

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA ENVIRONMENTÁLNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ A OCHRANY PROSTŘEDÍ

VEDLEJŠÍ ENERGETICKÉ PRODUKTY A  
MOŽNOSTI JEJICH DALŠÍHO VYUŽITÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: ing. Petra Ševčíková

Bakalant: Jakub Vokatý

2011

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „**Vedlejší energetické produkty a možnosti jejich dalšího využití**“ vypracoval samostatně a veškeré literární prameny, z nichž jsem čerpal, jsou uvedeny v příloženém seznamu literatury a použitých zdrojů.

V Praze dne 27. 4. 2011

.....

Jakub Vokatý

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí bakalářské práce, Ing. Petře Ševčíkové, za odborné vedení, za poskytnuté cenné rady a pomoc při zpracovávání této bakalářské práce.

V Praze dne 27. 4. 2011

.....

Jakub Vokatý

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá problematikou vybraných vedlejších produktů, které je možné neposuzovat jako odpady, nýbrž je jako další produkt znovu využít. Zejména se práce zabývá jejich vznikem, složením a možnostmi jejich dalšího využití. V této práci jsou sepsány základní a nejvyžívanější vedlejší produkty jako energosádrovec, popílek a škvára, ale je zmíněno i v menším rozsahu o stabilizátu, deponátu apod.

### **Klíčová slova**

Vedlejší produkt, energosádrovec, popílek, škvára, produkce energetického odpadu.

## **Abstract**

This work deals selected by-products that can not to carry such waste, but as the next product reused. In particular, the work deals with their origin, composition and their potential future use. In this work are listed basic and most used by-products such as gypsum, fly ash and bottom ash, but also mentioned a lesser extent, a stabilizer, deponate, etc.

### **Key words**

By-product, gypsum, fly ash, bottom ash, production of energy waste.

# Obsah

1. ÚVOD.....	- 6 -
2. CÍLE PRÁCE.....	- 7 -
3. LITERÁRNÍ REŠERŽE .....	- 8 -
3.1 ENERGOSÁDROVEC .....	- 8 -
3.1.1 VZNIK .....	- 8 -
3.1.2 ODSIŘENÍ SPALIN .....	- 9 -
3.1.2.1 Mokrý vápencová metoda.....	- 10 -
3.1.3 ZPRACOVÁNÍ A VYUŽITÍ .....	- 12 -
3.1.4 ELEKTRÁRNA POČERADY .....	- 13 -
3.2 POPÍLEK .....	- 15 -
3.2.1 VZNIK .....	- 15 -
3.2.2 DRUHY POPÍLKŮ.....	- 17 -
3.2.2.1 Klasické popílký.....	- 17 -
3.2.2.2 Fluidní popílký .....	- 18 -
3.2.3 VLASTNOSTI A ROZĎELENÍ .....	- 19 -
3.2.3.1 Chemické.....	- 20 -
3.2.3.2 Mineralogické.....	- 21 -
3.2.4 VYUŽITÍ .....	- 23 -
3.2.4.1 Skládkování.....	- 23 -
3.2.4.2 Stabilizace / solidifikace.....	- 24 -
3.2.4.3 Umělé kamenivo a peletizace .....	- 24 -
3.2.4.4 Stavebnictví.....	- 27 -
3.2.4.5 Filtrace odpadních vod .....	- 31 -
3.2.4.6 Zemědělství.....	- 32 -
3.2.4.7 Ukládání v dolech.....	- 32 -

3.2	ŠKVÁRA .....	- 33 -
3.3.1	VZNIK .....	- 33 -
3.3.1.1	Vliv druhu uhlí .....	- 34 -
3.3.1.2	Vliv spalování .....	- 35 -
3.3.2	TĚŽENÍ ŠKVÁRY.....	- 35 -
3.3.3	VYUŽITÍ.....	- 36 -
4.	DISKUZE .....	- 38 -
5.	ZÁVĚR.....	- 39 -
6.	SEZNAM ZKRATEK.....	- 40 -
7.	LITERATURA A POUŽITÉ ZDROJE.....	- 41 -
8.	ZDROJE OBRÁZKŮ.....	- 45 -
9.	ZDROJE TABULEK .....	- 46 -

# 1. ÚVOD

Dle definice v zákoně č. 185/2001 Sb. je za odpad považována jakákoli látka nebo předmět, kterých se držitel zbavuje nebo má v úmyslu se zbavit nebo se od něho požaduje, aby se jich zbavil (MŽP, 2001). Látky nebo předměty, které vznikají při výrobním procesu, při spalování uhlí v tepelných elektrárnách a v průběhu odsíření spalin, jehož prvotním cílem není výroba této látky předmětu, lze považovat za vedlejší produkt a nikoliv za odpad pouze jsou-li splněny následující podmínky:

- a) další využití látky nebo předmětu je jisté;
- b) látku nebo předmět lze využít přímo bez dalšího zpracování jiným než běžným průmyslovým způsobem;
- c) výroba látky nebo předmětu je nedílnou součástí výrobního procesu a
- d) další využití je zákonné, tj. látka nebo předmět splňují všechny příslušné požadavky, pokud jde o výrobek, životní prostředí a ochranu zdraví u konkrétního použití a nepovedou k celkovým nepříznivým účinkům na životní prostředí nebo lidské zdraví.

Na základě těchto stanovených podmínek je možné přijmout opatření, kterými se stanoví kritéria, jež musí být splněna k tomu, aby konkrétní látka nebo předmět mohly být považovány za vedlejší produkt a nikoli odpad, pokud byly předmětem některého způsobu využití, včetně recyklace, která budou vypracována v souladu s těmito podmínkami:

- a) látka nebo předmět se běžně využívají ke konkrétním účelům;
- b) pro tuto látku nebo tento předmět existuje trh nebo poptávka;
- c) látka nebo předmět splňují technické požadavky pro konkrétní účely a vyhovují stávajícím právním předpisům a normám použitelným na výrobky;
- d) využití látky nebo předmětu nepovede k celkovým nepříznivým dopadům na životní prostředí nebo lidské zdraví.

Kritéria zahrnují podle potřeby limitní hodnoty pro znečišťující látky a zohledňují jakékoli možné nepříznivé dopady látky nebo předmětu na životní prostředí.

Opatření, jež mají za účel změnit jiné než podstatné prvky této směrnice jejím doplněním, která se týkají přijetí kritérií uvedených v odstavci 1 a kterými se vymezuje odpad, na něž se tato kritéria použijí, se přijímají regulativním postupem s kontrolou podle čl. 39 odst. 2. Měla by být zvažena zvláštní kritéria pro určení, kdy odpad přestává být odpadem, mj. alespoň pro kamenivo, papír, sklo, kovy, pneumatiky a textil (ES, 2008).

Látky a předměty, které se nevyužijí jako vedlejší energetické produkty, je třeba odstranit uložením na skládky, jak ukládá zákon. Vedlejší energetické produkty, pokud splní veškeré dané podmínky a kritéria a také v souladu s právními předpisy, se stávají tzv. certifikovanými výrobky (Anonym1).

Takto vzniklé vedlejší energetické produkty, vzniklé při spalování v klasických elektrárnách, nacházejí uplatnění v různých oblastech využití. Vzhledem k znovu využívání produktů, vzniká zde obrovský finanční a ekologický přínos. Produkty se neukládají na skládky a nevzniká tak žádná ekologická zátěž (ČEZ, 2009a).

K využívání odpadů, které produkuje jak jaderná energetika, tak i klasická tepelná energetika, vytvářejí vlády zemí různé ekonomické a legislativní podmínky. Ty producenty a odběratele motivují či přímo nutí odpady neukládat, ale znovu využívat (např. v Nizozemí se využívá nebo vyváží 100 % energetických odpadů). (Anonym1)

## **2. CÍLE PRÁCE**

Cíle této práce je najít vedlejší produkty, tedy odpady z energetického průmyslu, které je možno znovu využít a pomoci ochraně životního prostředí. Zhodnotit jejich možnosti využití a zmínit se o jejich vzniku, složení a uvést příklady jejich zpracování.



## 3. LITERÁRNÍ REŠERŽE

### 3.1 ENERGOSÁDROVEC

#### 3.1.1 VZNIK

Energosádovec (hydrát síranu vápenatého  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) vzniká při odsiřování spalin při spalování fosilních paliv, zejména černého a hnědého uhlí a dále topných olejů z ropy. Tento pojem je používán pouze pro sádovec vzniklý v odsiřovacím zařízení, aby se odlišil od sádrovce, který se v přírodě vyskytuje jako nerost a je také těžen pro průmyslové využití (Anonym2). Tento proces je zaveden u velkých tepelných zdrojů, pro snížení množství oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ) ve spalinách před vypuštěním do ovzduší. Proces odsiřování spalin se začal zavádět pro značné množství emisí oxidu siřičitého, vznikajícího ze síry obsažené v těchto palivech, což je následkem zvýšení využívání fosilních paliv obzvláště v 2. polovině 20. Století. Ve vyspělých zemích byly snahy o snížení následků dopadu tohoto spalování již dříve a vedly mimo jiné i k vývoji metod odsiřování spalin. První provozní realizace byly provedeny ve třicátých letech 20. století. Nejdříve na londýnské elektrárně Battersea se uvádí propírání spalin alkalickou vodou z řeky Temže obohacenou vápenným kalem a na elektrárně Fulham byla poprvé vyzkoušena klasická vypírka spalin (VUT, 2004a).

Po přerušení dalšího vývoje druhou světovou válkou a následnou dobou poválečných rekonstrukcí se původně prosazovala metoda rozptylování emisí výstavbou vysokých komínů. To však přispělo rychlým přerůstáním problémů s emisemi  $\text{SO}_2$  a kyselými dešti k celosvětové ekologické hrozbě. V 70. letech vzhledem ke stále se zvyšujícím objemům spalování paliv, což mělo za následek rostoucí kvanta emisí oxidu uhličitého a velmi akutní ekologické ohrožení v některých oblastech koncentrace průmyslu, začalo v řadě průmyslově vyspělých zemí hromadné uplatňování systémů odsiřování spalin velkých topenišť. Pro odsiřování kouřových plynů se ve většině případů používá vodní suspenze vápence nebo páleného vápna. Produktem tohoto procesu je síran vápenatý nazvaný energosádovec. Plným zavedením odsiřování elektráren vznikl další velký zdroj

odpadního sádrovce a s tím i řada problémů s jeho využitím případně s jeho ukládáním (VUT, 2004a).

Vysokoteplotní spalování uhlí, při kterém je spalováno uhlí černé, hnědé anebo lignit, se uskutečňuje při teplotách 1200–1700 °C. Spalování uhlí touto metodou však vyžaduje následné odsiřování zplodin pomocí odsiřovací stanice, jejíž zbudování je náročné nejen finančně, ale i na potřebné prostory, což může být v některých případech nesnadno řešitelný problém. Je možné využít více způsobů odsiřování exhalací, a proto je nutné předem zvážit, pro jaký účel budou produkty odsiřování dále použity. Výhodný je postup vedoucí k relativně čistému síranu vápenatému (bezvodému nebo dihydrátu) (Branštetr, 1994).

Obr. 1: energosádrovec



zdroj.: (PE, 2008)

### 3.1.2 ODSIŘENÍ SPALIN

Energosádrovec vzniká při odsiřování spalin v elektrárnách či jiných tepelných zdrojích spalujících uhlí. Je to proces, který vede ke snížení obsahu oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ) ve spalinách před vypuštěním do ovzduší (Anonym3, 2010). Odsiřování spalin je jediná, široce aplikovaná metoda důležitá pro dodržení emisních limitů. Možností odsiřování spalin je několik a dělí se dle několika hledisek (Nechanický, 2005):

Dle hlediska regenerace činidla

- **Metoda regenerační** - aktivní látka se po reakci s oxidem siřičitým regeneruje a vrací zpět do procesu, oxid siřičitý se dále zpracovává
- **Metoda neregenerační** – aktivní látka reaguje s oxidem siřičitým a posléze se již nevrací do procesu, vzniká znovu využitelný produkt nebo odpad

Dle hlediska fáze

- **Mokrý metoda** – SO<sub>2</sub> se zachycuje v kapalině nebo vodní suspenzi aktivní látky
- **Polosuchá metoda** – aktivní látka je ve formě vodní suspenze vstříkována do proudu horkých spalin, kapalina se odpaří a produkt reakce se zachycuje v tuhém stavu
- **Suchá metoda** – SO<sub>2</sub> reaguje s látkou v tuhém stavu

Dle hlediska umístění procesu odsíření

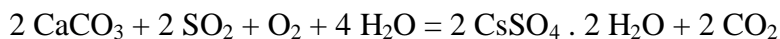
- **Odsíření přímo v kotli**
- **Odsíření za kotlem**

Aplikace konkrétní metody závisí především na velikosti zdroje a na místních podmínkách. U středních či velkých, blízcích se výkonem hranici středních, zdrojů se nejvíce uplatnila záměna paliva, zejména plynofikace měst, obcí a průmyslových závodů nebo jednoduché odsiřovací metody, na př. dávkování vápna před tkaninový odlučovač. Teprve u energetických jednotek o vyšším výkonu se uplatnila metoda odsíření vápnem v rozprašovacích sušárnách a u převážné většiny elektrárenských bloků pak zejména mokrá vápencová metoda, spočívající v odsiřování spalin vodní suspenzí vápence s produkcí energosádrovce (Vejvoda a kol., 1998).

### **3.1.2.1 Mokrý vápencová metoda**

Ve většině energetických zdrojů je k odsíření spalin použita mokrá vápencová vypírka. Ta je v současné době nejrozšířenější jak v Evropě, tak i v USA a Japonsku (Anonym2). Mokrý vápencová metoda spočívá ve vypírání oxidu siřičitého SO<sub>2</sub> ale i

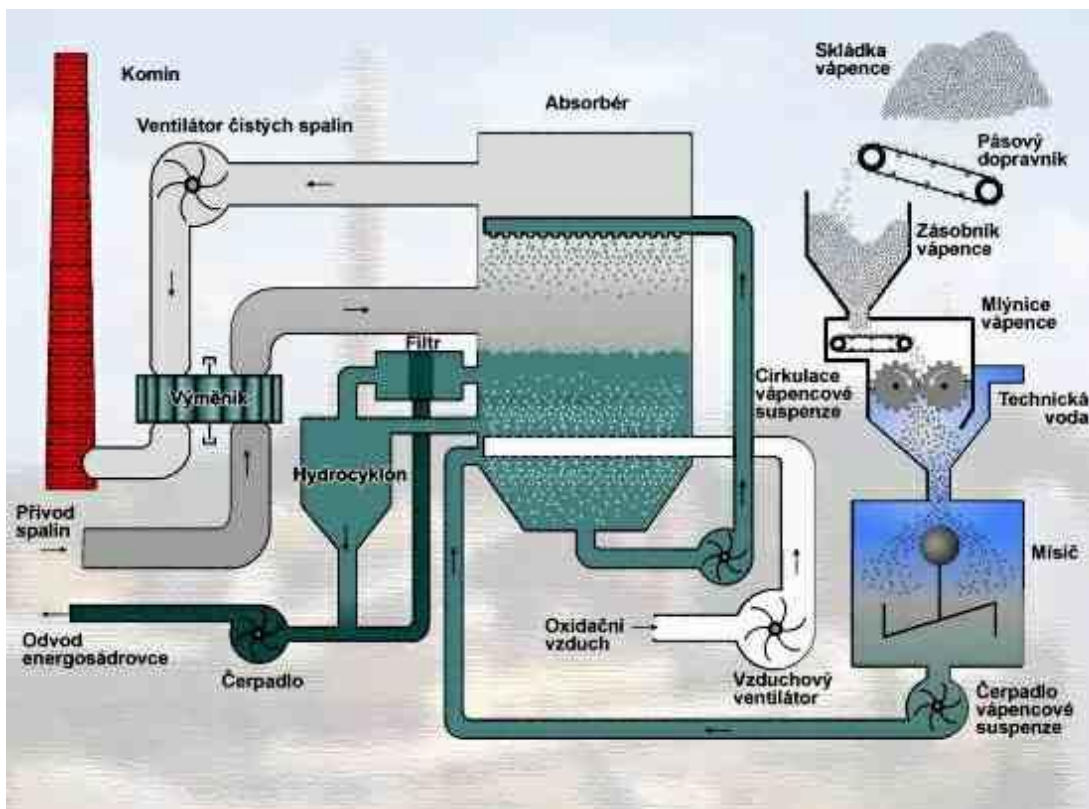
dalších kyselých složek z odprášených spalin vodní suspenzí vápna či vápence, jejich další neutralizaci a tvorbě konečného produktu oxidací a krystalizací. Dochází k odstranění i popílku (70 až 90%), NO<sub>x</sub> (10%), stopových sloučenin těžkých kovů (až 95%). Zařízení pro tuto metodu se skládá z výměníku tepla, absorbéru, ventilátoru spalin, kouřovodů, čerpadel a dalších částí. Ve výměníku tepla se spaliny ochladí z teploty 150 – 180°C na teplotu cca 40°C nižší. V absorbéru jsou spaliny skrápěny vápencovou suspenzí (CaCO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O) (Univerza-Sop, 2008). K přípravě vápencové suspenze k vypírání spalin se užívá vápenec o obsahu uhličitanu vápenatého (CaCO<sub>3</sub>) 90 až 95 %. Další proces je rozdělen do dvou stupňů – drcení a mletí. Pro drcení vápence jsou používány kladivové mlýny, ve kterých je vápenec zdrobněn na velikost zrna do 3 mm. Bezprostředně na kladivový mlýn navazuje tzv. kulový mlýn, ve kterém se za mokra (ve vodní suspenzi) semílá drcený vápenec na požadovanou jemnost. Protože ne všechna vápencová zrna dosahují po průchodu mlýnem potřebné velikosti, je namletý materiál tříděn a zrna nadměrné velikosti jsou vracena zpět k domletí (ČEZ, 2010a). Adiabatickým odpařováním vody ze suspenze se spaliny opět ochladí na cca 60°C. Reakce probíhá nejlépe při teplotě okolo 60°C. Souhrnná reakce vypadá:



Absorbéry jsou rozděleny na tři části. Absorpční jímky, absorpční zóny a odlučovače kapek. Do absorpční jímky se zavádí vzduch k oxidaci siřičitanového a hydrogensiřičitanového Ca(HSO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> iontu na síran vápenatý. Do jímky se rovněž zavádí čerstvá suspenze jemně rozemletého vápence. Nejspodnější zóna jímky, kde probíhá krystalizace, je obvykle promíchávána míchadly. Z absorpční jímky se čerpá suspenze speciálními čerpadly do absorpční zóny, kde je roztřikována pomocí trysek do spalin a ty pak odsířené přes výměník tepla, kde se ohřejí o cca 30°C, putují do komína. Zreagovaná suspenze se z absorpční jímky odtahuje do hydrocyklónu. Zde se v poměru 1:1 zahustí. Mateční roztok (procesní voda) se vrací zpět do absorbéru. Odloučený energosádrovec (hydrát síranu vápenatého (CaCO<sub>4</sub> x 2 H<sub>2</sub>O) se vede k odvodnění na pásový či bubnový filtr, kde se zbavuje procesní vody a následně je promýván procesní a posléze čistou vodou k dosažení požadované čistoty. Zde má energosádrovec 12 až 20% vlhkosti. Lze ho také odvodnit v odstředivkách, poté má 6 až 8% vlhkosti. Posléze se energosádrovec vede do sila (Univerza-Sop, 2008).

Účinnost zachycení SO<sub>2</sub> je vysoká, dosahuje až 96% při současném vysokém využití vápenné suspenze (Anonym2).

Obr. 2: Schéma odsiřování morkou metodou



zdroj: (Anonym2)

### 3.1.3 ZPRACOVÁNÍ A VYUŽITÍ

Česká republika patří mezi země s malými a nízkohodnotnými zásobami přírodního sádrovce, který je těžen v jediném ložisku v Koberčicích u Opavy. Vzhledem k nižší kvalitě a problematické dostupnosti (například v době povodně v roce 1997) i z hlediska ekonomického je postupně od používání tohoto sádrovce upouštěno a v současné době je z větší části nahrazen odpadními sádrovci (energosađrovec, odpadní sírany ze skláren, odpadní sírany z chemického průmyslu, tj. chemosađrovec, fosfosádrovec, citrosađrovec, syntetický anhydrit aj.). Jedná se většinou o chemicky velmi čisté suroviny s obsahem sádrovce a anhydritu nad 90 %, které jsou z hygienického i ekologického hlediska (vč. zjištěné přirozené radioaktivity) považovány za nezávadné. Nejvíce využívaným typem odpadních sádrovců je v současné době jednoznačně energosađrovec, který vzniká při

odsiřování spalin, již zmíněnou mokrou vápencovou vypírkou (Leber a Ledererová, 2008).

Pro využití energosádrovce přichází v úvahu několik způsobů. Nejvyšší zhodnocení představuje kalcinace na štukatéřskou sádro a její využití ve stavebnictví buď přímé, nebo po zpracování na stavební prefabrikáty. Méně výhodná možnost (pro výrobce) je využití nekalcinovaného sádrovce (dihydrátu) v cementárnách, kde se užívá především jako přísada do cementu ((jako regulátor tuhnutí nebo jako přídavek do surovinové směsi na vázání většího množství alkálií). Náhradní možnost, která většinou má jen charakter likvidace odpadu bez ekonomického efektu, je ukládání suspenze sádrovce promíchané s popelem, škvárou event. vápnem a vodou na skládkách. Zmíněná směs chemickými reakcemi ztvdne a vytvoří vodou nevyluhovatelnu hmotu, tzv. stabilizát, který lze případně užít jako umělé kamenivo, materiál k rekultivacím apod. (Kraitr a kol., 1999). Podkladový materiál při stavbách silnic či železnic, výplň nahrazující uhlí ve vytěžených uhelných slojích, terénní úpravy a modelování krajiny při rekultivacích, využití v suchých maltových směsích, to všechno jsou možné další způsoby nakládání s energosádrovcem, v některých případech i se směsí energosádrovce a popílku (Anonym4). Některé elektrárny vybavené mokrou vápencovou metodou počítají spíše s využitím energosádrovce pouze v souvislosti s poslední možností a to uložením na skládku. Tato varianta je méně technicky náročná, nepřináší problémy s odbytem, ovšem ani žádný ekonomický efekt a skutečné zhodnocení suroviny (Kraitr a kol., 1999)

Energosádrovce jsou v současnosti využívány mimo již zmíněného cementu a v podobě směsí jako stabilizát k rekultivačním účelům, k výrobě sádrokartonových desek, omítkových směsí a menší množství k výrobě pórobetonu. Značné množství produkce využíváno ve formě stabilizátu k rekultivačním účelům, což se považuje za neefektivní využití jinak kvalitního materiálu. Připravovány jsou technologie dalšího využití energosádrovce, např. výroba sádrových tvárnic nebo sádrotřískových desek (Leber a Ledererová, 2008).

### **3.1.4 ELEKTRÁRNA POČERADY**

Jako příklad využití představuji elektrárnu Počerady. Její koncepce je zaměřena na energosádrovec nejvyšší kvality a náročného uplatnění. S jeho

ukládáním ve formě stabilizátu se počítá jen jako s náhradní variantou pro případ menšího odbytu. Proti očekávání tato varianta zatím nemusí být užívána, neboť veškerý sádrovec je úspěšně podáván (buď jako semihydrát nebo dihydrát). Pro ukládání popelovin ve formě stabilizátu proto závod užívá jako příměs vápno a odpadní vody.

V r. 1997 elektrárna vyprodukovala téměř 250 tis.t energosádrovce. Přes 50% jej bylo dodáno cementárnám, většinou v briketované formě. Přes 40% produktu se kalcinovalo na štukatérskou sádro. Výrobek již v r. 1996 získal certifikát od státní zkušebny stavebních hmot. Naprostá většina sádry je dodávána krytým mostem do sousedního závodu KNAUF. Zde se vyrábějí (SKD) o tloušťce 9 - 18 mm, použitelné pro různé interiérové stavební aplikace. SKD jsou tvořeny sádrovým jádrem s oboustranným pláštěm ze speciálních papírových kartonů. Výroba je kontinuální, má vysokou technickou úroveň i špičkovou kvalitu výrobků, o níž svědčí i získání označení CZECH MADE. Závod KNAUF v r. 1997 vyrobil 12 mil. m<sup>2</sup> SKD, 30% produkce směřovalo na export. Odsíření elektrárny v Počeradech kromě základního ekologického přínosu přineslo vynikající výsledek v tom, že produkt odsířování se stal skutečnou druhotnou surovinou prvotřídní kvality a zatím bezproblémového odbytu. Provoz odsíření elektrárny Počerady je bezpochyby nejúspěšnějším

Tab.1: Energosádrovce produkované ČEZ, a.s. splňují následující kvalitativní požadavky:

Obsah CaSO <sub>4</sub> . 2 H <sub>2</sub> O	min. 90 % hm.
Vlhkost	max. 10 % hm.
Obsah chloridů	max. 0,1 % hm.
Obsah oxidu hořečnatého	max. 0,2 % hm.
Hodnota pH	5 - 8
Hmotnostní aktivita Ra 226	max. 300 Bq/kg
Index hmotnostní aktivity I	max. 2,0

Zdroj: (ČEZ, 2009b)

velkotonážním producentem druhotné suroviny v ČR. Přestože organizačně nepatří do svazku chemického průmyslu, je fakticky moderním chemickým závodem a představuje výborný model zhodnocení odpadu na druhotnou surovinu, který umocňuje i jeho bezprostřední vazba na zpracovatelský závod v počeradském průmyslovém komplexu. Je ovšem pravděpodobné, že k celkové úspěšnosti počeradského projektu přispěla vedle dobré koncepce i skutečnost, že elektrárna byla odsířením MVM vybavena jako první v ČR v podmínkách neobsazeného trhu (Kraitr a kol., 1999).

## **3.2 POPÍLEK**

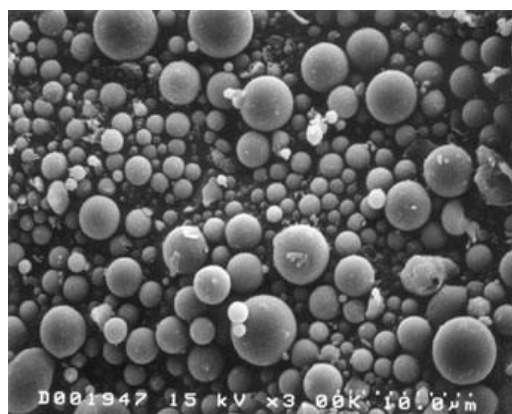
### **3.2.1 VZNIK**

Spalování uhlí v tepelných elektrárnách generuje velké množství popílku, který musí být odstraněn nebo jinak využit ekologickým způsobem (Ram a Masto, 2009). Elektrárenské popelové hmoty jsou příčinou mnoha problémů zejména pro jejich velký objem, vznikající při spalování hnědého uhlí, které obsahují značné množství balastu. Likvidace popelů byla až do nedávné doby založena na jejich ukládání na složiště, která ale posléze musela být rekultivována. (Petříková, 2001). Přestože obnovitelným zdrojům energie se dává velká pozornost, uhlí bude i nadále hrát významnou úlohu při celosvětové poptávce po energii. Množství popílku vzniklého v souvislosti na kvalitě uhlí představuje hrozbu pro oblast životního prostředí, protože použití vysoce popelového uhlí s nízkou výhřevností zvyšuje reakci na vyčerpání dodávek uhlí. Vysoce popelové uhlí může generovat až 10 krát více popele při spalování (Ram a Masto, 2009). Hoření uhlí je koncentrační proces, při němž organická látka z největší části vyhoří a spolu s ní utíkají i všechny lehce těkavé látky. Zbývá popel a nedopal. Vlastnosti popílků závisí na výchozím materiálu a na charakteru spalování. Předpokládá se, že naprostá většina organické hmoty shoří, pak zůstávají jen anorganické popeloviny. Během hoření se složení popelovin mění. Sulfidy, sulfáty a karbonáty se většinou termicky rozkládají. Popílků někdy obsahují mnohé užitečné stopové prvky, které mají technický význam a proto se z popelů získávají (Kolář, 1969).



Vzhledem k problémům s popílkem, jakož vedlejším průmyslovým produktem, který je uznáván jako znečišťující látka pro životní prostředí, bylo provedeno mnoho výzkumů k jeho využití na celém světě. K využívání odpadů z energetiky vytvářejí vlády různých zemí různé podmínky, které producenty a odběratele motivují či nutí odpady využívat. V úsilí o využití jsou nejdále země Beneluxu, z toho v Nizozemsku se využívá nebo vyváží plných 100 % energetických odpadů. I v jiných zemích se však nyní využití odpadů z energetiky dynamicky rozvíjí v souladu s rozvojem technologií a uvědomováním si globální důležitosti této problematiky. Podle údajů z roku 1993 se využívá průměrně celá jedna třetina světové produkce popele (ČEZ, 2010). Značná část elektrické energie je celosvětově vyráběna spalováním fosilních paliv. V České republice jsou nejrozšířenějším zdrojem uhelné elektrárny (v ČR 69 % el. energie, ve světě je průměr 39 %), které spalují nejčastěji hnědé uhlí (10 – 30 % popela), lignit (až 60 % popela) a v menší míře i černé uhlí (10 – 15 % popela). Na jednu vyrobenou MWh se spálí průměrně asi 1 tuna uhlí. Jako vedlejší produkt toho spalování je ročně uhelnými elektrárnami v ČR vyprodukováno asi 8 miliónů tun popílku (Sokolář, 2010). Výzkum možných využití popílku má význam pro životní prostředí. Většina popílku, který vznikne při výrobě energie, je likvidován uložením na skládky, ovšem z této praxe jsou v oblasti životního prostředí obavy. Likvidace popílku tímto způsobem bude brzy příliš nákladná, ne-li úplně zakázaná. Výzkum s cílem odvrátit ekologickou hrozbu využíváním odpadních materiálů probíhá po celém světě,

Obr. 3: Mikrofotografie pořízena z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM): částice popílku, 2.000 x zvětšení



zdroj: (FHWA, 2011)

nehledě na to, že využívání odpadních materiálů je ekonomicky dostupnější. Z toho vyplývá, že ekonomicky životaschopné řešení tohoto problému by měla zahrnovat využití odpadních materiálů pro nové výrobky, než poskytování pozemků k jejich ukládání (Ahmaruzzaman, 2010).

### **3.2.2 DRUHY POPÍLKŮ**

Popílký jsou tvořeny jemnými zrny (0 – 1 mm), které vznikají spalováním práškového uhlí a jsou unášeny spalinami do dalších tahů kotle, kde jsou zachycovány na filtrech. Vlastnosti popílků se zásadně liší především podle typu použitého spalovacího zařízení a typu uhlí. Rozlišují se dva zásadní druhy popílků v závislosti na způsobu spalování – spalováním v práškových ohništích za teplot průměrně 1400 – 1500 °C vznikají tzv. klasické vysokoteplotní popílký (černouhelné, hnědouhelné) a spalováním ve fluidních ohništích za teplot kolem 850 °C vznikají tzv. fluidní popílký, kdy se pro fluidní spalování uhlí mele současně s přídavkem vápence nebo dolomitu (Sokolář, 2010).

#### **3.2.2.1 Klasické popílký**

Podle *Padia (1976)* lze vznik popílků rozdělit do tří fází:

- Natavování minerálních složek dispergovaných v uhlí
- Aglomerace roztavených kapek popelovin s postupem výpalu
- Vznik popílků

Klasické popílký obsahují jako hlavní složku až 80 % skelné fáze a do 20 % mullitu, obsah síry (stanovený jako SO<sub>3</sub>) obvykle nepřesahuje 1 % (Sokolář, 2010). Popílký z „klasického“ způsobu spalování paliva při teplotách cca 1400 až 1600°C se vyznačují obsahem hlavně β - křemene a mullitu (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>2SiO<sub>2</sub>). Obsažená sklovitá fáze zásadním způsobem ovlivňuje reaktivitu popílků s CaO nebo cementem jak za normální, tak zvýšené teploty (autoklávování). Mullit se zúčastňuje reakce pouze ve velmi malé míře výhradně za hydrotermálních podmínek.

Popílek sám o sobě není hydraulický, takže není schopen reagovat s vodou. Je-li však mísen s hydroxidem vápenatým - např. z cementu - reaguje a vytváří stejné produkty jako při reakci cementu s vodou. Tato reakce se liší dle typu a druhu

popílku a označována jako pucolanita. V popílku, který byl skladován delší dobu ve vlhku, může být pucolánový účinek porušen.

Základními požadovanými technickými parametry jsou tedy nízká hodnota ztráty sušením - pod 1%, ztráta žíháním pod 4%, obsah  $\text{SiO}_2$  nejméně 40%, obsah celkové síry do 3% a chloridů do 0,1%, dodržení limitní hranice obsahu radioaktivních nuklidů  $< 150 \text{ Bq/kg}$  a přítomnosti toxických látek a těžkých kovů ve vodních výluzích.

Jestliže za normální teploty ( $< 30\text{-}40^\circ\text{C}$ ) se reakcí  $\text{CaO}$  nebo cementu s popílkem z „klasické“ technologie spalování zúčastňují pouze ionty obsažené v jeho skelné fázi, za hydrotermálních podmínek reaguje s  $\text{Ca(OH)}_2$  rovněž přítomný b - křemen a v malé míře mullit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ). Hlavní pojivovou fází, vznikající v průběhu autoklávovaného procesu je zpravidla C-S-H(I) vedle 11,3 Å – tobermoritu.

Dle ČSN EN 197-1 je možno vyrábět cementy s přísadou křemičitého nebo vápenatého popílku. V ČR se prakticky vápenatý popílek nevyskytuje. Křemičitý popílek je jemný prášek převážně z kulatých sklovitých částic s pucolánovými vlastnostmi. Musí sestávat hlavně z aktivního  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Mineralogicky má asi 90% popílku amorfni podobu, zbytek je pak podoby krystalické. Chemické složení se u jednotlivých popílků značně liší, závisí na druhu a kvalitě uhlí a na podmínkách spalování.

Vhodné chemické a mineralogické složení popílku a jeho jemnost dávají možnost využít jeho pucolánových a latentně hydraulických vlastností ve výrobě cementu. Nejlépe se uplatňují popílky, jejichž jemnost je přibližně shodná s jemností cementu. Pro spolehlivé posouzení popílků je experimentální ověření možnosti výroby cementu a zkoušky jeho vlastností v maltě a betonu nezbytné (VUT, 2004b).

### **3.2.2.2 Fluidní popílky**

Rozdíl ve vlastnostech popílků z fluidního spalování oproti klasickým je daný změnou podmínek spalování. Hlavní změnou je snížení teploty a přidávání alkalických aditiv přímo do prostoru spalování. Spalování probíhá při teplotě okolo  $850^\circ\text{C}$ , nízko pod teplotou tavení popílku. Nedochozí k protavování částic, zrna popílku zůstávají porézní, mají vrstvenou strukturu a velký měrný povrch. Obsahují reaktivní minerální fázi, což se může projevat pucolánovými vlastnostmi fluidních

popílků (Čáblík a kol., 2003). Díky nižší teplotě spalování neobsahují skelnou fázi a mullit, naopak jsou typické vysokým obsahem vápenatých sloučenin (anhydritu  $\text{CaSO}_4$ , až 15 %  $\text{CaO}$  a zbytky nerozloženého vápence), které propůjčují fluidním popílkům hydraulické vlastnosti, tudíž tuhnou a tvrdnou po rozmíchání s vodou bez dalších příměsí. Produkt odsiřovacího procesu (anhydrit) je tedy součástí popílku a proto fluidní popílků vykazují obsah síry (jako  $\text{SO}_3$ ) řádově několik procent (obvykle maximálně 10 %). Tato skutečnost tedy do značné míry diskvalifikuje použití fluidních popílků v keramické technologii, kde vlivem výpalu hrozí značný únik oxidu siřičitého do ovzduší. Výhodou popílků pro využití obecně ve stavebním průmyslu je jejich zrnitost, neboť vykazují měrný povrch až téměř  $300 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ , což je hodnota téměř na úrovni, kterou dosahují běžné komerčně prodávané cementy. To znamená, že pro řadu aplikací není třeba jejich energeticky náročné domílání. Dalším pozitivním rysem popílků je jejich nízká sypná hmotnost ( $500 - 750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ve volně sypaném stavu), což je přibližně třetinová hodnota ve srovnání např. s křemenným pískem. To umožňuje využít popílků jako lehčivo v keramickém střepe a tím mu zajistit dobré tepelně-izolační vlastnosti (Sokolář, 2010).

Společným negativním rysem elektrárenských popílků může být zvýšená měrná aktivita izotopu Radia Ra-226. Limitní hodnoty měrné aktivity Ra-226 jsou na základě požadavků ČSN 72 2071 (Popílek pro stavební účely – Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení) jsou  $150 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  (stavby s pobytovým prostorem), resp.  $1000 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  (pro jiné účely). Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. definuje mezní hodnoty měrné aktivity Ra-226 pro konkrétní typy stavebních materiálů a podmínky jejich využití (Sokolář, 2010).

### **3.2.3 VLASTNOSTI A ROZDĚLENÍ**

Charakteristika popílku, pokud jde o složení mineralogické a chemické a reaktivitu má zásadní význam pro rozvoj různých využití popílku. Popílek se skládá z jemných prachových částic především kulatého tvaru buď pevné, nebo duté a většinou amorfní v přírodě. Barva popílku se může lišit od hnědé až k šedé či černé, v závislosti na množství nespáleného uhlíku v popelu (Ahmaruzzaman, 2010).

Popílek je heterogenní směs částic lišících se tvarem, velikostí a chemickým složením. Tyto parametry jsou dány kvalitou spalovaného uhlí a typem spalovacího zařízení. Jsou charakterizovány fyzikálními, chemickými, morfologickými vlastnostmi a chemickým a mineralogickým složením, z kterých mezi nejdůležitější parametry patří obsah nespalitelného podílu, granulometrie, obsah cenosfér a plerosfér, hustota, měrný povrch, zastoupení krystalické a amorfní fáze, obsah magnetických minerálů, povlaky na povrchu částic, zastoupení majoritních a minoritních prvků (Čáblík a kol., 2003).

### **3.2.3.1 Chemické**

Po chemické stránce je elektrárenský popílek bazický materiál s pH 7,0 – 10,5, je dobře zásoben vápníkem, přiměřeně draslíkem a má určité množství fosfátů. Jsou však i popílky, především české hnědouhelné, které mají zcela jiný charakter. Jsou kyselé, obsahují velmi málo draslíku, fosforu, vápníku a hořčíku (Kolář, 1969). Různorodé chemické vlastnosti jsou ovlivněny do jisté míry podle vlastností spalovaného uhlí a techniky používané při manipulaci a skladování. Prakticky existují čtyři typy uhlí, které se liší výhřevností, chemickým složením, množstvím popela a geologickým původem (Ahmaruzzaman, 2010). Chemické vlastnosti popílků také vyplývají z vlastního spalování jemně mletého paliva, při kterém jsou všechny mineralogické složky vystaveny různě dlouhou dobu vysokým teplotám a mohou navíc procházet oxidačním a redukčním prostředím a dochází k tavícím, aglomeračním, kondenzačním a sublimačním procesům. Vzhledem k velmi krátké době průchodu spalovaných částic vysokou teplotou ohnišť dochází zpravidla k jejich roztavení a tím reakci v kapalně fázi jen na povrchu. Popílky vždy obsahují mimo nerostných zbytků také zbytky původního či do různého stupně přeměněného paliva (Čáblík a kol., 2003).

Hlavní složky popílku z černého uhlí jsou oxid křemičitý, oxid hlinitý, oxid železitý a vápník, s různým množstvím uhlíku, měřeno ztrátou při vznícení. Popílek z hnědého a hnědo-černého uhlí se vyznačuje vyšší koncentrací oxidů vápenatého a hořečnatého a nižším podílem oxidu křemičitého a oxidu železa, jakož i nižším obsahem uhlíku, ve srovnání s černouhelným popílkem.

Tab. 2: Složení černého uhlí, hnědo-černého uhlí a hnědého uhlí.

Component (wt.%)	Bituminous	Sub-bituminous	Lignite
SiO <sub>2</sub>	20-60	40-60	15-45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-35	20-30	10-25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO <sub>3</sub>	0-4	0-2	0-10
Na <sub>2</sub> O	0-4	0-2	0-6
K <sub>2</sub> O	0-3	0-4	0-4
LOI	0-15	0-3	0-5

Zdroj.: (Ahmaruzzaman, 2010)

Tabulka 2 porovnává obsah chemických složek černého, hnědo-černého a hnědého uhlí v popílku po spalovacím procesu uhlí. Z tabulky je zřejmé, že hnědo a hnědo-černouhelný popílek má vyšší obsah oxidu vápenatého a nižší ztrátu žíháním než popílek z černého uhlí. Popílek z hnědého a hnědo-černého uhlí může mít vyšší koncentrace sloučenin síranů než černouhelný popílek (Ahmaruzzaman, 2010).

Podle obsahu vápníku, křemíku, oxidu hlinitého (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a železa se popílek rozděluje do dvou tříd, které jsou definovány ASTM C618 a to na popílek třídy F popílek třídy C (Anonym5, 2010). Popílek třídy F je podle ASTM C618 definován jako popílek obsahující více jak 70% SiO<sub>2</sub> a s nízkým obsahem vápna. Popílek třídy C je definován podle následujícího obsahu: 50 – 70% SiO<sub>2</sub> a vysoký obsah vápna (ASTM, 2005). Stručně řečeno hodně vápenatý popílek, s obsahem oxidu vápenatého 30 – 40% hm, třídy C se obvykle vyrábí z méně hodnotného uhlí (hnědé, hnědo-černé uhlí) a má cementové vlastnosti. Na druhé straně je málo vápenatý popílek, s obsahem hydroxidu vápenatého pohybujícím se na úrovni 1 – 12% hm, třídy F vyroben obvykle ze spalování více hodnotného uhlí (černé uhlí, antracit). Dalším rozdílem je výše alkálií (kombinované sodíku a draslíku) a sírany. Obecně jsou vyšší ve třídě C než ve třídě F (Ahmaruzzaman, 2010).

### 3.2.3.2 Mineralogické

Mineralogické složení popílku je dáno obsahem a druhem přirozených minerálů v uhlí a stupněm jejich tepelné přeměny. Krystalická fáze je v popílcích z černého uhlí zastoupena přibližně 10 %. Ten je závislý na velikosti zrn prachového uhlí. Mineralogické složení popílků z černého a hnědého uhlí z výtavných a

práškových granulačních kotlů popisuje *Michalíková (1997)*, která uvádí, že popílký obsahují ty to hlavní skupiny minerálních látek:

- Vodnaté silikáty a alumosilikáty
- Minerály železa (magnetit, maghemit, hematit), novotvary, jejichž chemické složení je ve škále  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  až po kovové Fe
- Karbonátové skupiny, např.: kalcit ( $\text{CaCO}_3$ ), siderit ( $\text{FeCO}_3$ )
- Akcesorické minerály, např.: křemen a cristobalit ( $\text{SiO}_2$ )
- Skelnou fázi, jejichž obsah závisí na podmínkách spalování
- Zbytky nespáleného uhlí, které se stávají z celé škály minerálních novotvarů, od původního uhlí až po koks

Pro fluidní popílký je značný obsah Ca, který je kvůli odsiřování přidávaný do spalovacího procesu, nejčastěji ve formě vápence. Z hlediska hydraulicity lze mineralogické složky popílků rozdělit na aktivní a neaktivní složky.

Aktivní:

- hydraulický amorfní (amorfní bazické strusky s vysokým obsahem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , část sklovité fáze, aktivní  $\text{SiO}_2$ ),
- Hydraulické krystalické (metakaolinit, hlinitany),
- Nehydraulické ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , anhydrit),
- Budiče (sulfidy, alkalické soli).

Neaktivní:

- Nespálené uhlí,
- Struska s vysokým podílem  $\text{SiO}_2$ ,
- Krystalické složky (křemen, mullit).

Významnou charakteristikou popílků je také jejich tavitelnost, důležitá při různých způsobech zpracování. Podle bodů tání se popílký rozdělují do tří skupin (Čáblík a kol, 2003):

- Lehce tavitelné – bod tání 1040 – 1200 °C
- Středně tavitelné – bod tání 1200 – 1425 °C
- Těžce tavitelné – bod tání je větší než 1425 °C

### **3.2.4 VYUŽITÍ**

Popílký nacházejí uplatnění v různých oblastech – ve stavebnictví, při rekultivacích, při čištění odpadních vod, v technologii stabilizace/solidifikace apod. Část produkce se však dosud skládkuje.

#### **3.2.4.1 Skládkování**

Skládkování všech tuhých zbytků po spalování je v současnosti nejvyužívanějším způsobem nakládání s deponovanými energetickými odpady v mnoha státech. Ukládáním na odpadu na skládky a odkaliště se ovšem zabírá půda, snižují se možnosti jejich následného využití a dochází k negativnímu ovlivňování životního prostředí. Pro snížení ekologických problémů skládek popílků je potřebné zdokonalit metody dopravy a skladování, aby se předešlo jejich rozprašování a nežádoucímu sesuvu vrstev materiálu (Čáblík a kol., 2003). Kromě známých negativních vlivů takových skládek a odkališť na životní prostředí, je budování skládek pro trvalé uložení takových odpadů investičně náročné (Mezencevová, 2003). Popílek se může ukládat ve formě hydrosměsi na odkalištích tzv. plavením. Na odkališti dochází k usazování tuhých částic. Čistá voda z povrchu se přepadovým systémem odebírá a čerpá zpět nebo se vypouští do vodního toku. Po vyplavení jedné etáže („patra“) se na obvodu odkaliště vybuduje tzv. zvyšovací hráz, vytvoří se tak nový bazén vody z prostoru odkaliště do okolí. Při přímém skladování popílků bez úpravy na úložištech a odkalištích existuje reálná možnost vyluhování toxických prvků a těžkých kovů, ale i organických látek. Bezpečnější způsob ukládání popílků je v určité formě po přepracování, např.: ve formě stabilizátu, aglomerátu a deponátu (Univerza-Sop, 2008). Stabilizát je výsledný produkt solidifikace odpadů s fixováním škodlivin, tedy smíchání popílků s vodou za



přídavku stabilizujících přísad (vápna, energosádrovce či strusky), do tuhého kompozitu, čímž se redukuje jejich mobilita a vyluhování do vodního prostředí (Čáblík a kol., 2003). Aglomerát vzniká smícháním popílku s vodou (cca 20 %) bez použití vápna. Používá se hlavně jako materiál pro rekultivace zdevastovaných prostor vytěžených povrchových uhelných dolů a elektrárenských uložišť. Deponát je směs popele a energosádrovce zvlhčená cca 25% vody. Deponát má mírně sníženou vyluhovatelnost oproti jeho jednotlivým komponentám (Univerza-Sop, 2008).

#### **3.2.4.2 Stabilizace / solidifikace**

Metoda stabilizace / solidifikace umožňuje převést nebezpečné odpady do fyzikálně a chemicky stabilní formy, čímž dojde k zlepšení jejich manipulovatelnosti a k zamezení úniku škodlivých látek do prostředí. Odpady původně polotuhé jak anorganického, tak i organického původu jsou převedeny do formy pevných bloků, s dobrou mechanickou únosností, a je tak možné je skládkovat (Kafka, Punčochářová, 2000). Tato technologie se používá především k zadržování těžkých kovů. Účelem této technologie je zamezení či zpomalení migrace nebezpečné složky do životního prostředí (omezení vychovatelnosti) a získání produktu ve snadno manipulovatelné formě. Pro zpevňování odpadů se používají různé druhy materiálu, které někdy chemicky reagují s odpadem, jindy pouze obalují jeho částice bez probíhajících reakcí. Jako aktivní pojiva se nejčastěji využívají maltotvorná, hydraulická pojiva – různé druhy cementů (cementace), vápno apod. Lze použít také směs cementu a popílku (Univerza-Sop, 2008).

#### **3.2.4.3 Umělé kamenivo a peletizace**

Příprava umělého kameniva vychází ze zkušeností s úpravou kusovosti jemnozrnných koncentrátů, hlavně z procesu peletizace a zpékání. V souladu s tím je možné pro výrobu umělého kameniva z popílků využít postupy různých technologií. Umělým kamenivem lze zcela nebo částečně nahradit přírodní kamenivo. Jeho velká výhoda při využití je až o 50% nižší hmotnost oproti přírodnímu kamenivu. Kritérium rozdělení technologií výroby umělého kameniva je dle způsobu jeho vytvrzování. Rozlišují se 4 způsoby:

- Technologie za studena, které používá pojiva vytvářející vazby se zrny popílku všech granulometrických frakcí. Také je možno je zpevňování granulí popílku s přísadou pojiv na bázi maltovin. Kamenivo lze využít na výrobu betonu (Univerza-Sop, 2008).
- Technologie za zvýšené teploty využívá smíchání popílku vápna a vody. Zde je nejznámější technologie Aardelite, která využívá reakce hydroxidu vápenatého ve formě vápenné kaše s  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oxidy obsaženými v popílku. Reakce je podobná tvrdnutí betonu a vzniká tvrdý a stabilní materiál. Do mísiče se dávkuje popílek, recyklovaný materiál z třídění, vápno, voda, popř. další přísady a vše se důkladně promíchá. Vzniklá hmota se přivádí do peletizátoru, kde vznikají pelety (granule) o různé velikosti. Působením teploty 70-90 °C pelety vytvrdnou a dávkuje se přes mezizásobník do třídíče. Rozměrově nevyhovující část se vrací zpět na počátek procesu. Měrná hmotnost kameniva

Obr.4, kameniva Aardelite



zdroj: (ALGBV)

Aardelite je 1140 -1750  $\text{kg/m}^3$ , pevnost granulí v tlaku 2,5 - 8,4 MPa (ČEZ, 2010b). Toto kamenivo je vhodné především pro zásypy, násypy a podkladní vrstvy., případně podkladové a výplňové betony (Čáblík a kol, 2003).

- Technologie za zvýšené teploty a tlaku – urychlené zrání autoklavováním (hydrotermální zrání).

- Technologie spékáním zná dva hlavní druhy kameniva. Agloporit se vyrábí smícháním popílku a vody. Tato směs je spékána na aglomeračních roštích, vypálené a ochlazené spečence se drtí a třídí. Agropolit se využívá pro výrobu betonu. Technologie Lytag je založena na zpracování granulovaného popílku při teplotách kolem 1 200 °C, kdy žár způsobí mírné natavení a částečné spojení (tzv. slnutí popílkových zrn). Výrobní linka sestává z dávkovacího šneku, který dávkuje popílek do mísiče, kde se přidávkem vody a malého množství práškového uhlí připraví optimální směs. Ta se dávkuje do granulátoru. Vytvořené granule jsou rozprostřeny na granulační pás a zapalovacím hořákem je zahájen proces tzv. aglomerace. Po prohoření vrstvy, slnutí granulí a po následném vychlazení na teplotu cca 250 °C jsou vzniklé granule mechanicky tříděny na sítích. Výsledný materiál má vlastnosti srovnatelné s přírodním kamenivem s výjimkou nízké měrné hmotnosti (750 - 1400 kg/m<sup>3</sup>), která jej předurčuje pro použití při stavbách jako mostní konstrukce, masivní těžké stavby apod., kde je snaha snížit celkovou hmotnost stavby nebo její části. Chemicky se materiál chová jako inertní hmota. Pevnost granulí v tlaku je vyšší než 5 MPa (ČEZ, 2010b). Toto kamenivo má vynikající vlastnosti – vysokou pevnost, dobré izolační vlastnosti a ohnivzdornost a proto lze využít pro nosné železobetonové a přepínané konstrukce (Čáblík a kol., 2003).

Obr.5, kamenivo Lytag



Zdroj: (Anonym6)

V porovnání dvou nejznámějších technologií, má Aardelite ve srovnání s Lytag poněkud horší vlastnosti (pevnost, nasákavost, mrazuvzdornost), neuzivá však energeticky náročné vysokoteplotní technologie. (ČEZ, 2010b).

V České republice se využívání popílku pro výrobu umělého kameniva přestalo využívat, i když stavební organizace měli o produkty nemalý zájem. Ovšem v současné době vedou ekologické a ekonomické důvody k inovaci technologie výroby umělého kameniva z popílku. Nová technologie výroby kameniva ze spékaných popílků bude absolutně využívat technologického principu samovýpalu vsázky vlastním obsahem spalitelných látek a vyloučením dříve používané funkce kontinuálního zapalování vsázky plynovými hořáky. To povede ke snížení energetické náročnosti výroby (Černý, 2006).

#### **3.2.4.4 Stavebnictví**

Stavatelství patří mezi odvětví, které mnoho let ve značných množstvích popílek zpracovává. Se systematickým zkoumáním možnosti využívat popílek ve stavební výrobě se začalo ve 30. letech 20. století v USA. Chicago Fly Ash Co. začala jako první uvádět na trh popílek k využití pro výrobu betonového potrubí. Popílků se používají ve stavebnictví v různých technologiích (Univerza-Sop, 2008). Ve stavebnictví a výrobě stavebních hmot se popílek využívá jako přísada při výrobě nejrůznějších materiálů – betonu, pórobetonu, maltovin, cihel apod. K používání popílku je vypracován celý soubor norem jak pro fluidní tak pro klasické popílků, které definují základní požadavky na fyzikální a chemické vlastnosti. Při vhodně zvolené dávce popílku lze obdržet cementy, z nichž lze vyrábět betony s dostatečně vysokými pevnostmi. Popílků mají zároveň pozitivní vliv na zvýšení odolnosti vůči agresivnímu a síranovému prostředí, zvyšují odolnost vůči alkalicko- křemičité reakci a ovlivňují pozitivně i některé ostatní vlastnosti betonů vyrobených z těchto cementů a výhodou je také úspora primárních surovin (Čáblík a kol., 2003; CEMC, 2004). Použití popílků ve stavebnictví platí celá řada norem. Norma ČSN 72 2071 „Popílek pro stavební účely – Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení“ udává ustanovení na využití popílků na různé účely. Tato norma uvádí různé postupy pro stanovení všech vlastností a vhodností pro dané účely využití. Jednotlivé části navazující normy udávají technické požadavky popílku na jednotlivá využití; ČSN 72 2072-1 až 11. Norma ČSN P 72 2080 „Fluidní popel a fluidní popílek pro stavební účely – Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení“ je obdobná normě pro klasické popílků ČSN 72 2071 (Univerza-Sop, 2008).

Při hodnocení popílků z hlediska využití ve stavebnictví je jednou z podmínek stanovení jejich škodlivin. Popílky od sebe liší svým složením, logicky z těchto zkušeností vyplývá, že jejich škodlivé složky budou různě zastoupeny. Škodlivé látky taky obsažené v odpadech mohou negativně ovlivnit životní prostředí v případném uložení na skládkách, jejich vyluhováním do půdy a spodních vod. Kromě technologické vhodnosti se sleduje také ekologická vhodnost popílku, přičemž do průkazu ekologické vhodnosti jsou zahrnuty tyto typy zkoušek:

- Stanovení vychovatelnosti škodlivých látek – vyplývá ze zákona o odpadech
- Stanovení ekotoxicky – sleduje působení výluhů z popelů a popílků
- Stanovení škodlivých složek v sušině – pouze u stavebních hmot používaných jako krajínotvorné prvky
- Stanovení hmotnostní aktivity radionuklidů

Z mineralogického hlediska se za škodliviny považují např.: chlorit, sericin, kalcit, illit, montmorillonit, které způsobují bobtnání, pokles pevnost, modul pružnosti, mrazuvzdornosti (Čáblík a kol, 2003).

#### - **Cihly**

Popílky se hojně využívají k výrobě cihel a různých tvarovek. Cihly s obsahem popílku jsou lehčí než tradiční cihly a jsou vyhovující pro většinu použití v pozemním stavebnictví. Základní surovinou pro výrobu cihel jsou vhodné jílovité materiály. Využívání popílků ve cihelné výrobě šetří ložiska cihlářských hlín a tím klesají náklady na otevírání ložisek nových (Čáblík a kol., 2003). K úpravě některých vlastností se přidávají přísady: ostřiva, lehčiva, plastifikační, barvicí, ztužující. Popílek slouží jako plastifikační přísada, lehčivo – zvyšuje pórovitost, neboť obsahuje spalitelné látky. Ostřicí schopnost popílku je menší, ale zvyšuje pevnost (Univerza-Sop, 2008). Výhodou využití popílků v cihlářské výrobě jsou relativně nízké teploty výpalu asi do 1000 °C, kdy ještě nehrozí zvýšení obsahu oxidu siřičitého SO<sub>2</sub> ve spalinách. Velmi zajímavá je technologie výroby cihel americké firmy Castone, kdy surovinou k výrobě cihel je až z 90 % popel a proces probíhá za studena, je tedy energeticky úsporný. Tyto cihly mají podstatně lepší užitné vlastnosti ve srovnání s běžnými cihlami a díky svým vlastnostem a širokému

spektru barev se využívají na vnější zdivo bez omítky. Některé studie ukazují, že cihly s příměsí popílku jsou lepším stavebním materiálem než pálené cihly jen z hlíny (Ahmaruzzaman, 2010).

#### - **Maltoviny**

Malta je stavební hmota, která vznikne zatvrdnutím čerstvé směsi pojiva a drobného kameniva. Popílek může být využit pro výrobu širokého sortimentu; malty pro venkovní a vnitřní využití, speciální malty pro pórobetony, tepelné izolační malty, malty pro různé speciální účely apod. Vystupují nejen jako výplň směsi (neaktivní složka – nepřispívá k tvrdnutí), ale využívá se i jejich pucolánové a hydraulické aktivity (aktivní složka – přispívá k tvrdnutí) (Univerza-Sop, 2008). Ve všech případech využití musí předcházet posouzení všech vlastností popílku. Na tyto vlastnosti a jejich kolísání následně navazují vypracované receptury, které jsou vlastnostmi popílků podmíněné. I tento hotový výrobek se musí ověřit dle příslušných norem na požadavky na malty a jejich pevnost v ohybu, v tahu, v tlaku a přilnavosti k podkladu (Čáblík a kol., 2003).

#### - **Cementy**

Cement se vyrábí pálením vápence a jílu a rozemletím získaných slínek. Popílek lze v cementárnách zapracovat za přípravy surovinových směsí jako jednu z jejich složek a nebo při mletí slínek jako hydraulickou přísadu pro regulaci tuhnutí cementu, nebo jako přídavek do rotačních pecí za účelem snížení exhalací SO<sub>2</sub> (Univerza-Sop, 2008). Příměsí popílku do cementu se ušetří až 30% portlandského slínku a dojde ke zlepšení vlastností cementu. Pevnost cementu je přímo závislá na druhu cementu a poměru míchání popílku stanoveného individuálně. Protože z různých zdrojů mají popílek různé vlastnosti, je zapotřebí stanovit potřebné zkoušky použitých popílků. Jako příměs se popílek smí použít, když splňuje limit spalitelných složek (Čáblík a kol., 2003). Popílek zpravidla zlepšuje objemovou stálost cementu, zpomaluje a snižuje vývoj hydratačního tepla a je odolný vůči agresivním látkám (Mezencevová, 2003).

Velmi jemné fluidní popílek mají v betonech také funkci reaktivního mikrokameniva. To vyplňuje prostor až v o dva řády hrubším cementu a tudíž omezuje pórovitost a spoluvytváří hutnou nanostrukturu (Čáblík a kol., 2003).

## - **Betony**

Beton je kompozitní stavební látka, vzniklá smícháním cementu, písku či štěrku a vody. Popílek se používá jako náhrada kameniva, čímž doplňuje chybějící nejmenší frakce kameniva, nebo jako aktivní složka na částečnou náhradu cementu, což přispívá k zlepšení kvality betonu a přispívá ke snížení spotřeby cementu. Výzkumy ukázaly, že přidání popílku do portlandského cementu má mnoho pozitivních účinků na výsledný beton (Ahmaruzzaman, 2010). Pro svůj pucolánový charakter, popílek zlepšuje zpracovatelnost a čerpatelnost čerstvého betonu, omezuje vznik trhlin, zmenšuje dotvarování, zvyšuje vodotěsnost, zlepšují odolnost proti mrazům a vůči agresivním vlivům, a tím také zvyšují trvanlivost staveb. Popílek se nejvíce využívá do betonů nižších značek lehkých betonů – pórobetonu a do betonů masivní konstrukce (Univerza-Sop, 2008). Využívá se také do železobetonu s výjimkou předpjatých betonů. Ty popílky, které nesplňují v plné míře kvalitativní požadavky norem, nesmí být použity nebo jejich použití je omezené na nižší třídy betonu a méně náročné konstrukce. Obecně platí, že úspora cementu využitím popílku se dosahuje především u nižších značek betonu (Čáblík a kol., 2003). Předností pórobetonů z popílků jsou jejich výborné tepelně-izolační vlastnosti (Mezencevová, 2003).

## - **Keramika**

Základní surovinou pro výrobu obkladaček a dlaždic jsou vápenaté slínky, které obsahují ve vhodném poměru jemný rozptýlený uhličitán vápenatý a velmi jemný křemen. Do těchto výrobků se popílek přidával v mnoha krajinách, kde byla rozvinutá výroba obkladaček s barevně páleným střepem. Pro jejich výrobu je možné využít různé směsi, ve kterých je kromě jílu a hlíny i 60 až 80 % hmot. popílku (Čáblík a kol., 2003). Chemické složení tuzemských popílků je velmi blízké složení surovinové směsi pro výrobu keramických obkladových prvků. Při teplotě výpalu nad 1100°C se tedy očekává střep, který vyhovuje požadavkům na vlastnosti za sucha lisovaných keramických prvků. Byla také zkoumána možnost využití páleného popílkového střepu pro výrobu pálené střešní krytiny (Sokolář, 2005). Po vypálení výrobku obsahující popílek vykazují malé množství mullitu a magnetitu a také novou krystalickou fázi, cristobalit. Jeho obsah je možné regulovat množstvím popílku ve výrobní směsi, výší teploty vypalování a také dobou jeho působení. Vzniklý

cristobalit zvyšuje pevnost skelné fáze a tím i pevnost výrobku (Čáblík a kol., 2003; Univerza-Sop, 2008).

#### - **Silniční stavby**

Použití popílku pro materiály na stavby silnic je významným odběrem popílku z jeho zdrojů. Využívá se pro zhutnění náspů, zásypy, obsypy. Také jako pro živičné látky chodníku a jako příměsi pro výrobu asfaltu. Pro použití do asfaltu, je ale nutné, aby popílek splňoval limitní hodnoty, které udává ČSN 73 6133 „Navrhování a provádění zemního tělesa pozemní komunikace“. Ve stmelených vrstvách se využívá popílek buď jako pojivo nebo jako příměs kameniva. Zlepšuje granulometrické složení kameniva, zvyšuje odolnost kompozitu proti mrazu, zlepšuje deformace a pevnostní charakteristiky. Dále také ovlivňuje dobu tuhnutí a tím vznik prasklin, což má praktický význam u cementem stmelených podkladových vrstev vozovek(Čáblík a kol., 2003; Univerza-Sop, 2008; Ahmaruzzaman, 2010)..

Dle odhadů je v ČR využito kolem 10% vyprodukovaných klasických popílků. Po zavedení norem na klasické a fluidní popílky do praxe se předpokládá nárůst využití přibližně na dvojnásobek. Jedním z hlavních důvodů nedostatečného využívání popílků je nedostatečná péče o životní prostředí. Podnikům se stále nezdá vyplatí ukládat vedlejší produkty do deponie, nežli hledat jejich využití v dostatečném objemu. Aplikovaný výzkum využití druhotných surovin není zdaleka na odpovídající úrovni (Čáblík a kol, 2003).

#### **3.2.4.5 Filtrace odpadních vod**

Asi 5 % z popílku zachyceného v energetických odpadech má vlastnosti využitelné pro účely čištění odpadních vod. Tato část se odseparuje a použije se jako náplň do filtrů, přičemž jsou dosahovány překvapivě vysoké účinnosti při čištění některých odpadních vod. Životnost náplně filtrů je 10-20 let. Čištění je vysoce účinné zejména na BSK, CHSK, tenzidy, patogenní bakterie, nepolární látky, těžké kovy a PCB. U nás při použití českého patentu vyrábí sorbent pod obchodním názvem CINIS (ČEZ, 2010). Již od 80. let 20. století vznikaly ČOV na principu využívání filtrační látky CINIS. Čistírny CINIS využívají jako filtrační látku absorbent ze složiště, tedy netoxický popílek s minimálním obsahem těžkých kovů. Čištění odpadních vod pomocí látky CINIS lze uplatnit při dekontaminaci vod



znečištěných organickými i některými anorganickými látkami. Vynikající výsledky byly prokázány především při čištění průmyslově znečištěných vod od ropných látek a těžkých kovů. Tato technologie přitom není pouze laboratorním či modelovým příkladem, ale již několik let úspěšně využívaná přímo v provozních podmínkách. Tyto čistírny se začaly stavět na různých místech ČR (Vysoká Pec u Chomutova, Pláně u Plzně, Strojeticice u Podbořan). Nejlépe fungují filtry, které nejsou na povrchu překryté zeminou, poněvadž pro spolehlivou činnost je třeba dobré provzdušnění (Petříková, 2000; Univerza-Sop, 2008).

#### **3.2.4.6 Zemědělství**

Používání popílků v zemědělství je problematické. Nespálené zbytky uhlí, obsah těžkých kovů a síry mohou mít negativní vliv na pěstované plodiny. Sledovalo se několik možností využití např. ve směsi s jinými průmyslovými odpady či k přípravě obalů osiva. Byly označeny za nevhodné při použití k odlehčení těžkých půd a meliorací (Čáblík a kol., 2003), ale při pravidelné kontrole kvality popílků na obsah škodlivin je na toto lze využít. Stejně tak jako pro přípravu bioorganominerálních hnojiv a již zmíněných obalů osiva (Mezencevová, 2003).

#### **3.2.4.7 Ukládání v dolech**

Základková směs, tak se nazývá látka, která se využívá pro ukládání popílku do dolů. Směs je smíchaný popílek s vodou, která se splavuje potrubími od plavícího zařízení do podzemí (Univerza-Sop, 2008). Popílek obsahující aktivní složky (CaO a MgO) může částečně nahradit drahé pojivé nebo nedostatkové jemné podíly v základkové směsi (Mezencevová, 2003), ovšem většinou se může do směsi přidávat cement pro zvýšení pevnosti. Poměr zahuštění plavící směsi se podle místních podmínek pohybuje od 0,6 až 1 kg na jeden litr vody (Univerza-Sop, 2008). Zařízení obvykle tvoří jeden nebo dva zásobníky o objemu 100 m<sup>3</sup>, šnekové podavače, míchačky a zásobní nádrže směsí, čerpadla pro změnu zahuštění směsí, plavící potrubí a kontrolní a ovládací centra. Plavená směs se využívá hlavně při protizáparové prevenci (zápar = dochází k samovznícení zbytků uhlí v pásnu zavalování), a to nejčastěji v porubech. Zde se někdy při dobývání dostávají z různých příčin zbytky uhlí do pásma zavalování a dochází k jejich samovznícování, tzv. záparu, který se likviduje proplavováním závalu popílkovou

směsí. Dále se plavená směs využívá pro sanaci opuštěných důlních děl, a to tak, že se plavenou směsí díla vyplní nebo se vytvářejí izolační hráze či žebra pro jejich uzavření (Čáblík a kol., 2003). Sanace důlních děl zároveň přispívá k minimalizaci vzniku nežádoucích jevů s dobýváním, útlumem a likvidací báňské činnosti. Zejména tedy projevy subsidence povrchu, propady starých děl na povrchu nebo nekontrolovatelné výstupy mineralizovaných důlních vod a metanu (CEMC, 2004).

V ČR jen OKD, a. s. každý rok potřebují přibližně 400 tun popelů (Čáblík a kol., 2003). Zde se využívání zakládkové směsi s popílčkem využívá již více než 20 let (CEMC, 2004). V posledních letech se situace na trhu, zejména suchých popílků, stává napjatou, protože postupně dochází k jejich odlivu do jiných odvětví hospodářství, jako jsou cementárny, panelárny a drobní výrobci stavebních materiálů. Značné náklady na přepravu znemožňuje využití popelů a popílků od vzdálenějších producentů (Čáblík a kol., 2003).

## **3.2 ŠKVÁRA**

### **3.3.1 VZNIK**

Škvára je dalším vedlejším produktem procesu spalování uhlí v granulačních kotlích. Je zrnitý materiál ze dna kotlů, je mnohem hrubší, hranatá s porézní strukturou povrchu, s velikostí zrn mezi jemným pískem a jemným štěrkem. (EPA, 2010). Vzniká v kotlích při teplotách 1500 - 1700 ° C, následuje odstraňování popela ze dna pece (ECOBA). Ve výsypce spalovací komoře kotle se odlučuje, padá na dno a je odvedena do vodní lázně, kde je ochlazena (MPO). Je obvykle šedé až černé barvy (EPA, 2010). Na jakost škváry jako stavební suroviny má vliv mnoho činitelů. Mezi význačné vlivy, neuvádíme-li zatím záměrné úpravy škvár, patří zejména uhlí, postup při jeho spalování a doba uložení a způsob ukládání škváry na odvale (Koš a kol., 1960). Škvára musí vyhovovat požadavkům na výsledky ekotoxikologických testů a limitním koncentracím pro obsahy škodlivin v sušině a stanovené vyhláškou č. 294/2005 Sb., a poté je ji možno považovat za výrobek zdravotně nezávadný ve smyslu zákona č. 102/2001 Sb., o obecné bezpečnosti stavebních výrobků v platném znění (ČEZ, 2009c).

Obr.6, škvára



zdroj: (CCCP, 2007)

### **3.3.1.1 Vliv druhu uhlí**

Při sledování vlivu druhu uhlí na jakost škvár nevystačíme s rozdělením nejvíce používaných tuhých paliv na uhlí černé a hnědé, rašelinu a antracit, mnoho neukáže ani běžně stanovené technologické vlastnosti uhlí (např.: objemová váha, tvrdost, pevnost, kruchost, koksovateľnost, spékavost, obsah prchavých látek, výhřevnost apod.). Poněkud přesnějším ukazatelem vlivu druhu tuhého paliva na tvorbu škvár při spalování je zjišťování původu v uhlí obsažených nespalitelných látek, které označujeme souhrnně jako popeloviny. Rozeznáváme popeloviny syngenetické a epigenetické. Větší vliv na tvorbu škváry mají popeloviny syngenetické, které jsou v uhlí celkem jemně a stejnoměrně rozptýleny, protože jsou tvořeny nespalitelnými látkami obsaženými již v rostlinách, z nichž uhlí vzniklo. Popeloviny epigenetické vznikly naplavením různých zemin do volných míst mezi rostlinné zbytky při jejich zuhelňování. Nejsou proto již tak stejnoměrně rozptýleny jako popeloviny syngenetické, ale prakticky pevně s částicemi vlastního uhlí souvisí a jsou důležitou hmotou pro tvorbu škvár. Jiným, v praxi dosti často používaným způsobem určování vlivu druhu uhlí na jakost škvár je chemické složení v palivu obsažených popelovin u všech druhů uhlí.

Tab.3; chemické složení paliv

Chemické složení popelovin hnědých uhlí z mosteckého revíru (1), hnědých uhlí ze sokolovského revíru (2), černých uhlí ostravských (3), černých uhlí kladenských (4) a popelovin z našich lignitů(5).					
Obsah	Označení paliva				
	1	2	3	4	5
% SiO <sub>2</sub>	11,1–60,2	13,7–47,0	9,3–59,8	49,8–64,8	8,8–37,3
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,6–38,0	3,4–35,5	4,6–26,4	4,5–12,4	6,9–41,2
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,2–37,5	7,0–39,3	17,1–32,2	15,4–27,9	} 7,2–29,8
% TiO <sub>2</sub>	0,2– 3,7	0,1–10,1	0,1– 1,1	0,7– 1,3	
% CaO	1,7–22,4	3,6–17,9	1,3–20,8	1,4– 5,7	9,2–39,4
% MgO	0,2– 7,6	0,2– 2,4	1,6– 5,4	0,5– 1,7	0,9– 4,8
% Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,7– 3,6	–	1,8– 5,9	0,8– 3,5	–
% SO <sub>3</sub>	1,7–24,7	1,7–24,5	0,9–13,0	0,9– 2,9	8,0–30,4
% popelovin	3,4–42,5	6,1–25,0	4,7–48,3	11,5–56,1	6,7–19,7
bod slinutí °C	1110–1550	–	1090–1280	1300–1550	–

Zdroj.: (Koř a kol., 1960)

Z této tabulky je zřejmé, že chemická složení nespalitelných zbytků uhlí jsou i u stejných druhů paliva velmi rozdílná (Koř a kol., 1960).

### 3.3.1.2 Vliv spalování

Na jakost škvár má zpravidla daleko větší vliv způsob spalování než druh používaného uhlí. To se objevuje při vývoji elektráren v neprospěch škváry, která vzniká převážně na roštových ohništích, která jsou nejstarším typem ohnišť. Jejich hlavní nevýhodou je, že lze na nich spalovat jen hrubě nebo středně zrnité palivo, u něhož nelze dobře oddělit spalitelný podíl od vnějších nebo epigenetických popelovin, které zabraňují dokonalému prohoření částic paliva, takže i při vysokých teplotách zůstává vždy uvnitř škárových zrn dosti značný tzv. mechanický nedopal (Koř a kol., 1960).

### 3.3.2 TĚŽENÍ ŠKVÁRY

Máme-li odpovědně navrhnout postup a způsob mechanizace těžení škváry z odvalu, musíme splnit předem přibližně stejné podmínky, jaké platí např.: pro těžbu v hliništích nebo v pískovnách. Je třeba též určit vyhovující místo pro začátek těžby, směr, výšku a šířku jejího postupu, místo pro skladování odpadu, strojní zařízení, způsob odvozu vytěžené a popřípadě upravená škváry, množství pracovníků, apod. (Koř a kol., 1960).

### 3.3.3 VYUŽITÍ

Existuje několik možností pro odstraňování škváry, od recyklace ukládáním na skládku až po mnoho možností využití v průmyslu, šetrnějším k životnímu prostředí (Smith, 2011). Škváru lze využít pro přípravu stavebních materiálů (cementy, betony), využívá se v dopravní výstavbě (silniční násypy, obsypy, zásypy, základy, dlažba) (EPA, 2010), takto je ji možno využívat pro násypy a zásypy na povrchu terénu bez omezení konkrétní lokalitou, včetně vytváření svrchní vrstvy technické rekultivace, pokud splňují dříve zmíněné podmínky (ČEZ, 2009c), a také jako materiál pro zimní údržbu komunikací jako posypový materiál (EPA, 2010). Jako stavební materiál se běžně používá u nás i v zahraničí po mnoho let. U nás je v provozu několik závodů postupně zpracovávajících staré haldy škváry, které se tvořily po dobu desítek let, tím také přispívají k ochraně životního prostředí. Škvára se dále využívá k přípravě betonových směsí pro různé druhy škvárového betonu a to k výrobě výplňových, izolačních nebo nosných betonových prvků. Škvára musí být ovšem před použitím do betonových směsí volně uložena alespoň 6 měsíců na nekrytých odvalech či skládkách (Altmann a kol., 2009). Prostor určený k haldování je třeba předem rozdělit tak, aby bylo možno na jednom místě ukládat škváru vhodnou pro zpracování ve stavebnictví a jinde ostatní odpady, jako sklovitou strusku, létavý popílek a popřípadě hlušinu. Producenti škváry mohou přispět k rychlému zlepšení jejich jakosti tím, že budou odděleně ze závodu odvážet nebo vyplavovat škváru, strusku a popílek a že je budou na odvalu ukládat podle určených zásad. Důležitým předpokladem dobré jakosti škvárového betonu není jen vhodná úprava škváry, ale i dokonalá znalost celého technologického postupu jeho výroby. (Koš a kol., 1960). Využívání čerstvé škváry se nedovoluje (Altmann a kol., 2009), ale i přesto se někdy zpracovávají škváry i jinak této normě nevyhovující, protože obsahují buď mnoho nespáleného podílu, nebo nepřipustné množství chemických škodlivin apod. Tento způsob je naprosto nesprávný a často se již nepříznivě projevil poškozením zdiva nebo jeho odsunutím atd. (Koš a kol., 1960).

Škvárový beton je možno druhově rozdělit podle několika různých hledisek, např. podle použitého pojiva, způsobu armování, postupu při zhutňování nebo

způsobu uložení škvárového betonu při jeho tvrdnutí., podle některých vlastností a konečně způsobu použití na stavbě.

- Dle použitých pojiv rozeznáváme betony s pojivem cementovým, vápenným, sádrovým a vápenocementovým.
- Dle způsobu armování máme betony prosté, železové a předpjaté. Betonu prostého se používá nejčastěji pro monolitické zdivo a příčky, pro podkladní dlažby a spádové betony rovných střech. Z prostého škvárového betonu se vyrábějí různého druhu plných i dutinami vylehčených tvárnic, bloky pro zdivo obvodových i vnitřních stěn obytných staveb. Ze škvárového betonu železového, vyztuženého ocelovými pruty nebo ocelovou svařovanou sítí se zhotovují nosné konstrukce namáhané na ohyb a pevnost vzpěrnou (Koš a kol., 1960).

## 4. DISKUZE

Zpracováním vedlejších energetických produktů dosáhneme především menšího objemu odpadu na skládkách a tím se přispěje k ochraně životního prostředí. Využívání vedlejších energetických produktů ovšem musí být efektivní, využívat kvalitu a nebýt finančně náročné.

Jak říká *Leber a Ledererová (2008)*, Česká republika nemá tolik zásob kvalitního sádrovce, ale i přesto využíváme kvalitní vedlejší produkt energosádrovec na výrobu stabilizátu nebo se závody ani nenamáhají ho nabízet ke zpracování a jak říká *Kraitr a kol. (1999)* rovnou ho ukládají na skládky, čímž se opět o kvalitní sádrovec připravujeme. Toto by se mělo změnit a na výrobu stabilizátu využívat pouze méně kvalitní energosádrovec a už vůbec ho neukládat na skládky, ale využívat namísto těžení přírodního sádrovce. Hodně efektivně využívá energosádrovec elektrárna Počerady se závodem KNAUF a také například elektrárna Mělník se závodem RIGIPS na výroby SDK desek. Závody na zpracování jsou hned v sousedství s producentem a tím zmenšují náklady na jejich přepravu .

Využívání popílku není na světě tolik efektivní. Jak říká *Čáblík a kol (2003)*, v mnoha státech je ukládán na skládky i když dle *Mezencevová (2003)* to má negativní vlivy na životní prostředí a je to finančně nákladné. Pro využití popílku je mnoho prostoru a mnoho odvětví a tak by se mělo využívání popílku zlepšovat a například ve stavebnictví, ale i jiných oblastech, ho využít. Ušetřit tak zátěž na životní prostředí, ale i prostory, které zabírají skládky. Stejně je to s využíváním škváry.

## 5. ZÁVĚR

Nakládání s vedlejšími produkty z energetiky je velmi účinná ochrana vzhledem k životnímu prostředí. Jelikož energetické závody produkují velké množství vedlejších energetických produktů, hledají se možnosti jejich využití, aby se nemuseli stále ukládat na skládky a tím neprospívat ochraně životního prostředí.

Nelze však vždy využívat 100% energetických produktů. Musí splňovat určité vlastnosti, složení a také k jejich využívání musí být dobré legislativní a ekonomické podmínky. Různá chemická složení vedlejších produktů, dle způsobu spalování či druhu spalovaného materiálu výrazně ovlivňuje možnost jejich využívání, poněvadž poté nemusí splňovat podmínky dané určitou normou na znovuvyužití.

Některé energetické závody využívají vedlejší produkty ihned ve svém areálu či bližším okolí, jako například Elektrárna Počerady a vedle provoz na zpracování sádrovce KNAUF, využívající energosádrovec z elektrárny. Ovšem v některých závodech není pro vedlejší produkty odbytu a jsou ještě stále ukládány na skládky, poněvadž je jak logisticky tak ekonomicky náročné je dovážet do vzdálenějších závodů na jejich zpracování.

Při zpracování této bakalářské práce jsem došel k závěru, že využívání vedlejších produktů je celosvětově na dobré úrovni a je mnoho možností, jak vedlejší produkty využívat a nemuset je jen ukládat na skládku. Ovšem je třeba zlepšit logistiku vedlejších produktů a tím zlepšit efektivitu využívání vedlejších produktů.



## **6. SEZNAM ZKRATEK**

- ASTM: American Society for Testing
- BSK: Biochemická spotřeba kyslíku
- ČEZ: české energetické závody
- ČSN: česká státní norma
- EN: evropská norma
- CHSK: Chemická spotřeba kyslíku
- OKD: Ostravsko-karvinské doly
- PCB: Polychlorované bifenyly
- SKD: sádrokartonové desky

## 7. LITERATURA A POUŽITÉ ZDROJE

- 1) Ahmaruzzaman M., 2010: A review on the utilization of fly ash. *Progress in Energy and Combustion Science* 36: 327–363
- 2) Altmann V., Fries J., Jeřábek K., Voštová V., 2009: *Logistika odpadového hospodářství. České vysoké učení technické v Praze, Praha: 349 s.*
- 3) ASTM, 2005: Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete (C618-05). In *Annual book of ASTM standards, concrete and aggregates, vol. 04.02. American Society for Testing Materials*
- 4) Branštetr J., 1994: Tuhé produkty spalování uhlí. *Technický týdeník* 42/22, 11–12.
- 5) Čáblík V., Farkašová A., Fečko P., Kušnierová M., Lyčková B., 2003: *Popílký. VŠB – technická univerzita Ostrava, Ostrava: 187 s.*
- 6) CEMC, 2004: Zpráva úkolu VaV č 1C/7/41/04 „Modely produkčních a odbytových bilancí pro vybrané toky odpadů“, Praha. In *Odpadové fórum* 3/2005
- 7) ČEZ, 2009a: ČEZ energetické produkty s. r. o., online: <http://www.cezep.cz/produkty.html>, cit.:28.12.2010
- 8) ČEZ, 2009c: Struska. ČEZ energetické produkty s. r. o., online: <http://www.cezep.cz/zakaznický-modul/prispevek/55870.html>, cit.: 13.4.2011
- 9) ČEZ, 2010a: Mokrý vápencová vypírka spalin. ČEZ energetické produkty s. r. o., online: [http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/vypirka\\_5.html](http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/vypirka_5.html) cit.: 28.12.2010
- 10) ČEZ, 2010b: Možnosti využití odpadů z energetiky. ČEZ energetické produkty s. r. o., online: [http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/moznosti\\_6.html](http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/moznosti_6.html) cit.: 28.12.2010

- 11) Ing. Černý V., 2006: Kameniva ze spékaných popílků. Vysoké učení technické v Brně, Brno
- 12) ECOBA: European Coal Combustions Products Assosiation. Online: <http://www.ecoba.com/ecobacepspec.html>, cit. 10.4.2011
- 13) EPA, 2010: U.S. Environmental Protection Agency. Online: <http://www.epa.gov/osw/consERVE/rrr/imr/ccps/bottomash.htm> cit. 10.4.2011
- 14) Kafka Z., Punčochářová J, 2000: Využití procesu solidifikace/stabilizace při zneškodňování nebezpečných složek v průmyslových odpadech. IUAPPA 2000: 178-181, online: [http://www.umad.de/infos/iuappa/pdf/B\\_17.pdf](http://www.umad.de/infos/iuappa/pdf/B_17.pdf)
- 15) Ing. Kolář L. CSc, 1969: Popílký a možnosti jejich využití. Práce, Praha: 92 s.
- 16) Koš A., ing. Strnad J., ing. Dr. Vavřín F., 1960. Škvára ve stavebnictví. Státní nakaldatelství technické literatury, Praha: 223 s.
- 17) Kraitr M. a kolektiv, 1999: Chemický průmysl v České republice. ZČU v Plzni, Plzeň
- 18) Lebner P. a Ledererová J., 2008: Využití průmyslových odpadních materiálů při výrobě stavebních hmot. Stavebnictví 04/08. Online: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=753> cit.: 15.3.2011
- 19) Mezencevová A., 2003: Možnosti zužitkovania energetických popolčekov. Acta Montanistica Slovaca 2-3/8: 148 – 149
- 20) Michalíková F., 1997: Možnosti zužitkovania skládok energetického popolčeka. Sborník konferencie „Odpady 97“, Spišská Nová Ves, str. 121 – 127 in Fečko a kol.
- 21) MPO: Ministerstvo průmyslu a obchodu. Online: <http://www.odpadjeenergie.cz/vyroba-energie/proces-1/zachyceni-popilku-zpracovani-skvary-a-popilku-cisteni-spalin.aspx> cit. 10.4.2011
- 22) MŽP, 2001: Zákon o odpadech číslo 185/2001 Sb, v platném znění

- 23) Ing. Nechanický M., 2005. Elektrárny. Online: <http://elnet.wz.cz/Spss.htm>, cit.: 13.3.2011
- 24) Padia A.S., 1976: The behavior of ash in pulverized coal under simulated combustion conditions. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- 25) Ing. Petříková V., DrSc., 2001: Využití energetických popelů k čištění odpadních vod. In.: Ing. Sergej Ust'ak, CSc. (ed): Materiálové a energetické využití odpadů, Praha, str.58-64 "
- 26) Ing. Petříková V., DrSc., 2000: Popílek a odpadní vody – čištění na filtrech CINIS. Odpady 3/2000: 23-24
- 27) Ram L., Masto R., 2010: An appraisal of the potential use of fly ash for reclaiming coal mine spoil. Journal of Environmental Management 91: 603–617
- 28) Směrnice evropského parlamentu a rady (ES) č. 98/2008 o odpadech a zrušení některých směrnic, v platném znění
- 29) Smith S. E., 2011: What is bottom ash?. online: <http://www.wisegeek.com/what-is-bottom-ash.htm>, cit.: 14.4.2011
- 30) Sokolář R., Smetanová L., 2005: Elektrárenské popílky jako základní surovina páleného keramického střepu. Sborník konference Recycling 2005, Brno: 138-143 s.
- 31) Sokolář R., 2010: Vedlejší energetické produkty ve výrobě stavební keramiky. Odpadové fórum 4/2010. Online: <http://www.tretiruka.cz/news/vedlejsi-energeticke-produkty-ve-vyrobe-stavebni-keramiky/> cit.: 10.4.2011
- 32) Univerza-SoP, 2008: Projekt SP2f3/118/08 "Výzkum skutečných vlastností odpadů považovaných za vhodný zdroj nestandardních surovin (zejména vedlejších energetických produktů) ve smyslu současných právních požadavků na ochranu zdraví lidí, životní prostředí a vyhodnocení získaných informací pro stanovení bezpečných postupů a požadavků pro jejich používání". Univerza-Středisko odpadů Praha, s. r. o., Praha.

- 33) Vejvoda J., Buryan P., Svrček P., 1998: Odsiřování spalin v České republice. Acta Montanistica Slovaca 3/3: 262-266
- 34) VUT, 2004a: Vysoké učení technické v Brně, Brno, online: <http://waste.fce.vutbr.cz/Odpad/energoadrovec.html> cit. 13.3.2011
- 35) VUT, 2004b: Vysoké učení technické v Brně, Brno, online: <http://waste.fce.vutbr.cz/Odpad/popilek.html> cit. 22.3.2011
- 36) Anonym1: Vedlejší energetické produkty. online: <http://www.vodni-tepelne-elektrarny.cz/vedlejsi-energeticke-produkty.htm>, cit. 28.12.2010
- 37) Anonym2: Mokrý vápencová vypírka spalin. Online: [http://www.energyweb.cz/web/index.php?display\\_page=2&subitem=1&ee\\_chapter=2.5.6](http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.5.6) cit. 14.3.2011
- 38) Anonym3, 2010: Gypsum. online: [www.wikipedia.org/wiki/Gypsum](http://www.wikipedia.org/wiki/Gypsum) cit. 28.12.2010
- 39) Anonym4: Vedlejší energetické produkty. online: [http://www.ucitsnadno.cz/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=85&category\\_id=11&option=com\\_virtuemart&Itemid=63](http://www.ucitsnadno.cz/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=85&category_id=11&option=com_virtuemart&Itemid=63) dne 14.3.2011
- 40) Anonym5, 2010: Fly ash. online: [http://www.wikipedia.org/wiki/Fly\\_ash](http://www.wikipedia.org/wiki/Fly_ash) cit. 28.12.2010

## 8. ZDROJE OBRÁZKŮ

- 1) ALGBV: The Aardelite product, Aarding Lightweight Granulates B.V., Nunspeet, online: [www.aardinglg.com/aardelite-product.html](http://www.aardinglg.com/aardelite-product.html), cit.: 20.4.2011
- 2) CCCP, 2007: Screened bottom ash. Coletto Coal Combustions Products, online: <http://colettoash.com/screenedbottomash.aspx>, cit.:15.4.2011
- 3) FHWA, 2011: Fly Ash Facts for Highway Engineers. U.S. Department of Transportation. Online: <http://www.fhwa.dot.gov/PAVEMENT/recycling/fach01.cfm>, cit.:10.4.2011
- 4) PE, 2008: Vedlejší energetické produkty. Plzeňská energetika a. s., Plzeň, online: <http://www.pe.cz/index.php?goto=text&sekce=hOplF8Tr&tid=3tAKeEHY&lng=cz>, cit.: 21.4.2011
- 5) Anonym2, Online: [http://www.energyweb.cz/web/index.php?display\\_page=2&subitem=1&ee\\_chapter=2.5.6](http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.5.6) cit. 14.3.2011
- 6) Anonym6: Možnosti využívání odpadů z energetiky, online: [http://www.energyweb.cz/web/index.php?display\\_page=2&subitem=1&ee\\_chapter=2.6.7](http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.6.7), cit.: 11.4.2011

## 9. ZDROJE TABULEK

- 1) Ahmaruzzaman M., 2010: A review on the utilization of fly ash. Progress in Energy and Combustion Science 36: 327–363
- 2) ČEZ, 2009b: ČEZ energetické produkty s. r. o., online: <http://www.cezep.cz/zakaznicky-modul/prispevek/55869.html> cit. 16.3.2011
- 3) Koš A., ing. Strnad J., ing. Dr. Vavřín F., 1960. Škvára ve stavebnictví. Státní nakladatelství technické literatury, Praha: 223 s.