

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



**Využití odpadů ze spalování uhlí v kontextu
oběhového hospodářství**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Barbora Kubistová

Vedoucí práce: prof. Ing. Zdeňka Wittlingerová, CSc.

Konzultant: Ing. Monika Pachtová

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

| | |
|------------------------------|---|
| Autorka práce: | Barbora Kubistová |
| Studijní program: | Územní technická a správní služba v životním prostředí |
| Vedoucí práce: | prof. Ing. Zdeňka Wittlingerová, CSc. |
| Garantující pracoviště: | Katedra aplikované ekologie |
| Jazyk práce: | Čeština |
| Název práce: | Využití odpadů ze spalování uhlí v kontextu oběhového hospodářství |
| Název anglicky: | Use of waste from coal combustion |
| Cíle práce: | Cílem bakalářské práce je vypracovat literární rešerši týkající se problematiky nakládání s odpady ze spalování uhlí při přechodu lineárního hospodářství na oběhové. Práce se především zaměří na aspekt ekologických a zdravotních rizik, které s sebou využívání těchto odpadů přináší. Rešerše bude vycházet z dostupných literárních českých a zahraničních zdrojů. Výsledkem bude BP zpracování současných trendů nakládání s odpady ze spalování uhlí v České republice a v zahraničí s přihlédnutím na minimalizaci zdravotních a ekologických rizik. |
| Metodika: | Bakalářská práce bude zpracována formou literární rešerše. BP se zaměří především na: 1.Charakteristiku oběhového hospodářství 2.Legislativní rámec ČR a EU 3.Výčet odpadů ze spalování uhlí 4.Jednotlivé způsoby nakládání s odpady ze spalování uhlí v ČR 5.Přehled zahraničních zkušeností v nakládání s odpady ze spalování uhlí 6.Specifikaci ekologických a zdravotních rizik při nakládání s odpady ze spalování uhlí 7.Shrnutí současných poznatků a trendů v nakládání s odpady ze spalování uhlí |
| Doporučený rozsah práce: | 30 stran |
| Klíčová slova: | odpady, oběhové hospodářství, energetika |
| Doporučené zdroje informací: | <ol style="list-style-type: none">1. Odborná zahraniční a domácí literatura2. Platná legislativa ČR a EU, metodické pokyny a normy3. US EPA- Coal Combustion Residuals Beneficial Use Evaluation: Fly Ash Concrete and FGD Gypsum Wallboard 2014 |
| Předběžný termín obhajoby: | 2022/23 LS - FŽP |
| Konzultant: | Ing. Monika Pachtová |

Elektronicky schváleno: 11. 10. 2021
prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 25. 10. 2021
prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.
Děkan

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/závěrečnou práci na téma: Využití odpadů ze spalování uhlí v kontextu oběhového hospodářství vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne

Podpis autora.....

Poděkování

Ráda bych touto formou poděkovala vedoucí mé bakalářské práce prof. Ing. Zdeňce Wittlingerové, CSc. a konzultantce Ing. Monice Pachtové za odborné vedení, ochotu a cenné připomínky. Dále bych také chtěla poděkovat svým přátelům a rodině za jejich podporu a trpělivost.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá základními pojmy oběhového hospodářství dále problematikou přechodu z hospodářství lineárního na oběhové a postupy v souladu s legislativou České republiky a Evropské Unie. Charakterizuje výčet vedlejších energetických produktů, které vznikají při spalování hnědého uhlí, a zabývá se problematikou s jejich nakládáním, přičemž se konkrétně zaměřuje na rizika, a to jak ekologická, tak i zdravotní. Závěr práce se zabývá možnostmi využití těchto produktů.

Klíčová slova: odpady, oběhové hospodářství, energetika, popílek, legislativa

Abstract

The bachelor's thesis deals with the basic concepts of the circular economy, as well as the issue of the transition from a linear to a circular economy and procedures in accordance with the legislation of the Czech Republic and the European Union. It characterizes the list of secondary energy products that are created during the combustion of brown coal and deals with the issue of their management, focusing specifically on risks, both environmental and health. The conclusion of the work deals with the possibilities of using these products.

Key words: waste, circular economy, energetics, fly ash, legislation

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Úvod..... | 1 |
| 2. | Cíle práce | 3 |
| 3. | Literární rešerše..... | 4 |
| 3.1 | Oběhové hospodářství | 4 |
| 3.1.1 | Přechod k oběhovému hospodářství | 5 |
| 3.1.2 | Situace v České republice | 7 |
| 3.2 | Legislativa odpadového hospodářství | 9 |
| 3.2.1 | Legislativa Evropské Unie v oblasti odpadového hospodářství | 9 |
| 3.2.2 | Legislativa České republiky v oblasti odpadového hospodářství..... | 10 |
| 3.2.3 | Nařízení REACH | 10 |
| 3.3 | Vedlejší energetické produkty | 13 |
| 3.3.1 | Úletový popílek | 14 |
| 3.3.2 | Ložový popílek | 16 |
| 3.3.3 | Struska | 16 |
| 3.4 | Produkty odsíření | 17 |
| 3.4.1 | Energosádrovec..... | 18 |
| 3.4.2 | Stabilizát | 19 |
| 3.5 | Využití odpadů ze spalování uhlí | 20 |
| 3.5.1 | Využití VEP | 20 |
| 3.5.2 | Ekologická a zdravotní rizika při nakládání s odpady po spalování uhlí | 21 |
| 3.5.3 | Zahraniční zkušenosti při nakládání s odpady ze spalování uhlí..... | 23 |
| 4. | Výsledné zhodnocení | 25 |
| 5. | Diskuze..... | 27 |
| 6. | Závěr a přínos práce | 29 |
| 7. | Přehled literatury a použitých zdrojů | 30 |

1. Úvod

Spalování hnědého uhlí je dosud celosvětově nejvíce využívaným způsobem produkce energie, ať už se jedná o výrobu užitečného tepla či elektřiny (MPO ©2019). Využívání hnědého uhlí, jak jeho těžba, tak především jeho spalování, s sebou nese četnou řadu environmentálních rizik, jakými jsou například emise oxidů uhlíku, dusíku a síry. Další riziko představují také stopové prvky, jejichž sloučeniny mohou být i při velmi nízkých koncentracích toxické. Emise těchto prvků se poté mohou vyskytovat v životním prostředí a mohou mít také negativní dopad na lidské zdraví (Mráz a kol., 2017; MŽP ©2022a). Je tedy v zájmu ochrany životního prostředí, aby byly průmyslové emise stopových prvků minimalizovány či zcela odstraněny.

Existuje několik způsobů, jak nakládat s vyprodukovaným odpadem z energetiky. Nejhojněji využívaným způsobem bylo, a v některých případech stále je, ukládání vzniklého odpadu na skládky (Přichystalová a kol., 2013). Tato metoda nakládání s odpadem je však v dnešní době zcela neadekvátní. Důvodů je hned několik. V první řadě je nezbytné zmínit finanční stránku, jelikož ukládání odpadu je ekonomicky nevýhodné. Poplatky za ukládání odpadu na skládky jsou aktuálně 2000 Kč/t a to je při tak velké produkci odpadu značná finanční zátěž (Ministerstvo zemědělství ©2020). Dalším problémem je také postupné zvýšení úbytku prostoru na skládkách energetického odpadu. Největší roli v této problematice však hrají negativní dopady na životní prostředí, které s sebou tyto skládky přináší. Může se jednat kupříkladu o úlet prachových částic, jež mohou obsahovat těžké kovy. Stejný problém pak nastává při splachu těchto částic do okolních vod a následný průnik do vod podzemních (Eggen a kol., 2010).

Proto je v našem zájmu, abychom preferovali a prosazovali oběhové hospodářství, které má za úkol uzavřít smyčku oběhu materiálu a služeb, a tím minimalizovat vznik nových odpadů. K tomu patří především proces recyklace. V tomto případě se otevírají možnosti k přeměně vedlejších energetických produktů, jejíž je stále velké množství, a přeměnit ho na materiál, který ušetří používání například tradičně využívaného materiálu (MŽP ©2022b).

K tomu, aby se tato možnost dala reálně aplikovat, musí se nejdříve ověřit, že využíváním těchto materiálů a možných produktů z nich, nebude mít negativní vliv

jak na lidské zdraví, tak na životní prostředí. Problematikou se zabývají především orgány, kterých se tato problematika týká, a které mají na starost posuzování vlivu na životní prostředí. V České republice mezi takový orgán patří například Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo průmyslu a obchodu.

2. Cíle práce

Cílem bakalářské práce je vypracovat literární rešerši týkající se problematiky nakládání s odpady ze spalování uhlí při přechodu lineárního hospodářství na oběhové. Práce se především zaměří na aspekt ekologických a zdravotních rizik, které s sebou využívání těchto odpadů přináší. Bakalářská práce se bude také zaměřovat na legislativní rámec České republiky a Evropské Unie. Rešerše bude vycházet z dostupných literárních českých a zahraničních zdrojů. Výsledkem bakalářské práce bude zpracování současných trendů nakládání s odpady ze spalování uhlí v České republice a v zahraničí s přihlédnutím na minimalizaci zdravotních a ekologických rizik.

3. Literární rešerše

3.1 Oběhové hospodářství

Doba, ve které se nacházíme, je dobou ekonomického, a především rychlého růstu. Z tohoto důvodu by se měly brát v potaz jak omezenost určitých zdrojů, tak i dlouhodobé dopady na životní prostředí. K vyřešení nebo alespoň k zlepšení této problematiky se nabízí koncept cirkulární ekonomiky, tj. oběhového hospodářství. Koncept oběhového hospodářství by měl nahradit koncept hospodářství lineárního, který je založen na systému „vzít-vyrobít-využít-zahodit“ a je v dnešní době stále velmi využíván. Tento model také využívá především velké množství levných materiálů (European Parliament, 2022). Na rozdíl od tohoto modelu, koncept oběhového hospodářství nachází inspiraci v přírodních ekosystémech, které jsou založeny na dokonalých a funkčních cyklech. Jedná se o systém, ve kterém je vznik odpadu minimalizován, a kde se odpad považuje za materiál, který je možné znovu použít. Oběhové hospodářství se zabývá nejen odstraňováním odpadů, ale také dalšími oblastmi tohoto druhu, mezi které patří například změny v oboru stavebnictví a dopravy, aby se zde odpad mohl znovu využít či v lepším případě, aby zde vůbec nevznikal. Důležitou součástí je rovněž vzdělávání a inovace v oblasti oběhového hospodářství (Dominika Tóthová a kol., 2020). Jádrem oběhového hospodářství je například také získávání energie z udržitelných a obnovitelných zdrojů a také poskytování služeb a produktů, které negativně neovlivňují lidské zdroje a přírodní ekosystémy (INCIEN ©2019).

Pojem oběhového hospodářství vychází z právních předpisů a neexistuje tedy žádná jednotná definice, kterou by se striktně řídil. Definice se častokrát mění, aby se přizpůsobily různým úrovním a sektorům (Cavaleiro de Ferreira a Fuso-Nerini, 2019). Jedním z hlavních cílů oběhového hospodářství je snaha o zamezení úniku zdrojů z životního cyklu materiálů a omezení čerpání přírodních zdrojů. Právě snahou o uzavření materiální a energetické smyčky se oběhové hospodářství liší od tzv. lineární ekonomiky (European Parliament, 2016).

Stěžejním nástrojem, jak zavést oběhového hospodářství do způsobu nakládání s odpady je tzv. hierarchie nakládání s odpady. Principem hierarchie nakládání s odpady je stanovit pořadí a priorit, počínaje prevencí a předcházením vzniku odpadů.

Dalším krokem je příprava pro jejich recyklaci, materiálové a energetické a využití. Konečným procesem je poté jejich likvidace (EC ©2015).

Přestože je hierarchie nakládání s odpady prezentována tímto způsobem, v zákoně číslo 541/2020 Sb., o odpadech je stanoveno, že původce odpadu má právo na to se od ní za daných okolností odchýlit. K tomu může dojít, pokud se daná metoda prokáže jako nejvhodnější s ohledem na ochranu lidského zdraví a životního prostředí, která je založená posouzení životního cyklu celkových dopadů, včetně vzniku odpadů a nakládání s nimi. Výsledek by také měl zohledňovat technickou proveditelnost, ekonomickou udržitelnost a ochranu surovinových zdrojů.

3.1.1 Přejchod k oběhovému hospodářství

Přejchod na oběhové hospodářství poprvé představila Evropská komise v roce 2015 představením akční plán EU pro oběhové hospodářství (dále jen „Akční plán EU“). Akční plán zdůrazňuje, že je důležité udržet hodnotu produktů, materiálů a zdrojů v životním cyklu co nejdéle, jak je možné a současně s tím také minimalizovat vznik odpadu. Tato cesta by pak také vedla k minimalizování importování a využívání omezených přírodních zdrojů, které se musí do EU dovážet (Denková, 2017; EC ©2015). To poté představuje významný příspěvek k úsilí Evropské unie, jejímž cílem je vytvoření udržitelné a konkurenceschopné ekonomiky. Návrh také obsahuje několik cílů, včetně snížení skládkování odpadu a podpoření přípravy na znovuvyužití materiálů v dlouhodobém měřítku. Stanovené cíle by poté vedly k postupnému sloučení osvědčených postupů členských států používaných v oblasti nakládání s odpady. Dalšími opatřeními, která podporují nakládání s odpady v každé fázi hodnotového řetězce, jsou například nakládání s recyklovaným odpadem a znovuzískanými surovinami (EC ©2015).

Ve vztahu k Akčnímu plánu EU byla v roce 2018 vypracována zpráva o kritických surovinách a cirkulární ekonomice. Tato zpráva ve větší míře podporuje provádění obnovené strategie EU v oblasti průmyslové politiky a také zdůrazňuje význam přizpůsobení se změnám, které s sebou nese přechod na nízkouhlíkovou a cirkulární ekonomiku (MPO ©2019).

Nejnovější akční plán pro oběhové hospodářství (dále jen „nový akční plán“) z roku 2020 konkrétně rozvádí relativně širokou škálu opatření, která by měla vést ke skutečnému přechodu na oběhové hospodářství nejen v celé Evropě, ale po celém

světě. Pomocí svého vlivu, finančních zdrojů a odborných znalostí má Evropská unie v plánu realizovat všechny své navržené cíle udržitelného rozvoje již do roku 2030. Pro klimaticky neutrální oběhové hospodářství, je také cílem Evropské komise navrhnout legislativní iniciativu v oblasti udržitelné výrobní politiky. Dále chce Evropská komise posílit postavení zadavatelů veřejných zakázek a spotřebitelů, kde je úspora nákladů klíčovým prvkem udržitelné výrobní politiky. Dalším důležitým aspektem oběhového hospodářství je úspora materiálů v hodnotových řetězcích a výrobních procesech. K tomu je potřeba právě princip oběhovosti, který chce Evropská komise prosadit. Tento princip je nepostradatelnou součástí širší transformace průmyslu, který poté vede k dlouhodobé konkurenceschopnosti a již zmíněné klimatické neutralitě (EC ©2020).

Příčina, proč se v současné době nevyužívá pouze model oběhového hospodářství, se může rozdělit do několika bodů. Jeden z nich může být kupříkladu nedostatečné množství znalostí týkající se jak oblasti zhodnocení odpadů, tak i informovanost o zpracování již vyříděných surovin do určitých výrobků. Z technické stránky může být důvodem také nedostatečné množství zpracovatelského průmyslu druhotných surovin, který se zaměřuje pouze na tzv. čisté vyříděné odpady. S tím je spojena také nízká technologická úroveň, která by se primárně zaměřovala na nakládání s odpady místo jejich ukládání (ČAObH ©2022).

Jeden z více konkretizovaných a lépe definovaných pojmů v novém akčním plánu je pojem druhotná surovina. Je zde zahrnuta problematika konkurence druhotných surovin se surovinami původními, kdy mají kromě nevýhod v jejich bezpečnosti také rozdílnost v jejich dostupnosti, výkonnosti a v neposlední řadě taktéž v nákladech. Zajištění bezproblémového rozšíření odvětví recyklace je cílem Evropské unie a k tomu, aby tohoto cíle bylo dosaženo je potřeba řídit se řadou opatření, která jsou v tomto plánu stanovena. Opatření by měla mít za úkol zabezpečit rozpor mezi poptávkou a nabídkou druhotných surovin. Tato opatření zahrnují například posouzení důležitosti vytvoření dalších podmínek pro vedlejší produkty. Daná kritéria by měla mít taktéž za úkol vymezit, kdy odpad již není odpadem (EC ©2020).

Dalším námětem, který oběhové hospodářství podporuje, je přechod k chemickým látkám. Podmínkou je ovšem jejich bezpečnost již od samotného počátku návrhu. Návrh je vypracován s podporou politiky a právních předpisů Evropské unie

v oblasti chemických látek (EC ©2020). Nejdůležitějším nástrojem je především Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 ze dne 18. prosince 2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (dále jen REACH). Jelikož je bezpečné využívání druhotných surovin jedním z cílů Evropské unie, je také cílem REACH nahradit nebezpečné látky látkami bezpečnými a lépe tak chránit zdraví občanů a životní prostředí. Příkladem mohou být kupříkladu znovu využívané suroviny, které mohou obsahovat zakázané a nebezpečné látky. K vyřešení této problematiky může například sloužit vypracování metodiky k minimalizaci přítomnosti látek představující problém pro zdraví a životní prostředí. Mezi další návrhy patří zlepšení klasifikace nebezpečného odpadu a nakládání s ním tak, aby se nenarušily čisté recyklační toky (EC ©2020).

3.1.2 Situace v České republice

Donedávna neměla Česká republika žádnou strategii, která by se zaměřovala na oběhové hospodářství. Jednotlivé části, zabývající se především získáváním surovin z odpadů, jsou podporovány pomocí strategických dokumentů. Nejdůležitějším strategickým dokumentem pro nakládání s odpady je Plán odpadového hospodářství. Tento dokument „*stanoví cíle, zásady a opatření pro předcházení vzniku odpadů a pro vybrané skupiny odpadů, které mají zásadní význam pro odpadové hospodářství z hlediska své produkce nebo vlastností*“ (MŽP ©2022b).

V roce 2021 zveřejnilo Ministerstvo životního prostředí „Strategický rámec cirkulární ekonomiky České republiky 2040“ (dále jen „Cirkulární Česko 2040“). K zveřejnění tohoto rámce došlo na základě předpokladu Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD), že se světová spotřeba materiálů mezi lety 2018–2060 rychle vzroste, čímž by se zvýšily také dopady na životní prostředí. K takovému výsledku by došlo, pokud by se nezavedla žádná opatření. Proto je nutné, aby se přešlo z modelu lineárního hospodářství na model hospodářství cirkulárního. Zároveň je také nutné, aby se zpřísnila opatření v oblasti využívání zdrojů a oběhového hospodářství, a je tomu tak třeba provést v celém hodnotovém řetězci (MŽP ©2021). K tomu, aby k takovému výsledku došlo, je důležité, aby se prováděl, tzn. monitoring (sledování), který přesně identifikuje výskyt oběhového hospodářství. Tento přístup poté umožňuje tvorbu strategie a provádění politik. Mezi oblastmi, kde se vyskytuje oběhové

hospodářství, patří například udržitelné řízení zdrojů, obchodní operace a společenské chování (Chobanova, 2021).

Uskutečňování strategií Cirkulárního Česka 2040, bude kontrolováno pomocí monitorovacích zpráv, které budou vypracovány každé tři roky. Zároveň také bude docházet k vyhodnocení akčních plánů, a to každých šest let. Na rok 2028 je naplánováno první hodnocení akčních plánů. V roce 2041 bude následně vypracována konečná zpráva o naplnění či nenaplnění strategie. Celý proces tohoto monitorování bude uskutečněno Ministerstvem životního prostředí (MŽP ©2021).

Oběhové hospodářství a principy oběhového hospodářství obecně jsou považovány v České republice za nezbytné a jsou také prioritou programu Cirkulárního Česka 2040. Tento program se zaměřuje celkem na 10 oblastí, do kterých spadá například Odpadové hospodářství a průmysl, suroviny, stavebnictví a energetika. V jednotlivých oblastech se následně stanovují konkrétní cíle, zásady a opatření. Dalším cílem strategického rámce je dlouhodobé zachování hodnoty materiálů, výrobků a zdrojů v hospodářském cyklu. Současně je také důležité se zaměřovat na minimalizování vzniku odpadu. Toho se dosáhne pomocí navrácení materiálů, zdrojů a výrobků do výrobního cyklu. V neposlední řadě je také důležité zamezit samotnému vzniku odpadu a přispět k podpoře recyklačních technologií, které pomáhají odpadovému hospodářství (MŽP ©2021).

S plánem akčního plánu Cirkulární Česko 2040 souvisí implementační dokument Akční plán Cirkulární Česko 2022-2027, který byl schválen v polovině prosince roku 2021. Tento plán nepostihuje všechna opatření, která jsou uvedena v akčním plánu Cirkulární Česka 2040, ale zaměřuje na takové aktivity, které budou relevantní k realizaci v šestiletém období (Hospodářská komora České republiky, 2022).

Podle Strategického rámce je pro průmysl, stavebnictví a energetiku využívat prioritně druhotné suroviny. Uvádí se, že by stát měl podpořit podniky ve veřejných zakázkách, které používají právě výrobky s obsahem druhotných surovin. Strategický rámec konstatuje, že uplatňování zásad oběhového hospodářství průmyslem a obecně všech odvětví, bude to především do budoucna velmi prospěšné jak pro společnost, tak i pro životní prostředí. Navíc by to mohlo znamenat i značný hospodářský přínos

v hodnotě až 1,8 bilionu euro. K tomuto přínosu by mohlo dojít již do roku 2030 (MŽP ©2021).

3.2 Legislativa odpadového hospodářství

Odpadové hospodářství se zaměřuje na trvalé uložení odpadu, možné následné nakládání s odpady a nad těmito činnostmi má také kontrolu. Zaměřuje se také na činnost předcházení odpadu, nakládání s ním a poté se zabývá následnou péčí o místo, kde se odpad ukládá. Veškeré činnosti zastřešuje zákon o odpadech č. 541/2020 Sb., který nahradil starý zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a nabil účinnosti 1. 1. 2021. S tímto zákonem je pojena také vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. Vyhláška popisuje, jak zacházet s odpady z energetiky a zároveň vypisuje všechny konkrétní podmínky, které se jejich nakládání souvisí.

Cílem odpadového hospodářství je především předcházení vzniku odpadů. V případech, kde není možné se vzniku vyhnout, je třeba se zaměřit na jeho recyklaci a energetické využití. Pokud není možná jiná vhodnější alternativa, tak posledním krokem by měl proces odstranění odpadu. Tento postup je popsán hierarchií odpadového hospodářství, která slouží jako základ pro odpadové hospodářství (MŽP ©2022b).

3.2.1 Legislativa Evropské Unie v oblasti odpadového hospodářství

Pro způsob nakládání s odpady je používána Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2018/851 v platném znění, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech (dále jen „Směrnice Evropského parlamentu a Rady“), která patří mezi nejdůležitější právní předpisy používané v této oblasti. Směrnice stanovuje opatření na ochranu lidského zdraví a životního prostředí a rovněž se stará také o předcházení vzniku odpadů, zkvalitňování způsobů jeho využívání a nakládání s odpady celkově. Veškerá opatření a regulace Evropská unie považuje za důležité součásti přechodu na oběhové hospodářství.

Jedním z cílů Směrnice evropského parlamentu a Rady je definice materiálového využití, která zahrnuje kupříkladu přeměnu odpadu na druhotné suroviny. Tyto suroviny lze následně využít pro výstavbu pozemních komunikací či v rámci rekultivace či pro jiné technické účely. Pro tyto účely je důležité zajistit, aby byly použity pouze vhodné odpady a nikoli odpady nebezpečné a zároveň stanovit konkrétní množství, které bude použito. Musí tedy splňovat příslušné normy,

standardy a požadavky, které slouží k ochraně lidského zdraví a životního prostředí. V případě, že dojde k naplnění těchto podmínek a zároveň bude využití materiálu akceptovatelné na základě řádné kontroly kvality, může být využití tohoto materiálu, v konkrétních případech, považováno za recyklaci.

3.2.2 Legislativa České republiky v oblasti odpadového hospodářství

Jak z historického hlediska, tak zároveň i v současné době patří vznik odpadu a jeho environmentálně přijatelného a ekonomicky výhodného využití k nejaktuálnějším a nejpálčivějším otázkám. Ačkoliv se průmyslově vyspělé země začaly zabývat zpracováním odpady teprve v posledních desítkách let, narůstání odpadu se, především v této oblasti, stal velkým, dlouho opomíjeným problémem. Reakcí na tuto problematiku se stal, v České republice roku 1991, právní podklad zákon o odpadech č. 238/1991 Sb. Dalším zákonem, který byl později přijat společně s dalšími zákony, je zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech. Tento zákon se zaměřuje na prevenci vzniku odpadu a zcela odpovídá právní úpravě Evropské unie (Kuraš, 2008).

Na základě výše zmíněné Směrnice Evropského parlamentu a Rady, má Česká republika možnost si stanovit kritéria pro materiály, které byly do této doby brány jako odpad. V České republice byl už v roce 2010 schválen zákon č. 154/2010 Sb., o odpadech, který navrátil institut vedlejšího produktu do českého odpadového hospodářství (Hřebíček a Kalina, 2011). Tento zákon je však v současné době zrušen a je nahrazen zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech.

Jak zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech určuje, odpad přestává být odpadem v okamžiku, kdy jsou v první řadě splněna všechna kritéria ověření, že odpad nemá negativní účinky na životní prostředí a lidské zdraví. Dále musí splňovat technické požadavky v konkrétních případech a také musí dojít i k splnění kritérií i jiných právních předpisů, a to například zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů či zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů.

3.2.3 Nařízení REACH

Proto, aby se v České republice usnadnil přechod na oběhové hospodářství je podle politiky druhotných surovin vydanou Ministerstvem průmyslu a obchodu (dále jen MPO) prioritou, aby se zcela uplatňovalo nařízení č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (dále jen REACH). Nařízení

REACH schválil Evropský parlament v roce 2006 a vstoupila v platnost již v roce 2007. Toto nařízení stanovuje povinnost výrobcům i dovozcům registrovat látky uváděné na trh v rámci Evropské unie. Dovožci i výrobci mají v rámci registrace také povinnost posuzovat možná rizika látek, které dovážejí či vyrábějí. Nařízení se, v rámci funkčnosti, nevztahuje na odpady, ale vztahuje se pouze na látky samotné a látky, které se vyskytují jako směsi v množství přinejmenším jedné tuny.

Jedním z hlavních cílů nařízení REACH je ochrana lidského zdraví a životního prostředí před možnými nežádoucími účinky a negativními dopady chemických látek. Další prioritou tohoto nařízení je zajištění fungujícího trhu pro chemické látky (CENIA ©2022). Proto, aby se tak stalo, je dle REACH zapotřebí, aby každý, kdo chce s chemickými látkami pracovat, požádal Evropskou agenturu pro chemické látky o jejich registraci. Jinými slovy se registrace týká výrobců dovozců a v neposlední řadě i uživatelů chemických látek. Agentura má poté za úkol posoudit, zda je veškerá předložená dokumentace úplná a korektní. Také musí zhodnotit, zda jsou s používáním látek spojena jakákoli rizika. V případě, že by došlo k opomenutí výše zmíněných náležitostí, není možné, aby byly látky na území Evropské unie vyráběny či dováženy (CENIA ©2022). Povolení látek se rozděluje na dva body. První skupinou látek, kterou se REACH zabývá, jsou především látky karcinogenní, mutagenní a toxické. Druhou skupinou jsou chemické látky, které vzbuzují mimořádné obavy. U této konkrétní skupiny je obzvláště důležité dbát na to, aby byla kontrolována rizika a byla dostatečně prokázána bezpečnost těchto látek (Hornychová, 2008). V případě, že látky nesplňují veškeré stanovené požadavky, lze jejich produkci omezit či vyžadovat nahrazení látky spolehlivější a bezpečnější alternativou (CENIA ©2022).

V rámci nařízení REACH je v Úředním věstníku EU z roku 2017 uvedeno, že se látky pro účely identifikace rozdělují do dvou hlavních skupin. První skupinou jsou „dobře definované látky“, což jsou látky s definovaným kvantitativním a kvalitativním složením. V této skupině se variabilita složení stanovuje na základě horní a dolní meze koncentračního rozmezí hlavních a vedlejších složek. Druhou skupinou jsou „látky UVCB“, které jsou definovány jako látky s neznámým či proměnlivým složením. Jinými slovy jsou to látky, u kterých nelze přesně určit jejich chemické složení. Problematika jejich určení je především v obsahu velkého množství složek, které mají nepředvídatelnou proměnlivost složení. Na rozdíl od „dobře definovaných látek“, kde je při jejich registraci nutné uvést chemické složení, obsah jednotlivých složek látek a

chemickou identitu, je identifikace těchto látek obtížnější. Při registraci „látek UVCB“ výrobci uvádějí název látky, původ látky a hlavní kroky, které by byly při jejich zpracování vykonány.

Řetězec a životní cyklus původní látky, v tomto konkrétním případě hnědého uhlí, končí ve fázi odpadu. Jestliže nastane situace, že odpad přestane být odpadem, nastává poté proces znovuzískávání látek z odpadu. Chemicky ošetřené látky, které se původně vyskytovaly ve stavu odpadu (například struska, popílký) poté splňují definici uvedenou v nařízení REACH čl. 3 odst. „výroba nebo těžba látek v přírodním stavu“. Podle „Pokynů k odpadům a zpětně získaným látkám“ je popílek klasifikován jako zpětně získané kamenivo, vzniklé při průmyslových procesech zahrnující tepelné zpracování. Popílek je heterogenní směs složek složených z amorfního a krystalického oxidu křemičitého (SiO_2), oxidu železitého (Fe_2O_3), oxidu hlinitého (Al_2O_3), oxidu vápenatého a uhlíku. U popílku tolik nezáleží na tvaru, vzhledu či jeho povrchu, ale je důležité jeho chemické složení. Důvodem jeho místo využití, jelikož se nejvíce využívá například při výrobě cementu, do naspů či při stabilizaci půd. Popílek je proto považován za látku proměnlivého či neznámého složení (UVCB) (MPO ©2010).

Společně s implementací nařízení REACH se však vyskytuje také řada komplikací. Prvním obtížným úkolem je posouzení vlivů na životní prostředí a hodnocení zdravotních rizik. Nejistou představuje použité metody testování, měření a analýzy, související s volbou modelů hodnocení rizik a jejich prahovými a vstupními parametry. Proto je také obtížné posoudit rizika spojená s celým životním cyklem látek, včetně jejich výroby, všech možných použití a následného odstraňování pevných, kapalných a plyných odpadů vznikajících během tohoto cyklu (Přichystalová a kol., 2013).

Pro řešení této problematiky musí být kladen velký důraz na komunikaci mezi výrobci, dovozci a distributory a také mezi společnostmi, které látku nadále zpracovávají. Za prvé, výrobce musí získat podrobné informace o zamýšleném použití uživatelů, kteří budou látku nadále používat, aby bylo možné provést řádné posouzení rizik. Pokud výrobci nedostanou informace o látkách, není možné posoudit rizika pro použití daného uživatele a následně je uživatel nucen si rizika posoudit sám (Přichystalová a kol., 2013). Proto je v zájmu odběratele poskytnout dodavateli informace o následném zpracování látky v rámci ochrany zdraví a životního prostředí.

Tyto informace jsou ve většině případů poskytovány pomocí bezpečnostních listů (Hornychová, 2008). Ačkoliv se jedná o důležitý krok v oblasti nakládání s chemickými látkami, je informovanost v tomto ohledu mezi dodavateli a odběrateli nedostačující. Mezi další problémy patří případy úmyslného nezveřejňování, které vede například k černým skládkám, nevhodného ukládání nebo nebezpečné manipulaci (Přichystalová a kol., 2013).

3.3 Vedlejší energetické produkty

Významnou skupinou pevných materiálu, jsou produkty, které vznikají při procesu spalování tuhých paliv a při odsiřování spalin v elektrárnách a tepelných zařízeních. Takové produkty se nazývají vedlejšími energetickými produkty (dále jen VEP). Mezi nejvýznamnější neobnovitelné zdroje paliv pro energetické využití se řadí hnědé uhlí, kterému se v této práci budeme dále věnovat. Se spalováním uhlí přicházejí odpady ze spalování, jehož největším producentem je energetický průmysl. Charakter odpadu z energetického průmyslu se výrazně liší od odpadu z většiny ostatních průmyslových odvětví. Liší se složením, možnostmi použití a způsoby, jakými jsou odstraňovány. VEP vznikají na základě určitých opatření a požadavků. Cílem těchto opatření je ochrana životního prostředí, a proto se zabývají například emisemi, které jsou při procesu spalování uhlí vypouštěny do ovzduší. Vedlejší energetické produkty, které nahrazují přírodní neobnovitelné materiály, jsou již dlouhodobě využívány (MPO ©2019; Zimová a kol., 2014).

Co se týká dat ohledně produkce VEP ze spalování uhlí, nejaktuálnější data uvádí Ministerstvo průmyslu a obchodu z roku 2017. Na základě informací od sdružení producentů ASVEP a Teplárenského družení ČR se však dá odhadnout, že celková produkce VEP vychází na přibližně 13 milionů tun za rok (viz Tabulka č. 1). Nedostatek přesných a aktuálních informací a dat může být způsoben nejasnou legislativou o vedlejších energetických produktech. Některé produkty jsou vedeny v evidenci jako stavební výrobky, některé jako odpady a další mohou být registrovány jako chemické látky podle nařízení REACH. Ve většině případů se mohou registrované informace o produktech překrývat. Může se například vykazovat jako stavební výrobek, ale zároveň být registrován i jako odpad. Nejaktuálnější konkrétní data o produkci VEP uvádí například Teplárna Strakonice a. s. z roku 2020. Data ovšem nejsou celkově za Českou republiku, ale pouze za konkrétní teplárnu (MPO ©2019; MPO ©2018; Teplárna Strakonice a.s. ©2022).

| VEP ze spalování uhlí 2017 produkce | Celkem [t] |
|---|-------------------|
| Popílek ze spalování uhlí (klasické spalování) | 7 322 239 |
| Struska | 1 287 574 |
| Popílek z fluidního spalování uhlí: uhlí nebo spoluspalování uhlí + biomasa | 1452175 |
| SDA Produkt | 70 380 |
| Energosádrovec | 1 952 843 |
| Produkce VEP ze spalování uhlí 2017 celkem | 12 085 211 |

Tabulka č. 1: Produkce VEP ze spalování uhlí z roku 2017 (MPO ©2021).

Ministerstvo průmyslu za rok 2017 uvádí, že většinový podíl produkce VEP byl převážně využit na zasypání povrchových dolů a k asanaci a rekultivaci postižených území. Dále byly v menší míře využity na výrobu betonu, cementu, cihlářských výrobků či výrobě sádry a sádrokartonových desek (MPO ©2018).

Teplárna Strakonice a.s. uvádí aktualizovaná data z roku 2021 ohledně produkce vedlejších energetických produktů, která dokazují, že produkce konkrétně strusky a popílku byla cirka 7690 tun. To je zároveň i nejnižší hodnota za posledních dvacet let. Ve srovnání s rokem 2010, což je současně rokem, kdy proběhla registrace škváry a popílku dle nařízení REACH, je tato hodnota více jak třikrát menší. Také to byl první rok, kdy veškeré VEP, nebyly ukládány na skládky odpadů, ale byly stoprocentně využity k dalšímu zpracování. Dle dvou certifikátů, které teplárna Strakonice uvádí, byl například popílek využit jako filler pro výrobu betonu nebo do cihlářských výrobků (Teplárna Strakonice a.s. ©2022).

3.3.1 Úletový popílek

Jedním z vedlejších energetických produktů je úletový popílek, který patří mezi objemově největší produkt vznikající při výrobě elektřiny nebo tepla po spalování uhlí. Částice úletového popílku, které se řadí jako hlavní vedlejší produkt, jsou heterogenní a jsou ve formě jemného prášku (viz Obr. 1). Při spalování uhlí je úletový popílek obvykle unášen pomocí spalín a je poté zadržován v odlučovačích, nejčastěji elektrických, které jsou v energetice nejpoužívanějším typem (Seham a Narguess, 2021). Popílek se skládá především z nespáleného uhlíku, oxidů kovů, jakými jsou například křemík, železo, vápník a hliník, a dalších anorganických látek. Částice ovšem mohou obsahovat také těžké kovy, jako jsou například arsen nebo olovo. Nespálený uhlík hraje důležitou roli v adsorpční kapacitě úletového popílku

(ASTM International ©2011). Také nám poukazuje na neefektivnost spalovacího procesu, což představuje překážku pro prospěšné využití popílku v různých aplikacích. Nespálený uhlík dále určuje typ a jakost uhlí (Hower a kol., 2017).

Roztavené kapky popílku, které jsou tvořeny neorganickou hmotou v uhlí při teplotě 1500 °C, poté ztuhnou a tímto procesem vznikají pevné sklovité a duté koule s hladkým povrchem o velikosti 0,5 až 200 µm. Složení úletového popílku se výrazně liší podle typu spalovaného uhlí, řízení chlazení a spalování (Seham a Narguess, 2021).

Díky široké rozmanitosti ústavy úletového popílku je obtížné tento materiál charakterizovat. Proto se Americká společnost pro testování a materiály (dále jen ASTM) rozhodla úletový popílek klasifikovat do dvou hlavních skupin – třída C a třída F. Popílky klasifikované třídou F jsou popílky pucolánové, získávané především z antracitu, kde celkové množství oxidu křemičitého, oxidu hlinitého a oxidu železitého musí být více jak 70 %. Popílky třídy C jsou především vyráběny z hnědého uhlí a celkové množství oxidu hlinitého, železitého a křemičitého musí být více jak 50 %, jak to uvádí ASTM. Dále se třídy F a C dají rozlišovat na základě množství oxidu vápenatého, kde třída C má oxidu vápenatého více než 10 % a třída F méně než 10 % (Seham a Narguess, 2021).

Jak bylo již výše zmíněno, úletový popílek je pucolánovým materiálem na bázi oxidu hlinitého nebo oxidu křemičitého, což poté umožňuje zabudování popílku do betonu jako částečnou náhradu cementu (Mccarthy a Dyer, 2019). Používá se tedy především v betonářském průmyslu, ale dále je implementován do čištění odpadních vod a k stabilizaci půdy (Mushtaq a kol., 2019).



Obr. 1: Hnědouhelný popílek (vlastní fotografie).

3.3.2 Ložový popílek

Jedná se o materiál tmavě šedé barvy tvarem většinou hranatých částic o velikosti zrn jemného kameniva a díky své hrubší povaze se nachází na dně topeniště. (Sharma a kol., 2012; Pasetto a Baldo, 2014).

Z laboratoří bylo vypořizováno, že ložový popel má po spalování různých forem uhlí pucolánové vlastnosti, které podporují jeho použití ve stavebním průmyslu (Kim a Lee, 2015). Odstranění ložového popela se ukázala jako velice nepříznivá jak z důvodu nárůstu nákladů na odstranění, tak i z důvodu různých zdravotních rizik. Tyto obavy lze s největší pravděpodobností zmírnit opětovným využitím a recyklací vzniklého ložového popela. Díky své drsné povrchové struktuře a pucolánovému chování se upřednostňuje použití především v oblasti stavebních prací jako je výstavba silnic, stavba násypů, výroba materiálů nebo také výměna materiálů (jemné kamenivo) (Ramme a Tharaniyil, 2013).

3.3.3 Struska

K dalším vedlejším energetickým produktům se řadí struska. Jedná se o ztuhlé neroztavené zbytky ze spalování uhlí, které ve většině případů vznikají v roštových kotlích. Zbytky, které jsou slinuty dohromady, tvoří nepravidelné porézní útvary (viz Obr. 2) a obdobně jako popílků obsahují anorganické látky, které jsou nespalitelné.

Vzniká ve spalovací komoře kotle, kde se odděluje a padá do vodní lázně, kde se ochlazuje (Kurková, 2007; ČEZ ©2022a).

Struska je široce využívána pro svou nízkou objemovou hmotnost a vysokou smykovou pevnost. Na stránkách skupiny ČEZ (©2022a) se uvádí, že poté co je struska odvodněna, je následně odeslána odběratelům. Ti ji mohou využívat k zásypu kanalizačního potrubí, do násypů pozemních komunikací či do obsypů mostních opěr. Dále je uvedeno, že struska splňuje všechny požadavky jak technické – chemické a fyzikální, tak i požadavky na ochranu lidského zdraví a životního prostředí, které jsou platné dle legislativy EU a ČR. Strusku jako stavební výrobek skupiny ČEZ zastřešují certifikáty z lokalit EMĚ a EDĚ (ČEZ ©2022a).



Obr. 2: Struska (vlastní fotografie).

3.4 Produkty odsíření

V minulosti docházelo v uhelných energetických oblastech k zásadní problematice spojenou se spalováním sirnatého uhlí. Při procesu jeho spalování totiž docházelo k úniku oxidu síry do ovzduší, což bylo příčinnou tvorby kyselých dešťů a následnou destrukci životního prostředí a lidského zdraví. Důsledky byly ještě závažnější v oblastech s vyšší koncentrací oxidů síry. V rámci snižování negativních

vlivů na životní prostředí se již na počátku sedmdesátých let objevil proces odsíření, který tuto problematiku minimalizuje (ČEZ ©2022b).

Jedna z možností, jak zbavit sirnatého uhlí oxidů síry je například již před jeho spalováním. K odstranění může dojít kupříkladu separací pyritické síry nebo převedením uhlí do plynné či kapalně fáze. Tyto metody však nejsou v praxi tak často využívány z důvodu vysokých nákladů a nízké účinnosti. Proto se metody odstraňování plynných oxidů síry ze spalin využívají především pro jejich technickou jednoduchost a z důvodu nižších nákladů. V praxi se dnes tři způsobů odsíření. Jedná se o metodu suchou, polosuchou a mokrou. Metody jsou rozděleny podle fáze, ve které jsou oxidy síry zachycovány. Jednou z nejpoužívanějších metod je právě mokrá vápencová vypírka, která může dosáhnout účinnosti až 95 % a navíc odstraňuje také další škodlivé látky, jako je například kyselina fluorovodíková, kyselina chlorovodíková a také sloučeniny těžkých kovů. Konečným produktem tohoto procesu je síran vápenatý neboli energosádrovec (ČEZ ©2022b).

3.4.1 Energosádrovec

Energosádrovec (viz Obr. 3) vzniká krystalizací z roztoku a tím pádem je jeho čistota velmi vysoká. Oproti přírodnímu sádrovci má energosádrovec čistotu až 98 % což je o 12 % více než u přírodního sádrovce, který se v praxi používá při výrobě sádry a cementu. Chemické vlastnosti se však liší v závislosti například na konstrukci elektrárny či provozních podmínkách. Nejtěsněji jsou však fyzikálně – chemické vlastnosti spojeny s kvalitou uhlí (ČEZ© 2022b; Wang a Yang, 2018). Přírodní sádrovec se tedy musí před jeho využitím projít chemickým čištěním, které je jak energeticky, tak ekologicky náročné. Využitím energosádrovce, který získáváme odsířováním spalin, se šetří především přírodní sádrovec, který takto nebude muset být vytěžen a také se šetří emise skleníkových plynů. Jedna tuna energosádrovce ušetří až 0,4 tuny CO₂ oproti těženému přírodnímu sádrovci. Produkci energosádrovce u nás zastupují především šest hlavních uhelných elektráren ČEZ. Patří mezi ně elektrárny – Tušimice, Pruněřov, Mělník, Ledvice, Dětmárovice a Počerady. Dohromady vyprodukují přibližně 1,2 milionu tun energosádrovce (ČEZ ©2022b).

Uplatnění energosádrovce je velice široké. Jeho aplikace je soustředěna v několika oblastech. Mezi hlavní patří v oblasti stavebních materiálů, půdy či syntézy materiálů (Liu a kol., 2021). Energosádrovec se hojně využívá například při výrobě sádry a v

odvětví stavebnictví. Dále se také používá k rekultivaci povrchových dolů a výsypek. U vybraných elektráren, mezi které patří Elektrárny Mělník a Počerady, fungují linky na výrobu sádkokartonových stavebních dílů, které jsou ve stavebnictví velmi žádané a vzniká tak velká poptávka. Další důležité uplatnění nachází při výrobě cementu jako regulátor doby tuhnutí a společně s popílkem poté tvoří stabilizát (ČEZ ©2022b).



Obr. 3: Energosádrovec – briketovaný (vlastní fotografie).

3.4.2 Stabilizát

Jako další produkt ze spalování uhlí můžeme uvést stabilizát, jehož konečný výsledek patří dodnes k nejrozšířenější formě ukládání energetických produktů (Silo Transport a.s. ©2022). Na rozdíl od dob dřívějšího Československa, kdy se většina produkce strusky a popílku (dále jen popel) ukládala ve formě hydrosměsí na odkalištích, nám ukládání popela ve formě stabilizátu nabízí bezpečnější cestu díky jeho vlastnostem (Kuraš, 2014).

Stabilizát vzniká směsí určitého množství suchého popela, vody, síranu vápenatého a hydroxidu vápenatého. Díky této směsi je umožněno popílku hydraulicky tuhnout a tvrdnout (tzv. pucolánová reakce) čímž se mění jeho chemické i mechanické vlastnosti výsledného produktu. Díky této reakci může následně dojít k zablokování těžkých kovů, které by mohly mít nežádoucí účinky na životní prostředí, v pevné formě (solidifikace). Tato skutečnost může vést ke snížení vyluhovatelnosti

těžkých kovů do životního prostředí (Kuraš, 2014).

3.5 Využití odpadů ze spalování uhlí

3.5.1 Využití VEP

Jeden z nejvyužívanějších způsobů využití popílků je rekultivace. Cílem rekultivace je především zahlazení zásahů po lidské činnosti, nejčastěji území zasažené těžbou nerostných surovin, a stabilizace povrchu. Dále se využívá z hlediska estetiky na zamaskování narušené krajiny. Nejčastěji používaná rekultivace je rekultivace lesnická a parková (Severa a Frána, 2002).

Popílek by mohl mít značný potenciál jeho využití také v zemědělství díky vysoké koncentraci prvků (např. Na, K, Ca, Zn, Fe, Mg) nacházející se v popílku, které údajně zvyšují výnos zemědělských plodin (Basu a kol., 2009). Avšak ohledně aplikace popílků do zemědělských půd existují určité pochybnosti z důvodu možnosti výskytu těžkých kovů, jako je například olovo a jiné škodlivé látky (Severa a Frána, 2002). Z tohoto důvodu se využití popílku, jako pojiva v zemědělství v České republice se úprava půdy touto metodou, neprovádí, a to i přesto, že splňuje normu ČSN EN 14227-15, podle které se musí řídit (Bulíková a kol., 2017).

Kromě využívání elektrárenských popílků k rekultivacím a zásypům je hojně využívaný způsob využívání ve stavebnictví, konkrétně například v oblasti výroby transportbetonu. Díky jeho širokému sortimentu a pevnostních vlastností se mohou betonů klást speciální požadavky před jeho použitím, jako je například dobrá čerpatelnost nebo trvanlivost. Popílků se v tomto případě využívají pro vylepšení speciálních podmínek při použití, a navíc nabízejí a také uplatňují pro substituce cementů, které se do betonů přidávají. Využívání popílků tímto způsobem je výhodné jak z ekonomického, tak ekologického hlediska. Tím, že popílků částečně nahrazují cement, tak se sníží cena surovin při výrobě betonů, a navíc je takto snižována produkce oxidu uhličitého do ovzduší a zároveň se tím řeší i problém ukládání popílků na skládky (MPO ©2018). Kupříkladu do betonů HVFA Concrete (High Volume Fly Ash Concrete), se využívá popílek a konkrétně v případě tohoto druhu betonu nahrazuje až 50 % slínku (UKQAA, 2012).

Při používání popílku při výrobě betonu se v praxi zkoumají vlastnosti betonu při jeho různých využitích. Při výrobě se také hledí na dopady přidávání různého

množství popílku do jednotlivých receptur. Cílem je užití popílku do oblastí, kde se předpokládá objemnější množství jeho využití. To je například odvětví stavebnictví, kde je potřeba velké množství výrobků z betonu a prefabrikátů. Pro vyhodnocení možného využití popílku, jsou využívány výsledky výroby cementů ve výrobě betonu a to z dostupných informací kupříkladu od odborných svazů výrobců cementu v České republice za jednotlivé roky (MPO ©2018). Co se týká využívání popílků, jako náhrada materiálů ve stavebnictví, v zahraničí, tak například v Číně bylo v roce 2018 použito až 30 % popílků při výrobě cementu a betonu (Mishra a kol., 2018).

Ministerstvo průmyslu a obchodu uvádí další využití popílku ve směsích stmelených hydraulickými pojivy, kterým může být například základ při výstavbě silnic. Přestože statistiky o objemech výroby těchto materiálů prakticky neexistují, jejich produkce se odhaduje na 1,5 milionů m³ ročně. Pokud by byla použita kombinace cementu CEM I pevnostní třídy 41,5 společně s popílkem, bylo by v tomto případě na výrobu potřeba přibližně 75 000 tun popílku, což by znamenalo značnou úsporu cementu CEM I. Ačkoliv se tyto materiály již v zahraničí používají a existuje pro ně i daná legislativa, je prakticky nemožné kontrolovat skutečný obsah popílku používaného jako náhrada cementu. Důvodem je Ředitelství silnic a dálnic, které nemá upravenou svou vlastní normu pro výrazné využívání popílků do betonu pro přízemní komunikace v České republice (MPO ©2018).

3.5.2 Ekologická a zdravotní rizika při nakládání s odpady po spalování uhlí

Ačkoliv se může zdát, že odpady ze spalování uhlí a s ním následné nakládání nemá na lidské zdraví a životní prostředí žádný vliv, nemusí tomu být nutně tak. Na základě projektů, zaměřených na toto téma, bych ráda představila i možnou negativní stránku, která může mít dopad na jak na zdraví člověka, tak na životní prostředí.

Jako první bych chtěla zmínit projekt „Rizika využívání zbytků po spalování uhlí vznikajících při výrobě tepla a elektrické energie“, kde se tým doktorky Zimové (Zimová a kol., 2014) věnuje výzkumu možného uvolňování toxických látek ze zbytků po spalování uhlí, kde následně hodnotí rizika na lidské zdraví a životní prostředí.

Co se týká konečného hodnocení zpracovaného projektu, tak je zde uvedeno, že zbytky po spalování uhlí mohou být díky obsahu a mobilitě řady prvků v nich obsažené, možným rizikem pro lidské zdraví a životní prostředí. V projektu je také

uvedeno, že k možným rizikům může dojít při ukládání zbytků po spalování uhlí do životního prostředí, které nebylo řádně zajištěno (Zimová a kol., 2014).

Jako druhý příklad bych ráda uvedla projekt týmu doktora Mráze (Mráz a kol., 2017) s názvem „Příklady využití vedlejších energetických produktů v zemních konstrukcích a vliv kvality vodných výluhů na jejich uplatnění“. Cílem tohoto projektu je najít vhodnou náhradu za materiály tradičně používané při stavbě zemních komunikací. Jedna ze zvažovaných možností je zde částečné využití vedlejších energetických produktů. Avšak v rámci aplikace VEP se zde musí zvažovat možná rizika.

V rámci projektu je zde řešena problematika snižování oxidů dusíku (NO_x) ve vzniklých spalinách. Mezi nejčastější metody, které se již využívají v několika teplárnách, patří metoda selektivní nekatalytické redukce (SNCR). Při použití této metody se redukční podmínky vytvářejí vstříkovaním čpavku či močoviny a přednostně snižuje oxidy dusíku. Ačkoliv je metoda již v praxi využívána, je třeba dalšího testování. Důvodem je čpavek, který má vliv na použitelnost VEP, jelikož zde dochází ke vzniku amonných solí, které se díky jejich dobré rozpustnosti ve vodě, stávají rizikem pro životní prostředí a zdraví člověka (Mráz a kol., 2017).

V obou projektech figurovaly oxidy, které mohou mít negativní dopady na lidské zdraví. Jedná se například o oxid uhelnatý, který může při vysoké koncentraci způsobovat závrať, slabost, nevolnost či únavu. Jako další je kupříkladu oxid dusičný, jež může mít za důsledek dušnost, podrážděnost dýchacích cest či dokonce jejich infekci (EPA ©2022).

Možným rizikům využívání VEP se věnuje také Zhang (Zhang, 2014), který se ve své práci věnuje nakládáním s odpady ze spalování uhlí. V první řadě upozorňuje na fakt, že pravděpodobně všechny VEP obsahují určité množství toxických látek, které se pak mohou dostávat do životního prostředí díky jejich vyluhovatelnosti. Dále upozorňuje také na možný výskyt toxických organických sloučenin, jako jsou například polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) (Zhang, 2014). U této sloučeniny je zaznamenán zvýšený výskyt rakoviny plic, kůže a močového měchýře u lidí vystavených právě PAH (WHO ©2021).

Existuje několik způsobů, jak se je možné ekotoxicitu změřit. Nejčastěji využívaný je způsob pomocí biotestů, které se třídí pomocí několika ukazatelů. Jedná

se například o rozdělení z hlediska trofické úrovně organismů (konzument, producent, dekompozitor) či z hlediska expoziční doby (chronické, semichronické, akutní). Nejčastější rozdělení je však podle prostředí, kde se organismy vyskytují (akvatické, terestrické) (Hoffman a kol., 1995). Zkoušky ekotoxikality se v České republice musí provádět podle normy ČSN EN 14735, která konkrétně charakterizuje potřebné kroky před provedením zkoušek ekotoxikality odpadů.

K měření, zda jen zdravotně nezávadné využívání popílků například do surovin či stavebních materiálů se může využívat několik způsobů. Tímto tématem se zabývala studie „Hodnocení ekotoxilogického potenciálu popílku a použití kameniva z recyklovaného betonu v betonu“ (vlastní překlad anglického názvu). Měření nezávadnosti zahrnovalo posouzení chemických vlastností, a to kovových i nekovových. Dále zahrnovalo posouzení údajů o ekotoxicitě, k čemuž se využívaly testy s luminiscenční bakterií *Vibrio Fischeri*, sladkovodní korýš *Daphnia magna* a kvasinka *Saccharomyces cerevisiae*. Z měření bylo zjištěno, že především u recyklovaného betonu je toxicita značně zvýšena a zabudováním 100 % recyklovaného betonu a 60 % popílků do stavebních materiálů by mohlo docházet k nepříznivým účinkům na lidské zdraví a životní prostředí. Studie na závěr také poukazuje na důležitost měření potenciálních environmentálních rizik u neobvyklých materiálů využívaných do stavebních materiálů (Rodrigues a kol., 2020).

3.5.3 Zahraniční zkušenosti při nakládání s odpady ze spalování uhlí

Jak už je výše zmíněno, v České republice se v posledních, více jak dvaceti letech, rozšířil celkový sortiment využitelnosti vedlejších energetických produktů. Také se například mnohokrát ověřila i funkčnost, trvanlivost a pevnost staveb z materiálů, kde byly právě vedlejší energetické produkty využity. I přes tento fakt se v České republice zcela nevyužívá potenciál jejich využití, jak je kupříkladu v sousedním Německu. Zde se například popílků hojně využívají k výstavbě především silnic, cyklistických stezek, betonových mostů či tunelů. Popílků jsou možno využít i na jiné druhy staveb, avšak je zde důležité vybrat správný druh popílku pro různé druhy betonů. Popílků musí také splňovat normu ČSN EN 450-1, která konkrétně popisuje specifikace a kritéria přimíchávání popílku do betonu (Mohrmann, 2018).

Stejně jako v České republice, má Německo také své normy, které musí popílky splňovat. Jednou z hlavních norem můžeme v tomto případě uvést normu DIN EN 197-1:2011-11, která popisuje složení, požadavky a kritéria shody běžného cementu. Kritéria kontroly popílku zde stanovuje pracující skupina Německých spolkových zemí (LAGA). Tato skupina stanovuje obecně technické předpisy, které se týkají konkrétních odpadů a díky svým testovacím požadavkům se snaží co nejvíce zabránit potencionálním škodám na životním prostředí. Předpisy jsou podrobně zpracovány a rozděleny na jednotlivé druhy zbytků ze spalování uhlí. Dále se klasifikují i dvě různé třídy využití popílku. Rozdělují se konkrétně na Z 0 a Z 2. Toto rozdělení má sloužit k ochraně podzemních vod a půd (Feuerborn, 2005).

Ačkoliv je procento využitelnosti popílků poměrně vysoké, Německo se v roce 2021 rozhodlo přidat k evropskému trendu snižování uhelných elektráren a jako náhradu vyrábět elektrickou energii pomocí spalování biomasy (Baričević a kol., 2021). Toto rozhodnutí však nebylo zatím praktikováno.

4. Výsledné zhodnocení

Jednou z hlavních myšlenek této práce je koncept oběhového hospodářství, jehož hlavní inspirací jsou přírodní ekosystémy. Prioritou tohoto systému je především snaha o to, aby nevznikal zbytečný odpad, avšak když už se tak stane, tak se oběhové hospodářství snaží o to, aby se vytvořený odpad vrátil zpět do oběhu. Jak už z toho vyplývá, principy systému oběhového hospodářství tvoří získávání energie z obnovitelných a udržitelných zdrojů a návrh či inovace takových produktů, které budou podporovat přírodní ekosystémy. K tomu udělala první krok Evropská komise s vydáním Akčního plánu EU v roce 2015. Taktéž byly přijaty nové legislativní návrhy, týkající se podpory recyklace, snížení skládkování a nakládání s druhotnými surovinami a odpady vracejících se zpět do oběhu. Nový akční plán z roku 2020 v návaznosti na to uvádí, že tato opatření chce realizovat nejen v Evropě, ale také celosvětově.

K tomu, aby mohlo dojít k využívání druhotných surovin, musí být při nakládání s nimi zajištěna jejich bezpečnost. Tato podmínka je také uvedena v novém akčním plánu. Dále na toto stanovení navazuje podpora přechodu k chemickým látkám pomocí nařízení REACH, které Evropský parlament schválil již v roce 2007. Toto nařízení má druhotným surovinám zajišťovat bezpečnost a chránit tak životní prostředí a zdraví lidí. Proto, aby se tak stalo, musí každý výrobce, dovozce a jiní uživatelé požádat o registraci látek. Látky se pak rozdělují na dvě skupiny a to „dobře definované látky“ a „látky UVCB“, což je označení pro látky s proměnlivým či neznámým složením. Látky, které se nedají zařadit ani do jedné skupiny, by měly být omezeny či nahrazeny bezpečnější alternativou.

Avšak nařízení REACH se potýká s několika problematikami. Jako první je náročnost vyhodnocení dopadů látek na životní prostředí kvůli nejistým analytickým metodám testování a v některých případech také neúplným vstupním parametrům a hodnotám. Také se musí brát v potaz komunikace mezi výrobcem, dovozcem, distributorem a uživatelem, kteří si musí vzájemně informace o látkách sdělovat, aby tak bylo provedeno nejvhodnější zhodnocení rizik. Pokud k této zásadní komunikaci nedojde, ať úmyslně či neúmyslně, může dojít k nebezpečnému zacházení s látkami či k nevhodnému skládkování.

Jedním z hlavních témat této práce jsou vedlejší energetické produkty (VEP), jejíž produkce je při spalování uhlí nevyhnutelná. VEP není samo o sobě jednoduché zařadit. V první řadě je to způsobené výraznou odlišností charakteru a složením od majority jiných průmyslových odvětví. V druhé řadě je v mnoha případech náročné odhadnout také například celkovou produkci VEP kvůli nejasné legislativě, která se k VEP vztahuje, jelikož mohou být evidovány kupříkladu jako stavební výrobky, chemické látky či odpady. Situaci stěžuje poté i fakt, že se evidované produkty mohou vzájemně překrývat.

Mezi jeden z nejprodukovanější a zároveň nejvíce využívaný vedlejší energetický produkt patří úletový popílek. Díky jeho pucolánovým vlastnostem se využívá jako částečná cementu při výrobě betonu.

Dále se může využívat i popílek ložový, který má také pucolánové vlastnosti, ale díky jeho hrubozrnnosti se využívá spíše při výstavbě silnic či jako náhrada jemného kameniva. Oba typy popílků se poté dají využít k rekultivaci. Druhým nejvyužívanějším produktem ze spalování uhlí je struska, která splňuje všechny technické požadavky platné legislativy ČR i EU. Podobně jako popílek se může využívat například do násypů silnic či jako stavební výrobek díky platným certifikátům EMĚ a EDĚ.

Jeden z nejznámějších produktů odsíření, který se využívá také ve stavebnictví především k výrobě cementu a sádry, je energosádrovec. Jelikož má i lepší vlastnosti oproti přírodnímu sádrovci, je jeho využitelnost velmi výhodná. Navíc pak společně s popílkem tvoří také další produkt a to stabilizát.

Ačkoliv se tyto produkty zdají nezávadné, existují jistá rizika, která mohou mít dopad na životní prostředí. Jedná se například o potenciální uvolňování toxických látek do životního prostředí při ukládání zbytků po spalování uhlí. Další problematikou je výskyt amonných solí ve vodě při snaze snižování oxidu dusíku.

5. Diskuze

Ačkoliv v České republice existují zákony, jak zacházet s vedlejšími energetickými produkty, Mráz a kol. (2017) tvrdí, že stále nejsou přesně konkretizována a vymezena taková kritéria, podle kterých by se tyto konkrétní materiály daly jednoznačně klasifikovat a evidovat. Pokud by taková situace nastala, přispělo by to k vyvarování se újmy na životním prostředí a zvýšila by se informovanost o daných materiálech (Mráz a kol., 2017). Jak je již v práci zmíněno, jediná norma na využití vedlejších energetických produktů ve stavebnictví je současně jen ČSN EN 450-1.

Rozdíl v legislativě, týkající se zacházením s vedlejšími energetickými produkty se může pozorovat například v legislativě v sousedním Německu. To se jako jeden ze států Evropské Unie řídí, stejně jako Česká republika, akčními plány vytvořené pro Evropskou Unii. Avšak na rozdíl od České republiky má Německo i další kritéria pro kontrolu kvality, která byla vytvořena německou federální pracovní skupinou pro odpady (Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall) LAGA. Tato skupina určila jak obecné podmínky využívání bez ohledu na druh zbytků či odpadů, tak stanovila také jasné technické předpisy pro využití a požadavky na odběr vzorků a jejich následnou analýzu. Tyto pokyny splňují podmínky pro to, aby nedocházelo k nepřijatelným škodám na životním prostředí. Technické předpisy jsou také zpracovány pro jednotlivé druhy vedlejších produktů (např. popílek, struska atd.). Dále také rozděluje svá kritéria na místa, kde budou VEP využity, což je dle mého názoru velmi důležité. Do těchto kategorií se řadí například využití betonu ve styku s půdou a podzemními vodami a využití betonu, který přijde do styku s pitnou vodou (Feuerborn, 2005).

Co se týká využívání vedlejších energetických produktů v České republice, tak tým Aleše Paulu (Paulu a kol., 2022), který zpracoval studii o jejich nakládání, uvedl, že na základě vypracované LCA analýzy byli schopni prokázat přínosy pro životní prostředí. Tým také konstatoval, že u všech studovaných materiálů, tj. popílek, struska, sádra, beton a cihly, by se v každém případě mělo preferovat jejich využití ve výrobě než jejich skládkování, které by mělo být vždy poslední možností.

Ze zahraničních zdrojů můžeme také vyčíst podporu využívání vedlejších energetických produktů ve stavebnictví. Příkladem může být studie týmu Amrana,

který se zabýval konkrétně využíváním popílku v betonu. Zaměřuje se především na pozitivní vlastnosti popílku, tj. na jeho pucolánové vlastnosti, ale zároveň zdůrazňuje důležitost poměru přidávání popílku do cementu při výrobě betonu. Jelikož pokud se to cementu vmíchá více jak 50 %, může docházet k ovlivnění trvanlivosti betonu a jeho pevnost. Také další aspekt, na který poukazuje je důležitost kontroly reakcí materiálu při jeho použití. Tato studie uvedla, že v rámci zkoumání imobilizace, adsorpce toxických kovů a utěsnění oxidu uhličitého u materiálů na bázi popílku, byl výsledek neuspokojiví. Zároveň ale navrhuje jeho další přezkoumání do budoucna (Amran a kol., 2021).

Jako jednu ze zásadních problematik můžeme uvést výskyt amonných solí v životním prostředí. O této problematice se zmiňuje tým Mráze (Mráz a kol., 2017), který v rámci projektu řešil problematiku snižování oxidů dusíku ve spalinách. Hlavním problémem je využívání technologie selektivní nekatalytické redukce (SNCR). Toto dále vysvětluje Roman Snop (Snop, 2015) ve svém semináři „Současný stav využitelnosti energetických produktů v ČR“, ve kterém potvrzuje, že vzniklé sloučeniny (síran amonný, hydrosíran amonný) z důsledku redukčních reakcí, jsou zdrojem amoniaku, který se uvolňuje do okolního prostředí. Dále zmiňuje další možná rizika, jako je toxicita pro vodní organismy či urychlenému uvolňování amoniaku po styku popílku například s cementem. I přes tato možná rizika se Snop přiklání k podpoře využívání popílků ve výrobě z důvodu možné destabilizace výrobních ekonomických struktur ve stavebním průmyslu.

Tvrzení o možné toxicitě amonnými soli podporuje také Táborský a Veselý ve svém článku „Popílek – aktuální stav tradiční příměsi do betonu“ (Táborský a Veselý, 2021). Ve svém článku zmiňují, že ačkoliv je použití čpavkové vody či močoviny přínosné, jelikož výsledkem toho je čistý dusík, tak zároveň zůstávají ve spalinách již zmíněné amonné soli. Dále potvrzují, že použitím popílku při výrobě betonu může nastat uvolňování amoniaku v plynné formě. Ve spojení s řešením této problematiky zmiňují, že ačkoliv existoval výčet studií a výzkumů, jak by se dala stanovit limitní hodnota, výsledkem nebyla možná nařízení, které by se dalo na problematiku aplikovat. Z tohoto důvodu mohou výrobci betonů pouze náhodně kontrolovat obsah amonných iontů v popílku a následně sledovat chování betonu ve všech jeho krocích, tj. výroba, doprava a ukládání.

6. Závěr a přínos práce

Výroba tepelné energie v uhelných elektrárnách pomocí spalování uhlí je jeden z nejrozšířenějších způsobů, jakým je v České republice energie vyráběna. Ačkoliv se v posledních několika letech hovořilo o uzavření uhelných elektráren, není tomu tak v tomto čase je to prozatím nemožné. Proto je stále nevyhnutelná produkce vedlejších energetických produktů.

Tato bakalářská práce ukázala hned několik aspektů, jak je možné se na vedlejší energetické produkty dívat. V první řadě ukazuje, jak spadají do systému oběhového hospodářství, které se samo osobě v České republice stále snaží postupně co nejvíce přiblížit přírodním ekosystémům. Dále představila výčet nejprodukovanějších vedlejších energetických produktů tj.: popílek (úletový a ložový), struska, energosádrovec a stabilizát a vysvětlila jejich složení a samozřejmě jejich využitelnost.

Využitelnost těchto produktů je poměrně široká, jelikož se využívají v důležitých odvětvích jako je stavební a betonářský průmysl. Také se především využívají v projektech velkého měřítko jako je například zasypání výsypek či výstavba pozemních komunikací. Je proto velmi důležité, aby se s těmito produkty nakládalo tak, jak určuje platná legislativa. Z toho důvodu tato práce také ukazuje, jakých legislativ, akčních plánů, nařízení a jiných legislativních rámců je potřeba, aby se s produkty z energetického průmyslu zacházelo tak, aby nezpůsobovaly žádnou újmu životnímu prostředí a lidskému zdraví.

Ačkoliv v České republice existuje již platná legislativa pro evidování a zacházení s vedlejšími energetickými produkty, stále je potřeba více konkretizovat a ucelit jistá pravidla ohledně zacházení s nimi, aby se zcela eliminovalo jakékoli riziko z nevhodného zacházení s těmito produkty. V tomto případě se Česká republika může jít směrem po vzoru sousedního Německa, které již má tato kritéria vymezena.

Zároveň je také důležité se nespoléhat pouze na legislativní rámec, ale jednat zodpovědně a provádět preventivní testování a analýzy, které by popřípadě odhalily například potenciální výskyt toxických látek, které by škodily životnímu prostředí ať už při v přítomném čase při jejich použití či v budoucnu.

7. Přehled literatury a použitých zdrojů

Literární zdroje

1. Amram, M., Fediuk, R., Murali, G., Avudaiappan, S., Ozbakkaloglu, T., Vatin, N., Karelina, M., Klyuev, S., Gholampour, A., 2021: Fly Ash-Based Eco-Efficient Concretes: A Comprehensive Review of the Short-Term Properties 14 (15).
2. Baričević A., Carević I., Šantek Bajto J., Štirmer N., Bezinović M., Kristović K., 2021: Potential of Using Wood Biomass Ash in Low-Strength Composites. *Materials* 14 (5): 1250. 1 – 19.
3. Basu M., Pande M., Bhadoria P.B.S., Maphapatra S.C., 2009: Potential fly-ash utilization in agriculture: a global review. *Progress in Natural Science* 19 (10). 1173-1186.
4. Bulíková L., Kresta F., Rochovanský M., 2017: Potential use of fly ash to soil treatment in the Moravia region. *IOP Conference Series* 236. 012091-01291
5. Cavaleiro de Ferreira A., Fuso-Nerini F., 2019: A Framework for Implementing and Tracking Circular Economy in Cities: The Case of Porto. *Sustainability* 11 (6). 1813.
6. Eggen T., Moeder M., Arukwe A., 2010: Municipal landfill leachates: a significant source for new and emerging pollutants, *Science of the total environment* 21 (408). 5147-5157.
7. Hoffman D. J., Rattner B. A., Burton G. A. Jr., Cairns J. Jr., 1995: *Handbook of Ecotoxicology* (second edition). ISBN 978-1-4200-3250-5.
8. Hower J.C., Groppo J.G., Graham U.M., Ward C.R., Kostova I.J., Maroto-Valer M.M. – Dai S., 2017: Coal-derived unburned carbons in fly ash: a review. *International Journal of Coal Geology* 179. 11-27.
9. Chobanova R., 2021: Circular economy as a new stage of economic development. *Circular Economy- recent advantages. New perspectives and applications*. ISBN 978-1-83881-070-2.
10. Kalina J., Hřebíček J., 2011: Možnosti prevence vzniku odpadů v ČR. Bratislava, *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae* 19. 155 – 156.
11. Kim H. K., Lee H. K., 2015: Coal bottom ash in field of civil engineering: a review of advanced applications and environmental considerations. *KSCE Journal of Civil Engineering* 19 (6). 1802-1818.
12. Kuraš M., 2008: *Odpadové hospodářství. Výukový program: Environmentální vzdělávání*. 1.
13. Kuraš M., 2014: *Odpady a jejich zpracování*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor. ISBN 978-80-86832-80-7.
14. Liu S., Liu W., Jiao F., Qin W., Yang C., 2021: Production and resource utilization of flue gas desulfurized gypsum in China - A review. *Environmental Pollution* 288.
15. McCarthy M. J., Dyer T. D., 2019: *Pozzolanas and Pozzolanic Materials*. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. 363.
16. Mishra D. K., Yu J., Leung C. K. Y., 2018: Green concrete under norm and heat curing with fly ash from China and India. *Proceedings of International Conference on Waste Management and Technology* 13. 281.
17. MPO, ©2010: *Pokyny k odpadům a zpětně získaným látkám*. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 5.

18. MPO, ©2018: Analýza současného stavu vybraných komodit druhotných surovin a jejich zdrojů včetně vize rozvoje daného odvětví. Podklad pro aktualizaci Politiky druhotných surovin České republiky. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 99.
19. MPO, ©2019: Aktualizace politiky druhotných surovin České republiky pro období 2019-2022. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 14.
20. Mushtaq F., Zahid M., Bhatti I. A., Nasir S., Hussain T., 2019: Possible applications of coal fly ash in wastewater treatment: a review. *Journal of Environmental Management* 240. 27-46.
21. MŽP, ©2021: Strategický rámec cirkulární ekonomiky České republiky 2040: Maximálně cirkulární Česko v roce 2040. Ministerstvo životního prostředí ČR. Praha. 5-7.
22. MŽP, ©2022b: Plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024. Ministerstvo životního prostředí ČR. Praha. 55-96.
23. Pasetto M., Baldo N., 2014: Fatigue performance and stiffness properties of Stone Mastic Asphalts with steel slag and coal ash. *Asphalt Pavements*. ISBN 978-04-292267-7-9.
24. Paulu, A., Vítvarová, M., Kočí, V., 2022: Quantifying the industry-wide symbiotic potential: LCA of construction and energy waste management in the Czech Republic, *Sustainable Production and Consumption* 34. 55-64.
25. Ramme B. W., Tharaniyil M. P., 2013: We Energies Coal Combustion Products Utilization Handbook. A We Energies Publication 40 (2). 126.
26. Rodrigues, P., Silvestre D. J., Flores-Colen I., Viegas A. C., Ahmed H. H., Kurda R., De Brito J., 2020: Evaluation of the Ecotoxicological Potential of Fly Ash and Recycled Concrete Aggregates Use in Concrete. *Applied Sciences* 10(1). 351.
27. Seham S. N., Narguess H. M., 2021: Fly ash properties, characterization, and application: a review. *Journal of King Saud University – Science* 33(6).
28. Sharma N. K., Mitra S., Sehgal V., Mishra S., 2012: An Assessment of physical properties of coal combustion residues w.r.to their utilization aspects. *International Journal of Environmental Protection*. IJEP 2(2). 31-38.
29. Tóthová D., Soukupová J., Dvořáková Z., Čurda S., Struk M., 2020: Nástroje pro přechod na oběhové hospodářství: informační, motivační a dobrovolné nástroje pro obce a občany. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-9749-0.
30. Wang J., Yang P., 2018: Potential flue gas desulfurization gypsum utilization in agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82. 1969-1978.
31. Zhang X., 2014: Management of coal combustion wastes. IEA Clean Coal Centre. 9-11.

Internetové zdroje

1. ASTM International, ©2011: ASTM C1157/C1157M – Standard Performance Specification for Hydraulic Cement (online) [cit. 2022.02.04], dostupné z: <<https://tgsb.gm/sites/default/files/2021-08/GAMS%20ASTM%20C1157M%202011%20Specification%20for%20Hydraulic%20Cement.pdf>>.
2. CENIA, ©2022 : Česká informační agentura životního prostředí. REACH (online) [cit. 2022. 02. 02], dostupné z: <<https://www.cenia.cz/odborna-podpora/reach/>>.

3. ČAobH ©2022: Toky obnovitelných a neobnovitelných materiálů v oběhovém hospodářství – překážky integrace (online) [cit. 2023.01.06], dostupné z: <<https://obehove-hospodarstvi.cz/home-page-3/>>.
4. ČEZ ©2022a: Vedlejší energetické produkty – struska (online) [cit. 01. 02. 2022], dostupné z: <<https://www.cezep.cz/cs/vedlejsi-energeticke-produkty/struska>>.
5. ČEZ ©2022b: Odsíření spalin (online) [cit. 01. 02. 2022], dostupné z: <<https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/uhelne-elektrarny/uhelna-elektrarna-podrobne/odsireni-spalin/vyklad>>.
6. Denková, A., 2017: Kam s odpady a druhotnými surovinami. Doporučení pro přechod k oběhovému hospodářství (online) [cit. 2023.01.06] dostupné z: <https://www.amo.cz/wp-content/uploads/2017/03/AMO_kam-s-odpady-a-druhotnymi-surovinami-doporuceni-pro-prechod-k-obehovemu-hospodarstvi1.pdf>.
7. EC, ©2015: Sdělení Komise Evropského parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů: Uzavření cyklu – akční plán EU pro oběhové hospodářství (online) [cit. 2022.08.20], dostupné z: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX%3A52015DC0614>>.
8. EC, ©2020: Sdělení Komise Evropského parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů: Nový akční plán pro oběhové hospodářství (online) [cit. 2022.08.18], dostupné z: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098&from=FI>>.
9. EPA ©2022: Sources of combustion products (online) [cit. 2023.03.17], dostupné z: <<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/sources-combustion-products>>.
10. European Parliament, 2016: Closing the loop: New circular economy package (online) [cit. 2023.03.20], dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI%282016%29573899_EN.pdf>.
11. European Parliament, 2022: Circular economy: definition, importance and benefits (online) [cit. 2022.12.27], dostupné z: <<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>>.
12. Feuerborn, H. J., 2005: Regulations regarding coal ash utilisation in Europe (online) [cit. 2023.03.17], dostupné z: <<http://coal-ash.co.il/sadna/Abstract%20-%20H.%20J.%20Feuerborn.pdf>>.
13. Hornychová, M., 2008: Nařízení REACH (online) [cit. 2023.01.07], dostupné z: <<https://szu.cz/tema/pracovni-prostredi/narizeni-reach>>.
14. Hospodářská komora České republiky, 2022: 236/22 Akční plán Cirkulární Česko 2040 pro období 2022-2027 (online) [cit. 2023. 01.08], dostupné z: <<https://www.komora.cz/legislation/236-22-akcni-plan-cirkularni-cesko-2040-pro-obdobi-2022-2027t21-12-2022/>>.
15. INCIEN, ©2019: Odpad zdrojem (online) [cit. 2022.08.20], dostupné z: <https://incien.org/wp-content/uploads/2019/04/Odpad-zdrojem_publicace.pdf>.
16. Kurková Z., 2007: Ekologické využívání vysokopeční strusky ve stavebnictví. In: Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava 4 s.

- (online) [cit. 2022.05.05], dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/64575/FAST-2007-7-1-127-kurkova.pdf?sequence=2>.
17. Ministerstvo zemědělství ©2023: Právní předpisy (Online) [cit. 2023.01.26], dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/ostatni/103715719.html>.
18. Mohrmann P., 2018: Popílky v zahraničí (online) [cit. 2022.10.07], dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/info/popilky-v-zahranici>.
19. MPO ©2021: Souhrnná výzkumná zpráva řešení s pasporty vymezených objektů, závěry a doporučeními (online) [cit. 2022.12.05], dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/surovinova-politika/statni-surovinova-politika-nerostne-suroviny-v-cr/2021/11/Projekt-TITSMPO816_Souhrnna-vyzkumna-zprava.pdf.
20. Mráz V., Havlice M., Suda J., 2017: Příklady využití vedlejších energetických produktů v zemních konstrukcích a vliv kvality vodných výluhů na jejich uplatnění. Odpadové fórum (online) [cit. 2022.08.10], dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2017/prispevky/137.pdf>.
21. MŽP ©2022a: Odklon od uhlí (online) [cit. 2023.01.27], dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/odklon_od_uhli.
22. Přichystalová R., Sikorová L., Krejsová H., Danihelka P., 2013: Implementace a problematické aspekty nařízení REACH. Chemické listy 107, 146-150 (online) [cit. 2022.09.25], dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/766/766>.
23. Severa T., Frána J., 2002: Rekultivace a využívání elektrarenských popílků. Pozemkové úpravy a převody nemovitostí (Jihočeská univerzita) (online) [cit. 2022.10.05], dostupné z: <https://docplayer.cz/6518226-Rekultivace-a-vyuziti-elektrearenskych-popilku.html>.
24. Silo Transport a.s., ©2022: Stabilizát (Online) [cit. 2022.08.04], dostupné z: <https://www.silotransport.cz/stabilizat>.
25. Snop, R., 2015: Současný stav využitelnosti energetických produktů v ČR – kvalita, budoucnost, disponibilita. Konference – Vápno, cement, ekologie, Výzkumný ústav maltovin Praha, s. r. o.
26. Táborský, T., Veselý, V., 2021: Popílek – Aktuální stav tradiční příměsi do betonu (online) [cit. 2022.12.02], dostupné z: <https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2021-1-24.pdf>.
27. Teplárna Strakonice a.s., ©2022. Vedlejší energetické produkty (online) [cit. 2022.08.10], dostupné z: <http://www.tst.cz/vedlejsi-energeticke-produkty/>.
28. UKQAA, 2012: High Volume fly ash concrete, Technical data sheet 1.8 (online) [cit. 2022.11.27], dostupné z: http://www.ukqaa.org.uk/wp-content/uploads/2014/02/Datasheet_1-8_HVFA_March_2012_V1-0.pdf.
29. WHO ©2021: Human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons as ambient air pollutants (online) [cit. 2023.03.26], dostupné z: <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/pah/docs/pah.pdf>.

30. Zimová, M., Cidlinová A., Melicherčík J., Wittlingerová Z., 2014: Rizika využívání zbytků po spalování uhlí vznikající při výrobě tepla a elektrické energie (online) [cit. 2022.09.25], dostupné z: <<https://energetika.tzb-info.cz/11139-rizika-vyuzivani-zbytku-po-spalovani-uhli-vznikajicich-pri-vyrobe-tepla-a-elektricke-energie>>.

Legislativní zdroje

1. ČSN EN 14227-15.
2. ČSN EN 14735.
3. ČSN EN 450-1.
4. DIN EN 197-1:2011-11
5. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 ze dne 18. prosince 2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, o změně směrnice 1999/45/Es a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, řízení Komise (ES) č. 1488/94, směrnice Rady 76/769/EHS a směrnic Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES.
6. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech, Praha, 1- 13.
7. Vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, v platném znění.
8. Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů
9. Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon)
10. Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech, v platném znění.