

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra aplikované ekologie



Odpady a vedlejší produkty z energetiky

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Dvořák

Bakalant: Sławomir Serafin

2015 ©

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra aplikované ekologie

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Slawomir Serafin

Územní technická a správní služba

Název práce

Odpady a vedlejší produkty z energetiky

Název anglicky

Coal combustion products and waste

Cíle práce

1. Rozdělení zbytků po spalování uhlí na jednotlivé typy dle chemických a fyzikálních vlastností.
2. Analýza právních předpisů platných v ČR pro rozlišení vedlejších produktů a odpadů.
3. Identifikace a kvantifikace odpadů a vedlejších produktů ze spalovacích procesů pro ČR na základě dostupných dat. Nalezení materiálových toků těchto materiálů při jejich odstraňování nebo využívání.

Metodika

1. Na základě rešerše z tuzemské i zahraniční literatury budou rozděleny zbytky po spalování uhlí na základní typy. Na základě rešerše budou hodnoceny fyzikálně-chemické vlastnosti, vliv výroby energie na tyto vlastnosti (proměnlivost kvality) a možná rizika při konečném užití těchto materiálů.
2. Analýza platných právních předpisů bude zaměřena zejména na rozdíly mezi nakládáním s vedlejším produktem a odpadem. Dále budou shrnuty předpisy ČR a EU pro přepravu těchto materiálů přes hranice států a obecně dokumenty určující kritéria konce odpadů.
3. Na základě dostupných a podnikových dat budou nalezeny a kvantifikovány materiálové toky zbytků po spalování uhlí ve formě odpadů a vedlejších produktů až po jejich konečné využití nebo odstranění.

Doporučený rozsah práce

40 stran textu

Klíčová slova

popílek, struska, energosádrovec, zbytky po spalování uhlí, využívání odpadů

Doporučené zdroje informací

Další odborná a vědecká literatura v dané problematice

Popílky ve stavebnictví 2013: I. mezinárodní konference : [15.-17. května 2013, Brno] : sborník přednášek. Brno: Asociace pro využití energetických produktů v nakl. Novpress, 2013, 183 s. ISBN 978-80-87342-17-6.

Sajwan, K.S., Twardowska, I., Punshon, T., Alva, A.K., 2006: Coal Combustion Byproducts and Environmental Issues. Springer, XV, 241 s. ISBN: 0387258655.

WILLIAMS, P. T., 2005: Waste treatment and disposal. 2nd ed. Chichester: Wiley, x, 380 s. ISBN 978-0-470-84912-5

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Jaroslav Dvořák

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2015

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 05. 04. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Dvořáka s použitím řádně citované literatury.

V Litvínově dne 5. 4. 2015

.....
Sławomir Serafin

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jaroslavovi Dvořákovi za jeho odbornou pomoc, konzultace, udání směru mé práce a za poskytnutí řady cenných rad při jejím zpracování.

Abstrakt

V této bakalářské práci popisuji produkty vznikající při výrobě elektrické energie a tepla po spalování uhlí nebo během procesu čištění spalin. Tyto vedlejší energetické produkty jsem rozdělil na jednotlivé typy dle chemických a fyzikálních vlastností. V další části práce jsem provedl analýzu právních předpisů platných v ČR pro rozlišení vedlejších produktů a odpadů. A na závěr jsem z dostupných dat kvantifikoval materiálové toky těchto materiálů.

Klíčová slova: popílek, struska, energosádrovec, zbytky po spalování uhlí, využívání odpadů

Abstract

In this thesis I describe the products that are produced by electric power and heat production after coal combustion or during flue gas cleaning process. I divided these secondary energy products into different types according to the chemical and physical properties. In another part I analyzed the laws valid in the Czech Republic for differentiation of by-products and waste. Finally, from the available data I quantified the material flow of these products.

Keywords: ash, slag, gypsum, coal combustion residues, waste utilization

Obsah:

1. Úvod	9
2. Cíle práce	10
3. Literární rešerše	10
3.1 Historický vývoj	10
3.2 Uhlí	11
3.3 Výroba energie a vedlejších produktů.....	12
3.4 Vedlejší energetické produkty.....	13
3.4.1 Popílek	14
3.4.2 Popílky klasické.....	20
3.4.3 Popílky fluidní.....	21
3.4.4 Struska	22
3.4.5 Energosádrovec.....	22
3.4.6 REA produkt.....	25
3.4.7 Stabilizát	26
3.5 Analýza materiálových toků	26
4. Metodika	27
4.1 Rozdělení produktů	27
4.2 Právní předpisy	28
4.3 Identifikace a kvantifikace	28
5. Výsledky	28
5.1 Rozdělení produktů	28
5.1.1 Popílek klasický.....	30
5.1.2 Popílky fluidní.....	30
5.1.3 Struska	31
5.1.4 Energosádrovec.....	31
5.1.5 REA produkt.....	31
5.1.6 Stabilizát	32
5.2 Právní předpisy.....	32
5.2.1 Odpad-vedlejší produkt.....	32
5.2.2 Katalog odpadů	34
5.2.3 Právní předpisy – stavební výrobek.....	36
5.2.4 Aktualizace technických návodů	38
5.2.5 REACH.....	39

5.2.6 REACH a VEP	40
5.3 Identifikace a kvantifikace.....	43
5.3.1 Identifikace materiálových toků ve skupině ČEZ. A. s.....	43
5.3.2 Kvantifikace materiálových toků v elektrárně Počeradý	45
6. Diskuze	46
7. Závěr.....	47
8. Přehled literatury a použitých zdrojů	48

1. Úvod

Odpady a vedlejší produkty z energetiky jsou tuhé zbytky, které vznikají během výroby elektrické energie a tepla v uhelných elektrárnách spalováním uhlí nebo při procesech spojených s odsiřováním spalin. V těchto zdrojích se vyrobí 57 % elektrické energie vyrobené v ČR. Z tohoto důvodu se řadí energetický průmysl k jednomu z největších producentů odpadů a vedlejších produktů. To znamená roční produkci cca 15 miliónů tun látek vyrobených při výrobě elektrické energie a tepla.

V EU jsou ze zákona stanoveny požadavky k využití vedlejších energetických produktů. Do českého práva byly tyto požadavky vloženy tzv. euronovelou zákona o odpadech v roce 2010, ve kterém se uvádí povinnost producentů využívat tyto látky před jejich odstraněním jako odpady. Dle zákona vedlejší produkt má přednostní využití jako materiálu před jakýmkoliv jiným využitím. Tyto zákonné požadavky jsou někdy neslučitelné se životním prostředím. Z tohoto důvodu je důležité se naučit využívat vzniklé odpadní materiály hlavně jako druhotnou surovinu, která nám nahrazuje těžené přírodní zdroje a snažit se je uplatňovat i v moderních technologiích a nejen převážně ve stavebnictví. Fyzikální a chemické vlastnosti těchto látek jsou závislé na kvalitě a způsobu spalování uhlí. Ekologické požadavky na odpady a vedlejší produkty z energetiky, které mají být dále využity jsou velmi přísné. V tomto směru se musí postupovat podle platných právních předpisů z oblasti životního prostředí, kde se vychází ze zákona o odpadech a z prováděcích vyhlášek tohoto zákona. Ve všech členských státech EU koncem roku 2006 vstoupilo v platnost legislativní opatření ES č. 1907/2006, které je známo jako nařízení REACH. Toto nařízení má za cíl zajistit zlepšení ochrany lidského zdraví a omezení nepříznivého dopadu na životní prostředí.

Zabezpečení energie patří k hlavním prioritám každé civilizované společnosti. Česká republika je v dnešní době soběstačná jen ve výrobě elektrické energie převážně z uhlí, protože tuto surovinu těží na svém území. Do té doby než nalezneme a budeme mít možnost získat čistější zdroj energie v požadovaném množství, nám nezbývá nic jiného, než využívat stávající zdroje, které nám zajistí dostatek potřebné energie. Dle odhadů Nezávislé energetické komise lze předpokládat plné využití tuzemských fosilních zdrojů. Proto je nutné vytvářet podmínky jak legislativní tak

technologické pro co nejlepší a nejrozzumnější ekologické využití odpadů a vedlejších energetických produktů (dále jen VEP).

2. Cíle práce

V této bakalářské práci budou na základě rešerše tuzemské a zahraniční literatury rozděleny zbytky po spalování uhlí na základní typy. Bude provedena analýza právních předpisů, která se zaměří zejména na rozdíly mezi nakládáním s vedlejším produktem a odpadem. U vybraného výrobce bude provedeno vlastní šetření, na jehož základě bude provedena analýza materiálových toků.

Cílem práce je tedy:

- Rozdělení zbytků po spalování uhlí na základní typy.
- Analýza právních předpisů.
- Identifikace a kvantifikace materiálových toků u vybraného výrobce.

Přínosem práce je zdokumentování současného stavu nakládání s odpady a produkty z energetiky.

3. Literární rešerše

3.1 Historický vývoj

Už ve 30. letech minulého století se vyvinulo úsilí dodávat zvyšující se množství popílků ze spalování uhlí v elektrárnách v Evropě a Americe k využití v průmyslu stavebních hmot. Navrhovalo se jejich použití jako náhrady za cement, jako příměs do pórobetonu atd. Ve Spojených státech nahradil v roce 1948 popílek při stavbě přehrady Hungry Horse v Montaně až 35% portlandského cementu v přibližně 3 milionech m³ betonu (Lutze et al., 2008).

3.2 Uhlí

Uhlí je koloidní tuhá přírodní hornina, která patří do uhelné řady kaustobiolitů. Vzniklo přeměnou organických látek zejména dřevnatého rostlinného materiálu, po rozkladu byly látky převrstveny usazeniny a bez přístupu vzduchu zuhelnatěly. Na jeho vlastnosti a výhřevnost má vliv intenzita a doba procesu karbonifikace. Čím delší dobu proces trval, tím více obsahuje palivo uhlíku a méně kyslíku. Podle geologického stáří se tak mění podíly C, H, O, N a S v hořlavině. Uhlík, vodík a kyslík ovlivňují proces spalování, na tvorbu emisí má vliv přítomnost dusíku a síry (VEC-VŠB, 2005).

Uhlí je složeno z organických a minerálních látek. Organická složka uhlí určuje energetický výkon při spalování. Minerální látky ovlivňují spalování, které záleží na pórovitosti a propustnosti uhlí (Romeo, 2013).

Fosilní palivo kamenné uhlí je organický sediment, který vznikl na místě usazování zbytků rostlin a zvířat a tyto se geologickými procesy změnil na uhlí. Ložiska černého uhlí vznikala převážně v době karbonu před 285 až 360 miliony roky. Černé uhlí se skládá z velmi výhřevného organického podílu (uhlík) a z podílu 5 hm. % až 35 hm. % úpravou neoddělitelných doprovodných minerálů - popela. Kvalita uhlí se rozlišuje podle obsahu uhlíku, podle těkavých složek, obsahu síry a podle obsahu doprovodných minerálů. Pouze určité vybrané kvality jsou vhodné jako energetické uhlí v uhelných elektrárnách. Po vyrobání se od černého uhlí flotací a jinými způsoby z větší části oddělí společně dobývaná doprovodná hornina jako takzvaná hlušina. Aby bylo dosaženo definovaných vlastností, často se smísí ve speciálních mísících zařízeních v areálu elektrárny uhlí různého původu (Lutze et al., 2008).

Struktura a výsledná vlastnost, chování uhlí jsou často závislé na prostorovém uspořádání a množství prvků C, H, N, O, S, také vody a kationtů v uhlí, minerálních látek a procesních podmínek: velikost částic, hmotnost, rychlost zahřívání, atd. Pomineme-li posledně jmenované komponenty a soustředíme-li se na elementární složení, je možno předpovědět velké množství parametrů uhlí (Mathews et al., 2014).

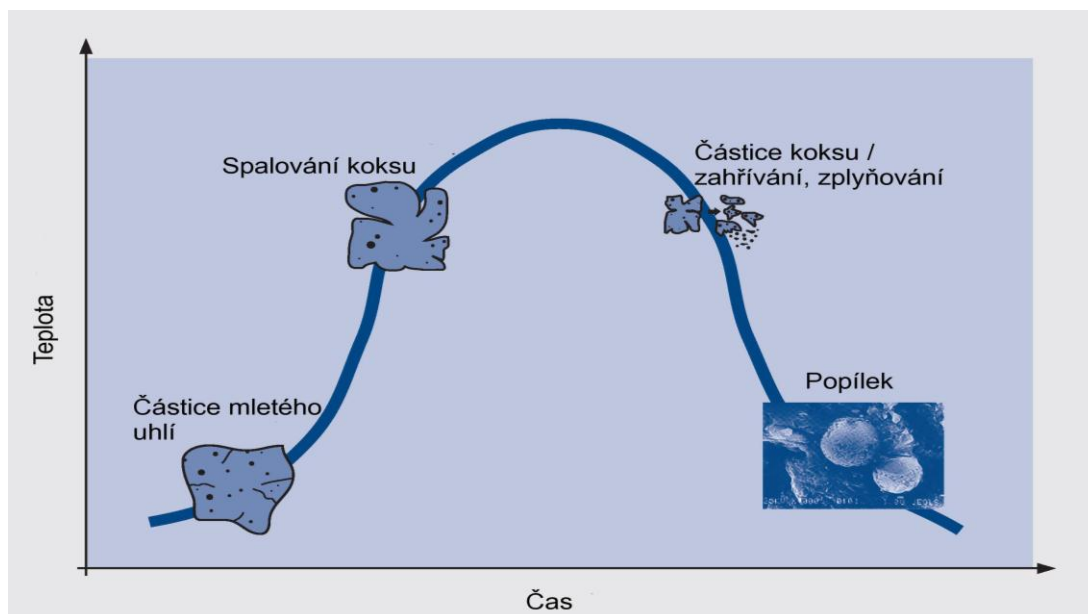
Kvalitu uhlí ovlivňuje množství hořlaviny, popeloviny a vody, které uhlí obsahuje. Hořlavina představuje sumární obsah spalitelných látek. Rozlišujeme hořlavinu prchavou, která významně ovlivňuje průběh vznícení paliva a tuhý zbytek.

Popelovina představuje směs chemicky vázaných minerálů, během spalování dochází vlivem chemických reakcí k tvorbě produktů, které pak tvoří popel. Popelovina je tvořena především z jílu, karbonátů, sulfidů, sulfátů, oxidů a halogenních minerálů. Je rozptýlená v uhelné hmotě a částečně vázaná na uhelnou hořlavinu (VEC-VŠB, 2005).

Uhlí, které je v elektrárnách používáno pro výrobu elektrické a tepelné energie není klasický produkt. Jedná se o přírodní materiál s různorodým složením a vlastnostmi také i nebezpečnými. Typickými kontaminanty jsou stopová množství těžkých kovů (např. As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, V), příp. i radioaktivita (Vítejte na zemi, 2013).

3.3 Výroba energie a vedlejších produktů

Z lomu se uhlí přepravuje po železnici, nákladními auty nebo lodní dopravou do elektráren, kde se dle potřeby deponuje nebo se doveze přímo do elektrárenských zásobníků na uhlí. Potom se v uhelných mlýnech (většinou válcové mlýny) pomele na jemný prach. Prosíváním se nastaví jemnost prachu, při které má 80 hm. % částic uhlí velikost zrn $< 90 \mu\text{m}$. Uhlý prach se dopraví spolu se spalovacím vzduchem k hořákům a tak se dostane do ohniště, kde se během několika sekund organické složky uhlí spálí za současného uvolnění tepla. Nehořlavé minerální složky zčásti aglomerují na větší částice a dopadají podle druhu spalování v kapalně nebo tuhé formě na dno kotle. Tak vzniká v ohništi s tavicí komorou (teplota 1500°C až 1700°C) sklovitý granulát (v tavicí komoře) a v granulačním ohništi při teplotách 1100°C až 1300°C poté struska. Jemné minerální částice, nacházející se ve spalinách, se taktéž většinou roztaví. Jsou strženy spalinami a ztuhnou při ochlazování na sklovito-amorfní částice popela s převážně kulovitým tvarem zrn (Obr. 1).



Obr. 1- Od zrnka uhlí k popílku (Lutze et al., 2008).

Část roztavených jemných minerálních částic je strhávána spalinami a po prudkém ochlazení z nich vznikají sklovitě – amorfní částice s převážně kulovitým tvarem zrn. Tyto částice představují tzv. úletový popílek, z toho angl. název fly ash. Částice popílku jsou potom soustavou vícenásobných mechanických a elektrostatických odlučovačů a filtrů oddělené od spalin a zachytávané ve formě „čistého“ popílku (Lutze et al., 2008).

3.4 Vedlejší energetické produkty

Základními energetickými produkty vyrobenými v uhelných elektrárnách jsou elektřina a teplo, odpady z jejich výroby jsou VEP. Po uhlí, které je spalováno v tepelných elektrárnách, zůstává nespalitelný pevný podíl v množství 25–30 % ze vstupního objemu paliva. Ten se musí z elektrárny odstraňovat. Ne jako odpad, který se ukládá na skládkách odpadu, ale v co největší míře ho využít jako VEP (Čez EP, 2009).

Toto pravidlo v minulých letech neplatilo a proto se v minulosti odpady a vedlejší produkty z energetiky ukládaly na velké hromady většinou kolem elektráren. Výroba těchto produktů představovala vážné ohrožení vody, půdy, ovzduší a

potażmo všech živých organismů. Během posledních dvou desetiletí, došlo k progresivnímu výzkumu v této oblasti energetiky a to v ekonomické životaschopnosti, bezpečnosti životního prostředí a efektivnímu využití odpadních produktů vytvořených v důsledku výroby elektrické a tepelné energie. To mělo za následek vznik čistých uhelných technologií, které se zaměřují na minimální dopad na životní prostředí, a to zejména v omezování znečištění ovzduší a zajistí více prospěšných využitelných zbytků ve srovnání s konvenčními metodami spalování. V celkovém pohledu také sníží emise znečišťujících látek, snížení vzniku odpadů a zvýšení množství energie získané na jednotku množství spalování uhlí tzv. zvýšení účinnosti uhelných elektráren (Seshadri et al., 2013).

VEP za určitých okolností, jsou jako alternativy přírodních materiálů. Také jsou využívány pro obnovu půdy. Bylo prokázáno, že zlepšují fyzikální, chemické a biologické vlastnosti degradovaných půd. Používají se k zasypávání a rekultivaci dolů, kde mají velké využití. VEP mohou zvyšovat zátěž na životní prostředí jako například vyplavování škodlivých prvků do životního prostředí. Z toho důvodu je nutné posuzovat a sledovat možné dopady na životní prostředí. Ve většině zemí považují VEP za odpad, ale ne nebezpečný. Nicméně k vysoké potencionální produkci jsou nutné další výzkumy a angažmá na vládní úrovni (Park J. H. et al., 2014).

Na konci osmdesátých a počátkem devadesátých let některé země jako Francie, Německo, Jižní Korea a Nizozemsko využívaly VEP z 90 %. V roce 2009 Japonsko a patnáct zemí v Evropě využívalo více než 89 % produktů po spalování uhlí. Opětovné využití a inovace odpadu mohou být ovlivněny předpisy, které podporují využívání odpadů, předpisy, které se zabývají odstraňováním odpadů a předpisy, které mají nepřímý vliv na změnu množství a kvality odpadu (Park J. Y., 2014).

3.4.1 Popílek

Popílek je jemný prášek skládající se převážně z kulovitých sklovitých částic, vznikajících při spalování uhlí. Má pucolánové vlastnosti a skládá se převážně z SiO_2 a Al_2O_3 . Popílek se získává elektrostatickým nebo mechanickým odlučováním prachových částic ze spalin spalovacích zařízení vytápěných práškovým uhlím. Jedná se o heterogenní směs částic o velikosti zrn 0 - 1 mm, které se od sebe liší

svými fyzikálními, chemickými, mineralogickými, morfologickými a technologickými vlastnostmi. Uvedené vlastnosti jsou ovlivněné zejména kvalitou spalovaného uhlí a typem spalovacího zařízení (Siddique, 2010).

Popílky s nízkým obsahem reaktivního vápníku a vysokým obsahem reaktivního SiO_2 se označují jako popílky křemičitanové nebo bohaté na křemík. Vápenaté popílky (obsah reaktivního $\text{CaO} > 10 \text{ hm.}\%$) se bez ohledu na uvedené výjimky doposud málo využívají jako příměs do betonu. Vápenaté popílky se však mohou podle ČSN EN 197-1 [N 3] používat jako hlavní složka na výrobu portlandského popílkového cementu CEM II/A-W nebo CEM II/B-W. Popílek odpovídající ČSN EN 450-1 se dá vyrobit i úpravou ve vhodných výrobních zařízeních. Upravený popílek se může sestávat z různých zdrojů, přičemž každý z použitých popílků musí vyhovovat výše uvedené definici (Lutze et al., 2008).

Popílky jsou tuhé zbytky vznikající během spalování uhlí, získávané zachycováním v odlučovacích. Jedná se o heterogenní směs částic o velikosti zrn 0 - 1 mm, které se od sebe liší svými fyzikálními, chemickými, mineralogickými, morfologickými a technologickými vlastnostmi. Uvedené vlastnosti jsou ovlivněné zejména kvalitou spalovaného uhlí a typem spalovacího zařízení. Podle způsobu spalování rozeznáváme popílky klasické, vzniklé z klasického způsobu spalování a popílky fluidní (Féčko et al., 2003).

Mineralogické a chemické složení

Chemické složení popílku je charakterizováno třemi základními složkami. Z celkového obsahu popílku zastupují asi 90% SiO_2 (oxid křemičitý), Al_2O_3 (oxid hlinitý) a Fe_2O_3 (oxid železitý). Dále se v popílku v menším zastoupení vyskytují CaO (oxid vápenatý), K_2O a Na_2O (oxidy alkalických kovů), SO_3 (oxid sírový), TiO_2 (oxid titaničitý) a jiné. Procentuální zastoupení jednotlivých oxidů v popílku je poměrně variabilní v závislosti od typu uhlí. Navíc pro jednotlivé typy uhlí jsou rozmezí poměrně široká. Proto je potřeba posuzovat každý popílek zvlášť. I v rámci jednoho zdroje popílku se jeho chemické složení i fyzikální vlastnosti v průběhu času v určitém rozsahu mění (Lutze et al., 2008).

Z hlediska použitelnosti popílků je důležitý parametr ztráta žiháním, což představuje množství zbytkového uhlíku, který zůstal v popílku po spálení uhlí v kotli. Především pro jeho nevyhovující vysoký obsah jsou mnohé popílků nevhodné pro použití jako příměs do betonu. Popílek používaný jako příměs typu II do betonu se obvykle rozděluje do dvou skupin v závislosti od obsahu vápenné složky. Kritériem zatřídění popílku do dané skupiny je tedy množství CaO v popílku, přičemž není stanovena přesná hodnota pro toto rozdělení. Obvykle je to 8 % hm. Do první skupiny patří tzv. popílek s nízkým obsahem vápníku, který obvykle vzniká spalováním černého nebo i kvalitního hnědého uhlí. Tento popílek se nazývá též křemičitý. Do druhé skupiny patří tzv. popílek s vyšším obsahem vápníku, který je též nazýván jako vápenatý. Tento popílek vzniká spalováním méně kvalitního hnědého uhlí. Převážnou část obou typů popílku představuje amorfní sklo. První typ je charakterizovaný obsahem minerálů jako je křemen, mullit, vápno, hematit a magnetit, zatím co druhý typ obsahuje zejména galenit, křemen, mullit, vápno, anhydrit a cementové minerály jako C3A a C2S. Oba typy vykazují pucolánové vlastnosti, přičemž druhý typ vykazuje navíc i hydraulické schopnosti, vzhledem na vyšší obsah CaO (Lutze et al., 2008).

Pro vlastnosti uhelných popílků jsou určující především vlastnosti uhlí, z kterého popílků vznikají, ale také teplota a podmínky spalování uhlí a způsob odlučování popílku ze spalin. Teplota spalování je přitom vázaná na technické parametry spalovacího zařízení, přičemž podmiňuje vznik různých minerálních produktů. Popílků mají různé chemické, mineralogické i granulometrické složení, které ovlivňuje jeho použití v betonu, a proto vlastnosti popílku ovlivňují i vlastnosti samotného betonu. Charakteristiky každého popílku závisí na více faktorech, přičemž mezi nejvýznamnější patří:

- a) zdroj spalovaného materiálu, tedy lokalita, ze které surovina pochází
- b) složení původní suroviny – typ uhlí a jeho chemické a mineralogické složení
- c) podmínky hoření – teplota, délka, teplotní průběh
- d) v případě použití jiných spalovaných látek jejich vlastnosti

Pro chemické složení a pro fázové složení (obsah jednotlivých minerálů) popílků jsou určující druhy minerálů přítomné v průvodní hornině a v uhlí. K nejčastějším a nejrozšířenějším uhelným minerálům patří jílovité minerály, sulfidy železnaté a

uhličitanů. Tyto minerály mohou tvořit až 95 % z celkového množství minerálů v uhlí. Kromě toho je zde přítomen křemen a různé oxidy a hydroxidy železa. Fázové složení černouhelných minerálů je srovnatelné se surovinami silnostěnné keramiky (jílové břidlice apod.) (Lutze et al., 2008).

Při pálení částic uhelného prachu se v plameni hořáku na práškové uhlí doprovodné minerály uhlí zahřejí na teploty nad 1300 °C. Přitom probíhají procesy látkové přeměny jako odvodnění, odkysličování a slinutí. Převážný podíl minerálních látek se roztaví a ztuhne sklovito-amorfně po bezprostředně následujícím ochlazení v proudu spalin. Výsledný obsah skla v popílku je přibližně mezi 60 až 85 hm.%. V základní minerální fázi se jsou přítomny v krystalické formě především mulit (jako rekrystalizační produkt z hlinitokřemičitanové taveniny), křemen a oxidy železnaté (Tab. 1).

minerální fáze	podíly (hm. %), černé uhlí	Podíly (hm. %), hnědé uhlí
Sklo	60 ... 83	< 75%
mulit	4 ... 25	10 ... 32
Křemen	4 ... 18	4 ... 15
Hematit	0,5 ... 2	0,7 ... 4
magnetit	1 ... 7	0,5 ... 5
polétavý koks	0,5 ... 5	n.a.

Tab. 1 - Minerální fáze popílku bohatého na křemík (ČEZ, 2012)

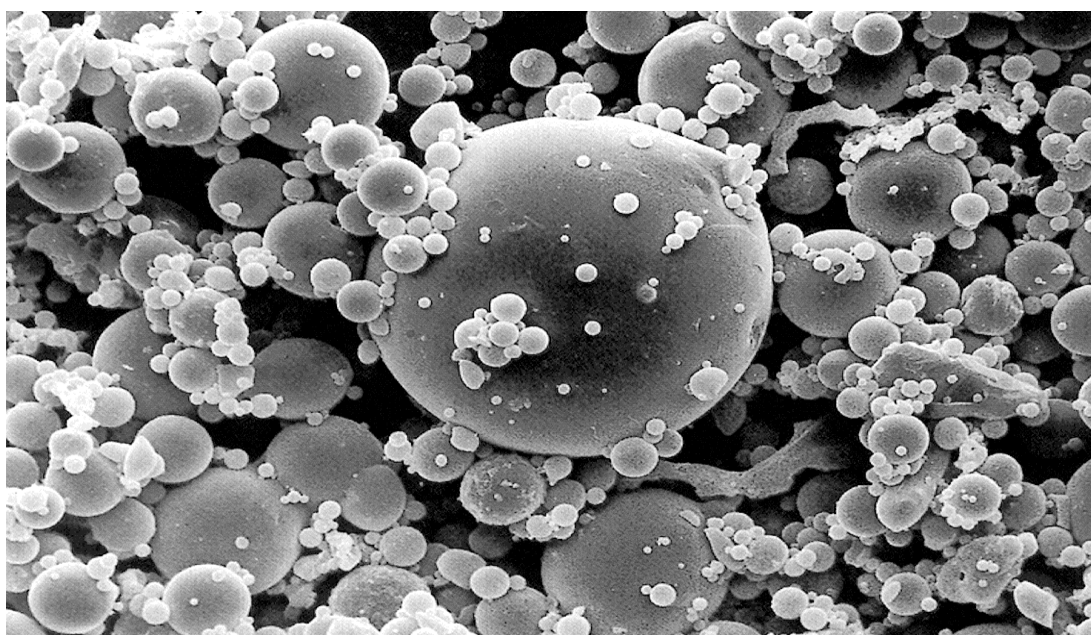
Z popsaného fázového stavu minerálů vyplývá chemické složení popílku charakterizované třemi hlavními složkami SiO₂ (oxid křemičitý) a Fe₂O₃ (oxid železitý) a Al₂O₃ (oxid hlinitý). Na rozdíl od většiny popílků z elektráren na hnědé uhlí jsou popílků ze spalování černého uhlí chudé na vápník a sírany a bohaté na křemík (Tab. 2). Stopové prvky jako např. olovo, nikl, a arzén jsou zastoupeny jen v nepatrných koncentracích. Nedosahují společně se zinkem a manganem ani 0,1 hm. %. Organické stopové látky jako polycyklické aromatické uhlovodíky např. dioxiny a furany nejsou podle očekávání prokázány vzhledem ke složení výchozího paliva a v důsledku vysokoteplotního spalování v kotli, nebo jsou zjištěné pouze na hranici meze detekce (Lutze et al., 2008).

Komponenty	Podíly (hm. %), černé uhlí	Podíly (hm. %), hnědé uhlí
SiO ₂	36 ... 59	44 ... 56
Al ₂ O ₃	20 ... 35	21 ... 33
Fe ₂ O ₃	3 ... 19	5 ... 16
CaO	1 ... 12	1 ... 4,6
MgO	0,7 ... 4,8	0,9 ... 2,5
K ₂ O	0,5 ... 6	0,9 ... 3,2
Na ₂ O	0,1 ... 3,5	< 1,0
SO ₃	0,1 ... 2	0,2 ... 0,7
TiO ₂	0,5 ... 1,8	1 ... 5
ztráta žiháním	0,5 ... 5	0,8 ... 3,3

Tab. 2 - Chemické složení popílku bohatého na křemík (ČEZ, 2012)

Fyzikální vlastnosti

Příznivé vlastnosti popílku v čerstvém betonu jsou určované v podstatě tvarem zrn a granulometrickým složením. Při roztavení velmi jemných minerálů uhlí v kotli vyvolá povrchové napětí nastupující fáze tavení tvorbu kulovitých částic s uzavřeným povrchem. Kromě nepórovitých plných kuliček se mohou jednotlivě vyskytovat duté kuličky (takzvané cenosféry) a vyplněné kuličky (plerosféry) (Obr. 2). Výsledné objemové hmotnosti vlastního zrna jsou kolem 2300 kg/m³. Sypné hmotnosti jsou mezi 800 kg/m³ a 1100 kg/m³.

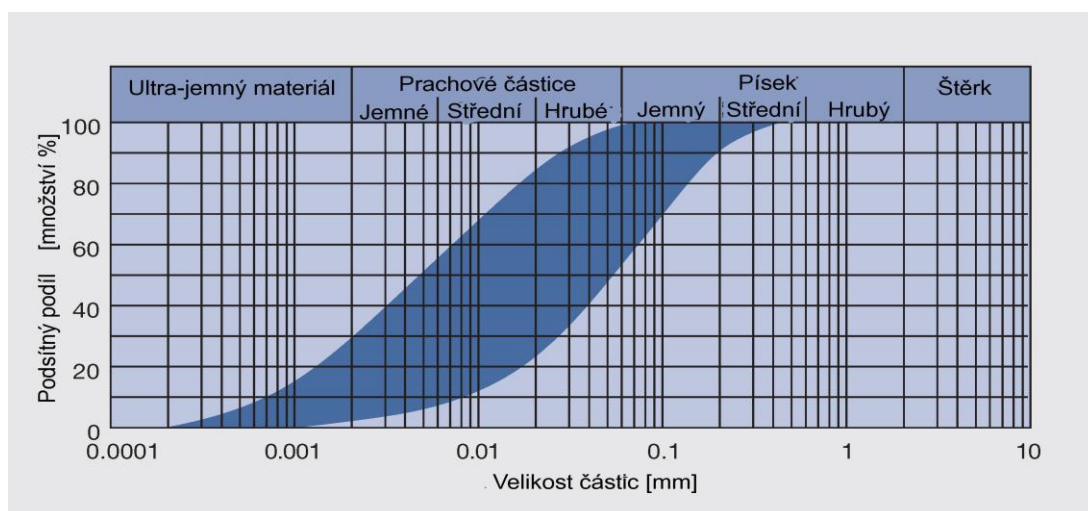


Obr. 2 - Popílek v rastrovacím elektronovém mikroskopu (Lutze et al., 2008)

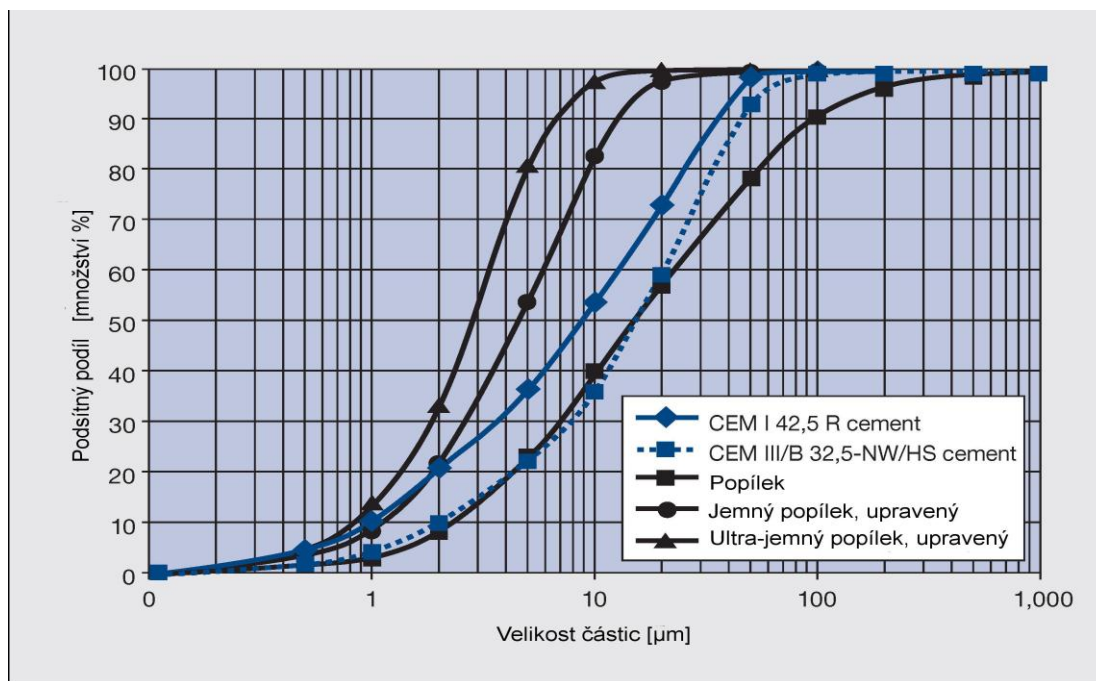
Rozmezí		
objemová hmotnost vlastního zrna	kg/m ³	2 000 ... 2 500
Sypná hmotnost	kg/m ³	800 ... 1 100
Střední průměr zrn d50	μm	10 ... 30
Specifický povrch dle Bleina	m ² /kg.	250 až 550

Tab. 3 - Fyzikální vlastnosti popílků bohatých na křemík (Lutze et al., 2008).

Z výchozího rozložení zrn uhelného prachu a separačního účinku proudu spalin v kotli a z následné cesty spalin vyplývá granulometrické složení popílku s hodnotami od 5 μm do 50 μm (Obr. 3). Jemnost popílku má podobnou řádovou velikost jako cement, granulometrické složení má však jiný průběh. Ideálně kulovitě tvarované částice se nacházejí koncentrovaně v subtilních průměrech zrn. V hrubších zrnitostech se mohou vyskytovat i nepravidelně formované a pórovité částice. Cíleným zpracováním, vhodným tříděním a prosíváním je možné odstranit hrubé částice a vyrobit jemný nebo velmi jemný popílek s ideálním tvarem zrn a s ideální zrnitostí (Tab. 3) (Lutze et al., 2008).



Obr. 3 - Rozpětí rozdělení velikosti zrn popílku (Lutze et al., 2008)

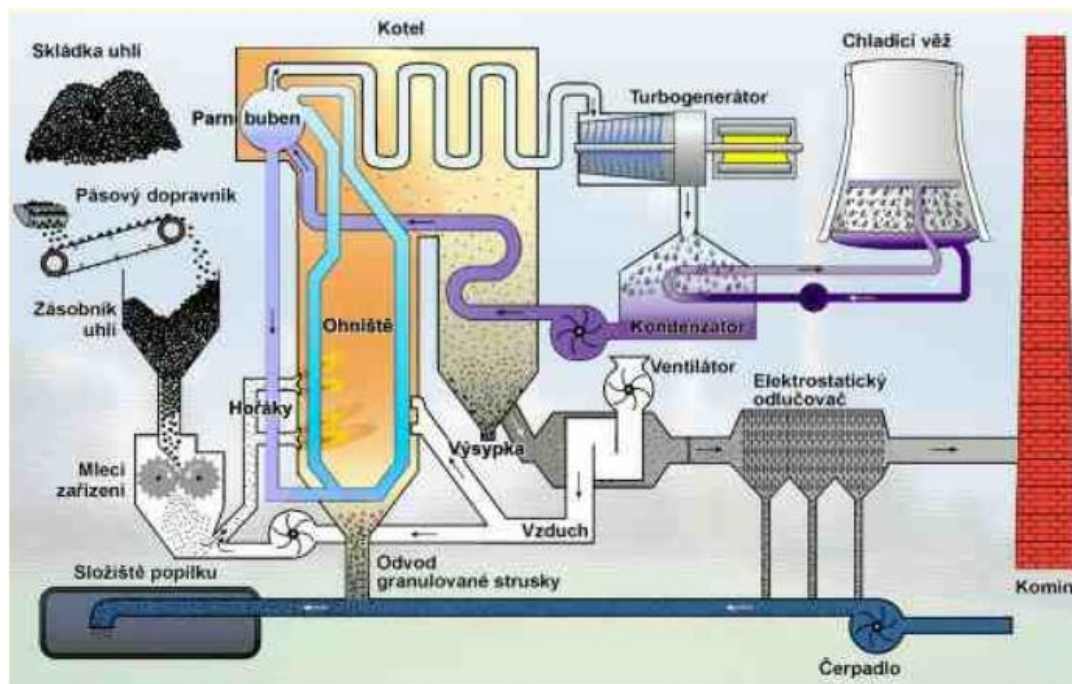


Obr. 4 - Rozdělení velikosti zrn upravených a neupravených popílků v porovnání s cementy (Lutze et al., 2008)

3.4.2 Popílký klasické

Popílký z „klasického“ způsobu spalování vznikají při teplotách 1400 – 1600 °C. Obsahují převážně - křemen, mullit ($2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$) a více než 50 % sklovité fáze, která za normální nebo zvýšené teploty (autoklávování) významně ovlivňuje reaktivitu popílký s oxidem vápenatým nebo cementem.

Popílek sám o sobě není hydraulický, to znamená, že samotný není schopen reakce s vodou. Pokud je však smíchán s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ např. z cementu, reaguje a vytváří stejné produkty jako při reakci cementu s vodou – pucolanita (Bydžovský, 2008).



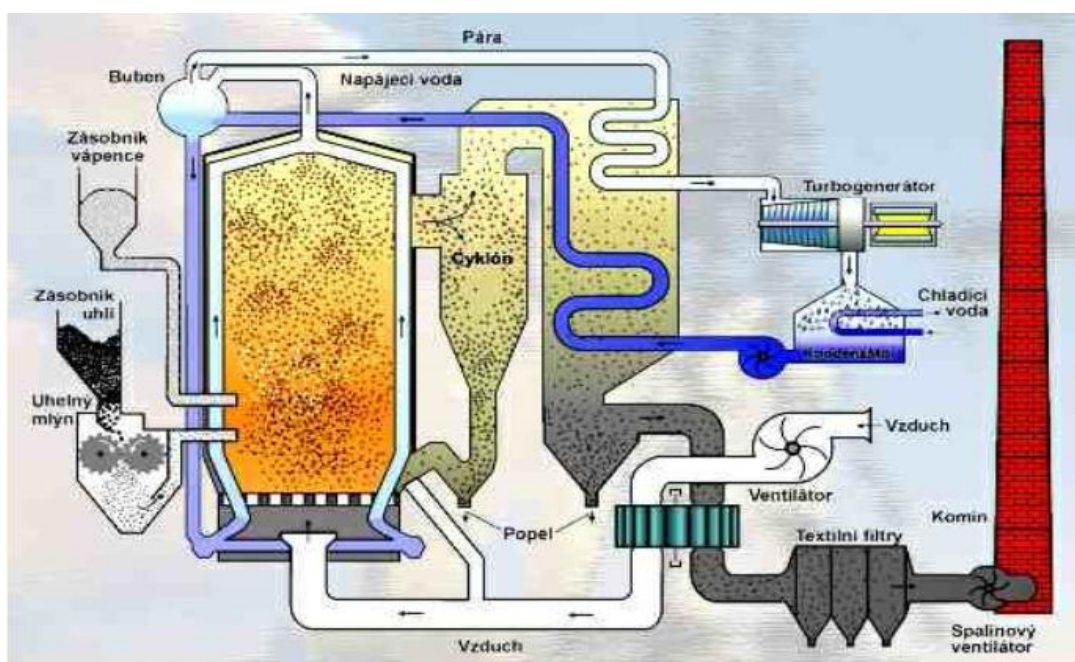
Obr. 5 : Schéma tepelné elektrárny s klasickým spalováním (energyweb, 2014)

3.4.3 Popílky fluidní

Mleté palivo se spolu s vápencem popřípadě dolomitem spaluje v cirkulující vrstvě při teplotě cca 850 °C. Uvolněné SO₂ se během disociačního procesu váže na CaSO₄, což je velice přínosné z ekologického hlediska, neboť emise SO₂ vyvolávají v atmosféře vznik tzv. kyselých dešťů. V těchto provozech vznikají tuhé zbytky v podobě ložového popela a popílků z elektrofiltrů (odlučovačů). Fluidní popílek obsahuje hlinitokřemičitou fázi, křemen, nerozpustný anhydrit II, volné CaO, také Ca(OH)₂ a CaCO₃ (Vehovská, 2006).

Vzniklý produkt poté zobrazuje směs popela z základního paliva, nezreagovaného odsířovacího činidla (CaO s případnými zbytky CaCO₃), síranu vápenatého, produktů reakce popelovin s CaO a nespáleného paliva. Teplota spalování je při fluidních procesech nižší než při klasickém spalování, takže nezreagovaný CaO, který je obsažen ve formě tzv. měkce páleného vápna, je reaktivní. Popílků z fluidního spalování se taktéž vyznačují nízkým obsahem taveniny.

Vlivem transportu kouřových plynů ze spalovacího prostoru ohniště dochází k oddělení jednotlivých frakcí této směsi, kdy jsou jemné podíly z prostoru ohniště odnášeny spaliny ve formě úletů a hrubší částice zůstávají ve spalovacím prostoru. Proto rozeznáváme fluidní popílek z prostoru ohniště (ložový) a popílek získaný z úletu (cyklónový, filtrový apod.). Oba druhy popílků mají odlišné fyzikální (hustota, měrný povrch, sypná hmotnost, granulometrie), chemické a mineralogické vlastnosti (Bidžovský 2007).



Obr. 6 - Schéma tepelné elektrárny s fluidním spalováním (energyweb, 2014)

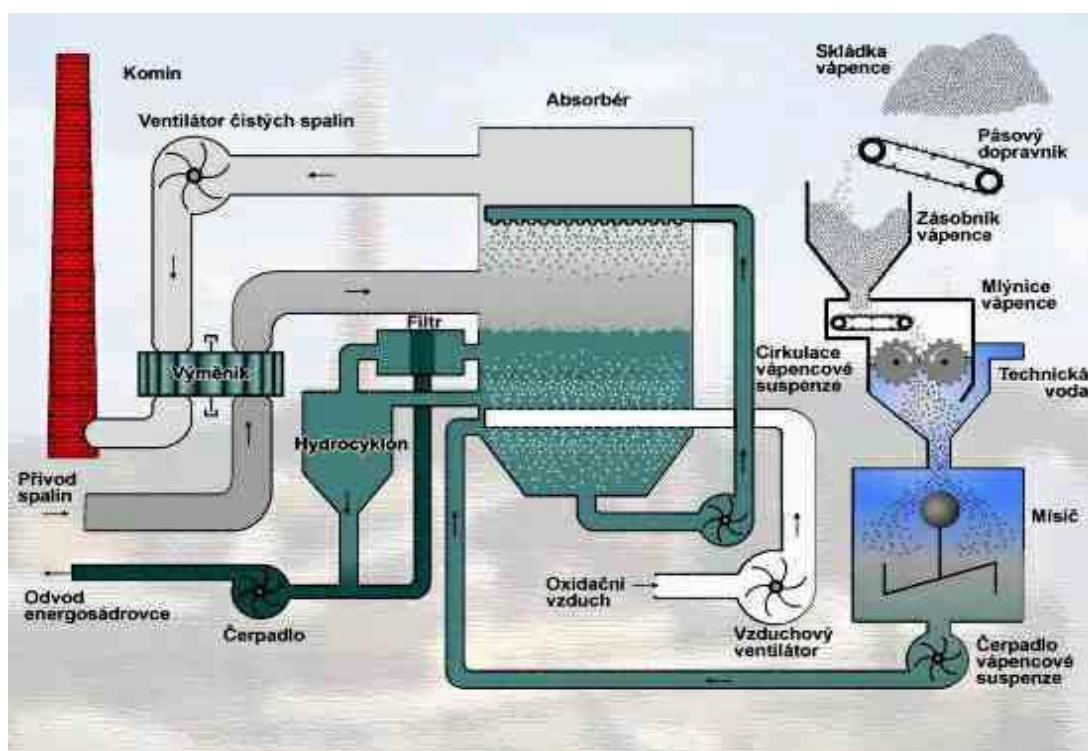
3.4.4 Struska

Pevný zbytek po spalování uhlí v granulačních (klasických) kotlích ve formě málo pevných, většinou natavených spečenců popílkových zrn. Struska se odděluje ve výsypce spalovací komory kotle, kde dopadá do vodní lázně, kde dochází k jejímu ochlazení (ČEZ EP, 2009).

3.4.5 Energosádrovec

Přírodní sádrovec je v ČR těžen jen na jediném ložisku v Koberčicích u Opavy. Jeho kvalita je velmi různorodá, je dána velkým obsahem hlíny v ložisku. Z hlediska ekonomického a snížené kvality je postupně přírodní sádrovec nahrazován vedlejším energetickým produktem a to energosádrovcem.

Energosádrovec - síran vápenatý ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) vzniká při odsiřování spalin metodou mokré vápencové vypírky. Metoda mokré vápencové vypírky je v dnešní době nejpoužívanější metodou odsiřování spalin. Oxid siřičitý (SO_2) se zachycuje na vodní suspenzi jemně mletého vápence a reakcí vzniká produkt hydrát síranu vápenatého ($\text{CaCO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), nazývaný energosádrovec. Účinnost této metody odsiřování je velmi vysoká dosahuje až 96 % při souběžně vysokém využití reakčního činidla vápence. Vzniklý produkt, energosádrovec, se nejvíce využívá ve stavebním průmyslu, kde zcela nahrazuje těžný přírodní sádrovec. Energosádrovec se dále používá jako přísada při produkci sádry a cementu (Bibora, 2010).



Obr. 7 - Schéma odsiřování mokrou vápencovou vypírkou. (energoweb, 2014)

Fyzikální vlastnosti

Oproti přírodnímu sádrovci, který se dodává ve formě suché drti, vzniká energosádrovec při odsiřování kouřových spalin používáním technologie mokré vápencové vypírky, jako vlhký, jemnozrný prášek s obsahem povrchové vlhkosti 8 – 12 %. Zásadní odlišnosti přírodního sádrovce a vedlejšího produktu z odsiřování kouřových spalin je hlavně ve fyzikálních vlastnostech a ta jsou velikost zrna, tvorba krystalů a technicky důležitá sypaná hmotnost.

Energosádrovec po spalování hnědého uhlí se odlišuje od energosádrovce po spalování černého uhlí podstatně temnějším zbarvením. Stupeň bělosti energosádrovce z hnědého uhlí kolísá v rozsahu 20 – 40%. Temnější barva je zapříčiněna množstvím sloučenin železa a vlivem delšího času pobytu sádrovcových krystalů v procesu mokré vypírky (Bibora, 2010).

Chemické složení

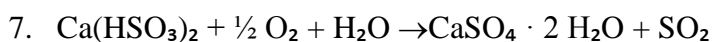
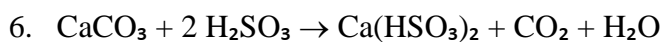
Mokrá vápencová vypírka patří mezi nejpoužívanější metody odsiřování spalin. Jako odsiřovací sorbent se nejčastěji používá vápenec, protože je v mnoha zemích dostupný ve velkém množství a až 4x levnější než ostatní reakční činidla. Dříve se jako reakční činidlo používalo vápno, protože lépe reaguje s oxidem siřičitým, ale z důvodu rizika kalcinace, bylo nahrazeno vápencem.

Spaliny ze systému odlučování pevných částic odcházejí přes výměník tepla do absorberu s odsiřovacím činidlem. V absorberu se SO₂ ze spalin odstraní přímým kontaktem s vodnou suspenzí jemně mletého vápence, který musí mít více než 95 % CaCO₃. Vyprané spaliny nejprve vstupují do odlučovače mlžných kapek a pak do komína nebo chladicí věže, odkud se vypouštějí do atmosféry (Bibora, 2010).

Podle typu oxidace se rozlišuje mokrá vápencová vypírka s nucenou oxidací a mokrá vápencová vypírka s přirozenou oxidací. U nucené oxidace s rozmezí pH 5-6 probíhají následující chemické reakce:

1. $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$
2. $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
3. $\text{CaSO}_3 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
4. $\text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
5. $\text{CaSO}_3 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$

První a druhá reakce probíhá u všech mokrých procesů odsiřování spalin. Třetí rovnice popisuje nucenou oxidaci siřičitanu vápenatého vzduchem a tvorbu sádrovce. Aby se oxidoval siřičitan vápenatý na síran vápenatý, přivádí se u nucené oxidace na dno absorberu vzduch. U přirozené oxidace se siřičitan vápenatý částečně oxiduje kyslíkem obsaženým ve spalinách. Při pH v rozmezí 4,5 - 5,5 probíhá chemická reakce podle rovnic:



Po absorpci SO_2 je výsledným produktem kyselý siřičitan vápenatý $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$, který se oxiduje a krystaluje ve formě sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Způsob odvodnění je u nucené oxidace jednodušší než u přirozené oxidace, protože jsou krystaly sádrovce poměrně velké. Většinou se primární odvodnění u nucené oxidace provádí v hydrocyklónech a sekundární na filtrech nebo v odstředivkách. Vedlejší produkt obsahuje přibližně 90 % sádrovce a 10 % vody. Díky vysokému obsahu dihydrátu síranu vápenatého se používá jako náhrada za přírodní sádrovec, při výrobě sádry nebo obkladových desek. U přirozené oxidace je proces odvodnění složitější. U primárního odvodnění je zapotřebí zahušťovač. Sekundární odvodnění probíhá na filtrech nebo odstředivkách. Výsledný produkt je pak tvořen z 50 – 60 % směsí hemihydrátu siřičitanu vápenatého a bezvodého síranu vápenatého a 10 % vody. Nejčastěji se ukládá v odkalištích nebo na skládku. Vzhledem k jeho tixotropní povaze je nutné ho před uložením promístit s popínkem a vápnem (Bibora, 2010).

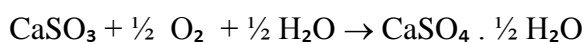
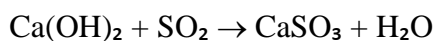
Výhodou metody je vysoká spolehlivost a účinnost odstranění SO_2 , která se pohybuje v rozmezí 95 – 99 %, přijatelné provozní náklady a možnost využití vedlejšího produktu ve stavebním průmyslu. Nevýhodou mokré vápencové metody jsou vysoké investiční náklady, zvýšená spotřeba elektrické energie, v porovnání s polosuchou metodou odsíření vyšší spotřeba vody a tvorba odpadní vody (Zapletal et Vlasák, 2012).

3.4.6 REA produkt

REA produkt vzniká při polosuché metodě odsíření spalin. Tato metoda je druhou nejpoužívanější metodou pro odsířování spalin. Pro odstranění SO_2 se jako sorbční činidlo používá vápno nebo oxid vápenatý, který po smísení s vodou vytvoří vápencovou suspenzi. V odsířovacím reaktoru vzniká pomocí rotačního rozprašovače velmi jemná mlha suspenze, kterou spaliny procházejí a vzniklé SO_2 se váže na mokré vápenec. Během procesu se voda odpaří a částice suchého reagovaného

vápence jsou pak zachycovány v elektrostatickém odlučovači nebo tkaninovém filtru.

Proces odstraňování SO₂ ze spalin lze popsat chemickou rovnicí:



Průběh absorpční reakce mezi SO₂ a hydroxidem vápenatým ovlivňuje zejména teplota spalin, dále pak vlhkost plynu, koncentrace SO₂ v kouřovém plynu a velikost kapek suspenze. Vedlejším produktem této metody je REA produkt-směs síranu a siřičitanu vápenatého, popílku a nezreagovaného vápna (ČEZ, 2009).

3.4.7 Stabilizát

Jedná se o směs základních a doplňkových komponentů dle typových receptur, jejímž základní komponenty jsou popílek, vápno, voda a doplňkovými komponenty jsou energosádrovec, REA produkt a struska (Bláha, 2009)

3.5 Analýza materiálových toků

Analýza materiálových toků (AMT) je systematické hodnocení toků a zásob materiálů v rámci systému definovaného v prostoru a čase. Spojuje zdroje, cesty, průběžné a konečné výstupy materiálu. Vychází ze zákona zachování hmoty, výsledky AMT lze zjišťovat pomocí jednoduchých materiálových bilancí porovnáváním všech vstupů, zásob a výstupů z procesu. Toto specifikum AMT dělá tuto metodu atraktivní jako podporu v rozhodování pro řízení zdrojů, nakládání s odpady, a péče o životní prostředí (Brunner et Rechberger, 2004).

AMT dodává kompletní a ucelený soubor informací o všech tocích a zásobách určitého materiálu v systému. Prostřednictvím vyvažování vstupů a výstupů, toky odpadů a ekologické zatížení se stává viditelným, a jejich zdroje mohou být identifikovány. Vyčerpání nebo kumulace zásob materiálu je identifikována dostatečně brzy, kdy je ještě možné přijmout opatření, nebo podpořit vytvoření zásob

pro budoucí využití. Kromě toho zachycuje drobné změny, které jsou příliš malé v krátkých časových měřících, ale které by mohly pomalu vést k dlouhodobému poškození (Brunner et Rechberger, 2004).

Aby byla ekonomika účelná a mohla poskytovat dostatek služeb a statků pro lidské potřeby, vystupuje podobně jako živý organismus. Bere si ze životního prostředí kolem sebe materiály a energii, které využije, ale ne v celé míře. Nevyužité vrátí do životního prostředí jako odpadní látky. Přijímá tzv. primární zdroje, suroviny získané důlním dobýváním a vyrobenou biomasu a vodu. Do životního prostředí odevzdává odpady v pevném stavu a znečišťuje ovzduší a vodu emisemi. Těmito vztahy se zabývá teorie industriálního metabolismu a metabolismu společnosti.

Tok materiálů a energie touto ekonomickou soustavou je nazýván jako hlavní zdroj environmentálních potíží. Jelikož veškerý materiálový tok ukazuje velikost tlaku na životní prostředí, můžeme se domnívat, že jakmile vzroste množství nějakého toku, vzroste i tlak na životní prostředí. Jestliže tedy upneme pozornost na materiálové toky v socioekonomické soustavě a na zvyšování využití jednotlivých zdrojů, podaří se nám docílit zmenšení zátěže na životní prostředí (CZP, 2011).

V celé části materiálových toků provázaných produkcí tepla a elektřiny z uhlí se ve všech vyspělých státech velmi kvalitně dohlíží na stránku ochrany životního prostředí a lidského zdraví, od které se posuzuje regulérně využití vhodných právních předpisů a norem (energetika TZB 2014).

4. Metodika

4.1 Rozdělení produktů

Úvodní část práce je zpracována jako rešerše formou deskripce k problematice odpadů a vedlejších produktů z energetiky. Na základě rešerše z tuzemské i zahraniční literatury byly rozděleny zbytky po spalování uhlí na základní typy. Na základě rešerše byly hodnoceny fyzikálně – chemické vlastnosti, vliv výroby energie na tyto vlastnosti (proměnlivost kvality) a možná rizika při konečném užití těchto materiálů.

4.2 Právní předpisy

Druhá část se zabývá analýzou platných právních předpisů zaměřenou zejména na rozdíly mezi nakládáním s vedlejším energetickým produktem a odpadem. Dále byly shrnuty předpisy pro tyto materiály v ČR a EU a obecně dokumenty určující kritéria konce odpadů.

4.3 Identifikace a kvantifikace

Pro identifikaci materiálových toků vedlejších produktů v ČEZ, a.s. s kterými nakládá firma ČEZ Energetické produkty, s.r.o. jsem vytvořil zjednodušené schéma.

Dále jsem na základě dostupných a podnikových dat našel a kvantifikoval materiálové toky zbytků po spalování uhlí ve formě odpadů a vedlejších produktů až po jejich konečné využití nebo odstranění v elektrárně Počerady.

5. Výsledky

5.1 Rozdělení produktů

Základními energetickými produkty vyrobenými v uhelných elektrárnách jsou elektřina a teplo, odpady z jejich výroby jsou VEP. Po uhlí, které je spalováno v tepelných elektrárnách, zůstává nespalitelný pevný podíl v množství 25–30 % ze vstupního objemu paliva. Ten se musí z elektrárny odstraňovat. Ne jako odpad, který se ukládá na skládkách odpadu, ale v co největší míře ho využít jako VEP (Čez EP, 2010).

Toto pravidlo v minulých letech neplatilo a proto se v minulosti odpady a vedlejší produkty z energetiky ukládaly na velké hromady většinou kolem elektráren. Výroba těchto produktů představovala vážné ohrožení vody, půdy, ovzduší a potažmo všech živých organismů. Během posledních dvou desetiletí, došlo k progresivnímu výzkumu v této oblasti energetiky a to v ekonomické životaschopnosti, bezpečnosti životního prostředí a efektivnímu využití odpadních produktů vytvořených v důsledku výroby elektrické a tepelné energie. To mělo za následek vznik čistých uhelných technologií, které se zaměřují na minimální dopad

na životní prostředí, a to zejména v omezování znečištění ovzduší a zajistí více prospěšných využitelných zbytků ve srovnání s konvenčními metodami spalování. V celkovém pohledu také sníží emise znečišťujících látek, snížení vzniku odpadů a zvýšení množství energie získané na jednotku množství spalování uhlí tzv. zvýšení účinnosti uhelných elektráren (Seshadri et al., 2013).

VEP za určitých okolností, jsou jako alternativy přírodních materiálů. Také jsou využívány pro obnovu půdy. Bylo prokázáno, že zlepšují fyzikální, chemické a biologické vlastnosti degradovaných půd. Používají se k zasypávání a rekultivaci dolů, kde mají velké využití. VEP mohou zvyšovat zátěž na životní prostředí jako například vyplavování škodlivých prvků do životního prostředí. Z toho důvodu je nutné posuzovat a sledovat možné dopady na životní prostředí. Ve většině zemí považují VEP za odpad, ale ne nebezpečný. Nicméně k vysoké potenciaální produkci jsou nutné další výzkumy a angažmá na vládní úrovni (Jin Hee Park et al., 2014).

Vedlejší produkty vznikající po spalování uhlí jsou vhodné k využití jako náhrada nerostných surovin. V současné době existuje řada možností využití VEP. Používají se pro stavby dálnic, výrobu cementu a cementových směsí, úpravu půdy, rekultivace. Pro využití VEP je nezbytné zajistit vyhodnocení navrhované lokality, aby využitý materiál neohrožoval životní prostředí a zdraví lidí. (Piehler G. et al., 1982).

Soupis nejvíce vyráběných VEP jsem vložil do tabulky č. 4.

VEP	Výroba	Popis
popílek z klasických kotlů	teplota spalování 1400 – 1600 °C, zachycený v elektroodlučovačích	obsahuje převážně křemen, mulit a více jak 50% sklovité fáze
popílek z fluidních kotlů	teplota spalování 850 °C spoluspalování s vápencem	nízký obsah taveniny, součástí popela nezreagované vápno
struska	teplota spalování 1400 – 1600 °C, zachycená na dně kotle ve vodní lázni a upravená drcením	popílkové tzv. spečence
Energosádrovec	produkt odsíření kouřových spalin- mokrá vápencová vypírka	jemnozrný prášek (na rozdíl od přírodního sádrovce)
REA produkt	produkt odsíření kouřových spalin- polosuchá vápencová vypírka	směs síranu a siřičitanu vápenatého, popílku a nezreagovaného vápna
Stabilizát	produkt míchacího centra	směs popílku, vápna a vody

Tab. 4 - Vedlejší energetické produkty (Serafin, 2015)

5.1.1 Popílek klasický

Popílky z „klasického“ způsobu spalování vznikají při teplotách 1400 – 1600 °C. Obsahují převážně - křemen, mullit ($2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$) a více než 50 % sklovité fáze, která za normální nebo zvýšené teploty (autoklávování) významně ovlivňuje reaktivitu popílku s oxidem vápenatým nebo cementem.

Popílek sám o sobě není hydraulický, to znamená, že samotný není schopen reakce s vodou. Pokud je však smíchán s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ např. z cementu, reaguje a vytváří stejné produkty jako při reakci cementu s vodou – pucolanita (Bydžovský 2008).

5.1.2 Popílky fluidní

Mleté palivo se spolu s vápencem popřípadě dolomitem spaluje v cirkulující vrstvě při teplotě cca 850 °C. Uvolněné SO_2 se během disociačního procesu váže na CaSO_4 , což je velice přínosné z ekologického hlediska, neboť emise SO_2 vyvolávají v atmosféře vznik tzv. kyselých dešťů. V těchto provozech vznikají tuhé zbytky v podobě ložového popela a popílků z elektrofiltrů (odlučovačů). Fluidní popílek obsahuje hlinitokřemičitou fázi, křemen, nerozpustný anhydrit II, volné CaO , také $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a CaCO_3 (Vehovská, 2006).

Vzniklý produkt poté zobrazuje směs popela z základního paliva, nezreagovaného odsiřovacího činidla (CaO s případnými zbytky CaCO_3), síranu vápenatého, produktů reakce popelovin s CaO a nespáleného paliva. Teplota spalování je při fluidních procesech nižší než při klasickém spalování, takže nezreagovaný CaO , který je obsažen ve formě tzv. měkce páleného vápna, je reaktivní. Popílky z fluidního spalování se taktéž vyznačují nízkým obsahem taveniny.

Vlivem transportu kouřových plynů ze spalovacího prostoru ohniště dochází k oddělení jednotlivých frakcí této směsi, kdy jsou jemné podíly z prostoru ohniště odnášeny spaliny ve formě úletů a hrubší částice zůstávají ve spalovacím prostoru. Proto rozeznáváme fluidní popílek z prostoru ohniště (ložový) a popílek získaný z

úletu (cyklónový, filtrový apod.). Oba druhy popílků mají odlišné fyzikální (hustota, měrný povrch, sypaná hmotnost, granulometrie), chemické a mineralogické vlastnosti (Bidžovský, 2007).

5.1.3 Struska

Pevný zbytek po spalování uhlí v granulačních (klasických) kotlích ve formě málo pevných, většinou natavených spečenců popílkových zrn. Struska se odděluje ve výsypce spalovací komory kotle, kde dopadá do vodní lázně, kde dochází k jejímu ochlazení (ČEZ EP, 2009).

5.1.4 Energosádrovec

Přírodní sádrovec je v ČR těžen jen na jediném ložisku v Kobeřicích u Opavy. Jeho kvalita je velmi různorodá, je dána velkým obsahem hlíny v ložisku. Z hlediska ekonomického a snížené kvality je postupně přírodní sádrovec nahrazován vedlejším energetickým produktem a to energosádrovcem.

Energosádrovec - síran vápenatý ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) vzniká při odsiřování spalin metodou mokré vápencové vypírky. Metoda mokré vápencové vypírky je v dnešní době nejpoužívanější metodou odsiřování spalin. Oxid siřičitý (SO_2) se zachycuje na vodní suspenzi jemně mletého vápence a reakcí vzniká produkt hydrát síranu vápenatého ($\text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), nazývaný energosádrovec. Účinnost této metody odsíření je velmi vysoká dosahuje až 96 % při souběžně vysokém využití reakčního činidla vápence. Vzniklý produkt, energosádrovec, se nejvíce využívá ve stavebním průmyslu, kde zcela nahrazuje těžený přírodní sádrovec. Energosádrovec se dále používá jako přísada při produkci sádry a cementu (Bibora, 2010).

5.1.5 REA produkt

REA produkt vzniká při polosuché metodě odsíření spalin. Tato metoda je druhou nejpoužívanější metodou pro odsiřování spalin. Pro odstranění SO_2 se jako

sorbční činidlo používá vápno nebo oxid vápenatý, který po smísení s vodou vytvoří vápencovou suspenzi. V odsiřovacím reaktoru vzniká pomocí rotačního rozprašovače velmi jemná mlha suspenze, kterou spaliny procházejí a vzniklé SO₂ se váže na mokrý vápenec. Během procesu se voda odpaří a částice suchého reagovalého vápence jsou pak zachycovány v elektrostatickém odlučovači nebo tkaninovém filtru (ČEZ, 2009)

5.1.6 Stabilizát

Jedná se o směs základních a doplňkových komponentů dle typových receptur, jejímž základní komponenty jsou popílek, vápno, voda a doplňkovými komponenty jsou energosádrovec, REA produkt a struska. Stabilizát je vyráběn na elektrárnách ve speciálních míchacích zařízeních (Bláha, 2009).

5.2 Právní předpisy

Otázkou, co je a co není odpadem a kdy se jedná o vedlejší produkt se evropské orgány zabývají již od roku 1975, kdy byla přijata první směrnice o odpadech. Ta obsahovala pouze definici pojmu odpad v podobném znění jaké má dnes. Pojem vedlejší produkt neupravovala vůbec (Šíchová et al., 2014).

Zákon o odpadech č.125/1997 Sb., zařadil tyto produkty mezi odpady, a v době kdy nabyl účinnosti jich tak byla většina odstraňována obvykle uložením ve formě hydrosměsi na odkaliště. V současnosti je většina vedlejších energetických produktů využívána jako certifikované výrobky. Pouze ta část, pro kterou nemá producent využití, nebo s ní chce sám nakládat v režimu odpadů, je po právní stránce považována za odpad (Snop et al., 2013).

Využití vedlejších energetických produktů je v Evropě založeno na plnění požadavků právních norem a místních právních předpisů, které jsou pravidelně revidovány ze strany CEN nebo národních úřadů (Feuerborn et al., 2012).

5.2.1 Odpad-vedlejší produkt

Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů, v platném znění, definuje, v §3 odst. 1 - odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze č. 1 k tomuto zákonu.

Vedlejší produkty si vyžádali pro svou praktickou potřebu výslovnou definici. Ta vychází z rozhodovací praxe Soudního dvora Evropské unie (dříve Evropský soudní dvůr). Do českého práva byla promítnuta tzv. euronovelou zákona o odpadech v roce 2010.

Cílem každého výrobce je získání produktu za vzniku co nejmenšího množství odpadu. Zatímco z některých výrob vzniká pouze odpad, v některých případech vzniká produkt, který lze využít jinde. Toto je upraveno v §3 odst. 5 - Movitá věc, která vznikla při výrobě, jejímž prvotním cílem není výroba nebo získání této věci, se nestává odpadem, ale je vedlejším produktem, pokud:

- a) vzniká jako nedílná součást výroby,
- b) její další využití je zajištěno,
- c) její další využití je možné bez dalšího zpracování způsobem jiným, než je běžná výrobní praxe, a
- d) její další využití je v souladu se zvláštními právními předpisy 1a) a nepovede k nepříznivým účinkům na životní prostředí nebo lidské zdraví (Zákon o odpadech, 2001).

Použití vedlejšího produktu nemůže být zcela na libovůli výrobce. Musí být dodržen §3 odst. 7 - Pro konkrétní způsoby použití vedlejších produktů podle odstavce 5 a výrobků z odpadů podle odstavce 6 musí být splněna kritéria pro využití odpadů, pokud jsou stanovena (Šíchová et al., 2014)

Dále může určit, kdy jde o odpad a kdy o vedlejší produkt vyhláška podle §3 odst. 8 - Ministerstvo ve spolupráci s Ministerstvem průmyslu a obchodu může stanovit vyhláškou kritéria upřesňující, kdy movitá věc může být považována za vedlejší produkt a nikoli odpad a kdy odpad přestává být odpadem (Zákon o odpadech, 2001).

Na pomoc státním orgánům i subjektům odpadového hospodářství stanovil Evropský soudní dvůr obecné zkoušky, podle nichž se přiřazují konkrétní látky či materiály pod jednu z definic. Poté je přijala i Evropská komise.

Byla stanovena tzv. trojdílná zkouška, kterou musí vzniklá látka či materiál projít, aby mohl být považován za vedlejší produkt:

1. Jeho další využití musí být jisté a ne pouze možné
2. Musí být připraven k použití bez dalšího zpracování
3. Musí být vyráběn jako nedílnou součástí výrobního procesu

Jsou-li splněny všechny tyto tři podmínky, pak se nejedná o odpad.

Pokud by byl vedlejší produkt použit, jinak než v souladu s právními předpisy, jednalo by se stejně o odpad. Odpadem se může stát i materiál, který by jinak splňoval podmínky pro vedlejší produkt, má však nepříznivé účinky na životní prostředí, nebo z bezpečnostních a zdravotních důvodů (Šíchová et al., 2014).

5.2.2 Katalog odpadů

Zbytky po spalování uhlí dle zákona č.185/2001 Sb. musí jejich výrobce zařadit dle druhu a kategorie odpadu. Tato povinnost mu vzniká dle tohoto zákona jako původci odpadu.

K povinnosti tohoto zařazení slouží vyhláška č. 381/2001 nazývaná též Katalog odpadů, podle které jsou veškeré odpady zařazovány pod šestimístní čísla u kterých je uveden konkrétní název odpadu. Jestliže jde o zbytky po spalování, jejichž původ pochází po spalování tuhých paliv v tepelných elektrárnách, jsou zařazeny do části 10: odpady z tepelných procesů. Část 10 se dále rozděluje na skupinu 01: odpady z elektráren a jiných spalovacích zařízení, kde jsou podrobně rozděleny jednotlivé druhy odpadů:

- 01 - Škvára, struska a kotelní prach (kromě kotelního prachu ze spalování ropných produktů uvedeného pod číslem 10 01 04)

- 02 - Popílek ze spalování uhlí
- 05 - Pevné reakční produkty na bázi vápníku z odsiřování spalin
- 07 - Reakční produkty z odsiřování spalin na bázi vápníku ve formě kalů

Tyto odpady spadají do kategorie odpadů ostatní odpady. Označují se písmenem O. V této kategorii jsou jen ty odpady, u nichž nebyla prokázána žádná nebezpečná vlastnost. To znamená, že jsou to všechny odpady, které nejsou nebezpečné (Vítejte na Zemi, 2014).

Dříve nejběžnější způsob nakládání s těmito odpady byl využití na povrchu terénu a hlavně odstranění těchto odpadů na skládkách. Za takto odstraněný odpad bylo nutné platit nemalé poplatky. Poplatky jsou určeny zákonem o odpadech.

Za využití odpadu na povrchu terénu je nutné zaplatit kolem 400,-Kč za tunu a při skládkování odpadu se jedná o částku 1 000 - 3 000,-Kč za jednu tunu (Zákon o odpadech, 2001).

Velkým vlivem těchto poplatků je pro producenty jednoznačně ekonomicky lepší využívat zbytky po spalování jako výrobky i přesto, že i v tomto režimu je nutné počítat s nemalými náklady, kde k největším patří registrace dle nařízení REACH. Podrobně toto nařízení evropského společenství je popsáno v níže uvedených kapitolách. Za registraci chemické látky dle nařízení REACH zaplatí producent částku ve výši jednoho miliónu korun. Další náklady za certifikaci jsou už jen malý zlomek ceny ve srovnání s registrací dle nařízení REACH (Zárubová, 2014).

Tyto ekonomické důvody vedou producenty zbytků po spalování využívat je jako výrobky. Toto je patrné ve způsobu využívání produktů po spalování v roce 2012. V tomto roce byla celková produkce v ČR 13 000 000 tun. 58 % bylo využito v povrchových dolech, 20 % při sanaci a rekultivaci postižených území, 10% betonu, cement, porobeton, cihlářské výrobky, 6 % sklad energosádrovce, 3% sádrokartonové desky, sádra, cement, 2% hlubinné doly, 1 % komunikace – stabilizát, granulát, méně jak 1% odpad (Zárubová, 2014).

5.2.3 Právní předpisy – stavební výrobek

VEP jsou již dlouhodobě využívány jako druhotná surovina a slouží jako náhrada přírodních materiálů. V poslední době se stále více stávají ceněnou náhradou za primární přírodní zdroje.

Využití VEP jako stavebních výrobků je upraveno v zákoně č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění v § 12, odst. 1 – vláda nařízeními stanoví výrobky, které představují zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu a u kterých musí být posouzena shoda (stanovené výrobky) a nařízeními stanoví technické požadavky, které musí tyto výrobky splňovat.

Technické požadavky na stavební výrobky jsou specifikovány v:

Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, v platném znění.

Ke každé skupině výrobků je nastaven přesný postup posouzení shody, který určuje povinnosti výrobců nebo dovozců a postup posuzování autorizovaných osob.

- Posuzování shody stavebních výrobků, pro které neexistují nebo dosud nejsou platné harmonizované technické specifikace
- Jestliže jsou pro výrobek dané normy, určující hlavní vlastnosti výrobku pro jeho další používání, posouzení shody probíhá dle nároků daných norem
- Jestliže dané normy nejsou, v tomto případě jde o výrobky z produktů po spalování, vydává autorizovaná osoba producentům stavební technické osvědčení, kterým určí technické vlastnosti výrobku společně s jejich určujícími úrovněmi pro jeho použití a provádí posouzení shody s požadavky stanovenými ve stavebním technickém osvědčení (zákon č. 22/1997 Sb.).

Příloha č. 2 NV č. 163/2002 Sb. rozděluje výrobky do dvanácti skupin podle stavebního využití a ke každé výrobkové skupině stanovuje postupy posuzování shody. Produktů z energetiky je dotčena nejvíce skupina 9 – zvláštní materiály,

výrobky, konstrukce a zařízení, kde jsou pro produkty po spalování definovány následující výrobní skupiny:

- Popílky a směsi s popílkem pro konstrukční vrstvy vozovek a pro násypy a zásypy při stavbě pozemních komunikací
- Popílky a směsi s popílkem pro zásypy a násypy pro stavby mimo pozemních komunikací
- Zásypový materiál určený k likvidaci hlavních a starých důlních děl zasypáním
- Granulát pro kolejové lože a obslužné komunikace báňských provozů
- Granulát a aditivovaný granulát do výsypek povrchových dolů pro násypy a zásypy při zahlazování důlní činnosti
- Granulát pro rekultivaci báňských výsypek (NV č. 163/2002 Sb.)

Z důvodu, aby byl postup posuzování shody a certifikace stavebních výrobků autorizovaných osob stejný tak jak je uvedeno v příloze č. 2 k nařízení vlády č. 163/2002 Sb., je vypracovaný pro každou produktovou řadu technický návod, který určuje postupy autorizovaných osob při posuzování shody stavebních výrobků dle nařízení vlády č. 163/2002 Sb., ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb. V technických návodech se například uvádí postup používání výrobku ve stavbě, technické předpisy k jednotlivým produktům, požadavky na dokumentaci, určení kontrolování vlastností výrobků a postup stanovení těchto vlastností.

Musí být kontrolován i celý systém řízení výroby, který má být dle technické dokumentace producenta a musí zabezpečovat to, aby veškeré výrobky dodávané na trh splňovaly požadavky stanovené ve stavebním technickém osvědčení a dokumentaci výrobce.

Platnost certifikátu je podmíněna prováděním pravidelného ročního dohledu autorizované osoby nad řádným fungováním systému řízení výroby. Výrobce následně vypracovává prohlášení o shodě, které obsahuje náležitosti upravené dle § 13 NV č. 163/2002 Sb.

Platnost stavebního technického osvědčení je dle § 3, odst. 3 NV č. 163/2002 Sb., omezena na dobu pěti let. Pokud nedojde ke změně podstatných skutečností, kdy bylo stavební technické osvědčení vydáno, může autorizovaná osoba platnost

prodloužit. Platnost certifikátu je podmíněna platností stavebního technického osvědčení a prováděním pravidelného ročního dohledu autorizované osoby nad řádným fungováním systému řízení výroby.

Nařízení EP a Rady EU č. 305/ 2011 , kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh, označované jako CPR, kterým bylo nahrazeno nařízení vlády č. 190/2002 SB., jehož platnost skončila k datu 30. 6. 2013

Tímto nařízením jsou dotčeny jen ty stavební výrobky, které mají harmonizované technické specifikace (harmonizované normy nebo evropská technická schválení tzv. ETA). Ale proto, že pro stavební výrobky z produktů po spalování je harmonizovaná technická specifikace jen pro použití popílku do betonu, je z větší části posuzování shody postupováno dle nařízení vlády č. 163/ 2002 Sb. (Zárubová, 2011).

5.2.4 Aktualizace technických návodů

Asociace pro využití energetických produktů (dále jen ASWEP) vydala v roce 2012 Technické podmínky „Optimalizovaný postup při posuzování shody výrobků, které jsou cíleně používány pro sanaci a tvarování terénu pro budoucí rekultivaci území postižených antropogenní činností ve formě podkladu pro zpracování Technického návodu pro činnosti autorizovaných osob při posuzování shody stavebních výrobků podle NV č. 163/2002 Sb., ve znění NV č. 312/2005 Sb. č TN 09. 12“.

K aktualizaci technického návodu pro výrobkovou skupinu – popílky a směsi s popílkem pro zásypy a násypy pro stavby mimo pozemních komunikací, byly použity tyto podmínky. Tato aktualizace se zakládala především na výměně velikostí monitorovaných environmentálních znaků produktů, zejména vstupních látek.

V minulých letech byly jako hlavní environmentální vlastnosti mimo hmotnostní aktivity ^{226}Ra a množství přírodních radionuklidů hodnoceny výsledky ekotoxikologických zkoušek a množství škodlivin v pevné matici obsažené ve

vyhlášce č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, v platném znění.

Technické podmínky ASWEP vystupují z faktu, že výše uvedené výrobky musejí projít procesem dle nařízení Evropského společenství č. 1907/2006, které je více v povědomí jako nařízení REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), dle kterého bylo provedeno celkové posouzení nebezpečí po stránce fyzikálně chemických a ekotoxikologických znaků.

Podmínkou pro použití těchto výrobků pro danou lokalitu, je vypracování hydrogeologického vyjádření odborně způsobilou osobou v hydrogeologii a sanační geologii, ve kterém odborně způsobilá osoba určí předpoklady, při nichž se může výrobek upotřebit.

Z environmentálních nároků jde o množství škodlivých látek ve vodním výluhu, ekotoxicitu určenou podmínkami na základě ČSN EN ISO 11348-2 Jakost vod – Stanovení inhibičního účinku vzorků vod na světelnou emisi *Vibrio fischeri* (Zkouška na luminiscenčních bakteriích) – Část 2: Metoda se sušenými bakteriemi, o hmotnostní aktivitu ^{226}Ra a obsah přírodních radionuklidů.

Hlavní stupnici parametrů vodného výluhu může odborně způsobilá osoba hydrologického posudku přizpůsobit, popřípadě má možnost rovněž přizpůsobit mezní hodnoty množství škodlivých látek ve vodném výluhu, jestliže jejich zvýšení je charakteristické v určeném prostoru použití výrobků (Nařízení vlády č. 163/2002 Sb.).

Dnes již každá autorizovaná osoba při posuzování shody výše zmiňovaného typu výrobku musí brát v úvahu hydrogeologický nález vypracovaný pro danou lokalitu. Výrobky, u nichž už byla certifikace, musí proběhnout tzv. recertifikací dle aktualizovaného technického návodu.

Tato úprava by měla zastavit znečišťování životního prostředí a zneužívání produktů po spalování pro jakékoli sanace terénních nerovností (Zárubová, 2014).

5.2.5 REACH

Nový systém pro zajištění bezpečnosti chemických látek se začal vytvářet v Evropské unii v devadesátých letech minulého století. Orgány Evropské komise připravily pro tento systém záměr a základní principy pro zamýšlenou právní úpravu, kterou nazvali Bílá kniha. Základní myšlenkou této knihy bylo stanovení, že se do roku 2020 budou v Evropě používat pouze látky, které budou známé a bude zajištěné bezpečné zacházení s těmito látkami.

Po vznešených připomínkách, které vznikly na základě internetové diskuse o připravovaných potřebách, při prvním čtení na půdě Evropského parlamentu a po dalších úpravách bylo v roce 2006 odsouhlaseno konečné znění jako nařízení Evropského společenství č. 1907/2006, které je více v povědomí jako nařízení REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals).

Nařízení ES je legislativní opatření a nabývá platnost ve všech členských státech Evropské unie.

Každá látka registrovaná dle nařízení REACH musí mít složku daných informací. Jednou z hlavních částí této složky jsou informace o vlastnostech fyzikálních, chemických, toxikologických a ekotoxikologických. Stupeň daných informací závisí na vyprodukovaném anebo importovaném objemu látek (CENIA, 2012).

Cílem nařízení REACH je zlepšit ochranu lidského zdraví a omezit nepřízniví dopad na životní prostředí.

5.2.6 REACH a VEP

Vymezení pro chemické látky podle nařízení REACH splňují také VEP. Jde o chemické látky vnikající při výrobě elektrické a tepelné energie. Tyto produkty jsou, kromě energosádrovce, charakteristickým vzorem UVCB látek. Takto označené látky mají neznámé nebo variabilní složení, komplikované reakční produkty nebo biologické materiály (substances of Unknown or Variable composition, Complex reaction products or Biological materials).

Vyznačují se těmito znaky:

- obsahují poměrně velké množství přísad
- skládají se z neznámých složek
- struktura se mění ve velkém rozsahu a nedá se očekávat

Základním poznávacím parametrem s chemickým složením, jenž samotné nedokáže rozpoznat UVCB látky, je původ látky a kompletní průběh vzniku.

Z důvodu hlavních charakteristických znaků VEP byla uskutečněna napříč evropskými výrobci série porad, které měly zaručit jednotný přístup na poli postupu registrace podle REACH.

Dle základního posouzení vstupních surovin a postupu spalování se registrovali tyto produkty spalování:

- Ashes (residues), coal (EC 931-322-8) - Popílek, škvára a struska z klasického spalování uhlí
- Ashes (residues), plant (EC 297-049-5) - Popílek, škvára a struska ze spalování čisté biomasy
- Ashes from fluidized bed combustion (EC 931-257-5) - úletový a ložový popel z fluidního spalování uhlí

a další produkty odsíření:

-
- Product of Semi.Dry Absorption method of Flue Gas Desulphurization (EC 931-259-6)-produkt z polosuché metody odsíření kouřových spalin

K jednotlivým VEP, byl vytvořen na poli SIEF, resp. konsorcií Substance Identification Profile (SIP). SIP má za úkol prokázat stejnost látek, a to hlavně u UVCB látek. V SIP je tak vedle postupu spalování a výchozích surovin naformulováno také rozsah jednotlivých složek v produktu i těžkých kovů. Látku, která vyhovuje parametrům SIP, je možné zaregistrovat pod oprávněným EC číslem, resp. v rámci společného předložení.

VEP jistě patří k látkám s velkým množstvím výroby. Dle nařízení REACH jde o látky vyráběné v objemu převyšujícím 1000 t/rok. Proto pro všechny výše uváděné VEP musela být podána celková registrační dokumentace, ve které jsou všechny zprávy o fyzikálně-chemických vlastnostech, toxikologických a ekotoxikologických vlastnostech, jež jsou žádané v přílohách VII-X nařízení REACH. Tyto přílohy tvoří tzv. base set a pro látky produkované ve velkém množství jsou předloženy jako podrobná „souhrn studie“, či v podobě vysvětlení nepředložení vyžadované informace (Mejstřík, 2011).

Po obdržení požadovaných informací o látce se uskuteční posouzení nebezpečnosti látky pro lidské zdraví, životní prostředí a posouzení PBT (perzistentní, bioakumulativní a toxické) a vPvB (vysoce perzistentní a vysoce bioakumulativní) vlastností. Pro registrační dokumentaci VEP, byly využité společně s novými i existující informace (Petira, 2007)

Zásadou nařízení REACH je požadavek testování látek na obratlovcích pouze jako poslední možnost. Jak již bylo uvedeno výše, v případě VEP produktů se jedná o anorganické UVCB látky, v případě energosádrovce anorganickou jednosložkovou látku. Z tohoto důvodu nebylo možné při vytváření nových informací o látce použít (Q)SAR – složitou výpočetní metodu (Quantitative Structure-Activity Relationship). Nové informace byly získány testováním, přičemž tam, kde je to možné, byly přednostně provedeny in vitro testy (na modelech – izolované tkáně, buněčné kultury).

Pro VEP byly vykonány tyto testy:

- Akutní toxicita orální
- Akutní toxicita inhalační
- Kožní a oční dráždivost – in vitro, in vivo
- Senzibilizace kůže – alternativní test LLNA
- Toxicita po opakované dávce – subakutní (28 dnů) a subchronická (90 dnů)
- Reprodukční toxicita
- Mutagenita – in vitro, in vivo
- Toxicita pro vodní prostředí – 3 trofické úrovně (ryby, řasy, dafnie), dýchání aktivovaného kalu.

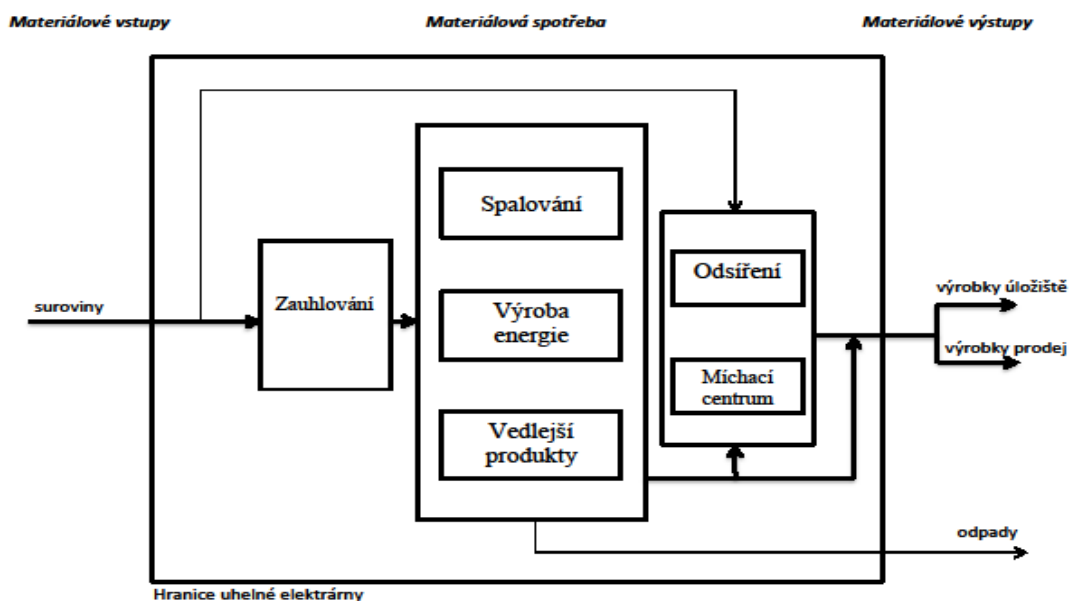
U veškerých zmiňovaných látek bylo provedeno mnoho fyzikálních, fyzikálně-chemických a analytických studií, dle požadavků nařízení REACH. Všechny uvedené testy se vykonávali v systému Správné laboratorní praxe (SLP) podle platných předpisů a metodik OECD a EU. Na podstatě výsledků a literárních záznamů poté byla vytvořena toxikokinetika – odhad chování látky v organismu. Obsah informací o vlastnostech látky dle požadavků nařízení REACH, je zcela uspokojivý pro vyvození nebezpečnosti dané látky pro lidské zdraví a životní prostředí. Žádná z výše uvedených látek nesplňuje kritéria pro žádnou z tříd nebezpečnosti nebo kategorií stanovených v příloze I nařízení (ES) č. 1272/2008. To znamená, že VEP nejsou nebezpečné látky.

Do sféry registrační dokumentace byly zařazeny plány následného testování každé registrované látky. Každý výrobní subjekt, který předložil registrační dokumentaci na ECHA a zaplatil příslušný registrační poplatek, získal registrační číslo, kterého ho opravňuje VEP vyrábět a používat na území Evropské unie, resp. Evropského hospodářského prostoru. Z pohledu toho, že nejde o látky nebezpečné, výrobce není povinen předkládat s látkou bezpečnostní list (Mejstřík, 2011).

5.3 Identifikace a kvantifikace

5.3.1 Identifikace materiálových toků ve skupině ČEZ. A. s.

Materiálové toky související s výrobou elektrické energie v klasických elektrárnách ve firmě ČEZ, a.s. jsem identifikoval na zjednodušeném schématu obrázek č. 8



Obr. 8 - Identifikace vstupů a výstupů v uhelné elektrárně (Serafín, 2015)

Hlavní vstupní materiál pro výrobu elektrické energie a tepla v klasických elektrárnách je uhlí.

V ČR je nejvíce využíváno hnědé uhlí, které je těžené ve dvou hnědouhelných pánvích pod Krušnými horami. Jedná se o Severočeskou pánev a Sokolovskou pánev. Hnědé uhlí je tam těženo povrchovým dobýváním. Je těžené v 11 ložiscích z 53. V roce 2012 bylo vytěženo 43 710 000 t. Celkové zásoby hnědého uhlí v ČR byly v roce 2012 8 936 157 kt, z toho vytěžitelné 862 202 kt. Celkem velké zásoby jsou v Severočeské pánvi blokováné tzv. územními limity těžby hnědého uhlí v severních Čechách, které byly stanoveny na základě usnesení vlády České republiky č. 444 z roku 1991. Hlavním důvodem limitů byla ochrana životního prostředí a krajiny v severních Čechách. Za těmito limity leží zásoby cca 900 000 000t.

Černé uhlí je těženo v české části hornoslezské pánve. Těžba je prováděna hlubinným způsobem. V roce 2012 bylo vytěženo 10 796 kt. T toho šlo 5 369 kt na export (ČGS 2013).

Mezi další materiálové vstupy patří surový vápenec a vápno.

Uvnitř systému jsou procesy spalování, při kterých je uvolněná tepelná energie použita k výrobě elektrické energie. Po spálení uhlí vzniká nespalitelná část, která musí být z elektrárny odstraněna. Toto má ve společnosti ČEZ za úkol její dceřiná

firma Čez Energetické produkty, s.r.o. Hlavním cílem této společnosti je maximální využití vedlejších energetických produktů (ČEZ EP, 2010).

Na straně výstupů jsou produkty, které se využívají k tvarování úložiště, sanaci a rekultivaci postižených území, stavební výrobky k výrobě betonu, cementu, porobetonu, sádry, sádrokartonových desek a jen s nepatrnou částí je nakládáno jako s odpadem (ÚNMZ 2013).

Seznam nejvýznamnějších vedlejších energetických produktů dokumentuje tabulka č. 5

Produkt	Certifikát	Využití
popílek do cementu	040-042941	pro výrobu cementu
popílek do betonu EN 450-1	040-042452	pro výrobu betonu
popílek do pórobetonu	010-025819	pro výrobu porobetonu
kamenivo, filer do betonu, EN 12620	040-042848	jako filer pro výrobu betonu
Struska pro násypy a zásypy	010-031739	násypy, zásypy, zahlazování hornické činnosti při vytváření krajiny
Stabilizát pro násypy a zásypy	040-045505	násypy, zásypy, zahlazování hornické činnosti při vytváření krajiny
Energosádrovec	040-042793	výroba sádry a cementu, sádrokartón

Tab. 5 - Seznam vedlejších energetických produktů

5.3.2 Kvantifikace materiálových toků v elektrárně Počerady

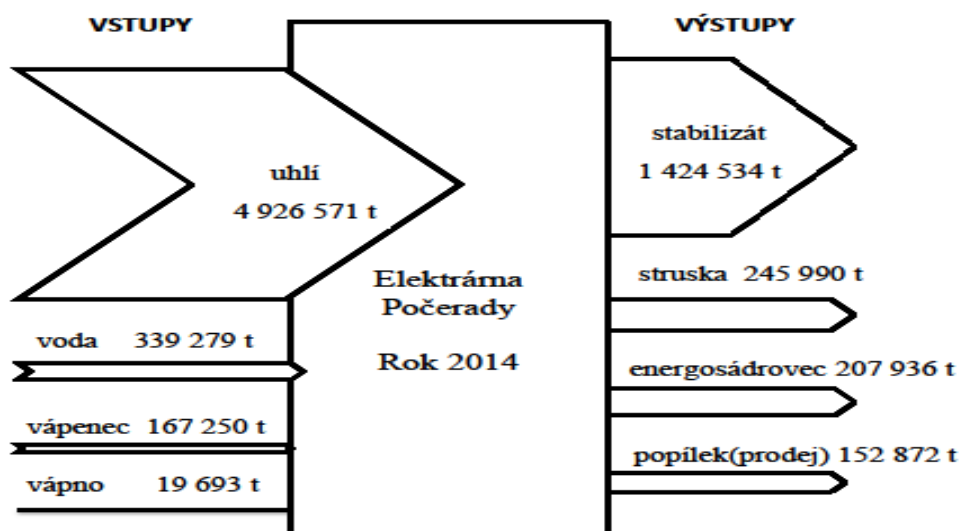
Na základě podnikových dat jsem kvantifikoval materiálové toky zbytků po spalování uhlí ve formě odpadů a vedlejších produktů až po jejich konečné využití nebo odstranění v elektrárně Počerady. Kvantifikace materiálových toků je za období roku 2014. Byla použita data z provozní ekonomie elektrárny Počerady - Bilance popelovin a vedlejších energetických produktů. Tyto data jsem doplnil u popelovin o rozdělení na konkrétní produkty, kde jsem použil data z prodeju VEP.

Vše jsem dokumentoval v diagramu vstupů a výstupů na obrázku č. 9

Materiálové vstupy představují hnědé uhlí, kterého bylo spotřebováno 4 926 571 t, vápenec 187 250 t, vápno 19 693 t.

Výstupy z kotlů a odsíření tvoří popílek 1 215 469 t, struska 245 990 t, energosádrovec 207 936 t.

Tyto materiály jsou v elektrárně dále upravovány na míchacím centru pro konečné využití. Mezi hlavní upravované produkty patří stabilizát 1 424 534 t, který se skládá z 1 086 244 t popílku, 19 693 t vápna a 318 597 t vody. Stabilizát se převážně v uvedeném roce využíval k tvarování úložiště Třískolupy a to v množství 1 254 097 t, 164 837 t bylo odvezeno do povrchového dolu Vršanská uhelná, a.s., 5 599 t bylo prodáno.



Obr. 9 - Diagram vstupů a výstupů v elektrárně Počerady (Serafin, 2015)

6. Diskuze

Odpady a vedlejší produkty z energetiky budou v následujících letech doprovázet výrobu elektrické a tepelné energie z uhlí. Spotřeba energie v naší společnosti neklesá. Výstavba nového jaderného zdroje byla odložena a obnovitelné zdroje pokryjí potřebu energie cca 10%. Z tohoto důvodu je důležité se zaměřit na tyto vedlejší energetické produkty. I přesto že jejich využití v posledních dvaceti letech vzrostlo převážně ve stavebním průmyslu, hledat pro ně uplatnění i v jiných hospodářských odvětvích.

Základní produkty po spalování uhlí popílek, struska a produkt odsíření energosádrovec jsou dále upravovány dle jejich dalšího využití. Velké uplatnění mají jako náhrada přírodních surovin. Nejen z hlediska ekonomického ale i ekologického,

kdy není nenarušována krajina zakládáním nových lomů a následným dobýváním ložisek.

Po uhlí, které je spáleno v elektrárnách zůstávají i škodlivé látky. Tyto látky jsou obsaženy v produktech po spalování. Množství těchto látek nesmí přesáhnout ve výrobcích určené limity, které jsou právně závazné a které mají minimalizovat negativní vlivy na zdraví lidí a životního prostředí. Právní předpisy v oblasti odpadů a produktů po spalování se stále vyvíjejí k zajištění bezpečnosti zdraví lidí a životního prostředí. Velmi důležité v tomto směru je sledování celého systému řízení výroby, kdy musí být zabezpečeno, že produkty vystupující z procesu výroby ke konečnému využití, nezměnily legislativně předepsané vlastnosti.

Pomocí analýzy materiálových toků, kdy identifikujeme a kvantifikujeme vstupy a výstupy do systému výroby elektrické energie a tepla můžeme mít kompletní a ucelený soubor informací o všech tocích a zásobách určitého materiálu v systému. Myslím si, že pomocí této analýzy můžeme předcházet ekologickému zatížení životního prostředí škodlivými látkami.

7. Závěr

Odpady a vedlejší produkty z energetiky jsou tuhé zbytky, které jsou vyrobeny spolu s výrobou elektrické energie a tepla v uhelných elektrárnách spalováním uhlí nebo při procesech spojených s odsiřováním spalin. V ČR je takto vyrobeno cca 15 miliónů tun látek. Z tohoto důvodu se řadí energetický průmysl k jednomu z největších producentů odpadů a vedlejších produktů.

Jen nepatrná část skončí jako odpad. Většina těchto produktů je využívána k rekultivaci vytěžených dolů, rekultivaci elektrárenských odkališť a ve stavebním průmyslu. Jejich velká výhoda spočívá v náhradě primárních surovin.

Při výrobě produktů po spalování mohou vznikat rizika spojená s množstvím obsahu škodlivých látek v produktech. Proto je velmi důležitá pečlivá kontrola během celého procesu výroby. Jak složení uhlí na vstupu, tak i způsobu spalování.

Tyto látky, které se musí odvádět z procesu výroby, jsou na základě právních předpisů dále upravovány pro další využití. Zbytky po spalování procházejí složitým procesem než je možné je využívat. Právní předpisy mají velký vliv na využívání

těchto materiálů, jak z hlediska kvality, tak ze zajištění ochrany životního prostředí a zdraví lidí.

Záměr České republiky je snižovat materiálovou spotřebu i materiálovou náročnost ekonomiky. Na této cestě je hlavním činitelem inovace moderních technologií nenáročných na materiálové vstupy, zvyšování podílu recyklace a restrukturalizace ekonomiky cestou ke snížení míry materiálově náročných odvětví a vyššímu zastoupení služeb či obecně odvětví s vysokou přidanou hodnotou.

Spoluvýroba produktů po spalování závisí na energetických potřebách České republiky, která je v současné době z cca 60% vyráběna v uhelných elektrárnách, kdy velká část těchto elektráren prošla před nedávnem komplexní obnovou. V elektrárně Ledvice se uvádí v současné době do provozu nový uhelný zdroj o výkonu 660 MW. Celkové vytěžitelné zásoby hnědého uhlí v ČR jsou v současnosti cca 800 000 000 t. Z tohoto důvodu je možno předpokládat větší produkci VEP, která může být racionálně využívána k uspokojování našich potřeb bez ohrožení životního prostředí. To nám může zajistit podpora vědy a vývoj nových technologií v této oblasti.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

- BALAJI S., NANTHI B., RAVI N., HAILONG W. et KENETH S., 2013: Chapter Six - Clean Coal Technology Combustion Products: Properties, Agricultural and Environmental Applications, and Risk Management. *Advances in Agronomi*: 309-370.
- BIBORA P., 2010: Energosádrovec, anhydrid a možnost jejich využití. *Odpadové fórum 4/2010* : 27 – 28.
- BRUNNER P. et REBERGERr H., 2004: *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. Lewis Publishers, 318 s.

- BYDŽOVSKÝ J., 2007: Vlastnosti a užití stavebních materiálů v konstrukcích. VUT v Brně, 239 s.
- BLÁHA R., 2009: Manipulační a provozní řád odkaliště Třískolupy. ČEZ a.s., 35 s.
- DONÁT P., 2011: Registrace energetických produktů podle nařízení REACH. Odpadové fórum 10/2011 : 14.
- ELEKTRÁRNA POČERADY, 2015: Bilance popelovin a vedlejších energetických produktů v roce 2014
- FÉČKO P., KUŠNIEROVÁ M., LYČKOVÁ B., ČABLÍK V. a FARKAŠOVÁ A., 2003: Popílky. VŠB-TU Ostrava, s. 9-43.
- FEUERBORN H., SARABER A., BERG J., 2012 : European production standards - status updates and changes relating to the CCP, ECOBA
- LUTZE D. et BERG W., 2008: Handbuch Flugasche im Beton. Verlag Bau+Technik GmbH, Dúsedorf, 145s.
- MATHEWS J., KRISHNAMOORTHY V., LOUW E., TCHAPDA A., MARCANO F., KARRI V., ALEXIS D., MITCHELL D., 2014: A review of the correlations of coal properties with elemental composition. Fuel Processing Technology 121: 104 – 113.
- MEJSTŘÍK V., 2011. Testování energetických produktů podle nařízení REACH. Odpadové fórum 10/2011 : 12 – 13.
- PARK J. H., EDRAKI M., MULLIGAN D., JANG H., 2014: The application of coal combustion by – products in mine site rehabilitation. Journal of Cleaner Production 84: 761 – 772.
- PARK J. Y., 2014: The evolution of waste into a resource: Examining innovation in technologies reusing coal combustion by-products using patent data. Research Policy 43: 1816 – 1826.

- PIEHLER G., EL-BAROUNDI H., BRELLENTHIN J., BARRY GOSS L., 1982: Environmental evaluation of coal combustion by-product utilizations. Resources and Conservation 9: 323 – 331.
- ROMEO F., 2013: Chapter Six – Coal Composition and Reservoir Characterisation. Coal and Coalbed Gas: 235 – 299.
- SNOPI R., DONÁT P., SOKOL P., 2013: Současný stav využívání vedlejších energetických produktů v ČR. Odpady 7-8/2013: 25 – 26.
- SIDDIQUE R., 2010: Utilization of coal combustion by-products in sustainable construction materials. Resources, Conservation and Recycling 54: 1060 – 1066.
- ŠÍCHOVÁ A., HAGER B., 2014: Vedlejší produkt versus odpad: nic není definitivní. Odpady 10/2014: 2.
- ZAPLETAL F. et Vlasák M., 2012: Cesta ke snížení emisí do ovzduší z velkých spalovacích zařízení (LPC) po implementaci směrnice o průmyslových emisích (IED). EIA – IPPC – SEA č. 2: 6 – 13.
- ZÁRUBOVÁ R., 2011: Vedlejší energetické produkty a nařízení REACH v praxi. Seminář ASWEP- Certifikace vedlejších energetických produktů 2011
- ZÁRUBOVÁ R., 2014: Využití produktů po spalování pro výrobu stavebních výrobků.: 20 – 55.
- VEHOVSKÁ L., 2006: Fluidní popílek pro přípravu směsného cementu. VUT v Brně, 7 s.
- ELEKTRÁRNA POČERADY, 2015: Bilance popelovin a vedlejších energetických produktů v roce 2014

Právní předpisy:

- Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění
- Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů, v platném znění
- Nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006, o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky
- Nařízení EP a Rady (EU) č. 305/2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh
- Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, v platném znění
- Nařízení vlády č. 190/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE
- Vyhláška č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů.
- Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně.
- Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů.
- ČSN EN ISO 11348-2. Jakost vod - Stanovení inhibičního účinku vzorků vod na světelnou emisi *Vibrio fischeri* (Zkouška na luminiscenčních bakteriích) - Část 2: Metoda se sušenými bakteriemi. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- Optimalizovaný postup při posuzování shody výrobků, které jsou cíleně používány pro sanaci a tvarování terénu pro budoucí rekultivaci území postižených antropogenní činností ve formě podkladu pro zpracování

Technického návodu pro činnosti autorizovaných osob při posuzování shody stavebních výrobků podle NV č. 163/2002 Sb., ve znění NV č. 312/2005 Sb. č. TN 09.12. Asociace pro využití energetických produktů, 2012.

Internetové zdroje:

- CENIA, 2008: Materiálové toky. Online: [http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/CENMSFVZ8VR3/\\$FILE/materialove_toky.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/CENMSFVZ8VR3/$FILE/materialove_toky.pdf) , cit. 15. 1. 2015
- CENIA, 2012: REACH. Online: <http://www1.cenia.cz/www/reach-menu> , cit. 11. 2. 2015
- ČEZ, 2015: Uhelne elektrárny. Online: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr.html>, cit. 21. 2. 2015
- ČEZ Energetické produkty, 2009: VEP. Online: <http://www.cezep.cz/produkty.html?id=103> ,cit. 10. 10. 2014
- ECOBA, 2013: Coal Combustion Products end REACH, online: http://www.ecoba.com/reach_ccps.html, cit. 30. 7. 2013
- ENERGYWEB, 2002 :Fluidní spalování online: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=2&slovník_page=fluid_spal.html, cit. 3. 10. 2014
- ENERGIWEB, 2002: Mokrú vápencová vypírka spalin,online: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.5.6, cit. 3. 10. 2014
- IPPC, 2010: Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách pro velká spalovací zařízení. Online: <http://www.ippc.cz/dokumenty/DC0068> ,cit. 22. 11. 2014
- PETIRA O., 2007: Nová příručka„REACH – chemická legislativa nejen pro chemiky, online: <http://www.cenia.cz/web/www/web->

[pub2.nsf/\\$pid/CENMSFJV1IF7/\\$FILE/PriruckaREACHv4.pdf](#) , cit. 12. 11. 2014

- UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE CENTRUM PRO OTÁZKY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2015: <http://www.czp.cuni.cz/czp/index.php/cz/oddeleni-indikatoru-environmentalni-udrizitelnosti/13-analyza-materialovych-toku> , cit. 26. 2. 2015
- VÍTEJTE NA ZEMI, 2013: Odstranění těžkých kovů, online: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=odstraneni_tezkych_kovu&site=energie, cit. 29. 10. 2014
- VÝZKUMNÉ ENERGETICKÉ CENTRUM VŠB – TU OSTRAVA, 2009: Charakteristika paliv, online: <http://vec.vsb.cz/cs/doc/charakteristiky.pdf> , cit. 14. 10. 2014
- ZIMOVÁ M., CIDLINOVÁ A., MELICHERČÍK J. et WITTLINGEROVÁ Z., 2014: Rizika využívání zbytků po spalování uhlí vznikajících při výrobě tepla a elektrické energie, online: <http://energetika.tzb-info.cz/11139-rizika-vyuzivani-zbytku-po-spalovani-uhli-vznikajicich-pri-vyrobe-tepla-a-elektricke-energie> , cit. 21. 1. 2015