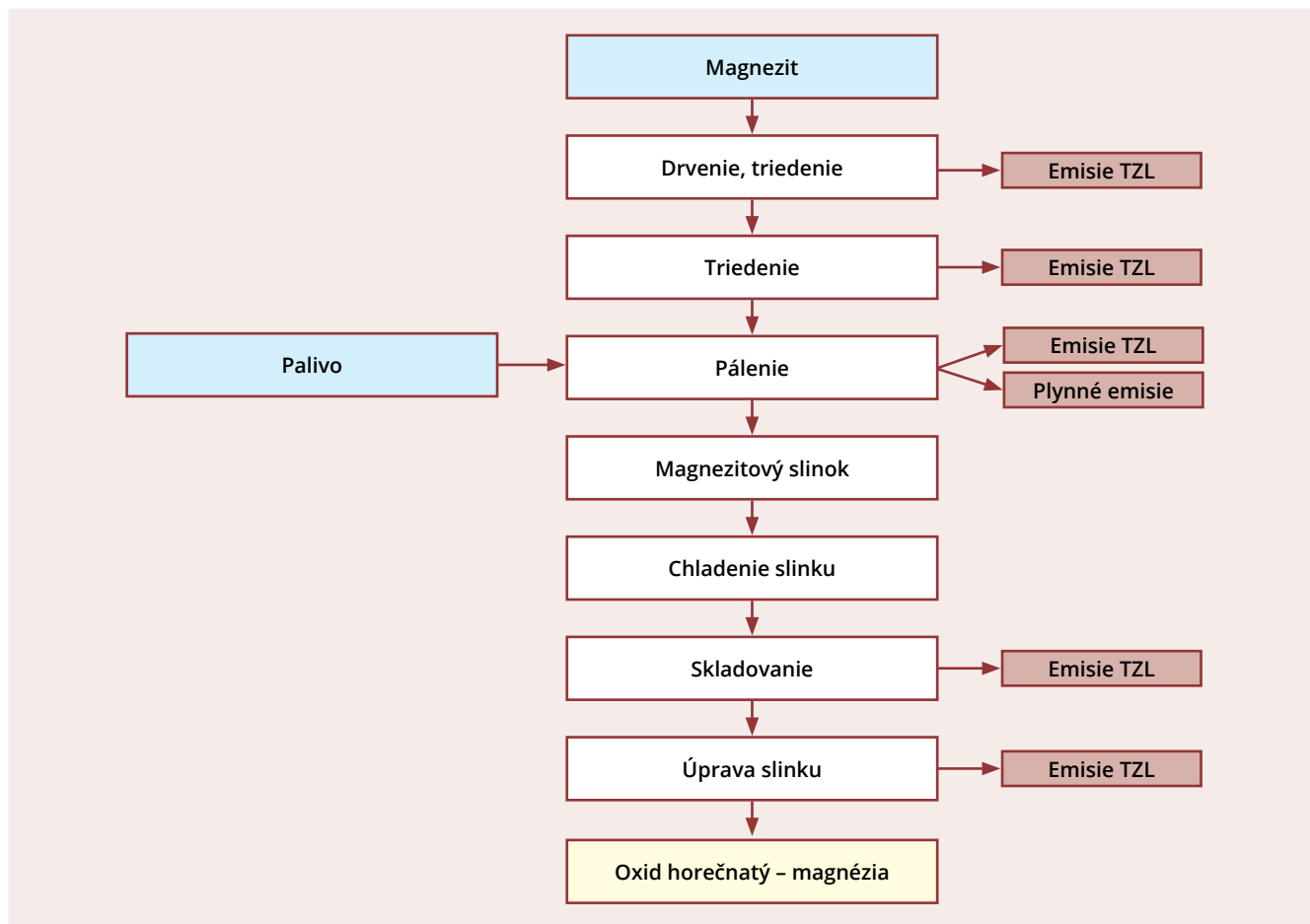


Schéma 3: Výroba magnezitu

### 4.3. Environmentálne vplyvy

Hlavnými znečisťujúcimi látkami vypúšťanými do ovzdušia sú TZL, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> a CO. Emisie pochádzajú z magnezitovej suroviny a zo spaľovaného paliva. Vznikajú predovšetkým pri drvení a triedení vstupnej suroviny a tepelnej úprave magnezitu v šachtových a rotačných peciach.

Horečnatá zložka TZL veľmi agresívne pôsobí na nadzemnú časť a koreňový systém rastlín, čo vedie k úplnému zničeniu vegetácie v okolí výrobných závodov. Pece sú preto vybavené účinnými textilnými filtrami alebo elektrostatickými odlučovačmi.

Emisie NO<sub>x</sub> sa znižujú primárnymi opatreniami alebo použitím systémov SCR alebo SNCR.

Emisie SO<sub>2</sub> sú ovplyvňované predovšetkým výberom vhodného paliva. Sekundárne sa SO<sub>2</sub> znižujú absorpciou.

TZL zachytené v odlučovačoch pri čistení odpadových plynov sa vracajú späť do procesu.

## 4.4. Najlepšie dostupné techniky (BAT) na znižovanie emisií

Najlepšie dostupné techniky (BAT) sú ustanovené v kapitolách 1.4.3 – 1.4.4 Vykonávacieho rozhodnutia Komisie č. 2013/163/EU z 26. marca 2013, ktorým sa stanovujú závery o najlepších dostupných technikách (BAT) podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách na výrobu cementu, vápna a oxidu horečnatého.

Tieto závery o BAT sa týkajú činností uvedených v prílohe č. 1 zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia v znení neskorších predpisov, konkrétne:

– činnosť 3.1 c) výroba oxidu horečnatého v peciach s výrobnou kapacitou presahujúcou 50 ton za deň.

Na uvedené činnosti sa vzťahujú aj požiadavky zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

### Znižovanie emisií TZL

- udržiavanie poriadku v budovách a na cestách spolu s riadnou a úplnou údržbou zariadenia;
- polievanie surovín skladovaných v haldách vodou;
- uzavretie prašných prevádzok (napr. drvenie a triedenie), resp. obkolesenie týchto prevádzok stenami;
- využívanie krytých dopravných pásov a výtahov, ak je pravdepodobné, že z materiálu sa môžu uvoľňovať emisie TZL;
- využitie skladovacích zásobníkov s primeranou kapacitou, indikátormi miery;
- naplnenia s poistkovými spínačmi a filtrami na spracovanie prašného vzduchu;
- využitie procesu cirkulácie pri pneumatických dopravníkových systémoch;
- obmedzenie miest úniku vzduchu a miest, kde dochádza k úniku látok;
- zabezpečenie kontinuálnej bezproblémovej prevádzky;
- na zníženie množstva emisií TZL z procesov iných než proces pálenia v peciach sa má uplatňovať systém riadenia údržby, osobitne zameraný na účinnosť jednotlivých techník a využívanie čistenia odpadových plynov filtráciou. Možno použiť tieto techniky (samostatne alebo v kombinácii):
  - textilný filter,
  - mokrý odlučovač TZL,
  - cyklón (vhodný iba na predbežné prečistenie odpadových plynov).

Zníženie množstva emisií TZL z procesov pálenia v peciach sa má vykonať filtráciou odpadových plynov. Možno použiť tieto techniky (samostatne alebo v kombinácii):

- *elektrostatický odlučovač* – využiteľný najmä v rotačných peciach pri teplotách odpadového plynu v rozmedzí od teploty rosného bodu až po teplotu 370 – 400 °C,
- *textilný filter* – využiteľný pri teplotách odpadového plynu v rozmedzí od teploty rosného bodu až po teplotu 280 °C,
- *mokrý odlučovač TZL*,
- *cyklón* (vhodný iba na predbežné prečistenie odpadových plynov).

### Znižovanie emisií NO<sub>x</sub>

- výber vhodného paliva spolu s obmedzením obsahu dusíka v danom palive,
- optimalizácia procesu a vylepšená technika pálenia.



### Znižovanie emisií SO<sub>x</sub>

- techniky optimalizácie procesov,
- výber palív s nízkym obsahom síry,
- pridávanie absorbentov (suché čistenie, mokré odsírenie).

### Znižovanie emisií CO a počtu núdzových vypnutí z dôvodu zvýšeného množstva CO

- riadenie zvýšeného množstva CO s cieľom znížiť prestoje elektrostatického odlučovača (napr. výber surovín s nízkym obsahom organických látok, optimalizácia procesnej kontroly s cieľom dosiahnuť správne a úplné spaľovanie, kontrolované, stále a kontinuálne dávkovanie palív);
- kontinuálne meranie obsahu CO prostredníctvom monitorovacích zariadení s krátkym reakčným časom, ktoré sú umiestnené v blízkosti zdroja emisií CO.

## 5. VÝROBA KERAMIKY

### 5.1. Vlastnosti, použitie, produkcia keramiky

Výraz keramika sa používa pre anorganické hmoty vytvorené z nekovových zmesí a vytvrdené v procese výpalu. Výpal keramiky spôsobuje časovo-teplotné transformácie základných materiálov, zvyčajne dochádza k vzniku zmesi nových minerálov a sklenej fázy. Keramika môže byť glazovaná alebo neglazovaná, pórovitá alebo slinutá. Charakteristickými vlastnosťami keramických výrobkov sú vysoká pevnosť, odolnosť proti opotrebovaniu, dlhá životnosť, chemická nereaktivita a netoxičnosť, tepelná odolnosť, odolnosť proti ohňu, elektrický odpor a niekedy aj špecifická pórovitosť. Keramický priemysel sa rozdeľuje do dvoch skupín.

*Hrubá keramika* zahŕňa výrobu tehál, strešnej krytiny, kameninových rúr, žiaruvzdorných výrobkov a ľahkého umelého kameniva.

*Jemná keramika* zahŕňa výrobu obkladačiek a dlaždíc, úžitkovej keramiky, zdravotníckej keramiky, technickej keramiky a anorganicky spojených brúsiv.

Výrobky z jemnej keramiky sa od výrobkov z hrubej keramiky odlišujú textúrou. Hranica medzi jemnou a hrubou keramikou sa pohybuje medzi ekvivalentným priemerom častíc 0,1 a 0,2 mm.

*Tehly a strešná krytina* sa vyrábajú vo veľkých množstvách a používajú sa v mnohých odvetviach stavebníctva. Patria sem:

- stavebné tehly,
- strešná krytina,
- tehlové dlaždice,
- komínovky.

*Kameninové rúry* sa používajú pre drenáže, kanalizácie, nádrže na kyseliny a výrobky pre stajne.

Žiaruvzdorné výrobky sú keramické materiály schopné odolávať teplotám nad 1 500 °C. Používajú sa vo výrobe železa a ocele, cementu, vápna, skla, keramiky, hliníka, medi, v ropnom priemysle, spalovniach odpadu, elektrárňach. Žiaruvzdorné výrobky odolávajú vysokým teplotám a všetkým typom namáhania (mechanickému, tepelnému, chemickému), ako sú korózia, deformácia topením a teplotné šoky.

Ľahké umelé kamenivo je pórovitý keramický výrobok s jednotnou pórovitou štruktúrou z jemných uzatvorených pórov a pevne slinutým vonkajším obalom. Používajú sa samostatne alebo s cementovým spojivom v stavebnom priemysle (ľahčený betón, tvárnice, transportbetón), ako posypový materiál v záhradníctve a krajinotvorbe (napr. násypy ciest, substráty pre zelené strechy, filtračné a odvodňovacie výplne).

*Obkladačky a dlaždice* sú tenké dosky vyrobené z ílu alebo ďalších anorganických materiálov, ktoré sa používajú pri pokrývaní podláh a obkladaní stien. Bežnými tvarmi sú štvorce a obdĺžniky, vyrábajú sa aj ďalšie polygonálne tvary (šesťuholníky, osemuholníky). Veľkosť dlaždíc sa pohybuje od niekoľkých centimetrov (mozaiky) až po dosky s veľkosťou strany 60 – 100 cm. Hrúbka sa pohybuje od 5 mm do 25 mm.

*Úžitková keramika* zahŕňa nádoby, umelecké výrobky a bižutériu. Typickými výrobkami sú taniere, misky, hrnčeky, misky, kanvice a vázy.

*Zdravotnícka keramika* – patria sem záchodové misy, bidety, umývadlá, nádrže na vodu a nápojové fontánky.

*Technická keramika* sú rôznorodé výrobky používané v mnohých priemyselných odvetviach. Patria sem izolátory, súčiastky pre letecký a automobilový priemysel (motorové diely, nosiče katalyzátorov), elektronický priemysel (kondenzátory, piezoelektrické súčiastky), biomedicínu (kostné náhrady), ochranu životného prostredia (filtre).

*Anorganicky spojené brúsivá* – špeciálne tavené korundy, syntetické korundy, karbid kremíka, diamanty triedené do jednotnej zrnitosti a zmiešané so slinujúcim spojivom.

## 5.2. Technológia výroby keramiky

Základnými surovinami sú vhodné keramické zeminy, najmä hliny, íly, spraše, kaolíny. Okrem nich sa používajú aj pomocné suroviny, z ktorých sú najdôležitejšie ostrivá, tavivá, ľahčivá, farbivá a glazúry.

Ostrivá sú neplastické žiaruvzdorné látky, ktoré neprijímajú vodu a znižujú plasticosť hliny, čím sa obmedzuje zosychanie výrobkov a ich zmršťovanie pri vypalovaní. Najbežnejším ostrivom je piesok, používajú sa aj popolček, škvara, zomleté pálené črepy a vysokopecná troska. Tavivá sa používajú na zhutnenie črepu. Používajú sa najmä živce a sludy. Ľahčivá sa pridávajú k zeminám najmä na vypálenie črepu, avšak pôsobia aj ako ostrivo. Ľahčivá pri pálení vyhoria a zanechajú v hotovom výrobku trhliny. Zlepšujú sa tým tepelnoizolačné vlastnosti, znižuje sa však pevnosť výrobku. Najčastejšie sa používajú uhoľný prach, drevené piliny, rašelina a iné. Ako farbivá sa používajú rôzne oxidy (Fe, Co, Mn) a iné zlúčeniny.

Glazúry sú vodné suspenzie, ktoré obsahujú oxidy kovov. Nanášajú sa máčaním alebo striekaním na vypálený výrobok. Po vysušení a vypálení sa vytvára sklovitý povlak, ktorý zlepšuje vzhľad i vlastnosti daného výrobku. Výrobky z hrubej keramiky sa neglazujú.

Výroba keramiky prebieha v rôznych typoch pecí, s použitím širokého sortimentu surovín. Výrobky majú rôzne tvary, rozmery a farby. Všeobecne je proces výroby keramických výrobkov pomerne jednotný, okrem výroby obkladačiek, úžitkovej keramiky, zdravotníckej a technickej keramiky, kde sa často používa viacstupňový výpal. Suroviny sa miešajú, lejú, lisujú alebo ťahajú do požadovaného tvaru. Na dôkladnú homogenizáciu a tvarovanie sa používa voda. Odparuje sa v sušiarňach a následne sa výrobky ukladajú do pece. Keramickú štruktúru výrobok získava pri výpale. Na zaistenie požadovaných vlastností výrobkov je potrebná veľmi presná regulácia vzostupu teploty počas výpalu. Ďalej je dôležitá regulácia následného chladnutia výrobkov. Teplota sa znižuje postupne, aby sa zachovala keramická štruktúra. Hotové výrobky sa balia a expedujú, príp. skladujú.

### 5.2.1. Príprava suroviny

Vyťažaná surovina sa drví a melie. Drvením sa získajú častice s veľkosťou  $\geq 2$  mm. Pri výrobe obkladačiek, dlaždíc a žiaruvzdorných výrobkov sa surovina melie vo valcových mlynoch, čím sa získajú častice  $< 200$   $\mu\text{m}$ .

Niektoré suroviny (dolomit, magnezit) sa vypaľujú v rotačných peciach, aby sa zlepšili ich vlastnosti. Kalcináciou pri teplote nad  $1\ 800$  °C sa znižuje zmršťovanie a urýchľuje sa proces výpalu žiaruvzdorných výrobkov.

### 5.2.2. Miešanie zložiek

Pripravené suroviny sa miešajú a homogenizujú v miesičoch v určených pomeroch tak, aby sa dosiahla stálosť chemických a fyzikálnych vlastností. Väčšina tvarovacích operácií si vyžaduje suroviny s určeným obsahom vody alebo spojív. V zmesi musia byť presne nadávkované a rovnomerne rozložené.

### 5.2.3. Tvarovanie výrobkov

Keramické výrobky sa tvarujú v plastickom stave jednou z nasledujúcich techník:

- Lisovanie – používa sa vo výrobe tehál. Na formy naplnené stanoveným množstvom suroviny sa pôsobí tlakom zhora aj zdola.
- Ťahanie – plastická surovina sa mieša s teplou vodou na požadovanú konzistenciu a pretláča sa cez ústie lisu. Pás sa následne reže na prvky požadovanej dĺžky niekoľkými napnutými vertikálnymi drôtmi. Používa sa pri výrobe tehál, kameninových rúr, dlaždíc, obkladačiek a žiaruvzdorných výrobkov.
- Liatie – jemne mletý materiál sa mieša s vodou na suspenziu a vlieva do pórovitej formy vyrobenej zo sadry. Nasiakavosť formy spôsobuje odsávanie kvapaliny zo suspenzie, a tak sa vytvára pevný odliatok na vnútornom povrchu formy. Tento proces sa používa pri výrobe zdravotníckej keramiky, ozdobnej, technickej keramiky a pri výrobe zložitých žiaruvzdorných výrobkov.

### 5.2.4. Sušenie keramických výrobkov

Účelom sušenia je zníženie obsahu vody na hodnotu, ktorá umožní vypaľovanie. V minulosti sa výrobky sušili tradičným spôsobom vystavením okolitej teplote. V súčasnosti prebieha v sušiarňach s reguláciou procesu sušenia, rýchlosti ohrevu, cirkulácie vzduchu, vlhkosti a teploty.

Teplu pre sušiaci vzduch je dodávané hlavne plynovými horákmi a teplým vzduchom získaným z chladiacej zóny vypaľovacích pecí. Na sušenie sa používajú nasledujúce typy sušiarňí:

1. *Sušiarne s vyhrievanou podlahou* – sušenie prebieha pri kontakte spodnej časti výrobkov s vyhrievanou podlahou a na princípe konvekcie, pri prúdení teplého vzduchu nad podlahou. Povrch výrobkov sa suší pomaly a nevzniká tak zbytočne veľké pnutie vo výrobkoch počas sušenia. Sušiarne sú vhodné na pomalé sušenie veľkých a komplikovaných keramických výrobkov, ako sú zdravotnícke a žiaruvzdorné výrobky.
2. *Komorové sušiarne (periodické)* – skladajú sa z radu komôr s utesnenými vstupnými dverami a sú vybavené koľajovými vozíkmi. Tie sú založené sušiacimi paletami alebo policami ukladanými vo vertikálne rovnakých vzdialenostiach. Keramické výrobky sa ukládajú na vozíky, ktoré sa dopravujú do komôr a tie sa následne uzatvoria. Všetky operácie sú plne automatizované. Vzduch sa recirkuluje pre zvýšenie účinnosti sušenia. Používajú sa na sušenie výrobkov s vyšším obsahom vody alebo tam, kde je výroba periodická.
3. *Tunelové sušiarne (kontinuálne)* – sú to dlhé tunelové zariadenia, ktorými sú posunované vozíky so surovými keramickými výrobkami. Vzduch s vysokou teplotou je vháňaný na výstupe sušiarne a postupuje smerom k vstupu. Ako vzduch postupuje cez sušiareň, odovzdáva teplo výrobkom. Dĺžka tunela závisí od rýchlosti postupu, požadovaného výkonu a od vlhkosti keramického materiálu.
4. *Vertikálne lavičkové sušiarne* – skupina lavičiek s výrobkami sa pohybuje sušiarňou vertikálnym smerom, kde prúdia horúce sušiacie plyny. Teplota sušenia je nižšia ako 200 °C a cyklus sušenia trvá 35 – 50 minút.

5. *Horizontálne viacvrstvé valčekové sušiarne* – výlisky sa ukladajú v sušiarňi na jednotlivé plošiny, ktoré sa horizontálne pohybujú po valčekoch. Po stranách sušiarne sú umiestnené horáky. Tie vháňajú horúci vzduch, ktorý prúdi oproti výrobkom. Teplota sušenia je okolo 350 °C a cyklus sušenia trvá 15 – 25 minút.
6. *Vlhkostné sušiarne* – technika sušenia je založená na udržiavaní vlhkosti vzduchu v komore pod stavom nasýtenia, takže voda sa z výrobkov plynule vyparuje a nevyžaduje zvyšovanie tepla. Na udržanie tohto stavu sa musí vodná para postupne z komory odvádzať, čo sa dosahuje cirkuláciou vzduchu a chladiacim kondenzátorom. Sušiarne musia byť veľmi dobre utesnené, aby sa zabránilo prístupu vlhkého okolitého vzduchu. Sušiarne sú vhodné pre špeciálne tvarované keramické výrobky.

### 5.2.5. Povrchová úprava a dekorácia keramických výrobkov

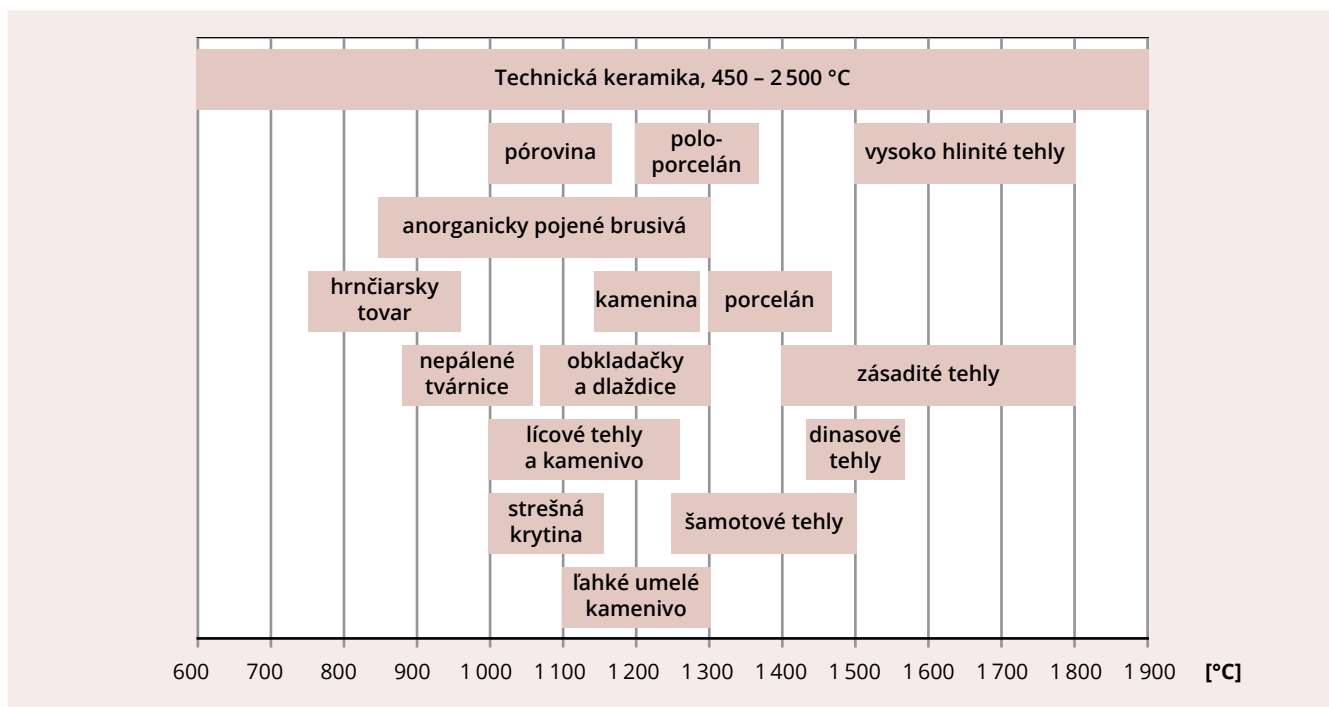
Povrch výrobkov sa môže upravovať na dosiahnutie nekĺzavosti podlahových dlaždíc alebo z estetických dôvodov.

Najčastejšou povrchovou úpravou je glazovanie. Na vysušené nevypálené keramické výrobky sa nanášajú glazúry vo forme vodných suspenzií striekaním alebo polievaním. Výpalom vytvárajú glazúry na povrchu výrobkov hladkú sklenú, priehľadnú alebo tmavú vrstvu.

### 5.2.6. Výpal

Je kľúčovým procesom pri výrobe keramických výrobkov. Ovplyvňuje dôležité vlastnosti, napr. mechanickú pevnosť, odolnosť voči oderu, rozmerovú stabilitu, odolnosť voči vode, chemikáliám a ohňu.

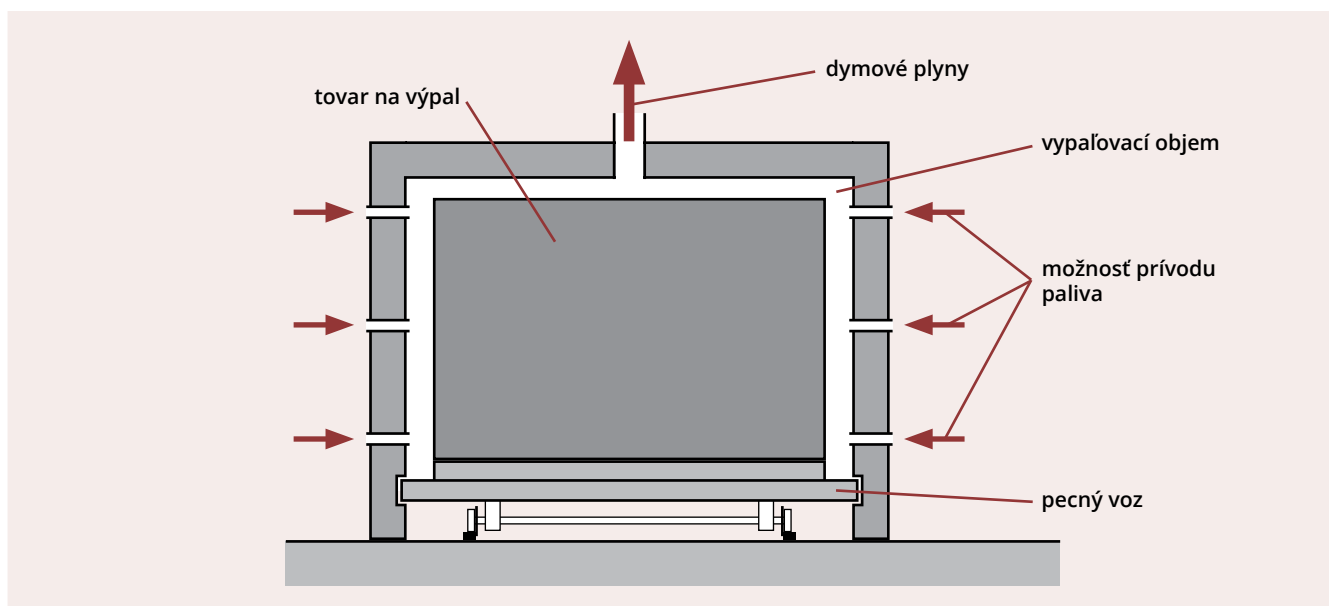
Suroviny používané v keramickom priemysle sú komplexné zlúčeniny ílových minerálov s ďalšími minerálmi, ako sú napr. kremeň, živec, uhličitany, sadrovec, oxidy železa a niekedy aj organické látky. Pri teplotách 100 – 200 °C sa keramické íly zbavujú vlhkosti. Ak sú prítomné organické materiály a sulfidy železa, dochádza k ich oxidácii pri teplotách 300 – 500 °C. Voda viazaná v štruktúre ílových minerálov sa uvoľňuje pri teplotách 500 – 650 °C. Uhličitany (kalcit, dolomit) disociujú v rozmedzí teplôt 750 – 950 °C. K najdôležitejším zmenám dochádza po rozpade mriežkovej štruktúry pôvodných ílových minerálov, po ktorom nasleduje vytvorenie nových kryštalických zlúčenín a sklenej fázy. Teplota, pri ktorej dochádza k tvorbe sklenej fázy – *slinovaníu*, sa mení podľa mineralogického zloženia ílu. Slinovanie sa začína pri teplote okolo 900 °C a končí sa pri teplote 1 050 °C. Počas slinovania sa neílové minerály stávajú súčasťou vypalovaného materiálu. Teplo potrebné na výpal sa získava spaľovaním zemného plynu a vykurovacieho oleja. V niektorých prípadoch sa využívajú tuhé palivá, biomasa a elektrická energia.



**Obrázok 5:** Teplotné oblasti výpalu rôznych keramických výrobkov (zdroj: referenčný dokument o najlepších dostupných technikách v keramickom priemysle)

### Typy pecí používaných na výpal

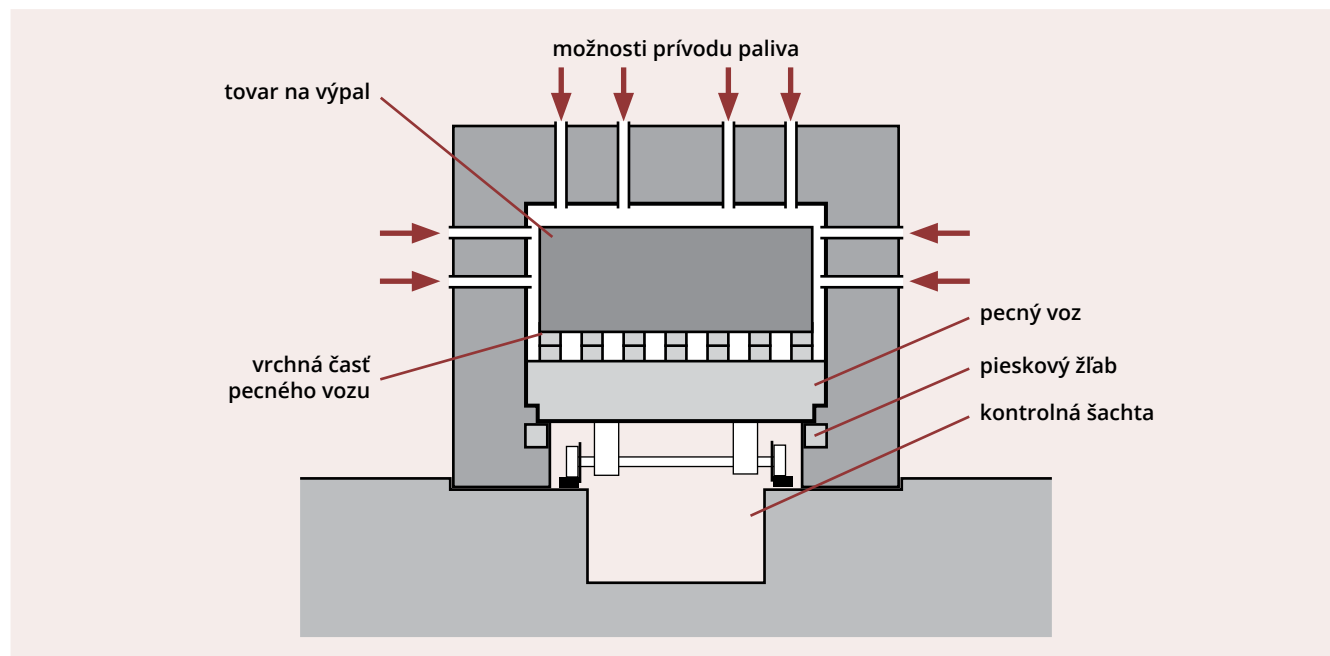
*Periodické pece* – vozokomorové pece, pokloповé (zvonové) jednokomorové pece. Plnia sa predsušenými keramickými výrobkami, potom sa hermeticky uzatvoria a podrobujú sa vypalovaniu. Používajú sa prevažne plynové horáky a ľahko sa riadi teplota a pecná atmosféra (oxidačná alebo redukčná). Na ohrev periodických pecí môže byť použitá aj elektrická energia, napr. pri výrobe technickej keramiky. Periodické pece sa používajú pri výrobe menších množstiev špeciálnych výrobkov, ako sú špeciálne tvarované tehly, tvarovky k strešnej krytine, žiaruvzdorné výrobky atď.



**Obrázok 6:** Priečny rez vozokomorovou pecou (zdroj: referenčný dokument o najlepších dostupných technikách v keramickom priemysle)

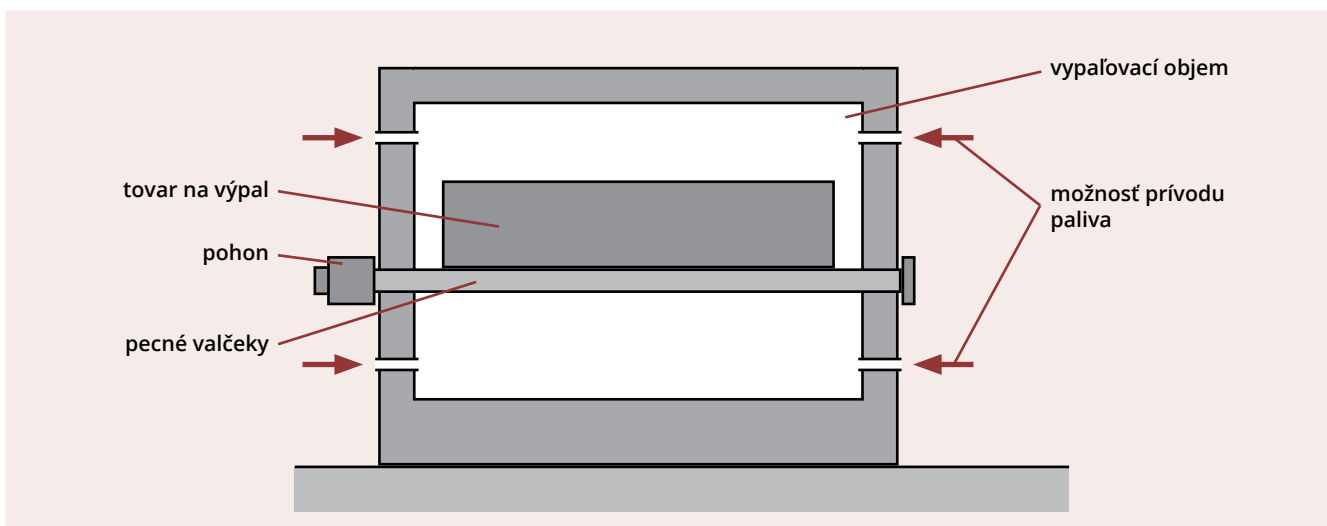
*Kontinuálne pece* – komorové (Hoffmannove) pece, tunelové pece, valčekové pece, posuvné pece s podložkami.

1. Komorové (Hoffmannove pece) sa skladajú zo série prepojených komôr, ktoré sa postupne plnia keramickými výrobkami. Komory sa hermeticky uzatvoria, výpal prebieha akoby kontinuálne a horúce plyny postupujú z jednej komory do nasledujúcej. Tento systém umožňuje predohrev výrobkov, chladenie odpadových plynov a zlepšuje tak tepelnú účinnosť a znižuje náklady v porovnaní s periodickými pecami. Pece sú vyhrievané zemným plynom, ale niekedy sa môže používať nafta alebo uhlie. Pece sa používajú na výrobu špeciálnych výrobkov, napr. farebných tehál.
2. Tunelové pece – používajú sa žiaruvzdorné tunely s koľajovými vozíkmi. Tie sú vybavené žiaruvzdornými plošinami, na ktoré sa ukladajú výrobky. Vozíky sa pohybujú v pravidelných intervaloch proti prúdiacemu vzduchu poháňanému ventilátorom. Väčšina tunelových pecí je vyhrievaná zemným plynom a pásmo s maximálnou teplotou má blízko stredu pece. Vstupujúce výrobky sú predhrievané horúcimi plynmi z pásma výpalu, zatiaľ čo vstupujúci vzduch ochladzuje vypálené výrobky a je predhrievaný pred spaľovaním. Časť tohto vzduchu z chladiacej zóny sa zvyčajne odoberá do susedných sušiarňí.



**Obrázok 7:** Prierezný rez tunelovou pecou (zdroj: referenčný dokument o najlepších dostupných technikách v keramickom priemysle)

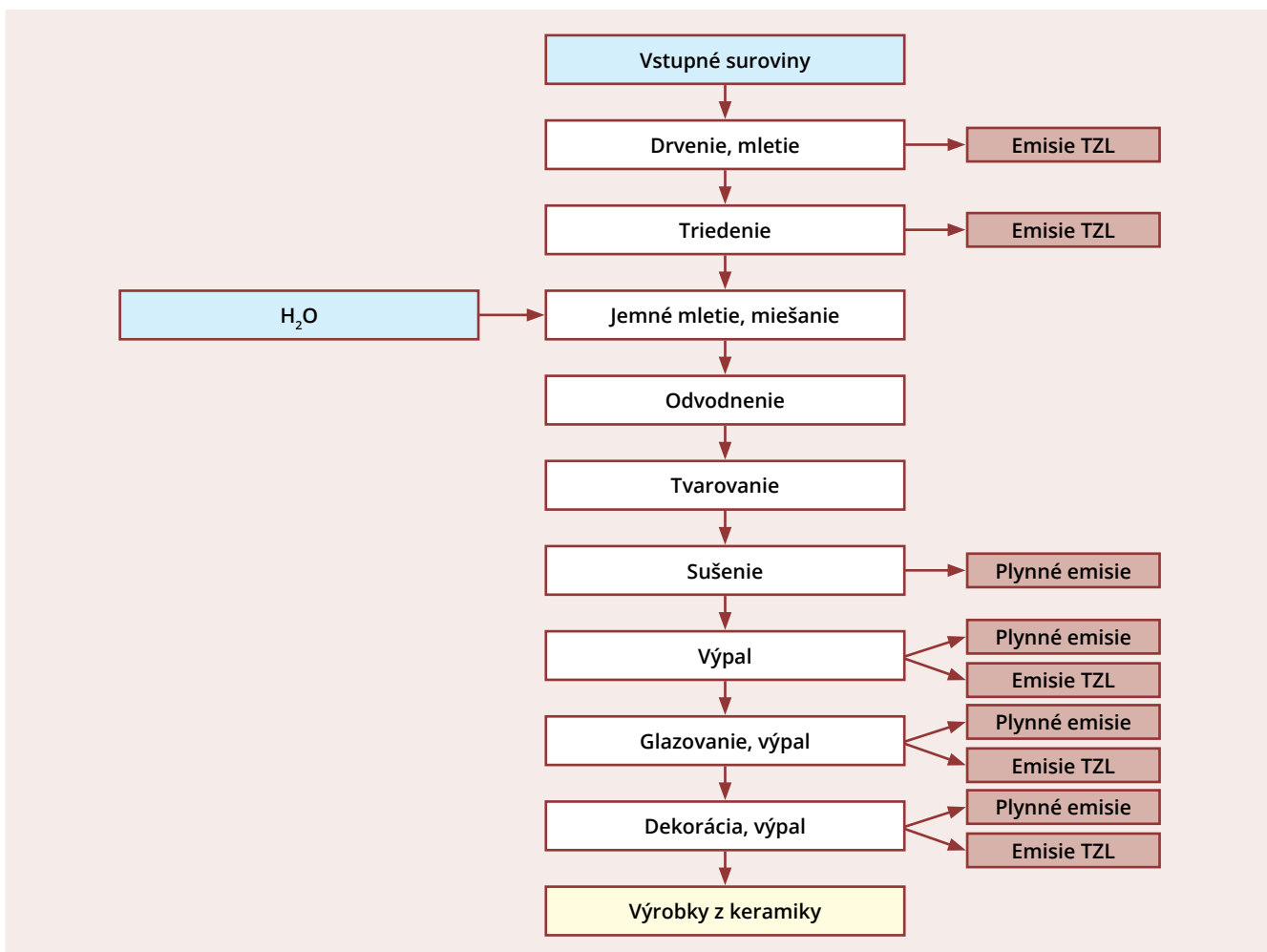
3. Valčekové pece – používajú sa pri výrobe keramických obkladačiek a dlaždíc. Dlaždice sa pohybujú po poháňaných valčekoch. Teplo potrebné na výpal poskytujú horáky na zemný plyn umiestnené na bokoch pece. Teplo sa prenáša prúdením a sálaním. Valčekové pece sa niekedy používajú aj pri výpale strešnej krytiny, kameninových rúr, zdravotníckej keramiky.
4. Posuvné pece s podložkami – pracujú na podobnom princípe ako valčekové pece. V tomto prípade sú však výrobky umiestnené na žiaruvzdorných podložkách, pohybujúcich sa na valčekoch otáčajúcich sa pomocou dopravníka umiestneného mimo vlastnej pece. Tento typ pecí umožňuje výpal výrobkov nepravidelných rozmerov a väčších veľkostí, na rozdiel od valčekových pecí, ktoré vyžadujú pravidelné tvary.



**Obrázok 8:** Priečny rez valčekovou pecou (zdroj: referenčný dokument o najlepších dostupných technikách v keramickom priemysle)

### 5.2.7. Konečná úprava výrobkov

Vypálené výrobky sa upravujú brúsením, vŕtaním, rezaním, leštením. Finálne výrobky sa triedia, balia a skladujú.



**Schéma 4:** Výroba keramiky



### 5.3. Environmentálne vplyvy výroby keramiky

Emisie plyných látok vznikajú pri sušení, kalcinácii a výpale. Ide najmä o nasledujúce látky:

*Oxid siričitý*  $SO_2$  – jeho koncentrácia úzko súvisí s obsahom síry v surovinách a palivách. Keramické hmoty môžu obsahovať síru vo forme pyritu  $FeS_2$ , sadry a organických zlúčenín síry. Významným zdrojom sú aj tuhé palivá a vykurovací olej.

- primárne opatrenia – použitie surovín a palív s nízkym obsahom síry
- sekundárne opatrenia – absorpcia vo vode s prídavkom  $CaCO_3$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $NaOH$  alebo  $NH_3$

*Oxidy dusíka*  $NO_x$  – vznikajú prevažne reakciou kyslíka a dusíka zo spaľovacieho vzduchu pri vysokých teplotách (nad 1 200 °C) a nadbytku kyslíka.  $NO_x$  môžu vznikáť zo zlúčenín dusíka prítomných v palive aj pri nižších teplotách.

- primárne opatrenia – minimalizácia surovín s obsahom dusíkatých zlúčenín
- sekundárne opatrenia – SCR, SNCR

*Oxid uholnatý*  $CO$  vzniká spaľovaním organickej hmoty pri nízkom obsahu kyslíka. Tiež môže vznikáť reakciou uhlíka viazaného v keramickom črepe s oxidom uhličitým  $CO_2$ .

*Celkový organický uhlík*  $TOC$  je výsledkom nedokonalého spaľovania organických zlúčenín pochádzajúcich so spojív, lepidiel, palív a i.

- primárne opatrenia – používanie surovín vrátane spojív s nízkym obsahom organických zlúčenín
- sekundárne opatrenia – dodatočné spaľovanie, adsorpcia na aktívnom uhlí

*Kovy a ich zlúčeniny* sa uvoľňujú pri použití keramických pigmentov a glazovacích hmôt. Emisie sa znižujú opatreniami ako pri TZL.

*Chlorovodík*  $HCl$  vzniká pri rozklade minerálnych solí obsahujúcich chlór pri teplotách nad 850 °C a pri rozklade organických zlúčenín obsahujúcich chlór pri teplotách 450 – 550 °C.

- primárne opatrenia – používanie surovín s nízkym obsahom chlóru
- sekundárne opatrenia – ako pri  $SO_2$

*Fluorovodík*  $HF$  pochádza z rozkladu fluorokremičitanov prítomných v ílových mineráloch.

- primárne opatrenia – používanie surovín s nízkym obsahom fluóru
- sekundárne opatrenia – ako pri  $SO_2$

Emisie tuhých znečisťujúcich látok (TZL) vznikajú pri drvení, mletí, sušení, miesení, výpale a konečnej úprave vypálených výrobkov. Na zníženie emisií TZL sa používajú:

- primárne opatrenia (napr. uzavretie prašných procesov, zakapotované dopravníky, znižovanie netesností výrobných zariadení)
- sekundárne opatrenia – čistenie odpadových plynov (cyklóny, textilné filtre, elektrostatické odlučovače)

Pri činnostiach „Výroba keramických výrobkov vypaľovaním, najmä strešných škridiel, tehál, žiaruvzdorných tvárnic, obkladačiek, kameniny alebo porcelánu s výrobnou kapacitou väčšou ako 75 t za deň a/alebo s kapacitou pece väčšou ako 4 m<sup>3</sup> a hustotou vsádzky na jednu pec väčšou ako 300 kg/m<sup>3</sup>“ ide o IPKZ prevádzky. Na uvedené činnosti sa vzťahujú požiadavky zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

Pri uvedených prevádzkach je potrebné rešpektovať odporúčania uvedené v referenčnom dokumente o najlepších dostupných technikách v keramickom priemysle (vydaný v auguste 2007).

## 6. VÝROBA SKLA

### 6.1. Vlastnosti, použitie, produkcia skla

Výraz sklo je spoločným pojmom pre rad materiálov rozdielneho zloženia v sklenom stave. Výraz sa používa vo vzťahu k anorganickej látke, ktorá môže byť považovaná za pevnú, ale ktorá má vlastnosti veľmi viskózne kvapaliny, ktorá nevykazuje ani kryštalickú štruktúru, ani zreteľný bod tavenia. Stuhnutie nespôsobuje kryštalizácia vznikajúca pri ochladzovaní väčšiny materiálov, ale plynulý rast viskozity na takú vysokú hodnotu, že materiál sa javí ako pevný. V sklárstve sa výraz obyčajne vzťahuje ku kremičitým sklám, čo sú látky s vysokým podielom oxidu kremičitého ( $\text{SiO}_2$ ), ktoré za normálnych podmienok chladnutia prirodzene vytvárajú z roztavenej hmoty sklo.

Štruktúra skla je neusporiadaná, resp. usporiadaná len na veľmi krátku vzdialenosť, pretože pri sklenom prechode sa štruktúra nestačí usporiadať a „zamrzne“ v stave prechladenej kvapaliny. Pri rovnakých množstvách sklo zaberá väčší objem ako kryštalická látka, pretože neusporiadaná štruktúra zaberá väčší objem ako usporiadaná.

Tzv. sieťotvorný oxid  $\text{SiO}_2$ , ktorý je sám sklotvorný, vytvorí neusporiadanú sieť tetraédrických jednotiek  $\text{SiO}_4$  spojených kyslíkovými mostíkmi. Túto sieť modifikujú sodné a vápenaté ióny, ktoré sú uložené v jej dutinách. Oxidy  $\text{CaO}$  a  $\text{Na}_2\text{O}$  sa nazývajú modifikátory.

Sklá sú štruktúrne podobné kvapalinám, no musia byť považované za pevné látky, pretože na pôsobenie vonkajšej sily reagujú pri normálnej teplote elastickou deformáciou.

Charakteristické vlastnosti skla:

- relatívne vysoká priepustnosť svetla v časti viditeľného spektra,
- tuhosť a tvrdosť (pri bežných teplotách),
- krehkosť,
- homogenita,
- odolnosť proti poveternostným a chemickým vplyvom,
- relatívne nízka merná tepelná vodivosť a elektrická vodivosť,
- plynutosť,
- relatívne vysoká odolnosť proti vode a vzduchu.

Sklo sa najčastejšie klasifikuje podľa chemického zloženia, z ktorého vyplývajú štyri hlavné skupiny: *sodnovápenaté sklo*, *olovnatý krištál* a *krištáľové sklo*, *boritokremičité sklo* a *špeciálne sklá*. Do prvých troch kategórií patrí viac ako 95 % produkcie skla. Väčšina skiel je vyrábaná na báze kremičitanov, kde je hlavnou zložkou oxid kremičitý  $\text{SiO}_2$ .

#### Sodnovápenaté sklá

Väčšina priemyselne vyrábaných skiel má veľmi podobné zloženie a spoločne sa označujú ako sodnovápenaté sklá. Typické sodnovápenaté sklo je zložené zo 71 – 75 %  $\text{SiO}_2$ , z 12 – 16 %  $\text{Na}_2\text{O}$ , 10 – 15 %  $\text{CaO}$  a z malého množstva ďalších zložiek dodávajúcich sklu špecifické vlastnosti. V niektorých sklách je časť  $\text{CaO}$  alebo  $\text{Na}_2\text{O}$  nahradená oxidom horečnatým  $\text{MgO}$ , resp. draselným  $\text{K}_2\text{O}$ .

Tento druh skla sa používa na výrobu fliaš, pohárov, bežného stolného skla a plochého skla. Medzi najdôležitejšie vlastnosti patrí vynikajúca svetelná priepustnosť, kvôli ktorej sa používa pri výrobe plochého skla a priehľadných výrobkov. Má hladký, neporézny povrch, ktorý je chemicky inertný,

ľahko sa čistí a neovplyvňuje chuť obsahu. Čím je vyšší obsah  $\text{Na}_2\text{O}$  a  $\text{CaO}$  v skle, tým je vyšší koeficient tepelnej rozťažnosti a tým je nižšia odolnosť voči tepelnému šoku a chemickému pôsobeniu. Tieto sklá nie sú vhodné na použitie v extrémnych podmienkach a pri prudkých zmenách teploty.

### Olovnatý krištál a krištáľové sklo

Nahradením veľkej časti oxidu vápenatého oxidom olovnatým  $\text{PbO}$  v kmeni vznikne sklo známe ako *olovnatý krištál*. Typické zloženie: 54 – 65 %  $\text{SiO}_2$ , 25 – 30 %  $\text{PbO}$ , 13 – 15 %  $\text{Na}_2\text{O}$ , resp.  $\text{K}_2\text{O}$  a ďalšie minoritné prímesi. Výsledkom je sklo s vysokou mernou hmotnosťou a indexom lomu, vynikajúcim zvukom a opracovateľnosťou. Typickými výrobkami sú vysokokvalitné nápojové sklo, karafy, misy a dekoratívne predmety. Oxid olovnatý možno čiastočne alebo úplne nahradiť oxidom bárnatým, zinočnatým alebo draselným, čím vznikne *krištáľové sklo*.

### Boritokremičité sklo

Boritokremičité sklá obsahujú oxidy bóru a kremíka. Typické zloženie: 70 – 80 %  $\text{SiO}_2$ , 7 – 15 %  $\text{B}_2\text{O}_3$ , 4 – 8 %  $\text{Na}_2\text{O}$ , resp.  $\text{K}_2\text{O}$  a 2 – 7 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Vyznačuje sa vysokou odolnosťou voči chemickej korózii a voči teplotným zmenám. Používa sa na výrobu komponentov pre chemické procesy, laboratórne zariadenia, farmaceutické obaly, svietidlá, sklá pre rúry na pečenie a varné panely na sporáky. Používa sa tiež na výrobu skleneného vlákna.

### Špeciálne sklá

Zahrňajú špecializované malosériové výrobky, ktorých zloženie sa výrazne mení podľa požadovaných vlastností konečného výrobku. Možnosti využitia: optické sklá, sklo pre elektroniku, obrazovky, výrobky z taveného kremeňa, CRT obrazovky, LCD panely, elektródy, sklokeramika.

## 6.2. Technológia výroby skla

### 6.2.1. Suroviny na výrobu skla

Suroviny pre sklársky priemysel sú ľahko dostupné, relatívne neškodné prírodné alebo syntetické látky. So zaistením surovín nie sú spojené žiadne veľké ekologické problémy a množstvo odpadu je zvyčajne veľmi nízke.

Väčšina surovín sú tuhé anorganické zlúčeniny, buď minerály vyskytujúce sa v prírode, alebo umele vytvorené produkty. Vo väčšine odvetví sa používajú aj kvapaliny (silné minerálne kyseliny) a v menšej miere plyny ( $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , propán, bután, zemný plyn).

Suroviny na výrobu skla možno rozdeliť do troch skupín:

**sklotvorné materiály:** kremičitý piesok, črepy z výroby, črepy zo spotrebiteľského zberu;

**polotovary a modifikátory:** napr. sóda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), vápenec, dolomit, živec,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ , materiály obsahujúce bór,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{As}_2\text{O}_3$ , vysokopecná troska;

**farbivá/odfarbovacie činidlá:** napr.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , oxid kobaltu, zlúčeniny selénu, pyrit a iné.

Základnou surovinou na prípravu sklárskeho kmeňa je čistý kremičitý piesok s obsahom  $\text{SiO}_2$  60 – 80 % a zrnitosťou do 0,4 mm. Musí byť chemicky čistý, spravidla upravený premývaním, sušením a triedením. Nesmie obsahovať väčšie množstvo farbiacich látok. Z ekonomického hľadiska je bod

topenia piesku príliš vysoký, preto sa na zníženie taviacej teploty pridáva *tavivo*, zvyčajne oxid sodný  $\text{Na}_2\text{O}$ . Jeho hlavným zdrojom je uhličitan sodný – sóda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Počas tavenia sa  $\text{Na}_2\text{O}$  stáva súčasťou taveniny a uvoľňuje sa  $\text{CO}_2$ . Ako *tavivo* sa používa aj oxid draselný ( $\text{K}_2\text{O}$ ), ktorého zdrojom je uhličitan draselný ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ). Počas tavenia sa  $\text{K}_2\text{O}$  stáva takisto súčasťou taveniny a uvoľňuje sa  $\text{CO}_2$ . Ako číridlá sa používajú sírany ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$ ) a dusičnany ( $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Ca}_2\text{NO}_3$ ,  $\text{Ba}_2\text{NO}_3$ ). Do sklárskeho kmeňa sa pridávajú v malom množstve, aby z roztavenej skloviny odstránili bublinky, nečistoty a sklovinu zároveň zhomogenizovali. Často pomáhajú urýchliť taviace procesy a odfarbiť sklovinu.

Pridávaním oxidov kovov sa zlepšuje tvrdosť a chemická odolnosť skla. Tento účinok má  $\text{CaO}$ , ktorý sa pridáva vo forme jemne mletého vápenca  $\text{CaCO}_3$ . Môže sa použiť aj dolomit. Oxid hlinitý ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sa pridáva na zlepšenie chemickej odolnosti a zvýšenie viskozity pri nižších teplotách. Zvyčajne sa pridáva vo forme syenitu, živca alebo vysokopečnej trosky.

Oxidy olova ( $\text{PbO}$ ,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) sa používajú na zlepšenie zvučnosti a zvýšenie indexu lomu pri výrobe olovnatého krištálu. Ako náhrada sa môže použiť  $\text{BaO}$ ,  $\text{ZnO}$  alebo  $\text{K}_2\text{O}$ . Výrobky však majú nižšiu mernú hmotnosť a žiarivosť ako olovnatý krištál. Nahradením  $\text{PbO}$  inými zložkami sa zhoršuje aj spracovateľnosť skla pri ručnej výrobe.

Pre niektoré výrobky je dôležitý oxid boritý ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), najmä pre špeciálne sklá a sklenené vlákna. Znižuje koeficient rozťažnosti skla, pri vláknach sa mení viskozita a tekutosť, čím sa podporuje rozvlákňovanie a zvyšuje sa odolnosť voči vode.

Dôležitou surovinou pri výrobe skla sú sklené črepy. Urýchľujú tavenie a zlepšujú počiatočnú homogenitu skloviny. Takmer všetky sklárske procesy recyklujú vlastné črepy. Na roztavenie črepov je potrebné menšie množstvo energie ako pri surovinách. Jedna tona črepov môže nahradiť približne 1,2 t surového materiálu v kmeni. Pri výrobe obalového skla črepy niekedy tvoria až 80 % sklárskeho kmeňa.

## 6.2.2. Technologický postup výroby

### 1. Príprava sklárskeho kmeňa

Pomleté a vysušené suroviny sa miešajú a homogenizujú v zmiešavacích zariadeniach na tzv. *sklársky kmeň* s presne formulovaným zložením. Kmeň sa dopravuje k taviacej peci, do ktorej sa dávkuje z jednej alebo viacerých násypiek. Aby sa pri doprave zabránilo prášeniu a úletu jemných častíc mimo pece, môže sa kmeň udržiavať mierne vlhký. Zvyčajne sa pridáva 0 – 4 % vody alebo sa používa vodná para.

### 2. Tavenie sklárskeho kmeňa

Najdôležitejším zariadením výroby je *sklárska pec*. Je tvorená vaňou skonštruovanou z blokov vhodných žiaruvzdorných materiálov pravouhlého tvaru. Uzavretá je klenutým stropom alebo klenbou. Žiaruvzdorné bloky sú upevnené vonkajšou ocelovou konštrukciou. Na tavenie skla sa používajú tri druhy palív: zemný plyn, vykurovací olej a elektrická energia.

Na výrobu skla sa používajú rôzne typy sklárskych pecí s projektovaným výkonom od 20 do 1 000 t skla za deň. Pece sa líšia podľa spôsobu ohrevu, systému ohrievania spaľovacieho vzduchu a podľa polohy horákov. Ide o nasledujúce zariadenia:

- *Regeneratívne pece* – využívajú systémy regenerácie tepla. Teplo zo spalín sa používa na ohrievanie vzduchu pred spaľovaním, a to tak, že spaliny prechádzajú komorou vyloženou žiaruvzdorným materiálom, ktorý pohlcuje teplo. Asi po 20 minútach sa smer ohrevu otočí a spaľovací

vzduch prechádza komorou predtým vyhriatou spalínami. Teplota predohrevu je okolo 1 200 – 1 350 °C, niekedy dosahuje aj 1 400 °C.

- *Rekuperatívna pec* – vstupujúci studený vzduch sa nepriamo ohrieva prúdom spalín prechádzajúcich kovovým výmenníkom tepla. Teplota predohrevu sa pohybuje na úrovni okolo 800 °C. Rekuperatívne pece sú vhodnejšie pre malokapacitné zariadenia.
- *Kyslíkovo palivové pece* – spaľovací vzduch je nahradený kyslíkom (čistota vyššia ako 90 %). Vylúčenie väčšiny dusíka zo spaľovacej atmosféry znižuje objem spalín cca o dve tretiny. To vedie k úspore energie, pretože nie je potrebné ohrievať atmosférický dusík na teplotu plameňa. Vylúčením atmosférického dusíka sa znižujú aj emisie  $\text{NO}_x$ . Pece majú niekoľko postranných horákov a jediný odťah spalín. Kyslíkovo palivové pece nepoužívajú na predhrievanie kyslíka systémy na regeneráciu tepla.
- *Elektrické pece* – sú tvorené boxom obloženým žiaruvzdorným materiálom a umiestneným v oceľovom ráme, s elektródami zavedenými buď zo strany, zhora, alebo skrz dno pece. Energii na tavenie poskytujú odporové vykurovanie pri prechode elektrického prúdu sklovinou. Náhradou fosílnych palív za elektrinu sa predchádza vzniku emisií zo spaľovania palív. Elektrické tavenie sa používa pri malých peciach na špeciálne sklo.

### Procesy pri tavení

V sklárskej peci sa kmeň roztaví na riedku sklovinu a potom sa v roztavenom stave odoberá na spracovanie. Teplota potrebná na tavenie a čírenie skla sa pohybuje od 1 300 °C do 1 550 °C.

Kvôli nízkej tepelnej vodivosti materiálov kmeňa je proces tavenia spočiatku veľmi pomalý, čo poskytuje čas na prebehnutie rôznych chemických a fyzikálnych procesov. Materiály sa zahrievajú, vyparuje sa vlhkosť, niektoré suroviny sa rozkladajú a plyny uzatvorené v surovinách unikajú. Prvou reakciou je dekarbonizácia, ktorá prebieha pri teplote okolo 500 °C. Suroviny sa začínajú taviť pri teplotách 750 – 1 200 °C. Najskôr sa vplyvom tavných rozpúšťa piesok. Oxid kremičitý z piesku sa viaže s oxidom sodným z kalcinovanej sódy a s ďalšími látkami z kmeňa a vznikajú kremičitany. Zároveň uniká veľké množstvo plynov z rozkladu hydrátov, uhličitanov, dusičnanov a síranov, najmä vodná para,  $\text{CO}_2$ , oxidy dusíka a síry. Objem taveniny klesne na 35 – 50 % pôvodného objemu kmeňa.

Pred tvarovaním na výrobky musí byť sklovina dokonale homogenizovaná a zbavená bublín. Odstraňovanie bublín zo skloviny – čírenie sa skladá z primárneho čírenia a sekundárneho čírenia. Primárnym čírením sa odstraňujú bubliny pomocou ich zväčšenia a urýchleného stúpania v tavenine v spojení so stripovaním plynov (odstránenie rozpustených plynov z taveniny ich absorpciou bublinami). Sekundárne čírenie prebieha počas regulovaného chladenia skloviny, kde dochádza k reabsorpcii zvyšných bublín, čím sa zmenší ich veľkosť alebo sa úplne rozpustia. Uvoľňovanie číriacich plynov, ktoré je dôležité pre primárne čírenie, závisí od teploty, obsahu číriacich činidiel v sklárskom kmeni a tavenine. Pri zvýšenej teplote (vyššia, ako je teplota tavenia kmeňa) sa číridlá rozkladajú za vzniku plynov ( $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ) alebo sa z taveniny odparia. Najpoužívanejším číridlom je síran sodný ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), pri ktorého rozklade sa uvoľňujú  $\text{O}_2$  a  $\text{SO}_2$ . Používajú sa aj oxidy arzenu a antimónu, ktoré uvoľňujú kyslík alebo chlorid sodný tvoriaci pary  $\text{NaCl}$ .

### 3. Chladenie a tvarovanie skloviny

Vyčírená sklovina sa nechá pomaly vychladnúť na pracovnú teplotu 900 – 1 350 °C. Pri tejto teplote je sklovina dostatočne viskózna a vhodná na spracovanie na sklenené výrobky. Tavenina ochladená na pracovnú teplotu sa ďalej odoberá na spracovanie.

## Obalové sklo

Zo skloviny vytekajúcej z pece sa v dávkovači vytvárajú pomocou vhodne dimenzovaných krúžkov 1 – 4 paralelné prúdy skla. Tieto prúdy sa strihajú nožnicovým mechanizmom na presné dĺžky, tzv. sklené kvapky. Nožnice sa postrekujú zmesou vody a mazacieho oleja, aby sa zamedzilo ich prehriatiu a aby sa na ne nelepilo sklo. Kvapky sa tvarujú na tvarovacom stroji lisovaním alebo fúkaním. Prúd skla zo žlabu dávkovača musí byť konštantný, aby sa zabezpečila teplotná stabilita, viskozita a homogenita skla dodávaného do tvarovacieho procesu. Rýchle ochladenie obalov vytvára vysoké napätie v skle a spôsobuje následnú krehkosť. Preto obaly prechádzajú cez kontinuálnu chladiacu pec, kde sa zahrievajú na 550 °C, potom sa pri riadených podmienkach ochladzujú, aby sa zabránilo vzniku ďalšieho napätia.

## Ploché sklo

Zahrňuje sklo plochého tvaru bez ohľadu na spôsob výroby. Vyrába sa plavením alebo valcovaním. Pri plavení v plaviacej vani sa sklovina leje na vrstvu roztaveného cínu. Plaviaca vaňa je tvorená ocelovým obalom, vyložená je žiaruvzdorným materiálom, ktorý ohraničuje roztavený cín. Dĺžka vane je 55 – 60 m, šírka je 4 – 10 m. Vaňa je vzduchotesná, zmesou dusíka a vodíka je v nej udržiavaná mierne redukčná atmosféra. To je dôležité pre zamedzenie oxidácie povrchu cínu, ktorá by poškodila styčnú plochu medzi sklom a cínom. Roztavený cín sa používa preto, že je jedinou látkou, ktorá zostáva v požadovanom teplotnom rozsahu tekutá bez významného tlaku pár. Hrúbka skla (1,5 – 19 mm) sa reguluje rýchlosťou prúdu skloviny a vodou chladených valčekov. Na výstupe z plaviacej vane sklený pás prechádza chladiacou pecou. Na začiatku chladiacej pece sa na obe strany pásu aplikuje  $SO_2$ , čím sa chráni povrch skla pri kontakte s valčekmi. Sklo sa ochladzuje postupne zo 600 °C na 60 °C, aby sa vnútorné napätie spôsobené tvarovaním znížilo na prijateľnú úroveň. Ochladený pás sa reže priamo na linke pohyblivým rezným nástrojom. Sklená tabuľa sa potom kontroluje, balí a expeduje. Okraje pásu sa orezávajú a recyklujú do pece ako črepy.

Valcované sklo sa nepretržite tvaruje dvojicou valcov. Sklovina s teplotou asi 1 000 °C prechádza medzi dvomi vodou chladenými ocelovými valcami, čím vzniká pás s riadenou hrúbkou a povrchovým vzorom.

## Nekonečné sklenené vlákna

Sklovina vytekajúca z pece prúdi cez stovky kalibrovaných otvorov – trysiek. Sklo prúdiace cez trysky je vyťahované a stenčované pôsobením vysokorýchlostného navíjacieho zariadenia, čím sa vytvára nekonečné vlákno. Presnou reguláciou ťahovej rýchlosti možno získať vlákna s priemerom 5 – 24  $\mu\text{m}$ . Vlákna sa prudko ochladzujú kombinovaným účinkom vodou chladených kovových rebier, mohutného prúdu vzduchu a vodného postreku. Vlákna následne prechádzajú cez valec alebo pás, kde sa na každé vlákno nanáša povlak, ktorý sa líši podľa finálneho použitia výrobku. Typickými zložkami povlaku sú: filmotvorné látky (napr. polyvinylacetát, škrob, polyuretán, epoxidová živica), spojivá, modifikátory pH (kyselina octová, HCl, amónne soli) a lubrikanty (napr. minerálne oleje). Vlákna sa zbierajú do zväzkov a prechádzajú ďalšími úpravami. Hlavnými výrobkami sú sekané vlákno, pramene, rohože, sklená striž, priadza, tkanina a mleté vlákno.

## Úžitkové sklo

Je najrozmanitejším odvetvím sklárskeho priemyslu a zahŕňa rad výrobkov a procesov. Procesy siahajú od zložitých ručných výrob dekoračného olovnatého krištálu až k veľkoobjemovým vysokomechanizovaným metódam používaným pri výrobe základných spotrebiteľských výrobkov. Väčšina úžitkového skla sa vyrába zo sodnovápenatého skla. Patrí sem aj výroba olovnatého krištálu, boritokremičitého skla a sklokeramiky pre varné nádoby.

Proces tvarovania možno rozdeliť na automatické spracovanie a ručnú výrobu. Automatické spracovanie je podobné výrobe obalového skla. Sklo z pece je dávkované do tvarovacích strojov, kde sa vo formách tvaruje na výrobky. Lisovanie sa používa na výrobu plytkých výrobkov, ktorých ústie je širšie alebo rovnaké ako základňa. Sklená kvapka sa naleje do formy a pôsobením razníka sa vylihuje požadovaný tvar. Kruhové výrobky ako taniere alebo plytké misy sa vyrábajú odstredivým liatím. Horúca sklená kvapka sa vo forme roztočí a výrobok sa vytvaruje odstredivou silou. Vytvarované výrobky sa žihajú a leštia ohňom, aby sa dosiahla požadovaná povrchová kvalita. Po žíhaní výrobky prechádzajú chladiacou pecou a môžu sa na ne nanášať povlaky kovov. V niektorých prípadoch neprechádzajú chladiacou, ale kaliacou pecou, aby sa zvýšila ich odolnosť voči mechanickému a tepelnému šoku.

Pri ručnej výrobe skla naberá sklár sklo píšťalou buď priamo z pece, alebo z naberacej bunky. Krátkym fúknutím do píšťaly sa vytvorí malé duté teleso a tvar sa potom vytvaruje roztáčaním v drevenej alebo kovovej forme. Výrobky sa potom prenesú do chladiacej pece, aby sa odstránilo vnútorné napätie. Pri poloautomatickej výrobe niektoré kroky (naberanie, tvarovanie, manipulácia) vykonávajú stroje alebo roboty. Základné výrobky sa môžu následne opracovať za studena brúsením, leštením a pod. Brúsením diamantovým kotúčom sa vyrezáva na výrobok presne vopred zvolený vzor. Ako chladiivo sa pri brúsení používa voda. Brúsenie vytvára na skle šedý neupravený povrch. Pôvodný vzhľad sa získa ponorením do leštiaceho kúpeľa kyseliny fluorovodíkovej a sírovej. Po opláchnutí skla v horúcej vode sa obnoví jeho žiarivý vzhľad.

### Špeciálne (technické) sklo

Odvetvie je extrémne rôznorodé a zahŕňa rad výrobkov, ktoré sa môžu líšiť zložením, výrobnými metódami a konečným použitím. Rovnako ako pri iných odvetviach vyteká sklovina po roztavení a vyčírení z pece cez žlab s regulovanou teplotou do tvarovacieho zariadenia. Hlavnými technikami tvarovania používanými v odvetví špeciálneho skla sú:

- fúkanie (boritokremičité sklo),
- valcovanie (plochá sklokeramika),
- lisovanie (obrazovky a svietidlá),
- odstredivé liatie (boritokremičité sklo),
- ťahanie trubíc (sklené trubice),
- ťahanie pre výrobu tenkých fólií,
- plavenie (boritokremičité sklo),
- liatie (bloky optického skla).

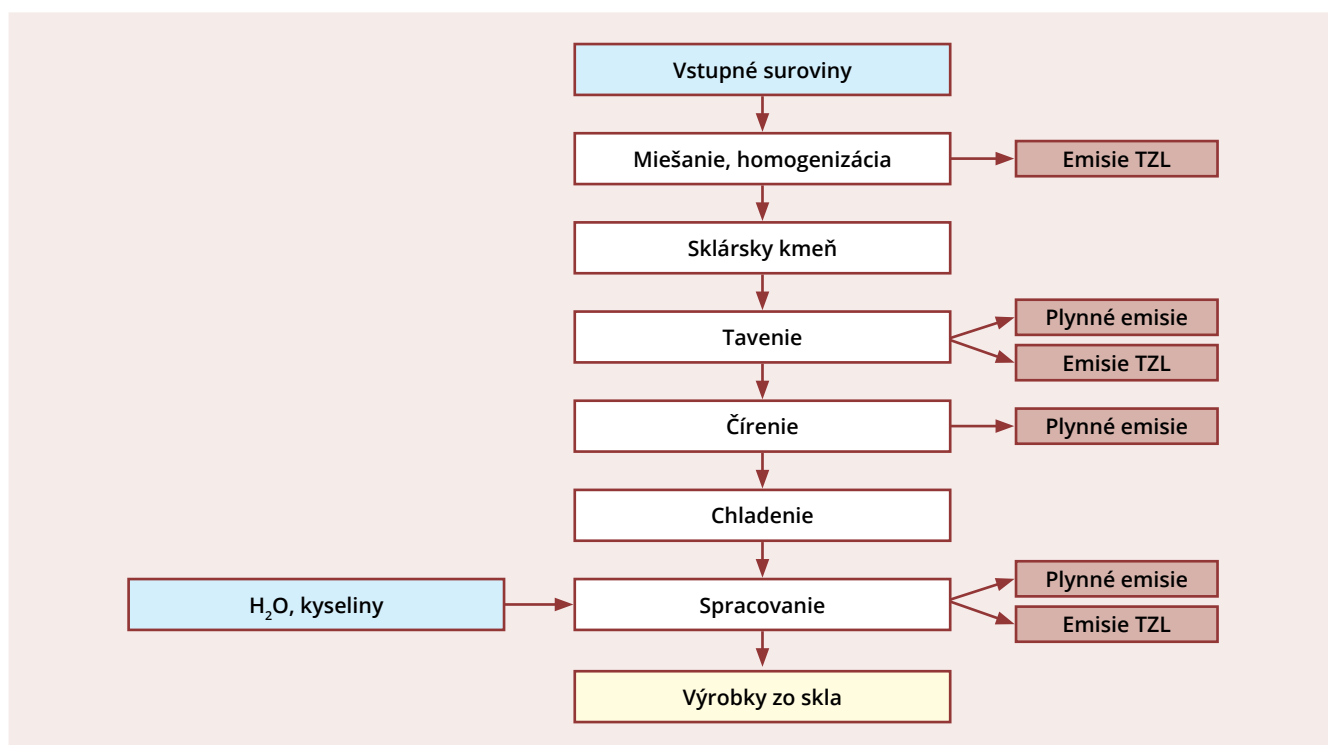


Schéma 5: Výroba skla

## Sklenené frity

Frity sa používajú ako surovina pri výrobe keramických glazúr, t. j. sklenených povlakov aplikovaných na keramické predmety. Vyrábajú sa roztavením surovín v taviacej peci za vysokých teplôt, dosahujúcich až 1 550 °C. Vzniknutý roztavený materiál sa prudko ochladí vo vodnom kúpeli a premení sa na pevné, nerozpustné fragmenty. Okrem základných surovín sa do sklárskeho kmeňa pridávajú kalivá ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_3$ , zlúčeniny fluóru) a farbivá, ktoré glazúram dodajú požadovaný vzhľad.

## 6.3. Environmentálne vplyvy výroby skla

Hlavným ekologickým problémom sklárskeho priemyslu sú emisie do ovzdušia a spotreba energie. Zdrojmi emisií sú nasledujúce činnosti:

- manipulácia so surovinami a ich skladovanie,
- tavenie,
- nadväzujúce procesy.

### 6.3.1. Emisie znečisťujúcich látok

#### Manipulácia so surovinami

V sklárskom priemysle sa používajú zrnité, práškovité a prachové suroviny. Skladovanie a manipulácia s nimi môžu byť významnými zdrojmi emisií TZL. Sypké materiály sa skladujú v silách, ktoré sú odvetrávané do zariadení na znižovanie emisií, napr. textilných filtrov. Na skladovanie sa môžu použiť aj zakryté nádoby alebo vrecia, hrubšie materiály sa skladujú zakryté. Dopravníky musia byť zakapotované na ochranu pred vetrom, aby sa zamedzilo stratám materiálu.



## Tavenie

Hlavným zdrojom emisií v sklárskom priemysle je proces tavenia v sklárskej peci. V tab. 6 je uvedený prehľad najdôležitejších emisií unikajúcich zo sklárskej pece.

**Tabuľka 6:** Emisie do ovzdušia vznikajúce pri tavení [referenčný dokument najlepších dostupných techník (BAT)]

Emisie	Zdroj emisií
Tuhé znečisťujúce látky	prchavé zložky kmeňa a následná kondenzácia na veľmi jemné častice, unášanie jemných materiálov kmeňa, spaľovanie niektorých fosílnych palív
Oxidy dusíka NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> zo spalín vzniknuté oxidáciou atmosférického dusíka pri vysokých teplotách, rozklad zlúčenín dusíka z kmeňa, oxidácia dusíka z paliva
Oxidy síry SO <sub>x</sub>	síra z paliva, rozklad zlúčenín síry v kmeni, najmä z čiriacého procesu
Chloridy/HCl	nečistota v niektorých surovinách, najmä črepoch, NaCl použitý ako čiridlo pri niektorých špeciálnych sklách
Fluoridy/HF	nečistota z črepov, surovina pri výrobe frít, nekonečného skleneného vlákna
Ťažké kovy (napr. V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As, Cd)	nečistota z črepov, obsiahnuté v tavidlách a farbivách pri výrobe frít (Pb, Cd), pri výrobe špeciálnych skiel (krištál)
Oxid uhoľnatý CO	nedokonalé spaľovanie palív
Sírovodík H <sub>2</sub> S	vzniká zo síry v surovinách alebo palive pri tavení a čírení za redukčných podmienok

## Tuhé znečisťujúce látky (TZL) v plynných emisiách

80 – 95 % emisií TZL vzniká prchaním a následnou kondenzáciou prchavých látok uvoľňujúcich sa z horúceho povrchu skla. Je preto dôležité zabezpečiť, aby prchavé látky skondenzovali ešte pred čistením spalín.

Okrem procesov uvedených v tab. 6 je zdrojom TZL aj chemická reakcia medzi plynnými nečistotami a alkalickými činidlami používanými pri čistení odpadových plynov.

### Oxidy dusíka NO<sub>x</sub>

Zdrojmi sú suroviny, palivo a odpadové plyny. Kvôli vysokým teplotám v sklárskych peciach (1 650 – 2 500 °C) je hlavným zdrojom NO<sub>x</sub> vznikajúci oxidáciou dusíka v spaľovacej atmosfére pri teplotách nad 1 300 °C.

### Oxidy síry SO<sub>x</sub>

Oxid siričitý je v sklárskom priemysle najčastejšie sa vyskytujúcim oxidom síry. Pri teplotách do 200 °C sa vyskytuje SO<sub>3</sub> vo forme kyslej hmly alebo pary. Pojem SO<sub>x</sub> preto zahŕňa aj kyselinu sírovú H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pretože tá je produktom kondenzácie SO<sub>3</sub>.

### Chloridy/HCl a fluoridy/HF

Z dôvodu obsahu chlóru a fluóru v surovinách alebo prísadách na výrobu skla vznikajú v procese tavenia emisie HCl a HF.

Ide najmä o tieto suroviny/prísady:

- synteticky vyrobená sóda so zvyškovým obsahom NaCl 0,05 – 0,15 %,

- dolomit, ktorý môže obsahovať významné fluoridové nečistoty,
- črepy zo spotrebiteľského zberu,
- recyklované TZL zo zariadení na znižovanie emisií,
- plasty v črepech zo spotrebiteľského zberu.

Pôvodcom týchto znečisťujúcich látok môžu byť aj palivá, ktoré obsahujú zlúčeniny chlóru a fluóru.

### Ťažké kovy

Hlavným zdrojom kovov sú nečistoty v surovinách, črepech, palive a špecifických surovinách a aditívach dodávajúcich sklu špecifické vlastnosti (oxidy olova, farbivá). Emisie kovov sú väčšinou viazané v pevných časticiach, preto aj spôsoby čistenia sú podobné ako pri TZL. Na zníženie emisií sa používajú nasledujúce postupy:

- výber vhodných surovín,
- techniky na odlučovanie TZL, hlavne textilné filtre a elektrostatické odlučovače,
- plynné emisie kovov (napr. selénu) sa môžu znížiť použitím suchého alebo polosuchého spôsobu v kombinácii s odlučovaním TZL.

### Nadväzujúce procesy

Ide o činnosti nasledujúce po tavení, napr. tvarovanie, chladenie, povrchovú úpravu atď. Emisie sa medzi jednotlivými odvetviami značne líšia. Všeobecne môžu vznikáť:

- pri nanášaní povrchových povlakov a sušení (minerálna vlna, obalové, ploché sklo),
- pri všetkých činnostiach s vyrobenými materiálmi (rezanie, leštenie, sekundárne opracovanie),

Pri výrobe obalového a plochého skla je hlavným zdrojom emisií pokovovanie, t. j. nanášanie tenkej vrstvy oxidov kovov pri prechode horúcich výrobkov z tvarovacieho stroja zariadením obsahujúcim pary zlúčenín cínu alebo titánu. Najčastejšie sa používajú bezvodý chlorid ciničitý ( $\text{SnCl}_4$ ), chlorid monobutylcínu ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{SnCl}_3$ ) a bezvodý chlorid titaničitý ( $\text{TiCl}_4$ ). Emisie tvoria HCl, jemné častice oxidov cínu a titánu ( $\text{SnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ) a nezreagovaný pokovovací materiál. Primárnymi opatreniami na znižovanie emisií sú minimalizácia používania pokovovania a dobré utesnenie pokovovacej oblasti. Sekundárnym opatrením je čistenie plynov praním, suchým čistením a filtráciou.

Pri brúsení olovnatého krištálu vznikajú emisie TZL s obsahom olova. Prach z brúsenia sa odsáva a čistí v textilných filtroch. Z povrchu leštiaceho kúpeľa sa uvoľňujú výpary HF a  $\text{SiF}_4$ . Najúčinnjším spôsobom odstránenia týchto emisií je pranie plynov vodou alebo chemickým roztokom ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

#### 6.3.2. Najlepšie dostupné techniky (BAT) na znižovanie emisií z tavenia

Najlepšie dostupné techniky (BAT) sú ustanovené v kapitolách 1.2 – 1.6 Vykonávacieho rozhodnutia Komisie č. 2012/134/EÚ z 28. februára 2012, ktorým sa podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách ustanovujú závery o najlepších dostupných technikách (BAT) pre výrobu skla.

Tieto závery o BAT sa týkajú činností uvedených v prílohe č. 1 zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia v znení neskorších predpisov, konkrétne:

– činnosť 3.4. Tavenie nerastných látok vrátane výroby minerálnych vlákien s kapacitou presahujúcou 20 ton za deň.

Na uvedené činnosti sa vzťahujú aj požiadavky zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

**BAT pre TZL**

*Zmena surovín* – používanie sódy  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  s nízkym obsahom  $\text{NaCl}$ .

*Zníženie teploty na povrchu taveniny* – pri vyšších teplotách sa tvorí viac prchavých látok. Dosiahne sa napr. používaním väčšieho podielu črepov. Keďže črepy už boli raz roztavené, ich použitie pomáha znížiť množstvo prchavých látok, ktoré prispievajú k vzniku prachu (napr.  $\text{NaCl}$  alebo síranov v kmeni).

*Regulácia horákov* – vysoká rýchlosť plynov na povrchu taveniny zvyšuje rýchlosť prchania. Reguláciou horákov sa optimalizuje rýchlosť a smer spaľovacieho vzduchu a paliva. Je dôležité, aby sa redukčný plameň nedotýkal taveniny.

*Nahradenie vykurovacieho oleja zemným plynom* – zmena môže podstatne znížiť emisie TZL. Príčinou je menšia kondenzácia častíc pri vykurovaní zemným plynom.

*Elektrostatický odlučovač* – má vysokú účinnosť – až 99,9 %. Nevýhodou je spotreba energie spojená s jeho prevádzkou.

*Textilné filtre* – účinnosť odlučovania je 95 – 99 %. Pri výbere vhodnej tkaniny sa musí brať do úvahy zloženie plynov, veľkosť častíc, požadovaná účinnosť a hospodárnosť.

**BAT pre oxidy dusíka  $\text{NO}_x$** 

*Úprava spaľovania* – zníženie pomeru palivo/vzduch na takmer stechiometrickú hodnotu, postupné spaľovanie, recirkulácia spalín, používanie horákov s nízkymi emisiami  $\text{NO}_x$ , výber paliva (používanie vykurovacieho oleja alebo zemného plynu).

*Zloženie kmeňa* – dusičnany sa používajú ako oxidačné činidlá. Najčastejšie sa používa dusičnan sodný, ale pri niektorých špeciálnych sklách sa používa dusičnan bárnatý. Alternatívou je použitie síranov alebo oxid céru.

*Špeciálne konštrukcie pece* – umožňujú nižšiu teplotu plameňa (pod 1 000 °C) a tým aj nižšie emisie  $\text{NO}_x$ .

*Kyslíkovo-palivové tavenie* – zahŕňa náhradu spaľovacieho vzduchu kyslíkom. Odstránenie väčšiny dusíka zo spaľovacej atmosféry znižuje objem spalín o 70 – 85 %.

*Chemická redukcia palivom* – palivo sa pridáva do prúdu spalín, aby sa  $\text{NO}_x$  zredukoval na  $\text{N}_2$  prostredníctvom radu reakcií. Palivo nehorí, ale sa pyrolyticky rozkladá a vytvára radikály, ktoré reagujú so zložkami spalín pri tvorbe  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{N}_2$ .

*Selektívna katalytická redukcia (SCR)* – založená na reakcii  $\text{NO}_x$  s čpavkom za prítomnosti katalyzátora pri pracovnej teplote zvyčajne 200 – 500 °C s optimom pri teplote 300 – 450 °C. Dosiahnuté zníženie emisií je 75 – 95 %.

*Selektívna nekatalytická redukcia (SNCR)* – oxidy dusíka sa redukujú na dusík reakciou s čpavkom alebo močovinou pri vysokých teplotách (950 – 1 000 °C).

**BAT pre oxidy síry  $\text{SO}_x$** 

*Výber paliva* – náhrada vykurovacieho oleja zemným plynom.

*Zloženie kmeňa* – zníženie množstva síranov na minimum.

*Suché alebo polosuché čistenie* – reaktívny materiál (adsorbent) sa zavádza do prúdu plynu a rozptýli sa v ňom. Tento materiál reaguje so zlúčeninami  $\text{SO}_x$  a vytvára pevnú látku, ktorá sa z prúdu

plynu odstraňuje elektrostatickým odlučovačom alebo textilným filtrom. Ako vhodné adsorbenty sa používajú  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Absorpčné činidlá sú tiež účinné aj pri odstraňovaní ostatných kyslých plynov, najmä halogenidov ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ), ale i ostatných prchavých látok, napr. selénu, kyseliny boritej.

*Práčky plynov* – plynné zlúčeniny (napr.  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3$ ) sa rozpúšťajú v kvapaline vybranej podľa rozpustnosti plynov. Pri prechode práčkou sa plyny nasycujú vodou. Pred ich vypustením je potrebné oddelenie kvapiek obsahujúcich absorbované plyny. Výslednú kvapalinu je potrebné čistiť v čistiarni odpadových vôd.

### **BAT pre chloridy/HCl a fluoridy/HF**

Nahradenie kalcinovanej sódy s obsahom chloridov zvýšeným používaním črepev.

*Regulácia horákov* – vysoká rýchlosť plynov na povrchu taveniny zvyšuje rýchlosť prchania. Reguláciou horákov sa optimalizuje rýchlosť a smer spaľovacieho vzduchu a paliva. Je dôležité, aby sa redukčný plameň nedotýkal taveniny.

Kyslíkovo-palivové tavenie

Výroba frít bez použitia fluoridov.

Čistenie – suché, polosuché čistenie a pranie plynov rovnako ako pri  $\text{SO}_2$ .

### **6.3.3. Najlepšie dostupné techniky (BAT) na znižovanie emisií z ostatných činností iných ako tavenie**

Najlepšie dostupné techniky (BAT) sú ustanovené v kapitolách 1.2 – 1.6 Vykonávacieho rozhodnutia Komisie č. 2012/134/EÚ z 28. februára 2012, ktorým sa podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách ustanovujú závery o najlepších dostupných technikách (BAT) pre výrobu skla.

Tieto závery o BAT sa týkajú činností uvedených v prílohe č. 1 zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia v znení neskorších predpisov, konkrétne:

– činnosť 3.4. Tavenie nerastných látok vrátane výroby minerálnych vlákien s kapacitou presahujúcou 20 ton za deň.

Na uvedené činnosti sa vzťahujú aj požiadavky zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

- Pri operácii nanášania minimalizácia strát nanášaného produktu – zabezpečením dobrého utesnenia aplikačného systému a použitím účinného odsávania. Táto technika je uplatniteľná pri výrobe obalového skla, keď sa na výrobky bezprostredne po vytvarovaní nanášajú povlaky na báze cínu alebo titánu.
- Kombinácia odpadového plynu z operácií nanášania s odpadovým plynom zo sklárskej pece alebo so spaľovacím vzduchom z pece, keď sa uplatňuje sekundárny systém čistenia.
- Minimalizácia strát produktov nanášaných na ploché sklo zabezpečením dobrého utesnenia aplikačného systému.
- Minimalizácia strát  $\text{SO}_2$  z tunelovej chladiacej pece pri výrobe plochého skla optimálnou prevádzkou systému kontroly.
- Kombinácia emisií  $\text{SO}_2$  z tunelovej chladiacej pece s odpadovým plynom z taviacej pece, keď je to technicky možné a keď sa uplatňuje sekundárny systém čistenia plynu.
- Vykonávanie prašných operácií pri výrobe úžitkového skla (napr. brúsenie, rezanie, leštenie) pod kvapalinou.

- Zníženie emisií HF v procesoch leštenia úžitkového skla nasledujúcimi spôsobmi:
  - minimalizáciou strát leštiaceho prostriedku,
  - zabezpečením dobrého utesnenia aplikačného systému alebo
  - uplatnením sekundárnej techniky, napr. mokrým práním.

## 7. VÝROBA MINERÁLNEJ VLNY

### 7.1. Technológia výroby minerálnej vlny

Odvetvie minerálnej vlny predstavuje približne 10 % z celkovej výroby sklárskeho priemyslu. Zahŕňa výrobu izolačných materiálov zo sklenenej a kamennej vlny, ktoré sú v podstate náhodne prepletenou masou vlákien rôznej dĺžky spojených spojivom na báze živice. Minerálna vlna sa vyznačuje dobrými tepelnoizolačnými, akustickými a protipožiarными vlastnosťami. Až 70 % z celkovej výroby sa spotrebúva v stavebníctve.

Minerálna vlna sa rozdeľuje do dvoch hlavných kategórií: sklenená vlna a kamenná/trosková vlna. Typické zloženie je uvedené v tabuľke 7.

Základnými surovinami na výrobu sklenej vlny sú: piesok, sóda, dolomit, vápenec, síran sodný, dusičnan sodný a minerály obsahujúce bór a hliník.

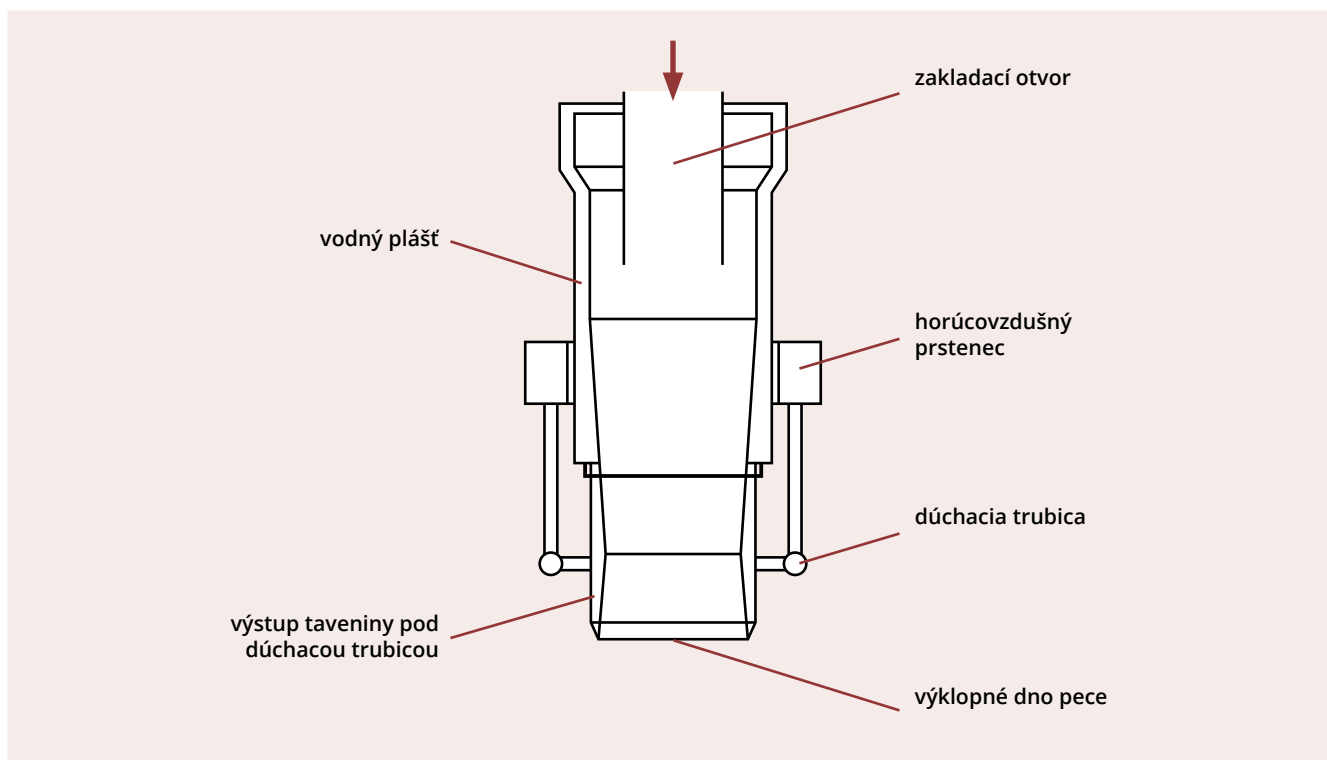
**Tabuľka 7:** Zloženie minerálnej vlny (%)

Minerálna vlna	SiO <sub>2</sub>	Alkalické oxidy	Oxidy alkalických zemín	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxidy železa	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Sklenená vlna	57 – 70	12 – 18	8 – 15	0 – 12	< 0,5	0 – 5	stopové množstvo	0 – 1,5
Kamenná vlna	38 – 57	0,5 – 5	18 – 40	stopové množstvo	0,5 – 12	0 – 23	0,5 – 4	0 – 1,5

Suroviny sa vážia a miešajú, aby sa vytvoril kmeň s presným zložením. Kmeň sa následne taví v elektrickej alebo rekuperatívnej peci vykurovanej zemným plynom. Roztavená sklovina prúdi radom trysiek na špeciálne skonštruovaný rotačný odstredivý rozvlákňovací kotúč. Odstredivým účinkom sa vytvorí zhluk náhodne prepletených vlákien rôznych dĺžok a priemerov. Na vlákna sa nanáša roztok spojiva na báze fenolovej živice a minerálneho oleja, čím sa im dodáva celistvosť, pružnosť, odolnosť a spôsobilosť na ďalšie spracovanie na finálny výrobok. Vlákna sa podtlakom prenášajú na pohyblivý pás, kde vytvárajú vláknitú rohož. Výrobok sa suší v peci pri teplote 250 °C, pričom sa vytvrdzuje spojivo. Výrobok sa potom ochladí a pred balením sa reže na požadovaný formát.

Základnými surovinami na výrobu kamennej vlny sú: hlinitokremičité horniny (zvyčajne čadič), vápenec alebo dolomit a niekedy aj vysokopecná troska.

Na tavenie surovín sa zvyčajne používa kuplová pec s predohriatym vzduchom, ktorá je vykurovaná koksom (obr. 9). Do pece sa dávajú kusové suroviny a kusový koks, aby sa vytvoril stĺpec, cez ktorý môže prúdiť vzduch. Suroviny a koks sa do kuplovej pece zakladajú zhora striedavo vo vrstvách. Na dne pece sa zapáli koks a vytvorí pásmo horenia, kde dochádza k taveniu surovín. Predohriaty vzduch je privádzaný do spaľovacej zóny asi 1 – 2 m nad dnom pece cez dúchacie trubice v stene pece. Je to najteplejšia časť pece – teplota tu dosahuje cca 2 000 °C. Roztavený materiál sa hromadí na dne pece a vyteká vypúšťacím otvorom a krátkym žlabom umiestneným nad rozvlákňovacím strojom. Materiál nad pásmom horenia, ktorý bol predohriaty plynmi stúpajúcimi hore pecou, poklesne do pásma horenia a je nahradený čerstvou vsádzkou zvrchu pece. Celý povrch pece je chladený vodou. Týmto spôsobom produkuje kuplová pec taveninu 2 – 3 týždne.



**Obrázok 9:** Kuplová pec na výrobu kamennej vlny (zdroj: <http://mgo2013.blog.cz/1003/kremik-pokracovani>)

Čadič a vysokopecná troska obsahujú železité a železnaté zlúčeniny. V redukčných podmienkach v niektorých častiach pece sa železo redukuje na kovové železo. To sa hromadí na dne pece, a keby sa ho nahromadilo toľko, že by začalo vytekať zo žlabu, mohlo by poškodiť rozvlákňovacie zariadenie. Aby k tomu nedošlo, železo sa pravidelne vypúšťa (odpichuje) v najnižšom bode spodnej časti pece.

Tavenina dopadá na rýchlo sa otáčajúce kotúče rozvlákňovacieho stroja a je rozprašovaná na jemné častice vytvárajúce vlákna. Vlákna sú fúkané vzduchom na zberný pás, kde sa vytvára rohož. Na vlákna sa strieka vodný roztok fenolovej živice. Primárna rohož sa vrství, aby mal výrobok požadovanú hmotnosť na jednotku plochy. Rohož následne prechádza do vytvrdzovacej pece s teplotou približne 250 °C. V peci sa upravuje hrúbka rohože, výrobok sa suší a spojivo sa vytvrdzuje. Výrobok sa potom chladí a pred balením sa reže na požadovaný formát.

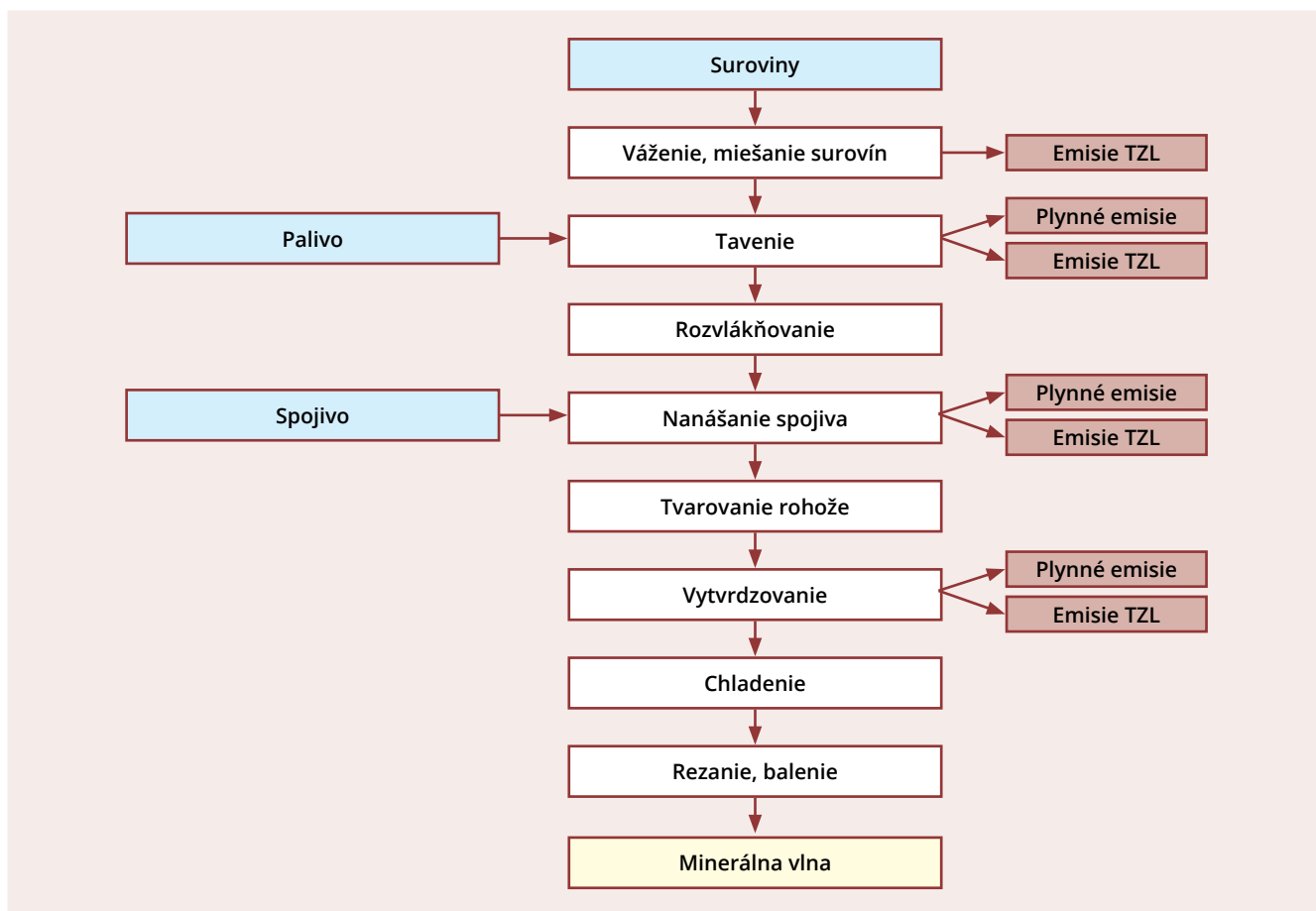


Schéma 6: Výroba minerálnej vlny

## 7.2. Environmentálne vplyvy výroby minerálnej vlny

### 7.2.1. Emisie znečisťujúcich látok

Zdrojom emisií sú nasledujúce činnosti:

- manipulácia so surovinami a ich skladovanie,
- tavenie,
- nadväzujúce procesy.

#### Manipulácia so surovinami

Skladovanie a manipulácia so surovinami môžu byť významným zdrojom emisií TZL. Sypké materiály sa skladujú v silách, ktoré sú odvetrávané do zariadení na znižovanie emisií, napr. textilných filtrov. Na znižovanie emisií TZL pri manipulácii so surovinami sa môžu použiť rôzne techniky, napr. zakapotovanie dopravníkov, vlhčenie hald a pod.

#### Tavenie

Rovnako ako všetky sklárske činnosti, aj výroba minerálnej vlny je vysokoteplotný, energeticky náročný proces. V peciach vykurovaných fosílnymi palivami vznikajú emisie zo spaľovania a z vysokoteplotnej oxidácie atmosférického dusíka, t. j. oxid siričitý, oxid uhličitý a oxidy dusíka. Emisie



z pece ďalej obsahujú TZL, stopové množstvá chloridov, fluoridov a kovov prítomných ako nečistoty v surovinách.

Kuplové pece na výrobu kamennej vlny sa odlišujú od konvenčných sklárskych pecí, čo môže ovplyvniť emisie z výroby. Tieto pece pracujú pri silných redukčných podmienkach. Z tohto dôvodu sú emisie  $\text{NO}_x$  relatívne nízke, časť síry sa redukuje na sírovodík a je tu vysoká koncentrácia CO. Väčšina prevádzok používa systém koncového spaľovania, ktorým sa sírovodík oxiduje na  $\text{SO}_2$  a oxid uhoľnatý na  $\text{CO}_2$ . Koks a suroviny môžu obsahovať vyšší podiel kovov, chloridov a fluoridov rovnako ako pri iných procesoch vo výrobe skla, čo spôsobuje aj vyššie emisie týchto látok.

Do pecí na výrobu sklenenej vlny môžu byť pridávané oxidačné činidlá, napr. dusičnan draselný, ktorý môže spôsobiť rast emisií  $\text{NO}_x$ . Ako oxidačné činidlo môže byť použitý aj oxid manganičitý.

### Nadväzujúce procesy

Vo výrobe minerálnej vlny sú ďalšie dva dôležité zdroje emisií: tvarovacia zóna (kde sa spojivo aplikuje na vlákna) a vytvrdzovacia pec (kde sa výrobok suší a kde sa vytvrdzuje spojivo).

Emisie z tvarovacej zóny môžu obsahovať TZL, fenol, formaldehyd a amoniak. Emisie možno znížiť úpravou chemického zloženia spojiva alebo čistením odpadových plynov (cyklóny, práčky plynov, elektrostatické odlučovače, spaľovanie odpadových plynov).

Emisie z vytvrdzovacej pece môžu obsahovať prchavé zložky spojív, produkty rozkladu spojív a zložky zo spaľovania z pecných horákov.

## 7.2.2. Najlepšie dostupné techniky (BAT) na znižovanie emisií z tavenia

Najlepšie dostupné techniky (BAT) sú ustanovené v kapitolách 1.7.1 – 1.7.6 Vykonávacieho rozhodnutia Komisie č. 2012/134/EÚ z 28. februára 2012, ktorým sa podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách ustanovujú závery o najlepších dostupných technikách (BAT) pre výrobu skla.

Tieto závery o BAT sa týkajú činností uvedených v prílohe č. 1 zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia v znení neskorších predpisov, konkrétne:

– činnosť 3.4. Tavenie nerastných látok vrátane výroby minerálnych vlákien s kapacitou presahujúcou 20 ton za deň.

Na uvedené činnosti sa vzťahujú aj požiadavky zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

### BAT pre TZL

Elektrostatický odlučovač alebo tkanivový filter

Elektrostatické odlučovače nie sú vhodné pre kuplové pece na výrobu kamennej vlny v dôsledku rizika výbuchu zo vznietenia CO vytvoreného v peci.

### BAT pre oxidy dusíka $\text{NO}_x$

Úprava spaľovania – zníženie pomeru palivo/vzduch na takmer stechiometrickú hodnotu, postupné spaľovanie, recirkulácia spalín, používanie horákov s nízkymi emisiami  $\text{NO}_x$ , výber paliva (používanie vykurovacieho oleja alebo zemného plynu), elektrické tavenie, kyslíkovo-palivové tavenie.

**BAT pre oxidy dusíka NO<sub>x</sub>, ak sa vo vsádzke na výrobu sklenej vlny používajú dusičnany**

Zloženie vsádzky – minimalizácia používania dusičnanov vo vsádzke

Elektrické tavenie

Kyslíkovo-palivové tavenie

**BAT pre oxidy síry SO<sub>x</sub>**

Minimalizácia obsahu síry v zložení vsádzky a optimalizácia bilancie síry

Používanie palív s nízkym obsahom síry

Suché alebo polosuché čistenie v kombinácii so systémom filtrácie. Elektrostatické odlučovače nie sú uplatniteľné pre kuplové pece

Práčky plynov

**BAT pre chloridy/HCl a fluoridy/HF**

Výber surovín pre zloženie vsádzky s nízkym obsahom chlóru a fluóru

Suché alebo polosuché čistenie v kombinácii so systémom filtrácie. Elektrostatické odlučovače nie sú uplatniteľné pre kuplové pece.

**BAT pre H<sub>2</sub>S z taviacich pecí na kamennú vlnu**

Systém spalovania odpadových plynov slúži na zníženie emisií H<sub>2</sub>S ich oxidáciou na SO<sub>2</sub>.

**BAT pre kovy z taviacich pecí**

Výber surovín pre zloženie vsádzky s nízkym obsahom kovov

Uplatnenie systému filtrácie. Elektrostatické odlučovače nie sú uplatniteľné pre kuplové pece.

**7.2.3. Najlepšie dostupné techniky (BAT) na znižovanie emisií z ostatných činností iných ako tavenie**

Najlepšie dostupné techniky (BAT) sú ustanovené v kapitole 1.7.7 Vykonávacieho rozhodnutia Komisie č. 2012/134/EÚ z 28. februára 2012, ktorým sa podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách ustanovujú závery o najlepších dostupných technikách (BAT) pre výrobu skla.

Tieto závery o BAT sa týkajú činností uvedených v prílohe č. 1 zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia v znení neskorších predpisov, konkrétne:

– činnosť 3.4. Tavenie nerastných látok vrátane výroby minerálnych vlákien s kapacitou presahujúcou 20 ton za deň.

Na uvedené činnosti sa vzťahujú aj požiadavky zákona č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

*Mokrú práčku* – pri čistení odpadových plynov z procesu tvarovania alebo pre kombinované odpadové plyny (tvarovanie plus vytvrdzovanie).

*Mokrú elektrostatické odlučovače* – uplatniteľné rovnako ako mokré práčky.

*Filtre na báze kamennej vlny* – technika uplatniteľná na čistenie spalín z tvarovania a/alebo z vytvrdzovacích pecí, najmä z procesov výroby kamennej vlny. Filter je vhodný na odpadové plyny s vysokým obsahom vlhkosti a tuhých znečisťujúcich látok adhézneho charakteru.

*Spalovanie odpadových plynov* – technika uplatniteľná na čistenie spalín z vytvrdzovacích pecí, najmä z procesov výroby kamennej vlny.

## 8. VÝROBY A SPRACOVANIE STAVEBNÝCH HMÔT

### 8.1. Výroba betónu

Betón je pevná stavebná látka vytvorená stvrdnutím betónovej zmesi alebo stavivo vytvorené zmiešaním vo vhodnom pomere **spojiva, plniva a vody**, prípadne ďalších prísad a prímiesí, ktoré po stuhnutí nadobúda vlastnosti pevnej látky. Ako spojivo sa okrem cementu môže použiť aj vápno, asfalt, decht, magnezit (xylolitové podlahy), makromolekulové živice (plastbetón), sadra (zvukovo izolačné priečky) a pod. Betón s vysokým obsahom cementu sa nazýva masťný, s nízkym obsahom cementu chudobný. Ako plnivá slúžia anorganické prírodné materiály ako piesok a kamenivo, ale aj umelé: škvara, troska, keramzit alebo niektoré organické materiály ako drevené piliny, pazderie, korok, rašelina a pod. Plnivá môžu mať rôznu veľkostnú frakciu.

Výpočet emisných faktorov pri tejto výrobe uvádza Vestník MŽP, XVI, 2008, 5, str. 45, v kapitole Všeobecné emisné závislosti a všeobecné emisné faktory pre vybrané technológie a zariadenia podľa § 2 ods. 3 písm. f) a g) vyhlášky MŽP SR č. 408/2003 Z. z.

**Cementový betón (CB)** patrí medzi najpoužívanejšie stavebné materiály. Má vysokú pevnosť v tlaku, ale malú pevnosť v ťahu a šmyku. Pevnosť v tlaku je podľa potreby v rozmedzí od 5 do 50 MPa.

Betón má vlastnosti prírodného kameňa, trvanlivosť a pevnosť (v tlaku 3 – 60 MPa, v ťahu asi desaťkrát menšiu). Na zvýšenie pevnosti v ťahu a únosnosti sa vystužuje ocelovými prútmami, drôtmi a sieťami (železobetón). Jeho pevnosť a vlastnosti sa menia zložením a spracovaním zmesi. Pevnosť je aj jeho nevýhodou, pretože rekonštrukcie betónových konštrukcií sú veľmi náročné. Pevnosť závisí hlavne od frakcie piesku alebo štrku. Najpevnejšie a najdrahšie sú vibrované betóny s malou frakciou piesku. Je ľahko tvarovateľný a umožňuje pomocou debnenia vytvoriť v rámci statických možností rozmanité tvary. Je odolný voči chemickým látkam, vysokým teplotám, je trvanlivý a má objemovú stálosť. Trvanlivosť betónu je veľká vo vode aj na vzduchu.

**Betónové prímiesi** sú jemné práškové látky, ktoré sa pridávajú do betónovej zmesi už počas miešania. Objem prímiesí v čerstvej betónovej zmesi sa pohybuje v rozmedzí 10 – 40 % hmotnosti cementu. Prímiesi v betóne majú za úlohu zlepšenie technologických vlastností čerstvého betónu, ako aj mechanických vlastností zatvrdnutého betónu. **Lietavý popolček** zvyšuje množstvo zámesovej vody, zvyšuje dlhodobé pevnosti betónu, znižuje hĺbku karbonizácie betónu. **Kremičité látky** (úlety) zvyšujú množstvo zámesovej vody, ovplyvňujú pórovitú štruktúru betónu (pórovitosť zvyšuje nasiakavosť), zvyšujú pevnosť a odolnosť betónu voči agresívnemu prostrediu (vhodný pre vodohospodársky a chemický priemysel). **Farebné pigmenty** slúžia na zafarbenie betónu.

**Betónové prísady** sú chemické zlúčeniny, ktoré sa pridávajú do betónovej zmesi už počas miešania. Objem prísad v čerstvej betónovej zmesi sa pohybuje v rozmedzí 2 – 50 g/m<sup>3</sup>. **Plastifikačné prísady** znižujú povrchové napätie betónu, zlepšujú spracovateľnosť betónovej zmesi (dlhšia dopravná vzdialenosť), znižujú potrebné množstvo zámesovej vody a zvyšujú pevnosť v tlaku zatuhnutej zmesi až o 10 %. **Stabilizačné prísady** znižujú odmiešavanie vody, znižujú výšku elevácie vody a zvyšujú hutnosť zatvrdnutého cementu, znižujú pórovitosť, zamedzujú vztláaniu a nasávaníu vody. **Prevzdušňovacie prísady** vytvárajú veľký počet mikroskopických pórov, dodávajú odolnosť voči opakovanému zamrznutiu a rozmrznutiu a rozmrazovacím soliam. **Spomaľovacie prísady** spomaľujú tuhnutie a tvrdnutie betónovej zmesi, **urýchľovacie prísady**, naopak, urýchľujú tuhnutie a tvrdnutie betónovej zmesi. Ako ostatné prísady slúžia inhibítory korózie, biocídne prísady, plynovotorné prísady (na tvorbu pórobetónu) alebo prísady spĺňajúce adhéznú funkciu (zvyšujú súdržnosť novej zmesi s už zatvrdnutým betónom).

Všeobecné emisné limity možno nájsť vo vyhláske MŽP SR 410/2012 Z. z., ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona o ovzduší (príloha č. 3, II. časť Všeobecné technické požiadavky a podmienky prevádzkovania zdrojov emitujúcich TZL), kde sú uvádzané nasledujúce skupiny znečisťujúcich látok:

1. skupina – tuhé znečisťujúce látky,
2. skupina – tuhé anorganické látky,
3. skupina – anorganické plyny,
4. skupina – organické plyny a pary,
- 5 skupina – znečisťujúce látky s karcinogénnym účinkom
6. skupina – perzistentné organické polutanty.

Pre každú skupinu sú tu uvádzané všeobecné emisné limity, ktoré sa uplatňujú pre jestvujúce alebo nové zariadenia buď ako ustanovený hmotnostný tok, alebo ako ustanovená hmotnostná koncentrácia, pričom 5. a 6. skupina sú uvádzané ako znečisťujúce látky s osobitným charakterom prejavujúcim sa na ľudskom zdraví alebo životnom prostredí.

Pri výrobe betónu vznikajú predovšetkým prašné emisie, preto je potrebné využiť všetky techniky dostupné prostriedky na ich obmedzenie s ohľadom na primeranosť nákladov. Pri posudzovaní rozsahu opatrení je potrebné vychádzať najmä z nebezpečnosti prachu, hmotnostného toku emisií, trvania emisií, meteorologických podmienok a podmienok okolia, a to vo všetkých krokoch procesu (doprava, vykladanie, nakladanie prašných materiálov). Zariadenia na spracovanie prašných materiálov je potrebné zakapotovať. Ak nemožno zabezpečiť prachotesnosť, je potrebné prašnosť v čo najväčšej miere obmedzovať, napr. odvádzaním prašnej vzdušiny na odprášenie. Pri sypaní prašných materiálov je potrebné dráhu pádu obmedziť pomocou vodiacich plechov, používaním výsuvných násypných potrubí, uzatváracích drapákov, násypných trubíc s hlaviceou s odsávaním. Je potrebné obmedziť používanie dopravníkov so striasacím mechanizmom, násypné otvory vybaviť vekami, klapkami, závesmi alebo nadstavcami brániacimi rozprachu. Pri plnení síl prašnými látkami je potrebné zachytávať vytláčaný vzduch pomocou airbagov alebo ho odvádzat' na odprášenie. Pri úprave stavebného odpadu na voľnom priestranstve, napríklad drvení, je potrebné udržiavať dostatočnú vlhkosť na zabránenie alebo obmedzenie prašnosti. Počas prepravy prašných materiálov musí byť prepravovaný materiál zakrytý. Dopravné cesty a manipulačné plochy je potrebné pravidelne čistiť a udržiavať dostatočnú vlhkosť povrchov na zabránenie rozprašovaniu alebo obmedzenie rozprašovania. Prašné materiály je potrebné skladovať alebo skládkovať najmä v silách, pričom sklad prašných materiálov musí byť zastrešený a uzatvorený zo všetkých strán, povrch skladovaných a skládkovaných prašných materiálov by mal byť zakrytý, pri dlhodobom skládkovaní možno riešiť zazelenenie povrchu.

### 8.1.1. Druhy betónu

**Suchý betón** je v sypkom stave a dá sa prepravovať aj bez pomoci domiešavačov. Na rozdiel od normálne spracovanej betónovej zmesi sa do suchého betónu pridáva malé percento vody. Najčastejšie sa používa pri výstavbe diaľnic ako podkladný betón (stabilizácia) pod asfaltový koberec. Pri ukladaní suchého betónu sa sype priamo z korby nákladného auta do finišera, ktorý ukladá rovnomerne hrubé vrstvy. Po uložení sa valcuje a postrekuje vodou pre lepšiu pevnosť.

**Prostý betón** je betón bez pridanej výstuže. Je používaný hlavne ako podkladný betón. Jeho opakom je železobetón.

**Železobetóny** (vystužené ocelové betóny), napr. predpätý betón, ktorý sa vyrába tak, že výstuž sa v debnení mechanicky natiahne na požadované hodnoty. Do debnenia sa pridá betónová zmes a celá zmes sa v debnení vibruje. Po stuhnutí sa natiahnutá ocelová výstuž uvoľní a vznikne predpätie. Má vyššiu pevnosť v tlaku a používa sa najmä pri výstavbe mostov. Drátkobetón je betón

s prímiesou oceľových vlákien, ktoré zvyšujú jeho pevnosť v tlaku. Používa sa na podlahy s vysokým zaťažením (priemyselné podlahy) a pre spevnené plochy (parkoviská).

**Asfaltový betón (AB)** je kamenivo rôznej frakcie obalované asfaltom. Používa sa pri výstavbe krycích vrstiev komunikácií (bitúmenové kryty).

Ako špeciálne druhy sa používajú: žiaruvzdorný betón – žiaruvzdornosť závisí od použitého kameniva, pri použití kvalitnejšieho kameniva sa pohybuje v hodnotách až 800 °C a pri železobetóne do 600 °C. Pohľadový betón – je betón s povrchovou úpravou, najmä na fasádach alebo pohľadových konštrukciách. Lahčené druhy sú betóny, do ktorých sa primiešava perlit alebo granulovaný polystyrén – EPS. Je používaný hlavne na odľahčenie a izoláciu podláh vo viacposchodových rodinných domoch. Ďalšími druhmi sú prevzdušnený betón, pórobetón/drenážny betón (pre odvodňovacie systémy), perlitbetón.

### 8.1.2. Technológia výroby betónu

Nároky na kvalitu dnes už prakticky vylúčili ručnú výrobu čerstvého betónu, ktorý sa aj pri menších stavbách vyrába strojovo alebo v betonárňach, kde predstavuje vysokomechanizovaný spôsob. Jednotlivé komponenty sa musia premiešať tak, aby sa kamenivo rovnomerne obalilo cementovou maltou. Podľa STN EN 206-1 je čerstvý betón (fresh concrete) betón celkom zamiešaný a zároveň v takom stave, ktorý ešte umožňuje jeho zhutnenie zvoleným spôsobom. Na rýchle a kvalitné miešanie je dôležitý systém miešacieho zariadenia a jeho konštrukcia.

### 8.1.3. Betonárne

Betonáreň možno charakterizovať ako komplexné technologické zariadenie – zostava strojov a zariadení –, ktoré zabezpečuje:

- manipuláciu s kamenivom – prísun a dávkovanie jednotlivých zložiek,
- manipuláciu s vodou a ostatnými prísadami,
- miešanie všetkých zložiek,
- manipuláciu s čerstvým betónom a plnenie do odvozných prostriedkov.

Zariadenia na výrobu čerstvého betónu možno rozdeliť podľa rozličných kritérií:

- z organizačného hľadiska – na individuálnu a servisnú výrobu (transportbetón),
- podľa konštrukcie – na mobilné, premiestniteľné a stabilné,
- z hľadiska stupňa mechanizácie – na samostatné malé miešačky, komplexné mechanické jednotky, dávkovacie stanice a betonárne,
- z hľadiska úrovne ovládania – na ovládané ručne, poloautomaticky, plnoautomaticky (riadené počítačom – mikroprocesormi).

Podľa spôsobu usporiadania jednotlivých komponentov môžu byť betonárne horizontálne alebo vertikálne. Z hľadiska premiestniteľnosti môžu mať stabilné usporiadanie (z dôvodu väčšej výkonnosti a podmienky prevádzkovania), ale aj mobilné a prenosné vyhotovenie. Na výkonnosť betonárne má zásadný vplyv spôsob jej ovládania, a tým úroveň automatizovaného systému na dávkovanie, miešanie a registráciu miešacieho procesu. Výrobcovia riešia rozličné systémy ovládania, ako sú manuálne, poloautomatické a automatické. Pri poloautomatickom a automatickom ovládaní je neoddeliteľnou súčasťou vybavenia počítač.

Jadro miešacieho centra tvoria miešačky. V súčasnosti sa najčastejšie vyrábajú rotorové miešačky s núteným miešaním a pohonom zhora alebo zdola. Vo všeobecnosti ide o stroje, ktoré sa ako samostatné jednotky používajú na premiešanie zložiek čerstvého betónu alebo na výrobu mált.

Možno ich rozdeliť podľa:

- technológie výroby čerstvého betónu – na cyklické a kontinuálne,
- spôsobu miešania – na miešačky spádové (gravitačné) a miešačky s núteným miešaním (aktívne),
- konštrukcie miešacieho jadra – na tanierové, žlabové a kombinované,
- spôsobu ovládania – na ručné (mechanické) a poloautomatické,
- spôsobu umiestnenia – na stabilné a premiestniteľné (na podvozku).

Výkonnostné parametre delia betonárne na:

- malé (5 až 12 m<sup>3</sup>/h),
- stredné (18 až 25 m<sup>3</sup>/h) – prenosné a stabilné,
- veľké (nad 50 m<sup>3</sup>/h) – stabilné vyhotovenie.

Podľa technického výkonu betonárne TMC v m<sup>3</sup>/h sú určované aj ostatné technické parametre, ktoré sú uvedené v tabuľke 7.

**Tabuľka 7:** Výkonové charakteristiky betonární podľa technického výkonu

Typ	TMC 15	TMC 20	TMC 30	TMC 40	TMC 50
Technický výkon (m <sup>3</sup> /h)	15	20	30	40	50
Objekt čerstvého betónu na zámes (dm <sup>3</sup> )	250	333	500	750	1 000
Počet a objem zásobníkov kameniva (m <sup>3</sup> )	3 (po 5 m <sup>3</sup> )	4 (po 10 m <sup>3</sup> )	4 (po 10 m <sup>3</sup> )	4 (po 15 m <sup>3</sup> )	4 (po 30 m <sup>3</sup> )
Počet a hmotnosť cementových síl (t)	1 (30 t)	2 (30 t)	1 (60 t)	3 (60 t)	2 (100 t)
Váživosť kameniva (kg)	800	1 000	1 500	2 000	3 000
Váživosť cementu (kg)	150	200	300	450	600
Váživosť vody (kg)	prietokové	prietokové	prietokové	prietokové	prietokové
Počet prísad	individuálne	individuálne	individuálne	individuálne	individuálne
Napäťová sústava	400V 3PEN 50Hz	400V 3PEN 50Hz	400V 3PEN 50Hz	400V 3PEN 50Hz	400V 3PEN 50Hz
Orientačný príkon (kW)	35	43	60	80	95

Zdroj: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/zaklady-a-hruba-stavba/cement-beton/vyroba-cerstveho-betonu-vbetonarnach>

Súčasťou betonární je aj recyklačné zariadenie na úpravu zostatkového čerstvého betónu. Riadiace systémy sú plnoautomatické s možnosťou pripojenia na nadriadený systém a možnosťou diaľkového prenosu a servisu.

Usporiadanie a konštrukčné vyhotovenie stredných a veľkých betonární sa rieši s ohľadom na ich prevádzkovanie aj v zimných podmienkach. Technologické parametre betonární, ktoré je potrebné poznať pri ich návrhu, sú uvedené v tabuľke 7. V našich podmienkach sa najčastejšie využívajú betonárne strednej triedy.

Najväčšia zostava betonární na jednom stavenisku je na obr. 10 pri výstavbe diaľnice s celkovou výkonnosťou vyše 500 m<sup>3</sup>/h.



**Obrázok 10:** Zostava betonárni DUOMAT 250 a SGME 320 na stavenisku Vítkovice (zdroj: [www.asb.sk/stavebnictvo/zaklady-a-hruba-stavba/cement-beton/vyroba-cerstveho-betonu-vbetonarnach](http://www.asb.sk/stavebnictvo/zaklady-a-hruba-stavba/cement-beton/vyroba-cerstveho-betonu-vbetonarnach))

Technologická linka betonárne, pozostávajúca zo základného stroja, zásobníka na štrkopiesky s odberným vážiacim pásom, zásobníka (sila) na cement, riadiaceho strediska a príslušenstva musí byť navrhnutá na vyčlenenom pozemku. Linka slúži na výrobu betónových zmesí, ktoré sa následne odoberajú autodomiešavačmi a valníkmi. Objekt musí byť napojený na všetky inžinierske siete, ktoré by sa mali nachádzať v blízkej vzdialenosti od pozemku.

## 8.2. Výroba bitúmenových zmesí

**Bitúmen** (v stavebníctve častejšie používaný výraz **asfalt**) je známy ako komplexný materiál, ktorý vzniká destiláciou ropy. Bitúmen sa používa v rôznych odvetviach stavebníctva, väčšinou ako spojivo na asfaltových vozovkách. Bitúmen možno opísať ako zmes štyroch širokých chemických skupín: živice, asfaltény, aromatické látky a nasýtené látky. Prvé dve skupiny sa vďaka svojim zásaditým a kyslým funkčným skupinám považujú za najpolárnejšie zlúčeniny, a preto ovplyvňujú medzifázové vlastnosti. Mechanizmus, ktorý za tým stojí, spočíva v tom, že tieto polárne zlúčeniny môžu migrovať a prilnúť k vode, keď sú kvapky bitúmenu emulgované vo vode. Týmto spôsobom môžu pôsobiť ako prírodné povrchovo aktívne látky. Ďalšie zložky, ako sú kryštály vosku a kyseliny nafténovej, môžu tiež pôsobiť ako prirodzené povrchovo aktívne látky a môžu ovplyvniť medzifázové vlastnosti systému bitúmen – voda, ale len v prípade vodných fáz s nízkym alebo vysokým pH.

Asfalt je vedľajší produkt pri spracovaní ropy a vzniká vo veľkých množstvách ako zvyšok po vákuovej destilácii. Je čierneho až čierneho a má tuhú alebo polotuhú konzistenciu. Pri výstavbe ciest sa používa ako vrchná vrstva vozovky (na spevnenie plochy). Jeho nevýhodou je, že sa pri vyššej teplote deformuje a na vozovke tak vozidlá vytvárajú tzv. kolaje. Tiež sa vďaka hydrofóbnym vlastnostiam používa na izoláciu stavieb alebo potrubí. Asfalt sa vyrába len v časti rafinérií (v rámci EÚ asi 45 % rafinérií), niektoré sa však špecializujú výhradne na asfalt. Požadované vlastnosti asfaltu sa dosahujú úpravou podmienok destilácie alebo použitím procesu označovaného ako „fúkание“ (blowing) asfaltu. Pri tomto procese sa do asfaltu zavádza vzduch, ktorého účinkom prebiehajú



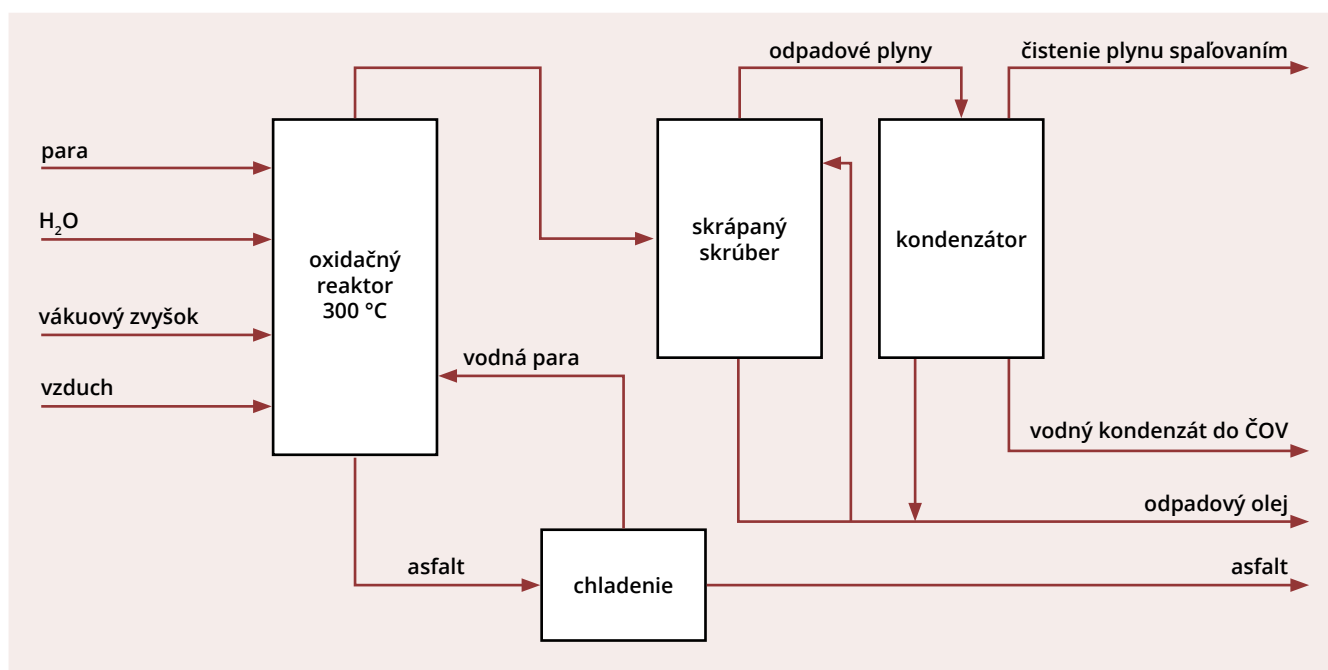
dehydrogenačné a polymerizačné reakcie, čím sa zvýši tvrdosť, viskozita a teplota mäknutia asfaltu a súčasne sa zníži hodnota tzv. penetračného testu (najdôležitejšie kritérium kvality).

### 8.2.1. Chemické vlastnosti bitúmenu

Bitúmeny obsahujú komplexnú zmes alifatických zlúčenín, cyklických alkánov, aromatických uhľovodíkov, polycyklických aromatických uhľovodíkov (PAU) a heterocyklických zlúčenín obsahujúcich atómy dusíka, kyslíka a síry a kovy (napr. železo, nikel a vanád). Väčšina dostupných analytických údajov sa však zameriava na charakterizáciu PAU. Bitúmen obsahuje predovšetkým uhľovodíky, t. j. uhlík – 7 – 88 %, vodík – 13 %, síru – 8 %, kyslík – 8 %, dusík – 3 % a iné. Presné chemické zloženie bitúmenu sa líši v závislosti od chemickej zložitosti pôvodnej ropy a výrobných procesov. Okrem toho sa s bitúmenom môžu miešať produkty iných rafinérskych procesov, napr. tavidlo alebo rozpúšťadlo z ropného destilátu, aby sa dosiahli požadované výkonnostné špecifikácie. V dôsledku toho nie sú žiadne dva bitúmenové produkty chemicky identické a chemická analýza sa nedá použiť na definovanie presnej chemickej štruktúry alebo chemického zloženia bitúmenov.

### 8.2.2. Výrobné procesy

Surovinou na výrobu fúkaného asfaltu je zvyšok po vákuovej destilácii alebo zvyšok (extrakt) po odasfaltovaní olejov. Jednotka fúkania asfaltu môže fungovať vsádzkovo alebo častejšie ako kontinuálny proces. Do oxidačného reaktora sa privádza surovina, vo veľkom stechiometrickom nadbytku vzduch a vodná para na zamedzenie explózie. Teplota sa udržiava v rozsahu 260 – 300 °C. Fúkaný asfalt sa odoberá zo spodnej časti reaktora a pri jeho chladení sa vyrába vodná para. Pary z hornej časti reaktora, obsahujúce unášané oleje a ďalšie oxidačné produkty, sa prečistia v skrúpanej kolóne. Z plynov z kolóny po ochladení skondenzujú ľahké uhľovodíky. Odpadové plyny z kolóny, obsahujúce ľahké uhľovodíky, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub>, stopové zapáchajúce látky – H<sub>2</sub>S, aldehydy, organické kyseliny a fenolické látky, sa spaľujú pri teplote asi 800 °C. Zjednodušená schéma výroby fúkaného asfaltu je znázornená na schéme 7.



**Schéma 7:** Zjednodušená schéma jednotky fúkania asfaltu (zdroj: upravené podľa BREF –REF, Draft2, 2013, kap.2)

Proces pracuje buď nepretržite, alebo v dávkovom režime v závislosti od kvality vstupného vákuového zvyšku a požadovanej špecifikácie asfaltového výrobku. Kontinuálne procesy sú v rafinériách najbežnejšie. Zjednodušený vývojový diagram procesu fúkania asfaltu (obr. 7) predstavuje typický, nepretržite prevádzkovaný proces, ktorý dostáva horúcu surovinu priamo z jednotky vákuovej destilácie. Ak sa bitúmenové suroviny odoberajú zo skladu, je pravdepodobné, že budú na predhriatie tejto suroviny na teplotu približne 200 – 250 °C potrebovať ďalší ohrievač, ktorý môže pracovať do 550 °C. V prípade dávkovo ovládanej jednotky je zvyčajne zahrnutá vyrovnávací nádobu na surovinu, ktorá uchováva tok tejto horúcej suroviny z vákuovej jednotky.

Zvyšok suroviny sa vháňa do hornej časti oxidačnej nádoby. Keď sa do spodnej časti nádoby vstrekuje vzduch, zvyšok sa oxiduje a vzniká teplo. Teplota v oxidačnej nádobe, ktorá do určitej miery určuje kvalitu asfaltu, je zvyčajne vyššia ako teplota v oxidačnej nádobe (medzi 260 – 300 °C). Na úpravu teploty sa používajú rôzne možnosti, napr. pridávanie chladnejšej suroviny do oxidačnej nádoby, recirkulácia chladenej suroviny, asfaltový produkt z prietokového chladiča asfaltu a v prípade starších jednotiek priame chladenie vodou. Zo spodnej časti oxidačnej nádoby sa odoberá oxidovaný asfalt a ochladzuje sa stúpaním.

Rýchlosť prúdenia vzduchu je zvyčajne oveľa vyššia ako stechiometrické požiadavky, a preto je v hornom priestore pary oxidačnej nádoby prítomné značné množstvo kyslíka. Aby sa zabránilo výbuchu v priestore s parami, vo väčšine jednotiek sa pary vstrekujú rýchlosťou potrebnou na udržanie koncentrácie kyslíka pod dolnou hranicou výbušnosti (5 – 6 % objemu). V niektorých jednotkách sa malé množstvo vstrekuje aj do výstupu pár z oxidačnej nádoby, aby sa znížila teplota pár a odvádzalo sa teplo vznikajúce pri exotermických reakciách. Toto sa považuje za nevyhnutné, aby sa zabránilo spaľovaniu v hornom systéme, ktoré by inak mohlo viesť k tvorbe ťažkého koksu.

Pary v hlave kolóny najprv prechádzajú cez plynový čistič s odvzdušňovaním, aby sa odstránil olej a iné oxidačné produkty. Vo väčšine prípadov sa ako čistiaca kvapalina používa plynový olej. Plyn vypúšťaný zo skrubera sa potom ochladzuje, aby sa kondenzovali ľahké uhľovodíky a kyslá voda. Zvyšný plyn, ktorý pozostáva najmä z ľahkých uhľovodíkov,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  a  $SO_2$ , sa spaľuje pri vysokých teplotách (~ 800 °C), aby sa zabezpečil úplný rozklad vedľajších produktov, ako  $H_2S$ , komplexné aldehydy a organické kyseliny a fenolové zlúčeniny, ktoré majú veľmi nepríjemný zápach.

Väčšina BBU vyrába kvalitnejší asfalt (strešné krytiny a izolácie potrubí) a spravidla pracuje nepretržite počas celého roka. BBU používané na výrobu cestného asfaltu sa prevádzkujú najmä v oblastiach s vysokým dopytom po tomto type asfaltu.

Bitúmeny sa získavajú destiláciou surových ropných olejov, ktoré poskytujú značné množstvo ťažkého zvyšku, zvyčajne od 10 do 50 %, hoci niekedy sa používajú surové oleje s vyšším výťažkom zvyšku. Zatiaľ čo výrobný proces môže zmeniť fyzikálne vlastnosti bitúmenov, chemické vlastnosti sa nemenia, pokiaľ nedochádza k tepelnému krakovaniu.

## Destilácia

Prvým stupňom rafinácie ropy je atmosférická destilácia. Surová ropa sa zahreje na 340 – 400 °C a pri atmosférickom tlaku sa zavedie do destilačnej veže, v ktorej sa vyparujú najprchavejšie zložky. Prchavejšie zložky stúpajú vo veži vyššie ako menej prchavé zložky. Keď teplota klesne pod bod varu určitej zložky, táto zložka skondenzuje a zachytí sa v zásobníku. Zostávajúci zvyšok sa nazýva „priamo redukovaný bitúmen“. Zvýšenie teploty na 400 – 560 °C zvyšuje pravdepodobnosť vzniku trhlín a spôsobuje uvoľňovanie prchavejších zložiek (a dokonca aj zložiek s vyšším bodom varu) zo zvyšku.

Atmosférický zvyšok veľmi ťažkej ropy sa niekedy používa na výrobu bitúmenu a zvyčajne sa ďalej destiluje, aby sa získali ďalšie produkty. Atmosférická destilácia, po ktorej nasleduje vákuová destilácia zvyšku, pomáha oddeliť zvyšné prchavé zložky s vyššími bodmi varu. Použitie vákuovej destilácie zabraňuje tepelnej degradácii destilátov a zvyšku znížením tlaku. Výsledné produkty sa nazývajú „vákuovo spracované bitúmeny“.

Vákuové zvyšky z konkrétnych surových olejov spĺňajú požiadavky špecifikácie pre priame bitúmeny. Niekedy sa do zvyšku vstrekuje para na podporu destilácie v procese známom ako stripovanie paru a bitúmeny vyrobené týmto spôsobom sa označujú ako „vákuovo spracované, rafinované parou“ (trieda 1).

### Vyfukovanie vzduchu

Oxidované bitúmeny sa vyrábajú predĺženým vyfukovaním vákuových zvyškov, bitúmenov vyzrážaných propánom alebo zmesi vákuových zvyškov a atmosférických zvyškov, alebo voskových destilátov vzduchom. Katalyzátory, ako je chlorid železitý (0 – 2 %) a pentoxid fosforitý (0 – 4 %), sa používajú v niekoľkých rafinériách na urýchlenie reakcie alebo na úpravu vlastností výsledných bitúmenov, ktoré sa označujú ako „katalytické bitúmeny vyfukované vzduchom“. Proces vyfukovania dehydrogenuje zvyšok, čo vedie k oxidácii a kondenzačnej polymerizácii. Obsah asfalténov sa výrazne zvyšuje, zatiaľ čo obsah cyklických látok sa znižuje.

Na výrobu asfaltov na asfaltovanie alebo priemyselné použitie sa môže použiť obmedzené vyfukovanie vzduchom, známe ako „rektifikácia vzduchom“.

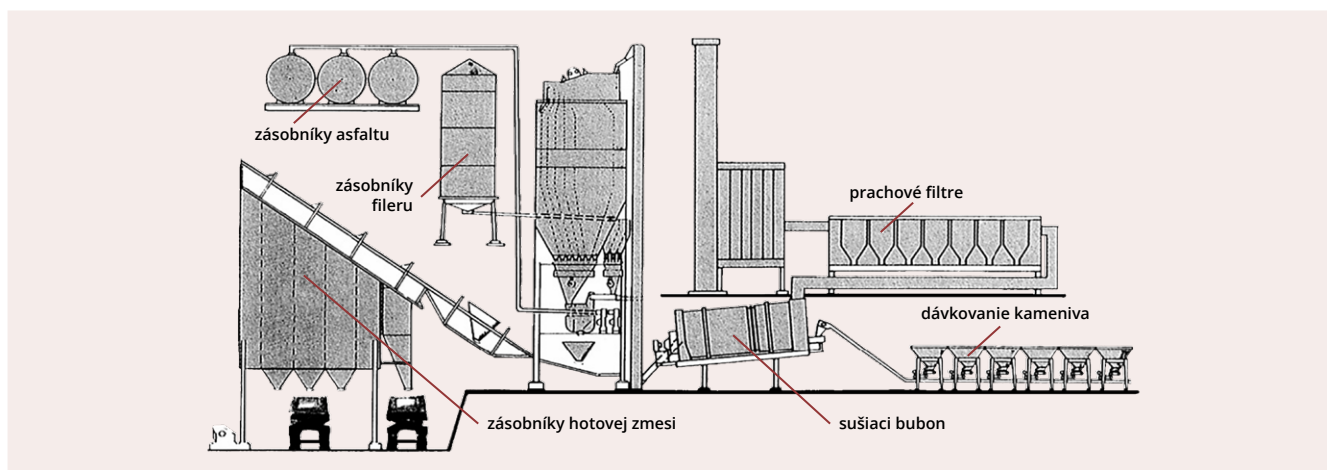
### Zrážanie rozpúšťadlom

Niektoré surové oleje obsahujú zložky s vysokým bodom varu, ktoré sa ťažko získavajú aj pri použití vysokého vákuu. Takéto materiály sa preto z vákuového zvyšku oddeľujú pomocou zrážania rozpúšťadlom, zvyčajne propánom alebo butánom. Výsledný vyzrážaný produkt sa nazýva „bitúmen vyzrážaný propánom“. Rozpúšťadlom vyzrážané asfalty, ktoré sú tvrdšie a menej odolné voči teplotným zmenám ako iné asfalty, majú vyšší obsah asfalténov ako vákuové zvyšky, z ktorých sa vyrábajú, ale nižší obsah nasýtených látok, ako by sa získal destiláciou vákuového zvyšku.

### Preprava a skladovanie

Bitúmeny sa zvyčajne dodávajú potrubím, cisternami alebo železničnými vagónmi v tekutom stave pri teplotách 90 – 230 °C v závislosti od typu bitúmenu a miestnych zvyklostí. Rezané bitúmeny sa zvyčajne skladujú pri teplote 50 – 80 °C, hoci boli zaznamenané skladovacie teploty až do 230 °C. Nižšie teploty sa zvyčajne udržiavajú pomocou parných cievok v cisternách. Emulzie sa skladujú a prepravujú pri teplote od 20 °C do 90 °C. Nasýtené bitúmeny a bitúmenové nátery sa zvyčajne skladujú pri teplote 200 – 260 °C.

Technológia výroby bitúmenových zmesí je uvedená na obr. 11.



**Obrázok 11:** Schéma výroby bitúmenovej zmesi (zdroj: Zajiček, Jan: *Technologie stavby vozovek*. Praha: ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.)

## Výroba bitúmenovej zmesi v cyklickej miešačke

Technológia výroby asfaltových zmesí typu asfaltový betón je podľa uvedenej schémy väčšinou dostatočná. Pri výrobe iných typov zmesí za použitia recyklátov je potrebné doplniť zariadenie o vhodný typ dávkovača prísady. Výroba asfaltovej zmesi v cyklickej (šaržovej) miešačke pozostáva z nasledujúcich krokov:

1. Skladovanie vstupných surovín (platia špecifické požiadavky podľa prílohy č. 7 vyhl. 410/2012 Z. z.).
2. Dávkovanie kameniva do sušiaceho bubna, v ktorom prebieha sušenie pri teplote 160 – 200 °C a súčasne prebieha odsávanie prachovitých častíc cez filtre.
3. Horúce triedenie kameniva, za ktorým nasleduje dávkovanie predhriatych vstupných materiálov (kameniva a kamennej múčky – fileru) cez váhy do miešačky.
4. Miešanie zmesi kameniva (cca 5 s), po ktorom sa dávkuje horúca bitúmenová zmes cez prietokomer do miešačky, tzv. obalovačky – obr. 12, kde sa mieša zhruba 30 – 60 sekúnd.



**Obrázok 12:** Obalovačka – výrobná linka na asfaltový betón

Hotová bitúmenová zmes (obr. 13), tzv. asfaltový betón (tiež aj liaty asfalt), je uložená do tepelne izolovaného zásobníka hotovej zmesi alebo priamo do korby nákladného auta a je pripravená na použitie.



**Obrázok 13:** Asfaltový betón

Vlastný výrobný proces je zložený z troch okruhov, ktoré obsluhujú vlastnú miešačku asfaltovej zmesi: **Okruh kameniva** predstavuje súbor dávkovačov, ktoré dávajú množstvo jednotlivých frakcií kameniva podľa nastavenej receptúry tak, aby nedochádzalo k zbytočnému ohrevu a sušeniu kameniva. Pásovými dopravníkmi sa kamenivo dopravuje do sušiacieho bubna na vysušenie a ohriatie na stanovenú teplotu. Sušiaci bubon je vybavený horákom s ventilátorom. Palivom je zemný plyn. Po vysušení a zahriatí sa zmes kameniva a piesku dopraví na vrchol miešacej veže, kde sa zmes kameniva znovu triedi a delí do zásobných bunkrov podľa jednotlivých frakcií. Po presnom navážení jednotlivých frakcií kameniva podľa stanovenej receptúry sa kamenivo dávkuje do miešačky.

**Okruh fileru** predstavuje zásobník fileru, čo je jemne mletý vápenec, ktorý sa pridáva do zmesi za účelom dosiahnutia požadovaných vlastností. Používa sa jednak tzv. vlastný filer, čo je odsatý prach z odprašovania po sušení kameniva, a jednak dovážaný filer (označovaný ako cudzí). Filerové silo je tvorené dvoma oddelenými nádobami – v spodnej časti je skladovaný vlastný filer, v hornej časti filer cudzí. Zo sila je vlastný filer dopravovaný do medzizásobníka a potom do váhy fileru. Cudzí filer sa dopravuje zo sila priamo do váhy fileru. Po odvážení receptom daného množstva je filer dopravníkom dávkovaný do miešačky.

**Okruh asfaltu**, kde sa asfalt skladuje v izolovaných skladovacích nádržiach. Ohrievanie asfaltu na skladovaciu a technologickú prevádzkovú teplotu je elektrické. Ohriaty asfalt sa potrubím dopravuje do miešacej veže a po odmeraní potrebného množstva sa dávkuje do miešačky. V celom výrobnom procese sa manipulácia s asfaltom uskutočňuje v uzavretom cykle. Po naplnení miešačky a premiešaní je asfaltová zmes dopravená do zvoleného sila, odkiaľ je expedovaná.

**Miešacie zariadenie** predstavuje zmiešavacia veža, do ktorej sa pridávajú všetky komponenty. Do niektorých zmesí možno pridávať aj recyklovaný materiál, t. j. živičný materiál odfrézovaný z opravovaných komunikácií. Po zamiešaní a dosiahnutí homogenity sa hotová zmes s teplotou 145 – 175 °C (podľa druhu) z miešacej komory dopravuje do sila hotovej zmesi, odkiaľ sa vypúšťa priamo do pripraveného nákladného vozidla. Všetky vstupné materiály sa musia pred dopravením do miešačky presne odvážiť a vyhriať na predpísanú teplotu. Teplota kameniva, asfaltu a hotovej zmesi sa musí počas výroby priebežne kontrolovať. Na výrobu asfaltových zmesí sa dajú použiť aj kontinuálne miešačky, zvlášť pri použití recyklátov a odpadového asfaltu.

Plyny odsaté zo sušiacich bubnov sa potrubím vedú do odlučovača, kde sa odstránia hrubé častice a následne sa pri teplote cca 110 až 120 °C vedú do odprašovacieho filtra, kde sa odstráni zvyškový jemný prach (obsah nečistôt menej ako 10 mg/m<sup>3</sup>). Znovuzískané častice sa dopravia cez plniace šneky (závitovky) a korčekovým prepravníkom do vlastného plniaceho sila.

Pre obalovne bitúmenových zmesí a miešarne platia podľa vyhl. č. 410/2012 špecifické technické požiadavky a podmienky prevádzkovania (príloha č. 7), podľa ktorých sa nesmie používať kvapalné palivo s obsahom síry > 1 % alebo tuhé palivo s mernou sírnatosťou > 0,5 g/MJ. Pri nových zariadeniach je potrebné odpadové plyny s obsahom organických látok z bitúmenových zmesí odvádzať na čistenie alebo na spaľovanie do sušiacieho bubna. Pri procese sušenia kameniva sa materiál nesmie priamo vsypávať do spaľovacieho priestoru bez predohriatia (platí pre všetky zariadenia od 1. januára 2017).

Najvýznamnejšie environmentálne vplyvy z uvedenej výroby sú uvádzané v kap. 3.8.2.5. Rovnako treba spomenúť všeobecné technické požiadavky a podmienky prevádzkovania zdrojov emitujúcich TZL z vyhl. 410/2012 Z. z., príloha č. 3. Pre skladovanie a manipuláciu so vstupnými sypkými materiálmi sú požiadavky uvedené v kap. 3.8.1. Pre emisie organických plynov a pár platia nasledujúce požiadavky:

- Prchavé organické zlúčeniny antropogénnej povahy môžu s NO<sub>x</sub> v prítomnosti slnečného žiarenia tvoriť fotochemické oxidanty nebezpečné pre zdravie ľudí.

- Pri skladovaní treba používať skladové nádrže s plávajúcou strechou vybavené účinným tesnením okrajov strechy alebo nádrže s pevnou strechou vybaviť vnútornou plávajúcou membránou a účinným tesnením z elastických materiálov. Odvod pár z nádrží s pevnou strechou treba zabezpečiť na spätné získavanie alebo na zneškodňovanie. Dýchanie nádrží je potrebné eliminovať na čo najmenšiu mieru, napr. izoláciou, reflexným náterom a pod.
- Pri prečerpávaní je potrebné použiť recirkulovanie plynnej fázy alebo odvádzanie vytláčaných plynov a pár do zariadenia na zneškodňovanie (účinnosť  $\geq 95\%$ ).
- Na prečerpávanie je potrebné používať tesné čerpadlá bez odkvapov, napríklad čerpadlá s mechanickou upchávkou.

## Spevnené plochy

Pri výstavbe spevnených plôch (vozovky, parkoviská) sa používajú rôzne druhy asfaltom obalovaných zmesí:

- asfaltový betón: obrusný (AC 4, AC 8, AC 11, AC 16), ložný (AC 16, AC 22), podkladový (AC 16)
- drenážny asfalt
- farebné asfalty
- liaty asfalt (MA 8, MA 11, MA 16)
- asfaltový koberec mastixový (SMA 11)
- obalované kamenivo (ACP 16+, ACP 22+) a iné

Izolácie. Asfaltové izolačné pásy sa používajú ako izolácia stavieb proti vode (strecha, základy, mostovka) a radónu (spodná stavba). Aplikujú sa na povrch natretý penetračným náterom (asfaltovým) natavením pomocou plameňa.

## Vstupné toky surovín a výrobkov

Prietok uhlíkov vstupujúcich do jednotky na oxidáciu (vyfukovanie) asfaltu je vo väčšine aplikácií prúd zvyškov z vákuovej jednotky a v niektorých prípadoch aj zvyškov z odmastovacej jednotky. Zvyčajne sa triedy asfaltov rôznej kvality vyrábajú v dávkach a tieto triedy sa ďalej upravujú zmiešaním s inými vysoko vriacimi zložkami, napr. vákuový zvyšok, ťažký plynový olej alebo syntetické polyméry. Vďaka tomu je jedna oxidačná jednotka schopná poskytnúť širokú škálu asfaltov rôznych tried pre rôzne aplikácie. Polymérové prísady – termoplastické prísady – sa používajú pri výrobe vysokoodolného a dlhotrvajúceho asfaltu; elastoméry, napr. butadiénstyrén (SBS), etylénvinylacetát (EVA), prírodný kaučuk, nemenia chemickú štruktúru asfaltu, ale menia jeho mechanické vlastnosti. Polyméry upravujú vlastnosti asfaltu (bod mäknutia alebo krehkosti), rozširujú oblasť ich použiteľnosti a trvanlivosť.

### 8.2.3. Vybrané najlepšie dostupné techniky (BAT) výroby bitúmenových zmesí

BAT pre toto priemyselné odvetvie predstavuje dodržiavanie systému environmentálneho riadenia, napr. pripravenosť a reakciu na mimoriadne situácie, nápravné a preventívne opatrenia, zabezpečenie súladu s právnymi predpismi v oblasti životného prostredia, preskúmanie environmentálnych manažérskych systémov a ich ďalšej vhodnosti, primeranosti a účinnosti najvyšším vedením a i.

Najlepšou dostupnou technikou z výroby asfaltu a bitúmenových zmesí je zabránenie emisiám do ovzdušia, napr. pomocou tepelnej oxidácie plyného destilátu pri teplotách nad  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  alebo mokrym lúhovaním plyného destilátu v hlavovom priestore (opísané v BREF pre rafinérie). Okrem toho je potrebné monitorovanie emisií do ovzdušia pomocou monitorovacích techník, a to aspoň s minimálnou frekvenciou v súlade s normami EN alebo ISO.

### 8.2.4. Emisie pri výrobe bitúmenov

Emisie bitúmenu sú definované ako komplexné zmesi aerosólov, pár a plynov zo zahriatych bitúmenov a výrobkov, ktoré obsahujú bitúmen. Hoci sa pojem „bitúmenový dym“ často používa v súvislosti s celkovými emisiami, bitúmenový dym sa tu vzťahuje len na aerosólovú časť celkových emisií (t. j. tuhé častice, kondenzované pary a kvapôčky kvapalného bitúmenu). V súlade s tým je vhodnejší termín „bitúmenové emisie“ na označenie celkového obsahu bitúmenov vo vzduchu.

#### Plynné emisie

Pri zahrievaní bitúmenu sa uvoľňuje malé množstvo uhľovodíkových pár a plynov a niekedy aj anorganických plynov (napr.  $H_2S$ ,  $CO_2$ ). Niektoré ťažšie molekuly v parách sa kondenzujú na jadrá a vytvárajú kvapôčky (aerosólovú fázu). Pri rôznych koncentráciách bitúmenového dymu, spôsobených napr. typom použitého bitúmenu, teplotou pri aplikácii, meniacou sa rýchlosťou vetra alebo konvekčným prúdením a vzdialenosťou od zdroja, môže byť pomer aerosólovej a parnej fázy úplne odlišný. Veľkosť častíc (kvapiek) aerosólovej fázy sa môže tiež výrazne meniť. Väčšina aerosólových častíc uvoľnených z bitúmenu má veľkosť vdýchnuteľnej frakcie, hoci anorganické častice z iných ako bitúmenových zdrojov môžu byť mimo tohto rozsahu. Na charakterizáciu expozície bitúmenovým dymom na pracovisku je potrebné pri odbere vzoriek používať analytické metódy pre stanovenie respirabilnej frakcie.

#### Organické emisie (TOC)

Organické emisie pozostávajú z veľkej skupiny látok všeobecne označovaných ako uhľovodíky. Ich molekulová štruktúra je charakterizovaná kombináciou atómov uhlíka a vodíka; okrem toho môžu tieto látky obsahovať aj viacero heteroatómov, ako sú kyslík, dusík, síra a fosfor. Tieto látky sa označujú ako TOC (celkový organický uhlík). Pri meraní emisií z asfaltových závodov sa jednotlivé uhľové prvky sčítajú, čím sa získa jeden údaj o celkovom uhlíku. Emisie uhľovodíkov majú svoj pôvod v používaní organických zložiek a organických palív vo výrobnom procese. Najmä pri zahrievaní alebo spaľovaní dochádza k emisiám týchto látok vo forme pár alebo reakčných produktov. Najdôležitejším zdrojom emisií uhľovodíkov je neúplné spaľovanie paliva. Typ paliva, prevádzkové podmienky a výpary z bitúmenu v procese miešania (ktoré môžu byť v niektorých prípadoch prítomné) spôsobujú rôzne zloženie odpadových plynov z hľadiska ich organických zložiek. Uhľovodíky, ktoré nachádzajú svoj pôvod v spaľovaní, sú emitované najmä komínom, tieto emisie možno znížiť pravidelnou údržbou horáka a optimalizáciou objemu spaľovania.

#### Výskyt v životnom prostredí a expozícia

Neboli nájdené žiadne údaje, ktoré by sa priamo týkali ekotoxikológie bitúmenov. Možno ich však posúdiť na základe fyzikálno-chemických vlastností zložiek bitúmenu. Bitúmen obsahuje uhľovodíkové zlúčeniny s molekulovou hmotnosťou od 500 do 15 000. Vzhľadom na lipofilitu bitúmenov je ich rozpustnosť vo vode nízka, takže sa nepredpokladá významná migrácia materiálu do vody ani koncentrácie akútne toxické pre vodné organizmy. Vzhľadom na ich nízku biologickú dostupnosť sa zložky bitúmenu v životnom prostredí vo významnej miere nerozkladajú. Nebezpečenstvá spojené s derivátmi bitúmenu sa musia posudzovať individuálne.

## 8.2.5. Techniky znižovania emisií

### Spracovanie plynných zložiek

Pre odstránenie kontaminantov pred spaľovaním je lepšie plynné zložky z hlavy oxidačného reaktora (oxidátora) viesť skôr do práčky než do priameho rýchleho ochladzovania vodou. Odpadové plyny v práčke kondenzujú a zároveň je tu eliminovaná väčšina uhľovodíkov. Vodná para (niekedy po úplnej kondenzácii) je ponechaná v prúde vzduchu až do spaľovania pri teplote cca 800 °C. Dosiahnutým prínosom pre životné prostredie je zníženie emisií H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, CO, VOC, častíc, dymu a zápachu.

### Spracovanie odpadových plynov

Odpadové plyny pochádzajú najviac zo skladovania asfaltových materiálov a pri manipulácii s nimi. Medzi techniky, ktoré možno použiť na prevenciu emisií a zápachov, patria:

- odvádzanie zápachajúcich plynov počas skladovania asfaltu a odvádzanie plynov z miešania a plnenia nádrží do spaľovacieho zariadenia,
- použitie kompaktných mokrých elektrostatických odlučovačov, pri ktorých sa preukázalo, že dokážu úspešne odstraňovať kvapalnú zložku aerosólu vzniknutého pri hornom plnení cisterien,
- adsorpcia na aktívnom uhlí.

Dosiahnutým prínosom pre životné prostredie je zníženie emisií zlúčenín síry, VOC, častíc, dymu a zápachu.

### Využitie tepla z nekondenzujúcich produktov a kondenzátov

Ako nekondenzujúce produkty, tak aj kondenzáty zo separátora, uhľovodíkovej a vodnej jednotky možno spaľovať v spaľovacom zariadení navrhnutom na tento účel, a to pomocou podporného paliva (podľa potreby) alebo v procesných peciach.

Slopový olej z hlavovej frakcie oxidátora (oxidačného reaktora) možno tiež upraviť v rámci spracovania kalu alebo recyklovať v rafinérskom systéme slopového oleja.

Dosiahnutým prínosom pre životné prostredie je zníženie produkcie emulzie ľahkého oleja, vody a častíc. Ďalším prínosom pre životné prostredie je odstránenie zápachajúcich nekondenzujúcich látok, ktoré je ťažké spracovať inde.

## 8.3. Recyklačné linky stavebných hmôt

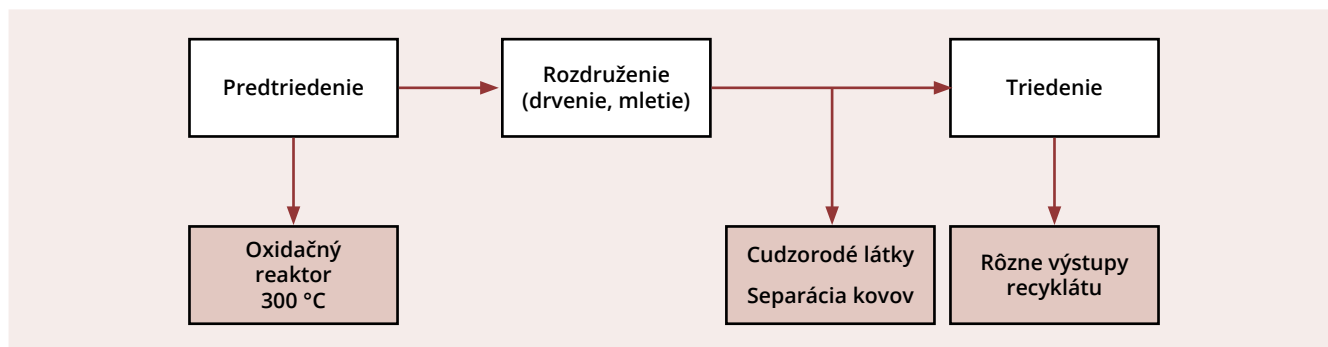
Množstvo stavebného odpadu neustále narastá a mení sa aj jeho zloženie.

Stavebné odpady a odpady z demolácií predstavujú dlhodobu z hľadiska produkcie odpadov najvýznamnejší odpadový prúd. Zároveň sú špecifické svojím vysokým potenciálom opätovného použitia a recyklácie vrátane nahradzovania veľkého množstva primárnych surovín, čo môže mať významné výhody z hľadiska udržateľného rozvoja a kvality života. Aj v nadväznosti na tento potenciál boli stavebné odpady a odpady z demolácií zaradené medzi prioritné oblasti Akčného plánu EÚ pre obehové hospodárstvo. Môže tiež priniesť významné výhody pre stavebný a recyklačný priemysel EÚ. Podľa Európskej komisie jednou z bežných prekážok recyklácie a opätovného použitia stavebného a demolačného odpadu v EÚ je nedostatok dôvery v kvalitu recyklovaných materiálov. Táto nedôvera znižuje a obmedzuje dopyt po recyklovaných materiáloch, čo brzdí rozvoj odpadových a recyklačných infraštruktúr v EÚ.



Recyklácia stavebného odpadu nepredstavuje pre výrobcov murovacích materiálov problém, pretože tieto materiály majú vysoký recyklačný potenciál a sú vhodné na opätovnú výrobu.

Schéma recyklačného zariadenia je uvedená v schéme 7.



**Schéma 7:** Schéma separačných postupov pri mobilnej recyklácii stavebných materiálov (zdroj: upravené podľa <https://www.asb.sk/stavebnictvo/stavebna-technika/recyklačne-zariadenia-na-spracovanie-stavebneho-odpadu>)

### 8.3.1. Technologické možnosti recyklácie

Recyklácia odpadov predstavuje vrátenie odpadu do výrobného cyklu na výrobu spoločensky požadovaného výrobku s cieľom šetriť primárne surovinové zdroje. Vo všeobecnosti rozlišujeme tri technológie recyklácie odpadov vo výrobnom procese:

**Primárne**, tzv. nízkoodpadové technológie, ktoré spotrebúvajú odpady priamo na mieste vzniku. Ide o uzavretý technologický postup, kde sa odpady z výrobného procesu – buď neupravené, alebo čiastočne upravené – vracajú znova do výroby, prípadne sa z nich vyrába nový výrobok. V stavebníctve je to napríklad spätné využívanie zvyškov čerstvého betónu.

**Sekundárne** technológie, ktoré využívajú vo výrobnom procese odpadové látky z iných technológií. Dochádza k znižovaniu záberu pôdy pre potrebu zriadenia skládok a šetria sa prírodné suroviny. Ide najmä o využívanie energetických odpadov vo výrobe stavebných materiálov.

**Terciárne**, ktoré na výrobu nových prvkov využívajú už materiály zo spotrebovaných výrobkov s ukončeným životným cyklom. Sú najrozšírenejšie a využívajú sa napr. pri spracovaní železného šrotu, starého papiera. Dochádza tu k energetickým úsporám a šetreniu nerastného bohatstva. Sem zaraďujeme aj recykláciu stavebných odpadov a odpadov z demolácií stavieb.

Do zoznamu možno pripočítať aj lokalizáciu vzniku odpadov a umiestnenie recyklačnej linky. Na základe toho sa recyklácia stavebných odpadov dá rozdeliť na recykláciu *in site* a recykláciu *off site*.

Recyklácia *in site* prebieha v mieste vzniku stavebného odpadu. Pri tomto spôsobe recyklovania sa používajú mobilné recyklačné linky. Základnými výhodami sú mobilita, malá zastavaná plocha, nenáročnosť obsluhy, nižšie zriaďovacie náklady a dobrá variabilita výstupných parametrov. Flexibilita týchto liniek umožňuje efektívne spracovať aj relatívne malé množstvá odpadov na mieste vzniku. Ich nevýhodou je nižšia kvalita recyklátu, ktorú spôsobujú obmedzenia strojovej zostavy, a vysoká cena v prepočte na jednotku výkonu linky.

Recyklácia *off site* sa uskutočňuje na stabilnej recyklačnej linke s plným strojovým vybavením na zodpovedajúcich skladovacích plochách. Ide teda o recykláciu mimo miesta vzniku stavebného odpadu. Tento spôsob recyklácie sa využíva pri sústredení dostatočného množstva odpadu v záujmovej oblasti, napr. Bratislava, Košice a pod. Má prednosti v kvalite výstupného recyklovaného

materiálu a nižších nákladoch pri určitom množstve spracovaného odpadu. Nevýhodou je značná finančná náročnosť pri zriaďovaní linky, ku ktorej treba ešte pripočítať nemalé náklady na dopravu. Jej použitie je teda opodstatnené len v prípade veľkej zásoby stavebného odpadu.

Pre úplnosť treba uviesť ešte jednu možnosť recyklácie stavebného odpadu. Ide o zhromažďovanie odpadov na medzidepóniách, ktorých priemerná ročná kapacita by mala byť od 2 000 do 10 000 ton. Odpad sa kumuluje určitý čas a po naplnení skládky sa dovezie recyklačná linka a odpad sa spracuje.

### 8.3.1.1. Recyklačné zariadenia

Jedným zo základných predpokladov kvalitného spracovania stavebného odpadu je výber technologickej linky – recyklačného zariadenia, ktoré musí spĺňať stanovené základné požiadavky. Toto sa charakterizuje ako účelové zoskupenie jednotlivých základných komponentov – strojov, ktoré sú vzájomne parametricky vyvážené.

Prvá časť, t. j. drvenie vstupného materiálu, sa realizuje drvičmi, ktoré sa môžu vyhotoviť ako čelustvé (používajú sa najviac), odrazové alebo kuželové. Jednou ich časťou je násypka s podávačom vstupného materiálu, jej veľkosť musí zodpovedať rozmerovej hodnote technologického parametra drviča. Dosahuje sa na nich potrebný index zdrobnenia vstupného zrna. Takéto vyhotovenie postačuje, ak je výstupné zrno spracovaného materiálu vhodné na ďalšie použitie. Pre malé hodinové výkony – rádovo do 20 ton – sa využívajú mobilné alebo aj prenosné jednotky (obr. 14).



**Obrázok 14:** Drviaca jednotka anglického výrobcu (výstava BAUMA Mníchov – 2007) (zdroj: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/stavebna-technika/recyklacne-zariadenia-na-spracovanie-stavebneho-odpadu>)

Druhú časť predstavuje triedenie na vibračných triedičoch s rôznym počtom a priemerom sít. Na odstránenie nežiaducich (najmä kovových) prvkov, ako napr. výstuže, armovacie prvky, sa používajú magnetické separátory. Pre komplexnú prevádzku takýchto jednotiek je ich súčasťou centrála na výrobu elektrickej energie pre jednotlivé agregáty (obr. 15). Výkonnosť či už iba drviacej jednotky, alebo aj triediacej jednotky dosahuje až 250 ton za hodinu.

Recyklačná linka musí mať podľa parametrov výstupného zrna recyklátu aj zodpovedajúci počet dopravných pásov, ak nie sú súčasťou triediacej časti zariadenia. Nevyhnutnou súčasťou každej

linky je aj manipulačný prostriedok, ktorý zabezpečuje prísun materiálu do násypky drviča, ako aj manipuláciu s hotovým výrobkom – lopatový nakladač na kolesovom podvozku. Lopatový nakladač musí mať objem lopaty postačujúci pre rovnomernú plynulú prevádzku linky.



**Obrázok 15:** Mobilná recyklačná linka na pásovom podvozku (zdroj: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/stavebna-technika/recyklacne-zariadenia-na-spracovanie-stavebneho-odpadu>)

Recyklačné linky môžu byť z hľadiska premiestniteľnosti mobilné, semimobilné a stabilné. Mobilné a semimobilné linky bývajú podľa veľkosti umiestené buď na sedlových návesoch, alebo vlekoch, prípadne sú kontajnerového typu, alebo vo vyhotovení na pásových podvozkoch (obr. 15). Dimenzovanie recyklačnej linky vyžaduje poznať nasledujúce technologické parametre: maximálne rozmery vstupného materiálu (mm), objem násypky vstupného otvoru drviča (m<sup>3</sup>), výkonnosť (t/hod), hmotnosť (t), rozmery (mm), výstupné zrno (mm).

### 8.3.1.2. Environmentálne hľadiská pri recyklácii stavebných materiálov

Produkcia stavebných odpadov a odpadov z demolácií stavieb sa na Slovensku v posledných rokoch výrazne zmenila.

Na základe novej legislatívy v oblasti odpadov sa prehodnocujú aj spôsoby zhodnocovania a nakladania so stavebnými odpadmi. Stavebný odpad sa stáva zdrojom obnoviteľných materiálov. Využitím recyklácie stavebných odpadov a odpadov z demolácií sa výrobky s ukončeným životným cyklom nepovažujú za odpad, ale zdroj, ktorý tvorí nové výrobky. Takto chápané výrobky – recyklaty – sú vhodnou náhradou za potrebné prírodné materiály, ale aj určitým konkurenčným prvkom. Recyklácia stavebných odpadov sa začína prezentovať ako nové priemyselné odvetvie. Túto skutočnosť potvrdzuje aj fakt, že v našich podmienkach sa už viac než 20 firiem zaoberá touto činnosťou a trh výrobcov komponentov recyklačných liniek sa neustále rozširuje.

Stavebné materiály sa po skončení životného cyklu na účely recyklácie upravujú rozličnými technológiami (rozdrúžovanie, drvenie, mletie), pri ktorých sa ako najvýznamnejší environmentálny vplyv uplatňujú predovšetkým emisie TZL. Spôsoby ich eliminácie sa okrem vyššie spomenutého (kap. 3.8.1) uvádzajú aj vo vyhláske MŽP č. 410/2012 (príloha č. 3, časť II.).

# POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Bref dokument CLM „Výroba cementu, vápna a oxidu hořečnatého“, český překlad 05/2010: [https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ipcc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2016/12/BREF-Cement-vapno\\_konecny.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ipcc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2016/12/BREF-Cement-vapno_konecny.pdf)
- [2] Originál 04/2013: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/CLM\\_Published\\_def\\_0.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/CLM_Published_def_0.pdf)
- [3] Bref dokument GLS „Sklářský průmysl“, český překlad 12/2012: [https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ipcc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2017/1/BREF\\_Sklo\\_final.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ipcc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2017/1/BREF_Sklo_final.pdf)
- [4] Originál 05/2013: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/GLS\\_Adopted\\_03\\_2012\\_0.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/GLS_Adopted_03_2012_0.pdf)
- [5] Bref dokument CER „Keramický průmysl“, český překlad 09/2006: <https://bat.enviroportal.sk/public/DatabazaBREF.aspx>
- [6] Originál 08/2007: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/cer\\_bref\\_0807.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/cer_bref_0807.pdf)
- [7] Gemrich, J. 2009: Současná paliva v cementářském průmyslu. In: Odpadové forum 2: 1-11
- [8] Hovorka, F. 2005: Technologie chemických látek. Vydavatelství VŠCHT Praha. 2005, 180 s. ISBN 80-7080-588-9
- [9] Hranoš, P. 2000: Anorganická technologie. Nakladatelství Pavel Klouda. 2000, 92 s. ISBN 80-86369-01-3
- [10] Michalková, E., Lalík, V., Schwarz, M. 2013: Environmentálne vplyvy výroby I. Technická univerzita vo Zvolene. 2013, 325 s. ISBN 978-80-228-2590-0
- [11] Raschman, P. 2004: Význam termickej a mechanickej aktivácie v priemyselných aplikáciách magnezitu. In. Prírodné vedy v mineralurgii a environmentalistike. [<http://www.saske.sk/UGT/images/Tkacova04/7raschman.pdf>] Citované 11.01. 2013
- [12] Svoboda, L., Bažantová, Z., Myška, M., Novák, J., Tobolka, Z., Vávra, R., Vimmrová, A., Výborný, J. 2005: Stavebné materiály. Jaga group, s.r.o. Bratislava, 2005, 470 s. ISBN 80-8076-014-4
- [13] Tólgýessy J., Piatrik M. & Tólgýessy P., 1989: Ochrana prostredia v priemysle. Alfa Bratislava, 1989, 368 s. ISBN 80-05-00135-5
- [14] Vykonávacie rozhodnutie Komisie č. 2012/134/EÚ z 28. februára 2012, ktorým sa podľa smernice Európskeho parlamentu a rady 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách ustanovujú závery o najlepších dostupných technikách (BAT) pre výrobu skla.
- [15] Vykonávacie rozhodnutie Komisie č. 2013/163/EÚ z 26. marca 2013, ktorým sa stanovujú závery o najlepších dostupných technikách (BAT) podľa smernice Európskeho parlamentu a rady 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách na výrobu cementu, vápna a oxidu horečnatého.
- [16] NIOSH; National Institute for Occupational Safety and Health (2001a). Hazard Review: Health effects of occupational exposure to asphalt. Cincinnati, OH: US Department of Health and Human Services. Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, DHHS Publication No. 2001-110.

- [17] Speight J.G. 2000: Asphalt. In: Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., pp. 1–33.
- [18] Asphalt Institute and Eurobitume (2011). The Bitumen Industry – A Global Perspective: Production, Chemistry, Use, Specification and Occupational Exposure, 2nd Edition. Lexington, Kentucky, USA.
- [19] Lu, X.; Sjövall, P.; Soenen, H. Structural and chemical analysis of bitumen using time-of-flight secondary ion mass spectrometry(TOF-SIMS). Fuel 2017
- [20] Read, J.; Whiteoak, D. The Shell Bitumen Handbook; Thomas Telford: London, UK, 2003.
- [21] James, A.2017: Overview of asphalt emulsion. In Asphalt Emulsion Technology; Transportation Research Board: Washington, DC, USA,2006.
- [22] IBEF; International Bitumen Emulsion Federation (2006). Available at: <http://www.ibef.net/en>.
- [23] IARC. Polynuclear aromatic compounds, Part 4, Bitumens, coal-tars and derived products, shale-oils and soots. IARC Monogr Eval Carcinog Risk Chem Hum. 1985;
- [24] IPCS; International Programme on Chemical Safety (2004). Concise International Chemical Assessment Document 59: Asphalt (Bitumen). Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- [25] Eurobitume Asphalt institute, The Bitumen Industry-A GLOBAL PERSPECTIVE, second edition, USA: Asphalt Institute Inc. and European Bitumen Association-Eurobitume, 2011.
- [26] CONCAWE's Petroleum Products and Health Management „bitumens and bitumen derivative“, CONCAWE, Brussels, 1992.
- [27] BREF [https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/aktuality/2017/2/BREF\\_REF\\_02\\_2017\\_CS\\_FINAL\\_1.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/aktuality/2017/2/BREF_REF_02_2017_CS_FINAL_1.pdf)
- [28] Polakovič, L., Kondrcová, M. VUIS – CESTY: Asfaltová zmes typu PMAZ [online], VUIS – CESTY, 2020. Dostupné na internete: [https://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/rozborove\\_ulohy/2020\\_ru\\_pmaz.pdf](https://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/rozborove_ulohy/2020_ru_pmaz.pdf)
- [29] Dunuweera S. P., Rajapakse R. M. G. 2018 „Cement Types, Composition, Uses and Advantages of Nanocement, Environmental Impact on Cement Production, and Possible Solutions“, Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2018, Article ID 4158682, 11 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4158682>
- [30] Chen C., Habert G., Bouzidi Y., Jullien A. 2010: Environmental impact of cement production: Detail of the different processes and cement plant variability evaluation, Journal of Cleaner Production, vol. 18, no. 5, pp. 478–485, 2010. View at: Publisher Site | Google Scholar
- [31] Lei Y., Zhang Q., Nielsen C., He K. 2011: An inventory of primary air pollutants and CO<sub>2</sub> emissions from cement production in China, 1990–2020, Atmospheric Environment, vol. 45, no. 1, pp. 147–154, 2011. View at: Publisher Site | Google Scholar
- [32] Schuhmacher M., Domingo J. L., Garreta J.: “Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood,” Environmental Research, vol. 95, no. 2, pp. 198–206, 2004.
- [33] Trading Economics, Cement Production. 2020. Retrieved from <https://tradingeconomics.com/country-list/cement-production> | Google Scholar

- [34] Mymrin V., Pedroso D.E., Pedroso C., Alekseev K., Avanci M.A., Winter E.Jr., Cechin L., Rolim P.H.B., Iarozinski A., Catai R.E. 2018: Environmentally clean composites with hazardous aluminum anodizing sludge, concrete waste, and lime production waste J. Clean. Prod., 174 (2018), pp. 380-388
- [35] Zhao Y., Yu M., Xiang Y., Kong F., Li L. 2020: A sustainability comparison between green concretes and traditional concrete using an emergy ternary diagram J. Clean. Prod., 256 (2020), Article 120421, 10.1016/j.jclepro.2020.120421ater. 15 331-340 | Google Scholar
- [36] Oh D.-Y., Noguchi T., Kitagaki R., Park W.-J. 2014: CO<sub>2</sub> emission reduction by reuse of building material waste in the Japanese cement industry Renew. Sustain. Energy Rev., 38 (2014), p. 796e810
- [37] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). The Getting the Numbers Right (GNR) 2016 data; 2019. Website: <https://www.wbcscement.org/GNR-2016/>.
- [38] Stajanča M., Eštoková, A.: Environmental Impacts of Cement Production, July 2017, <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/16692/1/55-Stajanca-296-302.pdf>.
- [39] BREF [https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ipcc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/referencni-dokumenty-bref/2016/12/BREF-Cement-vapno\\_konecny.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ipcc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/referencni-dokumenty-bref/2016/12/BREF-Cement-vapno_konecny.pdf)
- [40] Masarovičová M., Slávik I. & Koval'ková J., 2008: Komplexný monitoring odkalísk SR (časť 6), (Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta)
- [41] Langmead, Garnaut: Encyclopedia of Architectural and engineering feats. 2001 ISBN 1-57607-112-X
- [42] Šaling, S., Laco C.: Stavebnícky náučný slovník. 4, Konštrukcie. 1. časť, Teória konštrukcií, Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, Bratislava, 1968
- [43] Seidlerová, I., Dohnálek, J.: Dejiny betónového staviteľství v českých zemích do konce 19. st. letí, Informačné centrum ČKAIT 1999, Praha.
- [44] Dvořák, J., Kvítek, J., Slabý J.: Učebnice Betonové konstrukce I, Sobotáles, Praha 1996
- [45] Červenka P.: Učebnice Betonové konstrukce II, Sobotáles, Praha 1999
- [46] Cais, L.: Výroba čerstvého betónu v betonárňach, Publikované 14. júla 2009. Dostupné na: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/zaklady-a-hruba-stavba/cement-beton/vyroba-cerstveho-betonu-vbetonarnach>
- [47] Cais, L.: Parametrizácia recyklačných liniek na spracovanie stavebného odpadu. In: Recykling odpadov materialov budowlanych jako czynnik ochrony srodowiska. (Zborník z vedeckej konferencie, november 2004). Krakov: Politechnika Krakowska, 2004, s. 38 – 42.
- [48] Gschwendt, I.: Technológia a mechanizácia na recyklovanie materiálov v cestnom staviteľstve. In: Stavebnícka ročenka 2003, s. 53 – 59.
- [49] Cais, L. – Perún, R.: Poznatky z merania hlukových charakteristík strojov na úpravu stavebného odpadu a životné prostredie. In: Stavební informace, roč. 10, 2003, č. 9 – 10, s. 11 – 12.
- [50] Cais, L.: Recyklácia stavebného odpadu. In: Sborník příspěvků XI. mezinárodní vědecké konference konané při příležitosti 100. výročí založení České vysoké školy technické v Brně 18. – 20. října 1999. Sekce 13. Technologie ve stavebnictví, s: 59 – 62.

- [51] Program odpadového hospodárstva SR na roky 2021– 2025. november 2020. MŽP SR. Dostupné na: <https://www.enviroportal.sk/odpady/program-odpadoveho-hospodarstva-slovenskej-republiky-2021-2025>
- [52] BREF MWEI /2017/1/ Nakladani-s-tezebnim-odpadem (český preklad anglického originálu: Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. Dostupné na: <https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2017/1/Nakladani-s-tezebnim-odpadem.pdf>
- [53] Všeobecné emisné závislosti a všeobecné emisné faktory pre vybrané technológie a zariadenia podľa § 3 ods. 4 písm. f) a g) vyhlášky MPŽPRR SR č. 363/2010 Z.z. (pdf, 101 kB) (aktualizovanie k 12. januáru 2011, oprava preklepu na 1 strane 29. 05. 2012). POZNÁMKA: Uplatňujú sa bez zmeny na účel výpočtu množstva emisie podľa § 3 ods. 4 písm. g) a h) súčasnej vyhlášky MŽP SR č. 411/2012 Z. z. o monitorovaní emisií zo stacionárnych zdrojov znečisťovania ovzdušia a kvality ovzdušia v ich okolí.
- [54] Vestník MŽP, XVI, 5, 2008. str. 45, bod 5. Kameňolomy a spracovanie kameňa. ISSN 1335-1567
- [55] Zajíček, J.: Technologie stavby vozovek. Praha: ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.

ISBN: 978-80-8213-116-4



Aktivita je realizovaná v rámci národného projektu  
**Zlepšovanie informovanosti a poskytovanie poradenstva v oblasti zlepšovania kvality životného prostredia na Slovensku.**  
Projekt je spolufinancovaný z Kohézneho fondu v rámci Operačného programu Kvalita životného prostredia.