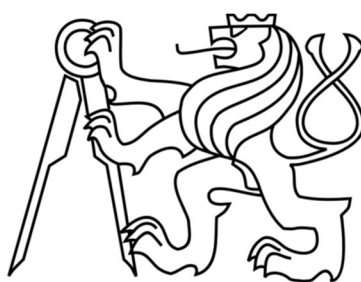


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra technologie staveb



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Náhrada vápna v produktech
stabilizátu**

Josef Červ

2017

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze

**.....
Josef Červ**

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Rostislavu Šulcovi, Ph.D. za konzultace, odborné rady a pomoc při vypracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval pracovníkům Ústavu skla a keramiky VŠCHT v Praze za možnost využívání prostoru laboratoře.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Červ Jméno: Josef Osobní číslo: 423178

Zadávací katedra: Katedra technologie staveb

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Náhrada vápna v pruduktech stabilizátu

Název bakalářské práce anglicky: Replacement of lime in stabilizate

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rešerše k výrobě, ukládání a upotřebení stabilizátů.
- 2) Požadavky na složení stabilizátů, požadavky na vlastnosti stabilizátů vzhledem k uložení stabilizátu.
- 3) Návrh experimentu mapujícího stávající složení stabilizátu v celém jeho rozsahu pro elektrárnu Prunéřov. (popílek, stuska, energosádrovec).
- 4) Využití pojiva Sorfix k náhradě vápna ve složení stabilizátu.
- 5) Vyhodnocení experimentu pro různé složení záměsové vody (vod az odsíření, voda z reversní osmózy).
- 6) Vyhodnocení zkušebních těles z hlediska mechanických vlastností - pevnost v tlaku, tah za ohybu.

Seznam doporučené literatury:

- 1) BENSCHIEDT, N., R. HELA a Asociace pro využití energetických produktů. Příručka Popílek V Betonu: Příručka: Základy Výroby a Použití. 2.přeprec. vyd. Hostivice: ČEZ Energetické produkty vydává pro ASVEP, 2013.
- 2) FEČKO, Peter. Fly Ash. Ostrava: VŠB, 2005
- 3) STP EPR ; ČEZ EP, 2015

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 23.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28. 5. 2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Náhrada vápna v produktech stabilizátu

Autor se zabývá výrobou a využitím popílkových stabilizátů. Kromě toho popisuje princip spalování uhlí, způsoby odsiřování, vznik a využití vedlejších energetických produktů ze spalování. Dle platné legislativy a norem ČSN autor popisuje nutné vlastnosti, které musí z hlediska ekologické nezávadnosti vedlejší energetické produkty splňovat. Dále popisuje nové hydraulické bezslínkové pojivo Sorfix. Udává podrobnosti z výroby jednotlivých směsí stabilizátu a zabývá se náhradou vápna právě za pojivo Sorfix. Následně vyhodnocuje a porovnává tlakové pevnosti jednotlivých směsí.

Klíčová slova: Popílkový stabilizát, vedlejší energetické produkty, spalování uhlí, odsiřování

Replacement of lime in stabilize

The author deals with the production and use of fly ash stabilizers. In addition, it describes the principle of combustion of coal, desulphurization processes, the generation and use of byproducts of combustion products. According to the valid legislation and standards ČSN author describes the necessary properties, which must meet the ecological safety of the secondary energy products. It also describes the new hydraulic binder Sorfix. He gives details of the production of the individual mixtures of stabilizer and deals with lime replacement by using the Sorfix binder instead. Then he evaluates and compares the compressive strengths of the individual mixtures.

Keywords: Ash stabilizer, secondary energy products, coal combustion, desulphurization

ÚVOD	9
CÍLE PRÁCE	9
1. STABILIZÁT (STABILIZOVANÝ POPÍLEK)	10
1.1 ELEKTRÁRNÝ SKUPINY ČEZ, VE KTERÝCH SE POPÍLKOVÝ STABILIZÁT VYRÁBÍ ...	11
1.2 POUŽITÍ STABILIZÁTU	11
1.3 VYUŽITÍ DO ZEMNÍHO TĚLESA	12
1.4 PODKLADNÍ A OCHRANNÉ VRSTVY VOZOVEK	14
2. TEORIE SPALOVÁNÍ UHLÍ	14
2.1 UHLÍ.....	14
2.2 PROCES SPALOVÁNÍ UHLÍ	16
2.3 DRUHY SPALOVÁNÍ UHLÍ	17
2.3.1 Roštová ohniště.....	18
2.3.2 Prášková ohniště	19
2.3.3 Fluidní ohniště	20
3. ZPŮSOBY ODSIŘOVÁNÍ	20
3.1 ODSIŘOVÁNÍ.....	20
3.2 MOŽNOSTI ODSIŘOVÁNÍ	20
3.3 ODSIŘOVÁNÍ UHLÍ	21
3.4 ODSIŘOVÁNÍ SPALIN.....	21
3.4.1 Regenerační odsiřovací metody.....	22
3.4.1.1 Natrium-sulfitový (Wellman-Lord) proces.....	22
3.4.1.2 Magnezitový proces.....	23
3.4.1.3 Proces dvou alkálií.....	24
3.4.1.4 Proces Bergbau-Forschung.....	24
3.4.2 Mokrý metody odsiřování	25
3.4.2.1 Vápno – vápencové metody.....	25
3.4.3 Suché metody odsiřování spalin	26
3.4.3.1 Suchá aditivní vápencová metoda	26
3.4.3.2 Fluidní spalování s aditivou	27
3.4.3.3 Katalytické metody odsiřování spalin	27
3.4.4 Polosuché metody odsiřování spalin	28

3.4.4.1 Rozprašovací absorpce	28
4. VEDLEJŠÍ ENERGETICKÉ PRODUKTY A JEJICH VYUŽITÍ.....	29
4.1 POPEL A POPÍLEK.....	31
4.2 STRUSKA	31
4.3 ENERGOŠÁDROVEC.....	32
4.4 RO VODA	32
4.5 REA VODA	33
5. HODNOCENÍ VEDLEJŠÍCH ENERGETICKÝCH PRODUKTŮ Z HLEDISKA EKOLOGICKÉ NEZÁVADNOSTI.....	33
5.1 CHEMICKÉ VLASTNOSTI VÝLUHU	33
5.2 PŘÍPRAVA VÝLUHU ZÁMĚSOVÉ VODY DLE CENTRA HYGIENY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR	34
5.3 POSOUZENÍ REACH.....	35
5.4 MEZNÍ HODNOTA HMOTNOSTNÍ AKTIVITY RA ₂₂₆	35
5.5 POŽADAVKY NA NEZÁVADNOST ZÁMĚSOVÉ VODY	36
5.5.1 Úvodní posouzení záměsové vody	36
5.5.1.1 Zkušební postupy pro úvodní posouzení záměsové vody dle ČSN EN 1008:.....	37
5.5.2 Požadavky na chemické vlastnosti záměsové vody.....	37
6. BEZSLÍNKOVÉ HYDRAULICKÉ POJIVO SORFIX	38
ZÁVĚR.....	94
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	95
SEZNAM OBRÁZKŮ	99
SEZNAM TABULEK	100

ÚVOD

Pokrok a modernizace společně s rychlým rozvojem a neustále se zvyšujícími nároky na životní úroveň jsou hlavními důvody, proč se stále zvyšuje energetická náročnost nejen v České republice. Zároveň je však kladen důraz na ochranu životního prostředí. Právě soulad hospodářského a společenského pokroku s plnohodnotným zachováním životního prostředí uvádí tzv. trvale udržitelný rozvoj. Jedním z cílů trvale udržitelného rozvoje je vytvoření bezodpadového hospodářství.

Energii získáváme především přeměnou paliv jako je uhlí či jiná fosilní paliva. Při spalování uhlí v elektrárnách dochází k velké produkci odpadů, ať už ve formě plyných emisí nebo tuhých odpadů tzv. vedlejších energetických produktů. Snaha o vytvoření bezodpadového hospodářství vedla k využití těchto tuhých odpadů a co největšímu zredukování vytváření plyných látek znečišťující ovzduší. Vedlejší energetické produkty se začaly využívat jako druhotné materiály zejména ve stavebnictví a průmyslu. Ročně se největší množství vedlejších energetických produktů spotřebuje pro výrobu tzv. stabilizátu.

Mimo popsání výroby a využitím stabilizátu budou popsány způsoby spalování uhlí a způsoby redukování plyných emisí vznikajících při spalování. K výrobě stabilizátu je zapotřebí velké množství vápna, jehož výroba je energeticky náročná. Práce se bude zabývat náhradou vápna za nový druh hydraulického pojiva, které vzniklo taktéž z tuhých odpadů spalování. Náhradou za vápno by se společnost opět přiblížila požadovanému bezodpadovému hospodářství.

Cíle práce

- Popsání výroby stabilizátu a surovin, ze kterých se stabilizát vyrábí
- Popsání spalování uhlí a rešerše způsobů odsiřování
- Využití pojiva Sorfix k náhradě vápna ve složení stabilizátu
- Vyhodnocení zkušebních těles a porovnání pevností mezi použitím vápna a pojiva Sorfix

1. Stabilizát (stabilizovaný popílek)

Stabilizát je zvlhčená stavební směs s vápenným pojivem vyráběná ve standardním centrálním mísicím zařízení. Vyrábí se technologickou úpravou vstupních surovin, kterými jsou vedlejší produkty spalování uhlí a odsíření spalin, spočívající v dokonalém promísení s přesně dávkovaným množstvím záměsové vody. [1]

Směs stabilizátu tvoří tyto suroviny:

- Popílek
- Struska
- Pojivo
- Záměsová voda
- Energosádrovec či produkt polosuché metody odsíření

Jako pojivo lze dle Technických podmínek Ministerstva dopravy TP93 použít:

- Portlandský a portlandský struskový cement
- Pomalu tuhnoucí pojivo
- Vápenný hydrát
- Vápno hydraulické
- Směsné hydraulické pojivo
- Odpadní vápenné hydráty

Dávkování pojiv musí být určeno průkaznými zkouškami. [2]

Pro získání požadovaných vlastností stabilizátu je v počáteční fázi výroby rozhodující promísení vstupních surovin s vápnem a následné zvlhčení záměsovou vodou, při kterém dochází k exotermní reakci a během několika minut k nastartování hydratačních procesů. Ve stavební směsi probíhají v alkalickém prostředí chemické pucolánové reakce obdobné procesům při tuhnutí cementů a za aktivní účasti volného vápna vzniká materiál s vazebnými schopnostmi. Po zatuhnutí se stabilizát zásadně liší svými technickými vlastnostmi od původních neupravených vstupních surovin, jeho vlastnosti jsou obdobné vlastnostem chudého betonu. Speciálně

vyráběné stabilizáty s vyšším obsahem vápna lze charakterizovat jako materiál nepropustný, s vysokou pevností v prostém tlaku, odolný proti mrazu a vodě. [1]

1.1 Elektrárny skupiny ČEZ, ve kterých se popílkový stabilizát vyrábí:

- Elektrárna Dětmárovice, a. s.
- Elektrárny Poříčí
- Elektrárny Prunéřov
- Elektrárna Hodonín
- Elektrárna Mělník III, a. s.
- Elektrárna Tisová, a. s.
- Elektrárna Počerady, a. s.
- Elektrárna Ledvice

1.2 Použití stabilizátu:

- Tělesa násypů pozemních komunikací
- Protipovodňové hráze
- Protihlukové valy
- Hráze odkališť a skládek odpadů
- Podkladní a ochranné vrstvy vozovek
- Aktivní zóna
- Obsypy a zásypy objektů
- Přejížděcí oblasti mostů
- Těsnící a uzavírací vrstvy skládek odpadů ve smyslu ČSN 80 8032
- Zásypový materiál při rekultivaci prostor po těžbě nerostných surovin
- Sanace podzemních dutin (po demolici stavebních objektů, při stavbách tunelů, parovody, kanalizace, stará důlní díla)

Použitím stabilizátu, popílku a popelu ve stavbách pozemních komunikací se zabývají technologické podmínky TP93.

Tab. 1: Užití popílkového stabilizátu v konstrukcích pozemních komunikací [2]

Konstrukční část PK	Předpis	Poznámka
Těleso násypu (mimo aktivní zónu)	ČSN 73 6133, TKP 4, TP 94	možno použít i PP
Aktivní zóna	ČSN 73 6133, TKP 4	pouze PSt
Konstrukce vozovky: podkladní a ochranné vrstvy	ČSN EN 14227-3, -4 TKP 5	
Obsypy objektů, přechodové oblasti	ČSN 73 6244, TKP 4, TP 94	

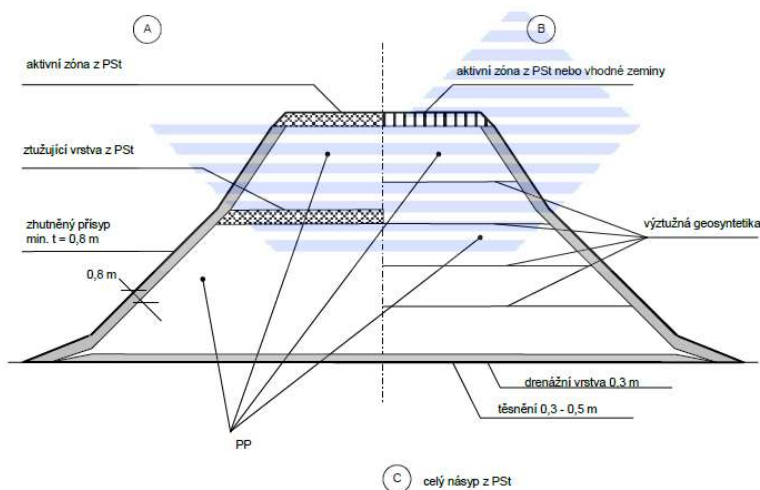
Pozn: PSt = stabilizovaný popílek

PP = Popílek a popel vznikající při vysokoteplotním spalování pevných paliv v roštových nebo granulačních kotlích

1.3 Využití do zemního tělesa

Vhodnost návrhu zemního tělesa s využitím PP a výrobků z nich se posuzuje s ohledem na účel a místo násypu a na význam komunikace.

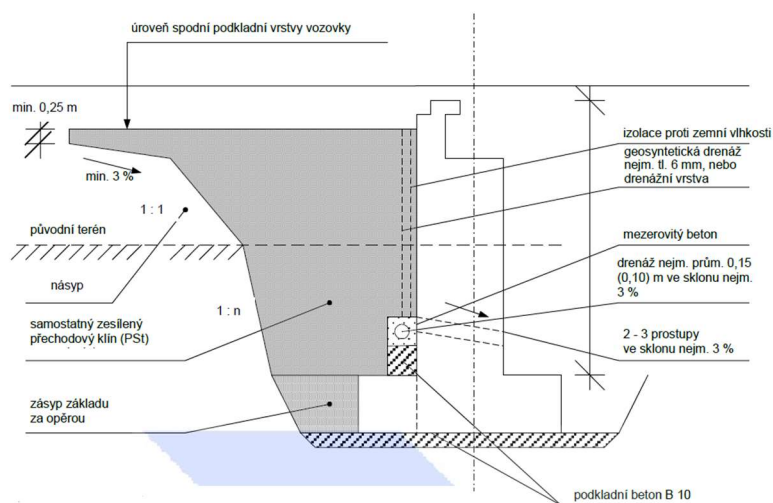
PP a PSt jsou zvláště vhodné pro navržení násypu na málo únosném a stlačitelném podloží a pro použití do přechodových oblastí mezi násypem a mostní konstrukcí podle ČSN 73 6244 - v důsledku menšího zatížení podloží se dosáhne zmenšené celkové hodnoty a příznivějšího průběhu sedání. [2] Obr. 1 znázorňuje varianty uspořádání násypu dle TP93:



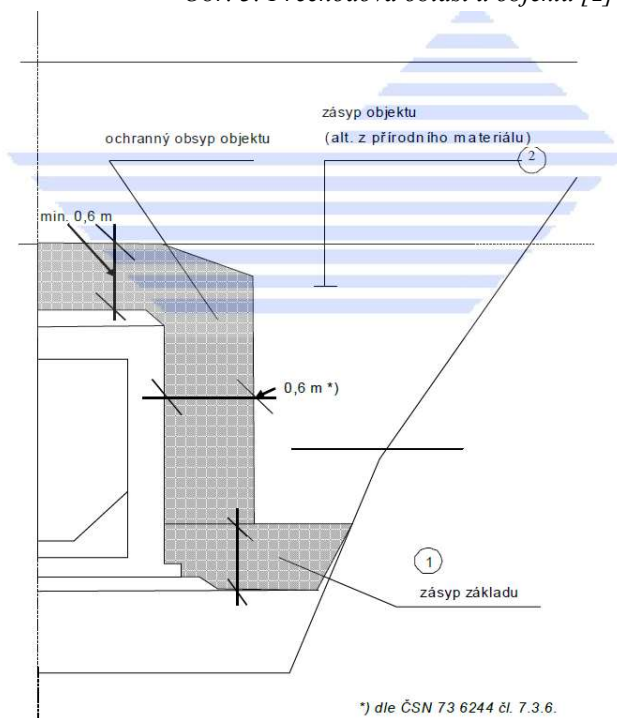
Obr. 2: Vzorový řez násypem – varianty při použití PP a výrobků z nich [2]

Stabilizovaný popílek se do aktivní zóny, do konstrukčních prvků přechodu použije dle obrázku 2 a 3. tj. do:

- a) zásypu základu za opěrou
- b) zásypu opěry
- c) obsypu objektu s přesypávkou



Obr. 3: Přechodová oblast u objektu [2]



Obr. 4: Zásyp a obsyp objektu s přesypávkou [2]

1.4 Podkladní a ochranné vrstvy vozovek

Popílkový stabilizát lze použít jako stabilizovanou podkladní vrstvu vozovky jak samostatně, tak jako součást směsi ve smyslu ČSN 14227-4 [2]. Po dodání na stavbu musí čerstvý stabilizát minimální vlhkost $W_{0,90}$. Tento materiál musí splňovat požadavky ztuhlého a vyzrálého stabilizátu podle ČSN EN 14227-14 na:

- Pevnost v tlaku a odolnost proti mrazu a vodě tříd R_C min. $C_{1,5/2}$
- Pevnost po nasycení ve vodě v hodnotě $I_{0,6}$
- Lineární bobtnání nesmí překročit hodnotu LS_1 při zkoušce podle ČSN EN 13286-49

Vhodnost stabilizátu pro užití do podkladních vrstev musí dokládat výsledky příslušných průkazných zkoušek. Podklad konstrukční vrstvy musí splňovat požadavky aktivní zóny stanovené dokumentací stavby. Konstrukční postup a požadavky na provádění podkladních vrstev musí zhotovitel stavby uvést v technologickém předpisu. [2]

2. Teorie spalování uhlí

2.1 Uhlí

Uhlí je ve své podstatě obřím akumulátorem zářivé i tepelné sluneční energie, kterou ve své dlouhodobé geologické historii přijímala naše planeta Země. Část této energie se ve formě fosilních paliv (kaustobiolitů) uchovala do dnešní doby. Ekonomicky a technologicky nejvýznamnějšími fosilními palivy jsou uhlí, ropa a zemní plyn. Prokazatelný je jejich organický původ. Uhlí vzniklo převážně z rostlinných zbytků, nahromaděných v oblastech mírného pásma ve vodních tocích, jezerech, mořských zálivech a lagunách. Zde postupným zaplňováním vznikaly bažiny, které v některých geologických obdobích pokrývala další vegetace. [6]

Podle prouhelnění je uhlí možno rozdělit do tří skupin na hnědá uhlí, černá uhlí a antracitu. Prouhelnění uhlí se zvyšuje s rostoucím obsahem uhlíku a jeho obsah lze nejvhodněji vyjádřit ve vztahu k organické hmotě uhlí v suchém a bezpopelnatém stavu, který vyjadřujeme symbolem C^{daf} . Dobrou korelaci s obsahem uhlíku má obsah prchavé hořlaviny vyjádřený opět v suchém a bezpopelnatém stavu symbolem V^{daf} . Prouhelnění uhlí roste s rostoucím obsahem

uhlíku a s klesajícím obsahem prchavé hořlaviny (ČSN 44 1310). Zahraniční i české standardy používají jako rozhodující parametr prouhelnění V^{daf} . [6]

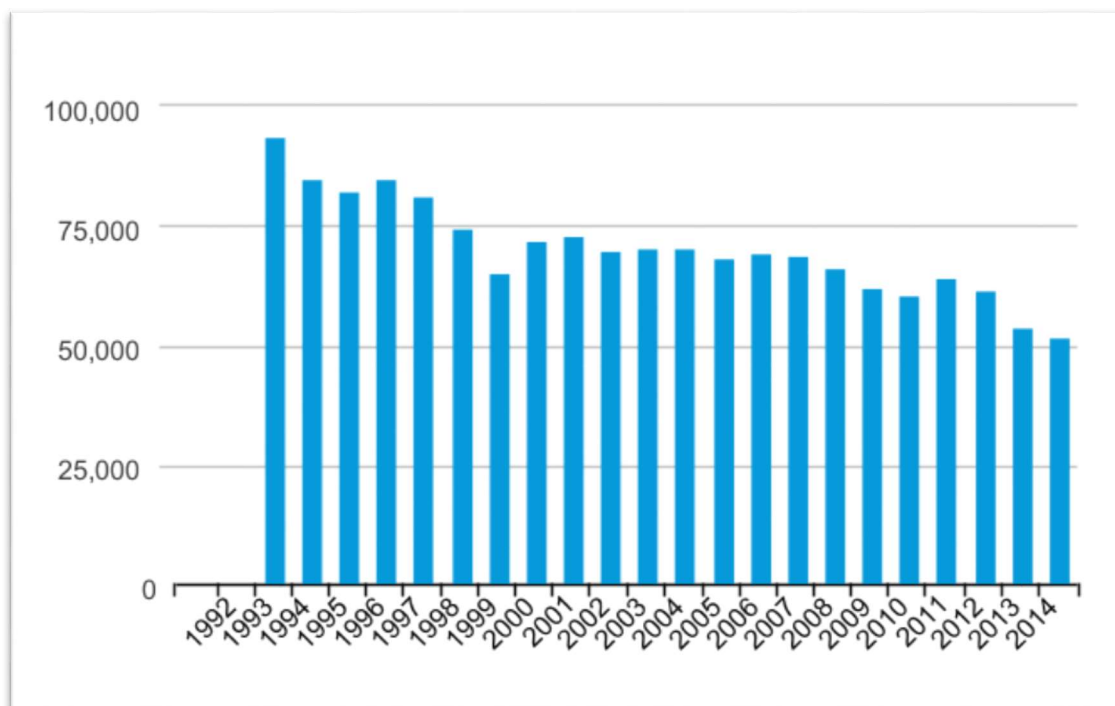
Hnědé uhlí obsahuje 70 až 75 % uhlíku, černé uhlí (dříve kamenné uhlí) obsahuje 72 až 92 % uhlíku. Dle indexu V^{daf} obsahuje černé uhlí 42 až 10 % prchavé hořlaviny. Antracit je druh černého uhlí, který se vyznačuje vysokým obsahem uhlíku (90 až 96 %) a nejnižším obsahem prchavé hořlaviny (12 až 8 %).

Jako energetické uhlí pro spalování v uhelných elektrárnách může být použito pouze uhlí dané kvality. Čím déle a s větší intenzitou je uhlí vystaveno zuhelnujícímu procesu, tím se zvyšuje koncentrace uhlíku, a tím se uhlí stává kvalitnějším. Nejvyšším a zároveň nejstarším uhlím je antracit, poté černé uhlí, hnědé uhlí a nejméně kvalitní uhlí je rašelina s obsahem 50 % uhlíku. [7]

V ČR bylo v roce 2008 potvrzeno 4,501 mld. tun celkových zásob uhlí. Z toho tvořilo 1,673 mld. tun černé uhlí a 2,828 mld. tun uhlí hnědé. [9] V roce 2014 se ČR podílelo na světové těžbě uhlí necelými 0,6 %, což bylo 51,7 milionů tun. Tabulka 1 uvádí 15 Zemí, které se na světové těžbě uhlí v roce 2014 podílely nejvíce. Na obrázku 4 je zobrazen vývoj těžby uhlí v ČR od jejího vzniku po rok 2014 (v tisících tun).

Tab. 2: Těžba uhlí v roce 2014 (v milionech tun) [10]

POŘADÍ	ZEMĚ	celkem	podíl
1.	ČLR	4270,3	47,35 %
2.	USA	1000,0	11,09 %
3.	INDIE	735,8	8,16 %
4.	AUSTRÁLIE	553,3	6,13 %
5.	INDONÉSIE	518,7	5,75 %
6.	RUSKO	393,8	4,37 %
7.	JAR	288,1	3,19 %
8.	NĚMECKO	205,6	2,28 %
9.	POLSKO	150,4	1,67 %
10.	KAZACHSTÁN	127,3	1,41 %
11.	KOLUMBIE	97,6	1,08 %
12.	KANADA	74,6	0,83 %
13.	TURECKO	70,7	0,78 %
14.	ŘECKO	56,0	0,62 %
15.	ČR	51,7	0,57 %
-	ZBYTEK SVĚTA	425,4	4,72 %
-	CELÝ SVĚT	9019,4	100,00 %



Obr. 5: Těžba uhlí v ČR mezi lety 1993 až 2014 (v tisících tun) [10]

2.2 Proces spalování uhlí

Spalovací proces využívá jako zdroje tepla reakce uhlíku s kyslíkem. Vzhledem k heterogennímu charakteru uhlí probíhá spalování uhelné částice ve více stupních. Tyto stupně, které se částečně překrývají, závisejí na procesních podmínkách, tj. na plynném médiu, konečné teplotě a reakční době a na vlastnostech uhlí. Tyto stupně jsou:

- Ohřev uhelné částice
- Uvolnění prchavých látek
- Spalování prchavých látek
- Spalování polokoksu

Ohřev uhelných částic při spalování je velmi rychlý. Např. u některých spalovacích systémů může být u 60 μm částice dosažena teplota částice 1600 $^{\circ}\text{C}$ za 0,05 – 0,1 s.

Uhlí uvolňuje prchavé látky v přibližně stejném čase a množství složených produktů se mění se složením uhlí a velikostí zrna. Uvolňované plyny ovlivňují hoření a spotřebu kyslíku odebíraného ze vzduchu, který obklopuje uhelnou částici.

V tomto stupni hoří prchavé látky nezávisle na rezultujících částicích polokoksu. Odplynění uhlí při vysokých rychlostech ohřevu je důležitým stupněm procesu, který ovlivňuje rychlost, jakou probíhá spalování (rychlost, jakou je spotřebován kyslík) a vytváření sloučenin dusíku, síry a dalších prvků, jakož i příslušný reakční mechanismus. [6]

V závislosti na teplotě a složení uhlí musí být iniciováno spalování polokoksu ještě před spálením všech složek prchavých látek. K úspěšnému spálení musí teplo vybavené při reakci v plynné fázi zvýšit dostatečně teplotu plynu, aby došlo ke vznícení polokoksu. Rychlost spalování polokoksu závisí na řadě činitelů.

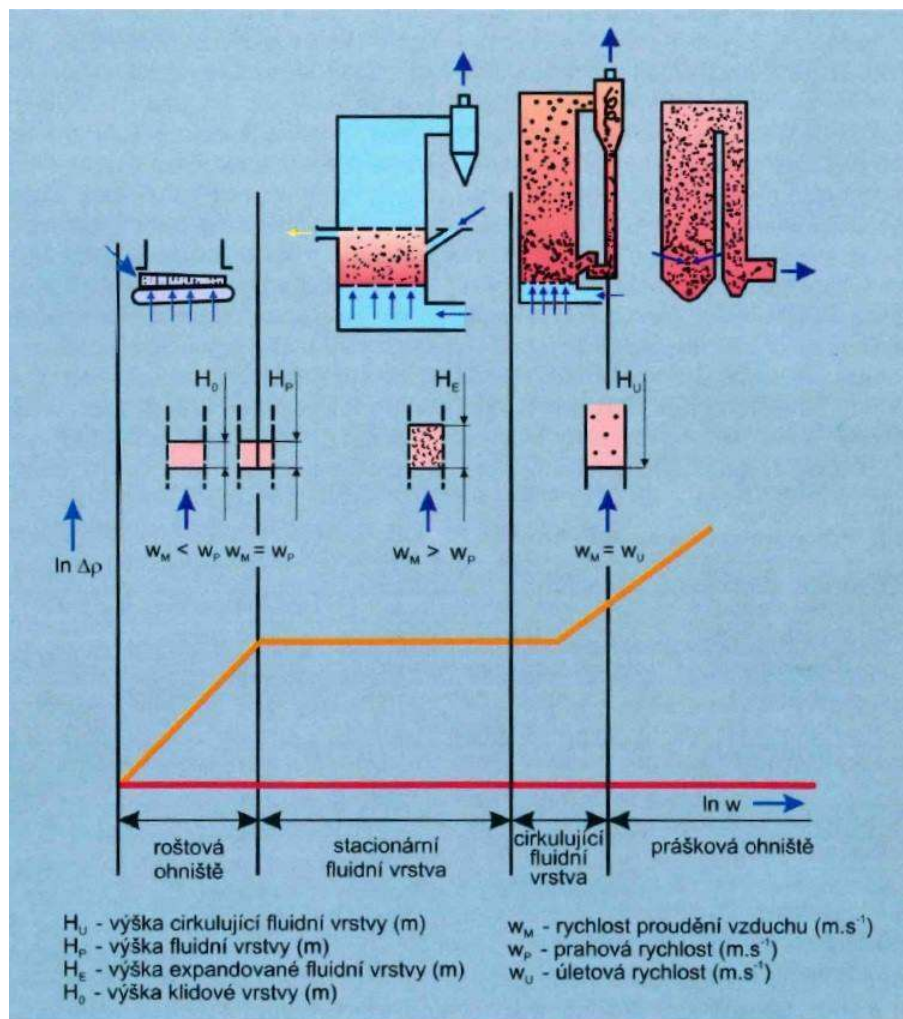
Spalování uhlí je chemická, exotermická heterogenní reakce, ve které vzniká oxid uhličitý a vodní pára. Organická látka z největší části vyhoří na oxid uhličitý a spolu s lehce těkavými odpadními složkami, jako jsou oxidy síry a dusíku, uniká pryč. Při spalování se také vytváří pevný odpad. Jedná se o nespalitelné minerální látky obsažené v uhlí, které jsou souhrnně označeny jako popeloviny. [7] Procesy spalování uhlí významně ovlivňuje úprava uhlí předcházející vlastnímu spalování. [5]

2.3 Druhy spalování uhlí

Spalování uhlí je heterogenní reakcí, která probíhá na povrchu uhelných zrn v několika dílčích krocích. Reakce vždy přechází do difuzního režimu hoření. Kyslík jako složka spalovacího vzduchu je vnášen do ohniště různými postupy, které určují jeho proudění v ohništi. Podle rychlosti jeho proudění dělíme uhelné ohniště na:

- Roštová ohniště
- Fluidní ohniště
- Prášková ohniště

Na obrázku 5 je znázorněno rozdělení uhelných ohnišť v závislosti na rychlosti proudění spalovacího vzduchu.



Obr. 6: Klasifikace uhelných ohnišť [6]

2.3.1 Roštová ohniště

V České republice jsou roštová ohniště dosud používaná pro menší výkony. Slouží ke spalování kusových tuhých paliv v nehybné vrstvě na roštu. Skládají se ze spalovacího prostoru, roštu s násypkou na uhlí, popelníkem a zařízením pro přívod a regulaci vzduchu. Dělí se na roštová ohniště s mechanickým roštem a ohniště s pevným roštem. Rošt v ohništi zajišťuje vytvoření a udržení vrstvy paliva o požadované tloušťce a prodyšnosti s minimálním propadem zrn. Dále zajišťuje optimální přívod spalovacího vzduchu, postupné vysoušení, zahřátí, zápal paliva a hoření zrn. Rošť zachycuje tuhé zbytky po spalování. V Roštovém ohništi se teploty při spalování pohybují okolo 1100 až 1400 °C (lokálně až 1600 °C). [7] Právě vyšší teploty při spalování a delší doba pobytu paliva ve vysokých teplotách patří mezi výhody roštových ohnišť. Ovšem roštová ohniště mají i značné nevýhody. Mají většinou vyšší produkci emisí, nižší procento účinnosti spalování, obvykle vyšší

množství přebytku vzduchu. Přesto jsou roštová ohniště hojně využívána především z hlediska původních technologických vybavení. V současné době však výstavba roštových ohnišť pro průmyslové spalování uhlí není.

2.3.2 Prášková ohniště

V České republice jsou prášková ohniště nejčastějším typem. Mají velmi četné zastoupení v teplárenských a elektrárenských provozech. Jsou to ohniště s nejvyššími výkony. Uhlí je třeba před samotným spalováním více upravovat, než je tomu u ohnišť roštových. V práškových ohništích dochází ke spalování uhelného prášku. Uhlí ze zásobníku je vedeno do sušky a unášeno do mlýna horkými spalinami odebíranými z ohniště. [5] V mlýně se uhlí umele na prach, který má 100 až 1000x větší měrný povrch než u uhlí používaného v roštovém ohništi. Vysušený, umletý a vytríděný uhelný prach je veden do práškových hořáků, do kterých je přiváděn předehřátý spalovací vzduch. Spaliny předávají teplo v teplosměnných plochách na stěnách ohniště a v horní části prostoru ohniště. Provozní teploty se pohybují okolo 1100 až 1500 °C, teplota páry bývá 410-585 °C. Při spalování vzniká velmi jemný popílek, který je unášen spolu s ochlazenými spalinami. V práškovém ohništi dochází k velmi rychlému a dynamickému spalování. Značnou nevýhodou je kvůli namletí uhlí mnohem vyšší produkce jemnozrnných tuhých odpadních popílků. V současnosti se používají dva druhy práškového ohniště, a sice tzv. granulační a výtavné.

V práškovém granulačním ohništi je teplota volena tak, že sice dochází k rychlému hoření, ale spalování nevyvolává podmínky k tečení popelovin. Nevzniká tedy tekutá struska, ale chladná tuhá škvára. Ta padá na dno ohniště, odkud je kontinuálně mechanicky nebo hydraulicky odváděna. Škvárou odchází přibližně 25 % přivedených popelovin. Zbylé popeloviny jsou odváděny spolu se spalinami a musí být následně odloučeny

Ve výtavném práškovém ohništi musí být dodrženy takové podmínky, že je vždy zajištěno tečení (vytavení) popelovin. Vytavená struska se následně odvádí odtokovým otvorem na dně ohniště. Ohniště je rozděleno na výtavný a vychlazovací prostor. Ve výtavném ohništi tedy panují vyšší teploty, popeloviny musí být vystaveny vyšším teplotám, než je jejich teplota tečení. [7]

2.3.3 Fluidní ohniště

Ve fluidním ohništi je také zařízení pro spalování zejména práškového uhlí. Pro vysokou účinnost se využívá ve všech větších teplárnách a elektrárnách. Pískové lože s tryskami přivádí turbulentní vzestupný proud spalovacího vzduchu a vytvořených spalin. [11] Dostupné z: <http://www.energyweb.cz/web/index.php> Palivo, které postupně vyhořívá, ztrácí svou hmotnost a díky tvaru ohniště klesá i rychlost nosné látky na hodnotu rychlosti vznosu. Přiváděné palivo a popeloviny se tím vznesou do určité výšky a rozvrství se dle své aktuální hmotnosti, kde víří kolem své rovnovážné polohy. Díky cyklonovému odlučovací se unášené částice opět navrací do fluidní vrstvy a proces se opakuje. [5] Tuhé zbytky po spálení ještě nějakou dobu zůstávají v ohništi. Ve fluidním ohništi se teploty pohybují v rozsahu 700 až 900 °C. Takto nízkých teplot se dosáhne použitím paliva s nízkou výhřevností, dávkováním vápence do směsi paliva a ohříváním přiváděného vzduchu na nižší teploty. Ve fluidním ohništi lze spalovat libovolně kvalitní uhlí, opakovaná cirkulace zajišťuje vyhovující vyhoření paliva, nízká teplota fluidních vrstev snižuje emise NO_x. dávkování vápence snižuje emise SO₂ a dochází k odsiřování přímo v ohništi. Dle účinnosti je typ fluidního ohniště modifikován do tří systémů. Je to fluidní spalování při atmosférickém tlaku (AFBC), při zvýšeném tlaku (PFBC) nebo cirkulační spalování (CFBC). [11]

3. Způsoby odsiřování

3.1 Odsiřování

Energetika se podílí velkou měrou na celkovém znečištění ovzduší. Největším problémem jsou především emise oxidu síry a dusíku, dále pak emise těžkých kovů související s tuhými úlety. V České republice řeší problematiku emisních limitů oxidů síry zejména Nařízení vlády č. 597/2006 Sb. a NV č. 146/2007 Sb. Proces, kterým se odstraňují nežádoucí příměsi síry, nazýváme odsiřování. [13]

3.2 Možnosti odsiřování

Mezi základní způsoby odsiřování patří:

- Odsiřování uhlí
- Odsiřování spalin

3.3 Odsiřování uhlí

Ke snížení množství oxidu siřičitého vzniklého spálením uhlí lze použít některou u úpravářenských metod, které snižují obsah síry v uhlí. Síra se v uhlí vyskytuje v několika formách. Může se vyskytovat v pyritické formě (FeS_2), v různých organických sloučeninách, ve formě síranů a může být i v čisté formě. Každá forma vyžaduje jinou technologii k odsiřování uhlí. Obsah síry v uhlí je proměnný dle druhu i místa původu a zpravidla se pohybuje v rozmezí 0,5 až 10 % hmotnosti. V černém uhlí je obsah síry nižší než v hnědém.

Organická síra je součástí uhelné hmoty a činí 30 až 70 % veškeré síry ve většině druhů uhlí. Pyritická síra je minerál v různých, neřídka mikroskopických velikostech s měrnou hmotností cca 5,0. Maximální měrná hmotnost uhlí je cca 1,8 a právě tohoto rozdílu měrných hmotností využívá tzv. mechanická (fyzikální) separace pyritické síry. Jedná se o nejjednodušší postup odsiřování uhlí. Pyrit se také může odstranit vyluhováním (Myersův způsob). Za zvýšeného tlaku a teploty se uhlí vyluhuje roztokem $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Ovšem obsah organicky vázané síry se nezmění. Další cestou ke snížení obsahu síry v uhlí je využití dalších chemických postupů. Existuje jich mnoho, ale jsou drahé a velmi komplikované.

Snaha z uhlí získat čisté palivo vedla ke vzniku metody tlakového zplyňování (tzv. Paroplynový cyklus). V principu se jedná o oxidačně-redukční proces, při kterém se pro zplyňování uhlí využívá vodní pára. Konečným produktem je plyn složený především z vodíku, oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého. Současné technologické postupy zplyňování uhlí dosahují účinnosti 60 až 70 %. Na jejich vývoji se dále pracuje. [13]

3.4 Odsiřování spalin

Snižování obsahu oxidu siřičitého ve spalinách před jejich vstupem do ovzduší označujeme odsiřováním spalin. K tomuto účelu se instalují technologická zařízení mezi kotel a komín, která zachycují oxidy síry ve spalinách. Dnes je to v podstatě jedinou metodou, která se v energetice užívá ve velkém měřítku. Ve světě je známo přibližně 200 metod odsiřování spalin založených na různých chemických či fyzikálně-chemických principech. Většinu odsiřovacích procesů lze zařadit až na

konec spalovacího cyklu, a tím prakticky nezasahovat do výroby elektřiny a tepla. Metody odsiřování spali dělíme dle způsobu zachycování na:

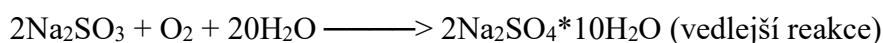
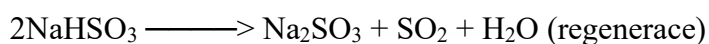
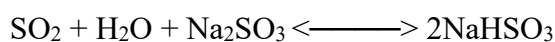
- Regenerační
- Neregenerační
- Mokrý
- Suchý
- Polosuchý

3.4.1 Regenerační odsiřovací metody

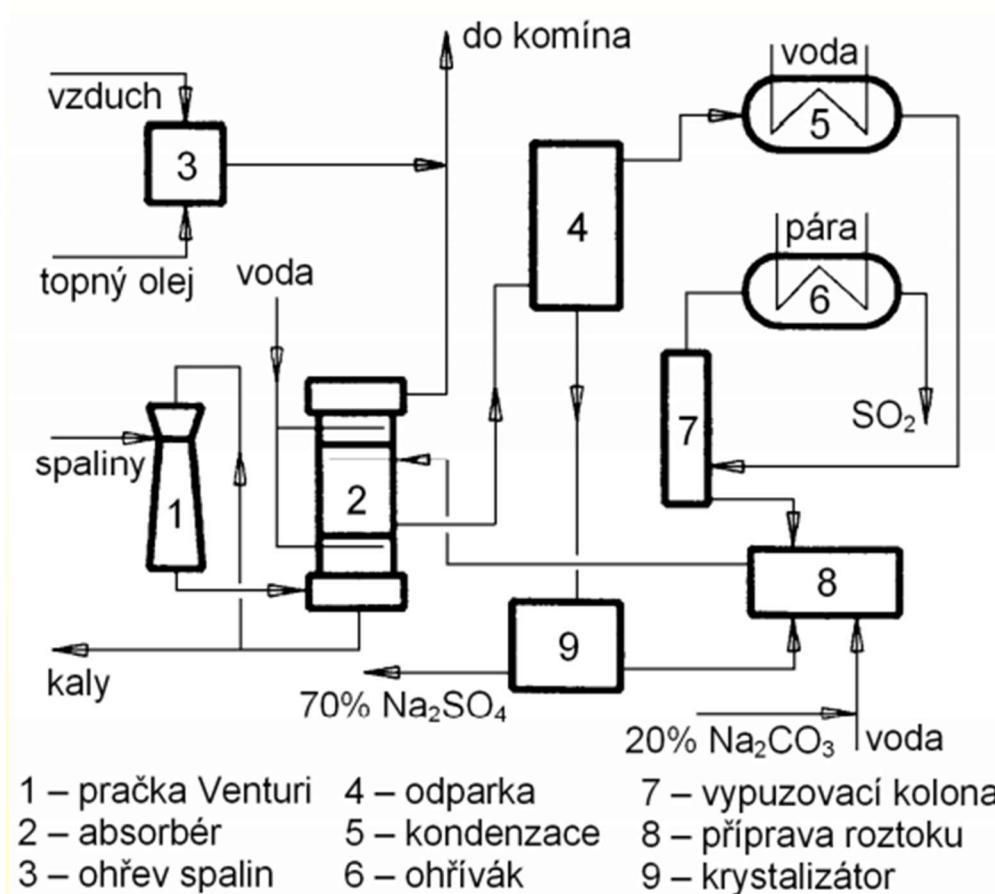
Metody, ve kterých se aktivní látka (absorpční činidlo) po reakci s oxidem siřičitým regeneruje a vrací se zpět do procesu. Oxid siřičitý se dále zpracovává. Jsou však materiálově a energeticky náročnější právě kvůli nutnosti regenerace. Mezi nejrozšířenější regenerační metodu patří natrium-sulfitový proces (či Wellman-Lord proces), dále pak magnezitový proces. V USA se ještě používá proces dvou alkálií.

3.4.1.1 Natrium-sulfitový (Wellman-Lord) proces

Princip této metody popisují následující rovnice:



Po zahřátí první reakce probíhá opačným směrem, což je principem regenerace pracovního roztoku. Ta se provádí v odparce, z níž odchází oxid siřičitý o koncentraci 80 až 90 % a krystalický siřičitan sodný. Nežádoucí vedlejší reakcí je oxidace na síran, který je nutno z roztoku získávat krystalizací. Metoda je velmi spolehlivá a pracuje s vysokou účinností (vyšší než 90 %). Regenerace je ovšem vysoce náročná na energii. [17]

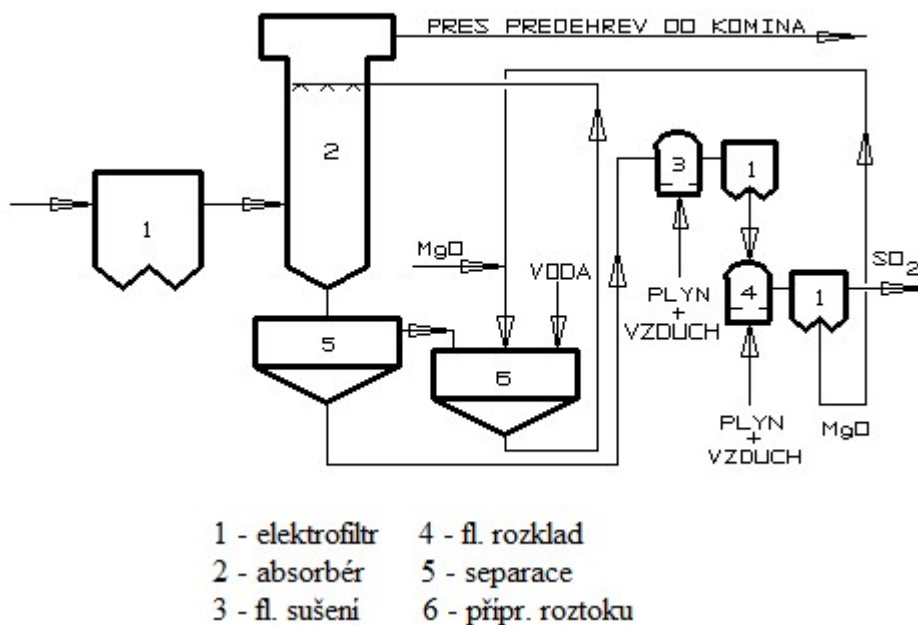


Obr. 7: Typické schéma natrium-sulfitové metody [16]

3.4.1.2 Magnezitový proces

Jedná se o regenerativní proces, jehož principem je absorpce oxidu siřičitého do suspenze oxidu hořečnatého. Při regeneraci se krystaly siřičitanu hořečnatého tepelně rozkládají na oxid hořečnatý, který se vrací do procesu, a na oxid siřičitý, který se dále zpracovává na kyselinu sírovou nebo elementární síru. Rozklad se provádí při teplotách nad 800 °C v redukční atmosféře, ve které se oxidací siřičitanu vzniklý síran hořečnatý redukuje rovněž na SO₂ a MgO.[16]

Mezi nevýhody této metody patří velká energetická náročnost, potřeba velmi kvalitního magnezitu a eroze materiálů způsobená dopravou krystalů. Jako výhodu lze uvést vysokou spolehlivost, účinnost odsíření přes 90 % a bezodpadovost. Tato metoda byla použita v USA a Japonsku, ovšem ve světě široké uplatnění nenašla. Instalace sovětské technologie na kotli Tušimice II nebyla nikdy zprovozněna.



Obr. 8: Typické schéma magnezitové metody [18]

3.4.1.3 Proces dvou alkálií

K této metodě se využívá NaOH nebo Na₂CO₃. Regenerace se provádí přidávkem Ca(OH)₂, kdy vzniká směs síranu, siřičitanu a NaOH. Mezi výhody oproti mokré vápencové metodě patří nižší skrápěcí poměr, tvorba síranů nerušící proces a nižší energetická náročnost. [15]

3.4.1.4 Proces Bergbau-Forschung

Tato metoda je založena na sorpci oxidu siřičitého na aktivním koksu, jehož katalytickým působením současně probíhá oxidace kyslíkem přítomným ve spalinách na oxid sírový, který spolu s vlhkostí vytváří kyselinu sírovou. Spaliny přicházejí do adsorpční části s teplotou 120 °C, vlastní reakcí se ohřívají a odcházejí do komína s teplotou cca 125 °C. Nasycený aktivní koks se pak odvádí k regeneraci horkým pískem při teplotě asi 650 °C. Podstatou regenerace je redukce kyseliny sírové zpět na SO₂ uhlíkem aktivního koksu, který se tím zčásti spotřebovává. Celá metoda je velmi komplikovaná a náročná na energii i na spotřebu aktivního koksu. Jedná se o suchou metodu. [18]

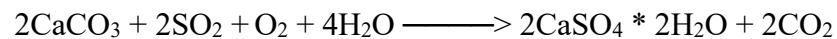
3.4.2 Mokr  metody odsiřování

Mezi mokr  metody odsiřování řadíme hlavn  Vápno-vpencov  metody a proces Walther, kter  jsou neregenerativní. Nicméně jako mokr  metody bychom také mohli označit jiř zmin n regenerativní proces natrium-sulfitov a magnezitov proces.

3.4.2.1 Vápno-vpencov  metody

Principem těchto metod je vázání oxidu siřičitého do vodn  suspenze uhličitanu nebo hydroxidu vápenatého a nsledn oxidace vzniklého siřičitanu na síran vpenat, kter se odděluje a deponuje nebo zpracovává na sádru. [18]

Sumrn  lze proces vyjádřit jako:

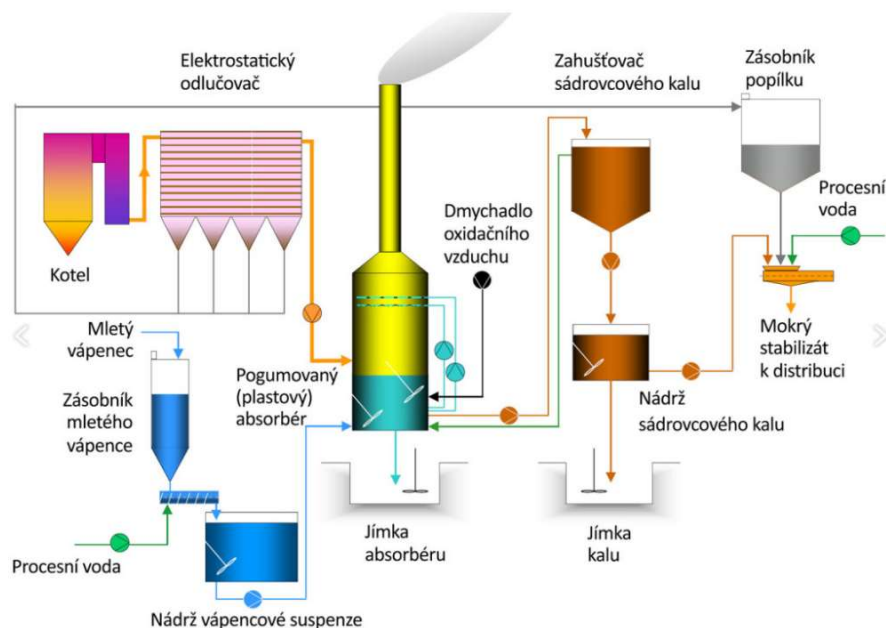


K popsn procesu podrobn  by bylo třeba několik dalřch chemických rovnic. Vápno-vpencov  metody mají n kter  sv  nevýhody. Vyřaduje vysok skrápěcí poměr, jelikoř vzhledem k malé rozpustnosti vápence a siřičitanu je koncentrace aktivní látky nzk a v systému je tendence k tvorbě sad síranu vápenatého, kter  způsobují komplikace při provozu. Prací roztok má vysok  pH, coř se nepřzniv  projevuje na zvyřen  tvorbě siřičitanu na úkor hydrogensiřičitanu a z toho vyplývá nedostatecn oxidace na síran. Tyto nevýhody se řeř přídavkem anorganických nebo organických aditiv. Širř uplatnění nařla organick aditiva, zejména organick  kyseliny. [18]

Proces lze urychlit například zmenřenm velikosti částic a zv řšenm povrchu vápence, či zvyřenm stechiometrického poměru CaCO_3 ku SO_2 , zvyřenm poměru (l) ku (g), přídáním aditiv nebo v ř zdrř suspenze v absorb ru.

Jako surovina se v současn  době pouřv prakticky vhradn  vápenec, kter oproti vápnu kromě ceny m jeřt  výhodu v nřřm pH roztoku.

V dneřn době nejvíce vyuřvanou metodou je tzv. mokr vpencov vypírka. Je to nejrozřřen jř metoda v uheln  energetice a víceméně jedn dnes pouřvan metoda moderních elektráren. Nejčastěji vyuřv protiproudého bezvpln v ho absorb ru. činnost odsiření bývá vyřř než 90 %. [13]



Obr. 9: Pracovní schéma mokré vápencové metody [13]

Produkovaný sádrovec se nejprve zbaví větší části roztoku v usazováku (nověji v hydrocyklonu), odkud se přivádí na vakuový filtr nebo do odstředivek. Zde se promyje vodou na zbytkový obsah chloridů pod 100 mg/kg a konečně dosuší na obsah volné vody cca 10 %. Konečný produkt se jako tzv. energosádrovec dále suší, případně briketuje a využití dále nachází jako druhotná surovina ve stavebnictví jako základy silničních pojezdů nebo výrobu např. sádrokartonových desek. Voda z promývání se vrací do technologie, případně jde část do ČOV nebo je odpařována ve spalinách v kotli.

3.4.3 Suché metody odsiřování spalin

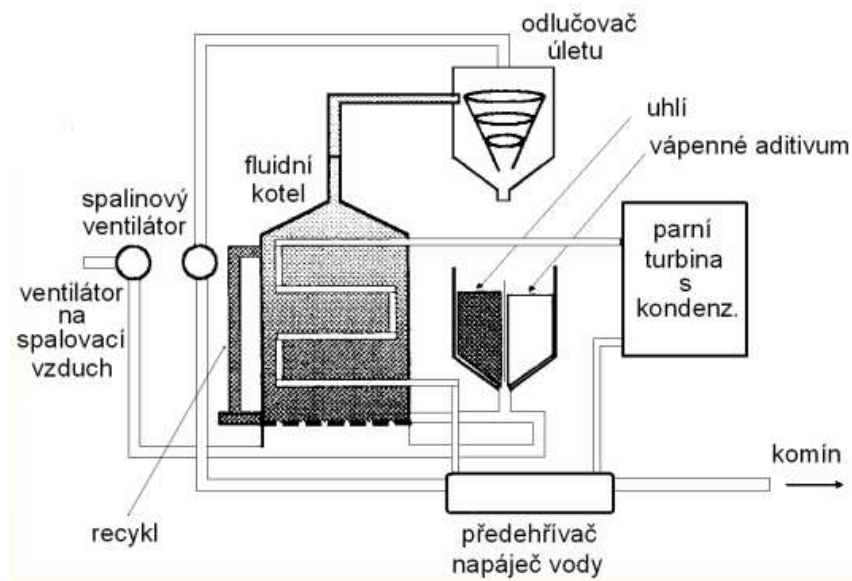
Během suchých procesů odsiřování spalin neklesne teplota spalin pod rosný bod vody. Mezi suché metody lze zařadit i metody katalytické. Jedná se konkrétně o suchou aditivní vápencovou metodu, fluidní spalování s aditivou, již zmíněný regenerační proces Bergbau-Forschung a katalytické metody odsiřování spalin.

3.4.3.1 Suchá aditivní vápencová metoda

Princip této metody spočívá v dávkování jemně mletého vápence do spalovacího prostoru, kde dochází k vázání oxidů síry na vápenatý ion. Produkty společně se spalinami odcházejí do elektrofiltru, kde se spolu s popílkem odloučí a deponuje. V současné době se tato metoda prakticky nevyužívá, jelikož její účinnost byla velmi nízká (30 až 50 %). [18]

3.4.3.2 Fluidní spalování s aditivu

Jako na modifikaci suché metody lze pohlížet na fluidní spalování tuhých paliv kombinované s přidavkem aditiva do spalovacího prostoru. Je zajištěna podstatně delší doba zdržení paliva a tím i aditiva v horké zóně. Vhodná pracovní teplota při této metodě je 850 °C. Účinnost zreagování aditiva při optimálním mletí, které lze dosáhnout, činí až 85 %. Na obrázku 9 je znázorněné schéma fluidního spalování s přidáním vápenného aditiva. [16]



Obr. 10: Pracovní schéma fluidního spalování s přidáním vápenného aditiva [16]

3.4.3.3 Katalytické metody odsiřování spalin

Tyto metody mají jako společný znak katalytickou oxidaci oxidu siřičitého na oxid sírový a jeho následné odstranění ze spalin ve formě kyseliny sírové nebo síranu vápenatého či amonného. Řadíme sem například tyto procesy:

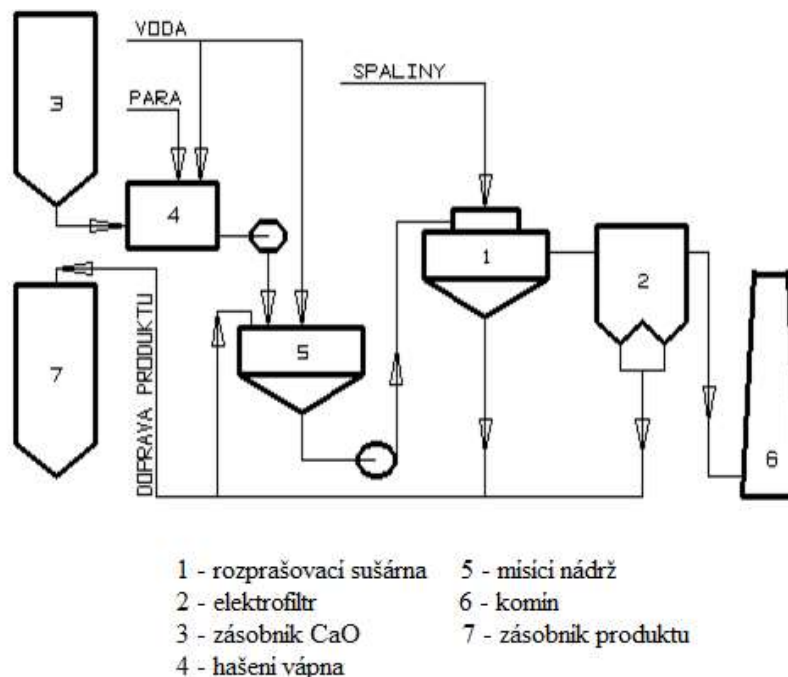
- Cat-ox
- Kyioura
- Chiyoda
- Haldor-Topsoe

3.4.4 Polosuché metody odsiřování spalin

Mezi tzv. polosuché metody řadíme metody, ve kterých je aktivní látka ve formě suspenze vsřikována do proudu horkých spalin. Kapalina se poté odpaří a produkt reakce se zachycuje v tuhém stavu. Mezi polosuché metody řadíme především tzv. rozprašovací absorpci.

3.4.4.1 Rozprašovací absorpce

Principem této metody je vsřikování vápenného mléka do horkých spalin, během kterého dochází k absorpci oxidu siřičitého a částečné oxidaci na síran vápenatý a současně odpaření vody. Směs síranu a siřičitanu vápenatého s popílkem současně s nezreagovaným CaO se zachycuje v následně zařazeném elektroodlučovači. Účinnost této metody je až 80 %. Problémem je však omezené využití produktu odsíření. Metoda rozprašovací absorpce najde uplatnění zejména u malých a středních energetických jednotek, ve kterých by bylo ekonomicky takřka nemožné stavět nákladné mokré technologie. Na obr. č. 10 je znázorněno schéma rozprašovací absorpce. [18]



Obr. 11: Pracovní schéma rozprašovací absorpce [18]

4. Vedlejší energetické produkty a jejich využití

Vedlejší energetické produkty jsou tuhé materiály, které vznikají v důsledku spalování pevných paliv a při procesu odsiřování spalin převážně při výrobě elektrické energie a tepla. Jejich produkce je nevyhnutelná, protože vznikají v důsledku plnění požadavků stanovených pro vypuštění emisí do ovzduší (tedy v důsledku plnění opatření na ochranu ovzduší – životního prostředí). Využití vedlejších energetických produktů závisí na jejich chemických, mineralogických a fyzikálních vlastnostech. Na tyto vlastnosti má vliv design a typ elektrárny, původ uhlí a stejně tak typ uhelné vpusti. [19]

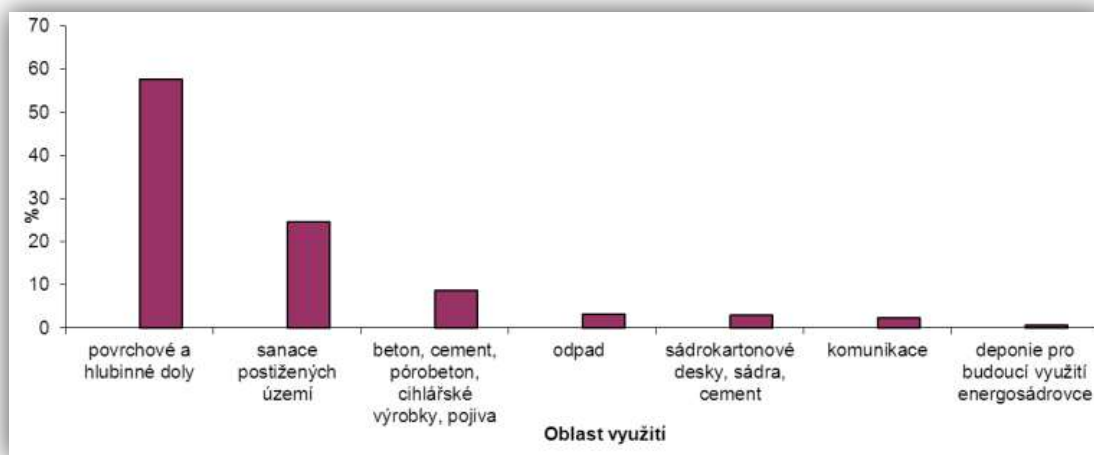
Vedlejší energetické produkty ze spalování uhlí a biomasy uváděné na trh jsou od konce roku 2010 registrovány podle nařízení (ES) č. 1907/2006 (nařízení REACH) a jsou v současné době považovány za chemické látky a je nezbytné s nimi takto nakládat, s ohledem na platné právní předpisy. V rámci provedeného testování a vyhodnocení podle nařízení REACH nebyl prokázán žádný negativní vliv energetických produktů při jejich správném použití na lidské zdraví, ani na životní prostředí. [19]

Tab. 3: Registrované energetické produkty [19]

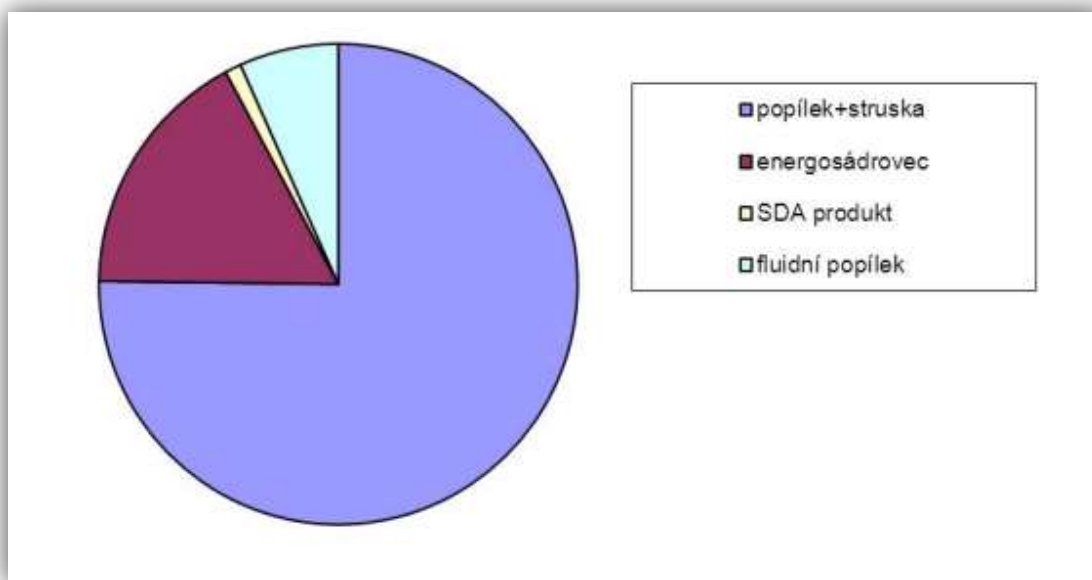
OZNAČENÍ	ENERGETICKÉ PRODUKTY
Ashes (residues), coal	popílek, struska a škvára z klasického spalování uhlí
FBC Ash	úletový a ložový popel z fluidního spalování uhlí
SDA Produkt	produkt polosuché metody odsiřování kouřových spalin
Calcium Sulfate	síran vápenatý, energosádrovec
Ashes (residues), plant	popílek, struska a škvára ze spalování čisté biomasy

Mezi hlavní výhody používání vedlejších energetických produktů nesporně patří ekonomická úspora a ekologický přínos. Tím, že se využívají vedlejší energetické produkty, klesá potřeba primárních přírodních zdrojů. (kamenivo, sádrovec, slínek, atd.)

Produkce vedlejších energetických produktů je v České republice kolem 14 mil. tun ročně. V EU je to více než 100 mil. tun ročně. Na obrázku 11 jsou znázorněny oblasti využití energetických produktů v ČR v roce 2011 a na obrázku 12 je vyznačen poměr vzniku jednotlivých energetických produktů v ČR ve stejném roce.



Obr. 12: Využití vedlejších energetických produktů v ČR za rok 2011 [23]



Obr. 13: Produkce vedlejších energetických produktů v ČR za rok 2011 [23]

4.1 Popel a popílek

Popílek je produktem spalování práškového antracitu, černého či hnědého uhlí. Je zachycován v odlučovačích ze spalin tepelných elektráren.

Popel je směs popílku a strusky (škváry).

Dle druhu spalování rozlišujeme dva druhy popílku a popelu:

- Popílek a popel (PP) vznikající při vysokoteplotním spalování pevných paliv v roštových nebo granulačních kotlích
- Fluidní popílek a popel (FPP) vznikající při fluidním spalování mletého uhlí s příměsí vápence. Fluidní spalování probíhá při nižších teplotách do 850 °C.

Podle místa odloučení ze spalin rozdělujeme popílek na hrubší (tzv. ložový popílek) a jemnější (tzv. úletový popílek).

Ložový popílek je získáván gravitačním odloučením v zadních tazích kotle. Tento popílek mimo jiné obsahuje i volné vápno (CaO) a anhydrit (CaSO₄).

Úletový popílek se získává z elektrostatických (tkaninových) odlučovačů z plynných spalin. Jedná se o jemnější frakce převážně z křemičitanového skla.

Popel a popílek se uplatňuje při výrobě betonů, betonových výrobků, pórobetonů, v cihlářské výrobě, při výrobě cementu, suchých omítkových zdicích, zálivkových směsí a tmelů, umělého kameniva a stabilizátu (stabilizovaného popílku).

4.2 Struska

Struska je vedlejším produktem prakticky ve všech velkých uhelných elektrárnách, kde se spaluje uhlí v granulačních kotlích. Odlučuje se ve výsypce spalovací komory kotle, kde dopadá do vodní lázně a následně dochází k jejímu ochlazení. V dalším procesu je struska odvodněna a po odvodnění je expedována odběratelům.

Strusku lze využívat do násypů zemních těles pozemních komunikací, zásypů rýh a kanalizačního potrubí, obsypů mostních opěr apod. Struska s nízkou objemovou hmotností je velmi vhodná zejména při stavbách násypových těles na

málo únosném podloží. Výhodně se využívá i vzhledem k její vysoké smykové pevnosti pro zásypy opěrných konstrukcí. Struska je také využitelná jako ostřivo při výrobě cihlářských pálených výrobků. [24] Také ji lze využít pro stavbu násypů dálničních těles. Například v letech 2005 až 2007 bylo použito při stavbě dálnice D11 přibližně 500 tisíc tun strusky.

4.3 Energosádrovec

Energosádrovec vzniká při výrobě elektrické energie v uhelných elektrárnách při procesu odsiřování spalin. Při odsiřování kouřových plynů se nejvíce používá vodní suspenze jemně mletého vápence, tzv. metoda mokré vápencové vypírky. Produktem tohoto procesu je dihydrát síranu vápenatého $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, tzv. energosádrovec.

Energosádrovec je v současnosti nejvíce používaným typem sádrovců. Hlavní rozdíl mezi tímto syntetickým a přírodním sádrovcem spočívá zejména v odlišných fyzikálních vlastnostech, jako je velikost zrna, tvorbě typu krystalů a hodnotách sypné hmotnosti. Energosádrovec obsahuje obvykle 90 až 95 % čistého síranu vápenatého, zatímco přírodní sádrovec dosahuje čistoty přibližně 65 %.

Využívá se zejména při výrobě sádrokartonu a sádry. Je využíván i při výrobě cementu jako regulátor doby tuhnutí či aktivátor postupu tvrdnutí pórobetonu. Své uplatnění našel také při výrobě omítkových směsí a stabilizátů a nově je také zkoušen při přípravě anhydritových maltovin. [25]

4.4 RO voda

RO voda je koncentrát z reverzní osmózy. Tato odpadní voda nalézá využití při výrobě stabilizátu. Neobsahuje toxické kovy a stopové prvky s výjimkou boru (přibližně 33 mg/l)

Reverzní osmóza je jedním z řady tlakových membránových procesů, využívajících k separaci látek rozpuštěných v kapalině semipermeabilní membránu, na které dojde ke zkoncentrování rozpuštěných látek. Koncentrát je veden do odpadu a čistá fáze je využita v další technologii. Jedná se o prvotřídní technologii, která nachází uplatnění v mnoha oborech, potravinářstvím počínaje a třeba elektrárenským provozem konče. [26]

4.5 REA voda

Odpadní voda z mokrých metod odsíření se nazývá voda REA. Voda je silně zasolená a současně vykazuje vysoké množství některých toxických kovů a stopových prvků, a to boru, hliníku, niklu, selenu a rtuti. REA voda se využívá do stabilizátu.

5. Hodnocení vedlejších energetických produktů z hlediska ekologické nezávadnosti

Vedlejší energetické produkty obsahují spoustu látek, které jsou pro životní prostředí nežádoucí. Jedná se zejména o těžké a toxické kovy. Koncentrace znečišťujících látek je zpravidla vyšší než u běžných stavebních materiálů, případně vyšší než přirozené prostředí pozadí v zeminách a horninách, které jimi nahrazujeme. Pro použití vedlejších energetických produktů jsou stanovena legislativní a normová kritéria. Například při použití do zemních konstrukcí silničních staveb lze využít technické podmínky TP 93 „Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů“ (dále jen TP 93).

Ekologická vhodnost popílků a dalších vedlejších produktů se posuzuje [2]:

- Podle **chemických vlastností výluhu**
- Podle **REACH** (**R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation of **C**hemicals tj. Registrace, Hodnocení a Povolení Chemických látek)
- Podle **mezní hodnoty hmotnostní aktivity Ra226**

5.1 Chemické vlastnosti výluhu

Chemické vlastnosti výluhu, který se připraví loužením vzorku smíchaného s vodou v poměru 1:10 dle ČSN EN 12457/1-4 se porovnávají s mezními hodnotami, které jsou znázorněny v tabulce 4. V téže tabulce jsou uvedeny hodnoty dle metodického pokynu MŽP „Indikátory znečištění“ z roku 2013 a limity pro pitnou vodu dle vyhlášky 252/2004 sb. v platném znění.

Z tabulky 4 je patrné, že některé mezní hodnoty pro vodní výluhy dle TP 93 překračují porovnávané hodnoty pro pitnou vodu. To znamená, že výluhy ze zemních konstrukcí s využitím vedlejších energetických produktů mohou způsobovat kontaminaci podzemní vody, i přes to, že jednotlivé koncentrace ve výluhu vyhovují TP 93. V ČR má přednost limit pro pitnou vodu.

Tab. 4: Limitní hodnoty výluhu (mg/l) [2]

Prvek	TP 93	Indikátory znečištění MŽP	Pitná voda
Ag	0,1	0,071	0,05
As	0,1	0,000045	0,01
Ba	1	2,9	-
Be	0,005	0,016	0,002
Pb	0,1	0,01	0,01
Cd	0,005	0,0069	0,005
Cr celk.	0,1	-	0,05
Co	0,1	0,0047	-
Cu	1	0,62	1
Ni	0,1	0,3	0,02
Hg	0,005	0,00063	0,001
Se	0,05	0,078	0,01
V	0,2	0,063	-
Zn	3	4,7	-
Sn	1	9,3	-

5.2 Příprava výluhu záměsové vody dle centra hygieny životního prostředí ČR

Národní referenční laboratoř pro hygienu půdy a odpadů SZÚ vypracovala postupy, které slouží k přípravě vodných výluhů stavebních materiálů a výrobků se zabudovaným odpadem, které umožňují stanovit ve stavebních materiálech a výrobcích takové látky nebo jejich formy, které jsou za daných podmínek rozpustné ve vodě. Určení a stanovení uvolnitelných látek umožňuje zjistit, jestli dojde k ovlivnění nebo ohrožení přírodního prostředí, především vody a půdy

Odebrání skutečně reprezentativního vzorku dle ČSN 01 5110, u stavebních výrobků ve formě monobloku je připraveno zkušební těleso s délkou zrání nejméně 28 dní.

Jako loužící kapalina je používána buďto destilovaná voda podle ČSN ISO 3696, nebo destilovaná voda upravená pomocí kyseliny chlorovodíkové na pH 3(0,3 ml HCl koncentrovaná do 1000 ml vody).Doba trvání je individuální a může být 24 hodin, 48 hodin, 7 dní i 10dní a více.

V případě, že jsou zkušební vzorky hranoly, kvádry či válce je stanovený poměr 1:5 a docílí se tak, že 200cm² povrchu zkušební tělesa se přelije 1000 ml loužící kapaliny (tedy podle změřeného povrchu se přidává či odebírá množství loužící kapaliny). Podmínky vyluhování jsou definovány teplotou 22 °C + 2 °C, 24 hodinami (či jinou uvedenou časovou variantou) styku obou fází a oddělením filtrací. Pro chemickou analýzu přes membránový filtr o velikosti pórů 0,45 µm, pro testy exotocity přes papírové filtry střední velikosti pórů 5 µm. [30]

5.3 Posouzení REACH

Vedlejší energetické produkty musí mít od 1. června 2007 registraci dle nařízení Evropského parlamentu a rady (ES) č. 1907/2006 – REACH a nesmí být klasifikovány podle nařízení ES 1272/2008 – CLP (Classification, Labelling and Packaging – klasifikace, označování a balení chemických látek a směsí)

5.4 Mezní hodnota hmotnostní aktivity Ra226

Mezní hodnota hmotnostní aktivity Ra226 nesmí podle vyhlášky 499/2005 Sb. příloha 10 překonat hodnotu 1000 Bq*kg⁻¹ u staveb jiných než s obytnými nebo pobytovými místnostmi. Směrná hodnota obsahu přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu vyjádřená jako index hmotnostní aktivity $I \leq 2,0$. Rozbor obsahu přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu by se dle vyhlášky u stavebních materiálů určených k použití jinému než ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi měl provádět jednou za pět let.

5.5 Požadavky na nezávadnost záměsové vody

Záměsová voda pro přípravu popílkového stabilizátu musí splňovat vybrané ukazatele ČSN EN 1008 (pH, obsah síranů, chloridu a hořčíku – hodnoty pro prostý beton). Při výrobě popílkového stabilizátu v míchacích centrech je možné použít i REA vodu, pokud nemá nepříznivý vliv na fyzikální nebo ekologické vlastnosti výrobku. [2]

Norma ČSN EN 1008 „Záměsová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu“ shrnuje následující posouzení vod a požadavky:

5.5.1 Úvodní posouzení záměsové vody

Tab. 5: Požadavky pro úvodní posouzení záměsové vody

		Požadavek	Zkušební postup
1	oleje a tuky	Ne více než viditelné stopy	Počáteční posouzení
2	čistící prostředky	Jakákoliv pěna by měla zmizet během dvou minut	Počáteční posouzení
3	barva	Barva se musí posoudit kvalitativně jako bleděžlutá nebo světlejší	Počáteční posouzení
4	rozptýlené látky	Usazenina maximálně 4 ml	Počáteční posouzení
5	zápach	Bez zápachu, s výjimkou vůně, která je přípustná pro pitnou vodu a lehký zápach po cementu a když vysokopecní struska je přítomná ve vodě, lehký zápach sirovodíku	Počáteční posouzení
6	kyselost	$\text{pH} \geq 4$	Počáteční posouzení
7	humusovité látky	Barva se posuzuje kvalitativně jako světle žlutá nebo světlejší po přidání NaOH	Humusovité látky

5.5.1.1 Zkušební postupy pro úvodní posouzení záměsové vody dle ČSN EN 1008:

Při počátečním posouzení se malý dílčí vzorek posoudí nejdříve po odběru vzorku k zjištění oleje a tuků, čistících prostředků, barvy, rozptýlených látek, zápachu a humusovitých látek.

Před odběrem malého dílčího vzorku se musí voda protřepat, aby případné usazeniny byly znovu rozptýleny ve vzorku. Do odměrného válce objemu 100 ml se vlije 80 ml vody. Uzavře se vhodnou zátkou a intenzivně se protřepe po dobu 30 sekund. Čichem se ověří, zda nemá jiný zápach než čistá voda. Pokud je jakákoliv pochybnost o zápachu, vyzkouší se pro stupeň zápachu podle národních předpisů pro pitnou vodu. Stupeň zápachu musí být menší, než je maximálně přípustný zápach pro pitnou vodu. Ověří se, zda na povrchu vody je pěna. Odměrný válec se postaví na místo, kde není žádná vibrace a nechá se stát po dobu 30 minut. Po 2 minutách se zkontroluje přítomnost pěny a jakékoliv známky oleje nebo tuků. Po 30 minutách se zkontroluje viditelný objem usazených látek a barva vody. Zjistí se pH použitím indikátorových papírků nebo pH metrem. Pak se přidá 0,5ml kyseliny solné, promíchá se a zjišťuje se podle zápachu, zda je přítomen sirovodík. [29]

Humusovité látky se zjišťují tak, že se do zkumavky vlije vzorek vody o objemu 5 ml. Uloží se v místnosti o teplotě mezi 15 °C a 25 °C. Přidá se 5 ml 3 % hydroxidu sodného, protřepe se a nechá stát po dobu 1 hodiny. Zjistí se barva. [29]

5.5.2 Požadavky na chemické vlastnosti záměsové vody

Obsah chloridů ve vodě pro popílkové stabilizáty nesmí překročit hodnotu 4500 mg/litr. Obsah síranů ve vodě nesmí být vyšší než 2000 mg/litr. Voda musí vyhovovat limitům na škodlivé znečištění, uvedených v tabulce č. 6.

Tab. 6: Požadavky na škodlivé znečištění [29]

Látka	Maximální obsah (mg/litr)
Cukry	100
Fosfáty; vyjádřené jako P ₂ O ₅	100
Dusičnany; vyjádřené jako NO ₃ ⁻	500
Olovo ^o vyjádřené jako Pb ²⁺	100
Zinek; vyjádřený jako Zn ²⁺	100

Popílkový stabilizát připravený v míchacím centru nesmí být při zpracování na staveništi dodatečně vlhčen.

Výrobce prokazuje splnění všeobecných požadavků na vlastnosti materiálu „Prohlášením o shodě“, včetně kopie certifikátu. Na vyžádání musí doložit i výsledky a posouzení zkoušek.

6. Bezslínkové hydraulické pojivo Sorfix

Nové bezslínkové hydraulické pojivo Sorfix (SFX) vzniklo ve spolupráci Vysoké školy chemicko-technologické, Českého vysokého učení technického a společností ČEZ Energetické produkty s.r.o. a patentový spis byl zveřejněn 8.2.2017.

Způsob přípravy bezslínkového hydraulického pojiva smíšením fluidního popílku ze spalování uhlí s mletým vápencem, který obsahuje kromě hlinitokřemičité látky také nejméně 2 % hmotn. volného CaO a nejméně 2 % hmotn. CaSO₄, nebo jeho směsi s látkami vybranými ze skupiny tvořené křemičitým úletovým popílkem a Ca(OH)₂, se záměsovou vodou obsahující plastifikátor pro zlepšení reologických vlastností v koncentraci 0,2 až 3 % hmotn., vztaženo na hmotnost fluidního popílku spočívá podle vynálezu v tom, že se fluidní popílek ze spalování uhlí s mletým vápencem umele na měrný povrch 350 až 650 m²/kg. [31]

Na základě rozsáhlých experimentů bylo zjištěno, že pojivo obsahující mletý fluidní popílek ze spalování uhlí s mletým vápencem dosahuje výrazně lepších vlastností, než je známý stav zpracování fluidních popílků ze spalování uhlí s vápencem. Mletí fluidního popílku se projevuje ve zlepšení vlastností pojiva:

- Vodní součinitel (poměr vody k pojivu) nutný pro dosažení přijatelné zpracovatelnosti kaší, malt i betonů je výrazně nižší než u směsi nemletého fluidního popílku. Snížení vodního součinitele a zvýšení reaktivity fluidního popílku mletí se projeví ve značném zvýšení pevností směsí po zatvrdnutí.
- Zkrátí se doba míchání kaší, malt i betonů v důsledku snížení nasákavosti mletého fluidního popílku. Doba míchání směsí s nemletým fluidním popílkem se pohybuje od 10 do 45 minut pro dosažení přijatelné konzistence. Dlouhá doba míchání směsí s nemletým fluidním popílkem je dána tím, že část vody se nasákne

do porézních částic fluidního popílku a je pro zpracovatelnost směsí „ztracena“.

- Směsi obsahující mletý fluidní popílek dosahují vysokých pevností i při tvrdnutí v oblasti teplot 15 až 20 °C a tím odpadá nutnost hydrotermálního procesu pro dosažení vyšších počátečních pevností.
- Mletím fluidního popílku se vytváří potenciální možnost zpracování samotného mletého fluidního popílku bez dalších minerálních přísad na rozdíl od dosud známého řešení podle patentového spisu CZ 305 487

Pro zpracování pojiva obsahující mletý fluidní popílek ze spalování uhlí s mletým vápencem je nutné použití plastifikátorů, například derivátů sulfonovaného melaminu, polymerů polykaroxyléterů či polymery fosfonátů. [31]

Pojivo lze po zpracování ponechat volnému tuhnutí při běžných teplotách nebo jej lze vystavit hydrotermálním podmínkám tvrdnutí (např. 12 až 24 hod při 60 až 80 °C). Fluidní popílek ze spalování uhlí s mletým vápencem a křemičitý popílek je možné před přípravou pojiva mlet současně, případně i ve směsi s Ca(OH)_2 . Pojivo lze použít ve formě kaší malt i betonů. [31]

Rozsáhlými experimenty byly zjištěny především tyto fyzikálně-mechanické vlastnosti pojiva [31]:

- Pojivo dle vynálezu dosahuje vysokých krátkodobých i dlouhodobých pevností, zároveň bylo dosaženo stability dlouhodobých pevností
- Pojivo dle vynálezu je dlouhodobě objemově stabilní, a to i při uložení ve vodě
- Pojivo dle vynálezu má nízký vodní součinitel

KONEC ZVEŘEJNĚNÉ ČÁSTI

Seznam použité literatury

- [1] *STABILIZÁT. ČEZ ENERGETICKÉ PRODUKTY* [online]. 2017 [cit. 2017 04-25] Dostupné z <http://www.cezep.cz/cs/vedlejsi-energeticke-produkty/stabilizat>
- [2] *TP 93. Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílku a popelů: TECHNICKÉ PODMÍNKY*. Praha: ARCADIS – Geotechnika, a. s., 2011.
Dostupné z http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP93_def_2011.pdf
- [3] MÄNZEL, Tomáš. *SPECIFICKÉ TECHNICKÉ POŽADAVKY STABILIZÁTU. ČEZ, a. s.* Elektrárny Prunéřov 2015.
- [4] VALENTIN, PH.D., Ing. Jan. Mezinárodní studentská vědecká konference - RISEM 2015: *Výzkum a inovace využití druhotných materiálů se zaměřením na dopravní stavby*. [online]. [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: <http://d2051.fsv.cvut.cz/aktuality/risem.pdf>
- [5] BENSCHIEDT, N., R. HELA a Asociace pro využití energetických produktů. *Příručka Popílek V Betonu: Příručka: Základy Výroby a Použití*. 2.přepřac. vyd. Hostivice: ČEZ Energetické produkty vydává pro ASVEP, 2013.
- [6] ROUBÍČEK, Václav a Jaroslav BUCHTELE. *Uhlí: Zdroje, Procesy, Užití*. Ostrava: Montanex, 2002.
- [7] FEČKO, Peter. *Fly Ash*. Ostrava: VŠB, 2005
- [8] UHLÍ. *Geologická encyklopedie* [online]. 2007 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?uhli>
- [9] *BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY*. 2009 [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.bp.com/>

- [10] *ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – TOTAL PRIMARY COAL PRODUCTION*. 2014. [online] dostupné z: <https://www.eia.gov/>
- [11] ADREOVSKÝ Ph.D, Ing. Jan. *Spalování paliv-kotle* [online]. In: [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/obrazky/seminar/ovzdusi/seminar2/9_dil_5a_andreovsky.pdf
- [12] BAŽANTOVÁ, Štěpánka. *Soudobé směry racionálního využívání popílku*. 1. vyd. Praha: Ústředí vědeckých, technických a ekonomických informací, 1984
- [13] BUDÍN, Jan. *Odsíření aneb technologické postupy snížení emisí v praxi* [online]. 2015 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/teplo/odsireni-aneb-technologicke-postupy-snizeni-emisi-v-praxi/>
- [14] ČEZ, a. s. *Odsiřování spalin v elektrárnách skupiny ČEZ* [online]. 2006 , 16 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/investori/odsirovani.pdf>
- [15] ČEZ, a. s. *Technologie pro snižování emisí SO₂ a NO_x* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/technologie_5.html
- [16] ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v Praze. *Odsiřování.*, 2011. [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vybirpav/Ochrana%20ovzdusi/Odsirovani.pdf>
- [17] Wellman-Lord process. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Wellman%E2%80%93Lord_process
- [18] VEJVODA, CSC., Doc. Ing. Josef, Ing. Pavel MACHAČ, CSC. a Prof. Ing. Petr BURYAN, DRSC. *Technologie ochrany ovzdušá a čištění odpadních plynů*. Praha, 2002. Dostupné z: <http://uchop.vscht.cz/ke-stazeni/materialy>
- [19] *POLITIKA DRUHOTNÝCH SUROVIN ČESKÉ REPUBLIKY*. In.: 2015. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/dokument153352.html>

- [20] BRANDŠTETR, Jiří. *Tuhé zbytky fluidního spalování uhlí jako efektivní pojivo*. [online]. 2011 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/tuhe-zbytky-fluidniho-spalovani-uhli-jako-efektivni-pojivo>
- [21] *POPÍLEK*. ČEZ ENERGETICKÉ PRODUKTY [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.cezep.cz/cs/vedlejsi-energeticke-produkty/popilek>
- [22] *VYUŽITÍ VEDLEJŠÍCH PRODUKTŮ*. ČEZ, a. s. [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/programy-snizovani-zateze-zp/vyuziti-vedlejsich-produktu-uhelnych-elektraren.html>
- [23] SOKOL, Ing. Pavel. *Vedlejší energetické produkty a jejich využití*. In: [online] Praha, 2012 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/spsb-2012/prednasky/sokol_pavel.pdf
- [24] *STRUSKA*. ČEZ ENERGETICKÉ PRODUKTY [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.cezep.cz/cs/vedlejsi-energeticke-produkty/struska>
- [25] *ENERGOSÁDROVEC*. ČEZ ENERGETICKÉ PRODUKTY [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.cezep.cz/cs/vedlejsi-energeticke-produkty/struska>
- [26] SCHNEPP, Ota. *Skupina ČEZ realizuje další akci v rámci ekologizace Elektrárny Prunéřov 2, průsakové vody budou využity pro její provoz* [online]. 2010 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/3033.html>

- [27] MRÁZ, PH.D., Mgr. Václav, Mgr., Ing. Martin HAVLICE, PH.D. a Ing. Jan SUDA. *Příklady využití vedlejších energetických produktů v zemních konstrukcích a vliv kvality vodných výluhů na jejich uplatnění* [online]. 2017, 10 [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2017/prispevky/137.pdf>
- [28] ČSN 73 6133. *Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. Třídící znak 73 6133.
- [29] ČSN EN 1008. *Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. Třídící znak 732028.
- [30] ZIMOVÁ, CSC., Mudr. Magralena a Mgr. Jarmila PRESLOVÁ. *Metodické doporučení SZÚ pro hodnocení škodlivých a nežádoucích látek uvolňujících se z vybraných skupin výrobků pro stavby do vody a půdy* [online]. [cit. 2017-05-27]. dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/puda/metodicke_pokyny/stavebni_vyrobky.doc
- [31] ŠKVÁRA, DR.SC., Doc. RNDr. František, Ing. Rostislav ŠULC, PH.D. a Ing. Roman SNOB. *Způsob přípravy bezslínkového hydraulického pojiva*. Patentová spis č. 306 484. Uděleno 28.12.2016. Zapsáno 8.2.2017.

Seznam obrázků

Obr. 1: Vzorový řez násypem – varianty při použití PP a výrobků z nich [2]	12
Obr. 2: Přechodová oblast u objektu [2]	13
Obr. 3: Zásyp a obsyp objektu s přesypávkou [2].....	13
Obr. 4: Těžba uhlí v ČR mezi lety 1993 až 2014 (v tisících tun) [10].....	16
Obr. 5: Klasifikace uhelných ohnišť [6]	18
Obr. 6: Typické schéma natrium-sulfitové metody [16].....	23
Obr. 7: Typické schéma magnezitové metody [18]	24
Obr. 8: Pracovní schéma mokré vápencové metody [13]	26
Obr. 9: Pracovní schéma fluidního spalování s přidáním vápenného aditiva [16]	27
Obr. 10: Pracovní schéma rozprašovací absorpce [18].....	28
Obr. 11: Využití vedlejších energetických produktů v ČR za rok 2011 [23]	30
Obr. 12: Produkce vedlejších energetických produktů v ČR za rok 2011 [23]	30

Seznam tabulek

Tab. 1: Užití popílkového stabilizátu v konstrukcích pozemních komunikací [2]	12
Tab. 2: Těžba uhlí v roce 2014 (v milionech tun) [10]	15
Tab. 3: Registrované energetické produkty [19].....	29
Tab. 4: Limitní hodnoty výluhu (mg/l) [2].....	34
Tab. 5: Požadavky pro úvodní posouzení záměsové vody	36
Tab. 6: Požadavky na škodlivé znečištění [29].....	37