

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra ekonomiky a managementu v metalurgii

**Zpracování modelu technicko-ekonomického  
hodnocení alternativního paliva při výrobě  
v tepelných elektrárnách, cementárnách a na  
aglomeraci železných rud**

Disertační práce

Studijní program: Řízení průmyslových systémů

Školitel: prof. Ing. Ivo Janík, CSc.

Doktorand: Ing. Petr Ston

Ostrava 2010

### **Anotace**

Při těžbě a následné úpravě černého uhlí ve Slezsku vznikalo zejména v minulosti velké množství černouhelných kalů, které byly v minulosti deponovány na skládky. Dnes jsou tyto kaly zpětně těženy a zpracovávány s cílem energetického využití. Cílem této disertační práce je popsat jejich možné použití v energetice a částečně také v procesu výroby cementu a to nejen jako paliva, ale také jako aditivačního činidla. V teoretické části disertační práce je popsán současný stav řešené problematiky a vysvětleny možnosti jeho uplatnění v oblastech energetiky a výroby cementu. V praktické části disertační práce je popsán proces přípravy navrhovaného alternativního paliva a následná analýza jednotlivých vlastností, které jsou podstatné pro jeho použití v uvedených oblastech. Poznatky získané v předchozích částech disertační práce jsou využity při sestavení technicko – ekonomického modelu efektivnosti výroby alternativního paliva. V závěrečné části disertační práce je popsáno možné rozšíření základní podoby alternativního paliva, které zvýší potenciál jeho možného použití.

### **Annotation**

Coal mining and processing in Silesia (Slezsko) has produced a huge amount of coal-water slurry as its by-product; it was, as a rule, deposited at disposal sites. The coal-water slurry is now being re-extracted and re-processed for fuel. This thesis gives account of it being used to produce electricity and, to an extent, in cement production, both as fuel and an additive agent. The theoretical section describes ways of dealing with coal-water slurry used so far and outlines its power supply and cement production potential. The practical section gives a detailed account of the proposed alternative fuel production, including an analysis of its relevant properties. This yielded information which was then used to draft a technical-economic model to explore the alternative fuel production efficiency. The final section seeks to cover potential ways of enhancing the properties of the fuel to extend the application range.



Obsah:

<b>ÚVOD</b> .....	<b>5</b>
<b>1. CÍL PRÁCE</b> .....	<b>7</b>
<b>2. SOUČASNÁ SITUACE ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b> .....	<b>8</b>
2.1. UHELNÉ KALY .....	8
2.2. REAKČNÍ ČINIDLO .....	11
2.3. TECHNOLOGIE FUEL CAL <sup>®</sup> .....	16
<b>3. VÝCHOZÍ TEORETICKÉ PODKLADY</b> .....	<b>20</b>
3.1. CHEMICKÉ SLOŽENÍ UHLÍ .....	20
3.1.1. <i>Hořlavina</i> .....	20
3.1.2. <i>Popeloviny</i> .....	21
3.1.3. <i>Obsah vody v uhlí</i> .....	22
3.2. STANOVENÍ TECHNOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ UHLÍ .....	23
3.2.1. <i>Spalné teplo a výhřevnost</i> .....	23
3.2.2. <i>Bod tání popela</i> .....	25
3.3. PROCES SPALOVÁNÍ UHLÍ .....	26
3.3.1. <i>Zařízení pro spalování uhlí</i> .....	27
3.4. POPIS OBLASTÍ MOŽNÉHO POUŽITÍ ALTERNATIVNÍHO PALIVA .....	29
3.4.1. <i>Oblast energetiky</i> .....	30
3.4.2. <i>Oblast výroby cementu</i> .....	36
3.5. MOŽNOSTI UPLATNĚNÍ ALTERNATIVNÍHO PALIVA .....	42
3.5.1. <i>Oblast energetiky</i> .....	42
3.5.2. <i>Výroba cementu</i> .....	44
<b>4. ALTERNATIVNÍ PALIVO</b> .....	<b>49</b>
4.1. PRVNÍ ETAPA PŘÍPRAVY A NÁSLEDNÉ ANALÝZY .....	49
4.1.1. <i>Příprava alternativního paliva</i> .....	49
4.1.2. <i>Analýza alternativního paliva</i> .....	55
4.2. DRUHÁ ETAPA PŘÍPRAVY A NÁSLEDNÉ ANALÝZY .....	61
4.2.1. <i>Základní technologický rozbor</i> .....	62

4.2.2.	Obsah chloru, emisní faktor, prchavá hořlavina a teploty tavitelnosti .....	65
4.2.3.	Stanovení stupně odsíření .....	69
<b>5.</b>	<b>TECHNICKO-EKONOMICKÝ MODEL .....</b>	<b>74</b>
5.1.	KVANTIFIKACE MOŽNOSTÍ UPLATNĚNÍ UPRAVENÝCH UHELNÝCH KALŮ JAKO ALTERNATIVNÍHO PALIVA .....	74
5.2.	JEDNOTLIVÉ DRUHY PŘÍNOSŮ A MATEMATICKÝ MODEL JEJICH VYČÍSLLENÍ.....	77
5.3.	POPIS JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ NÁKLADŮ A MATEMATICKÝ MODEL JEJICH VYČÍSLLENÍ .....	85
5.4.	LOKAČNĚ-ALOKAČNÍ PROBLÉM UMÍSTĚNÍ JEDNOTLIVÝCH VÝROBNÍCH JEDNOTEK NA PŘÍPRAVU UPRAVENÝCH UHELNÝCH KALŮ A VYČÍSLLENÍ INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ NA JEJICH POŘÍZENÍ .....	90
5.4.1.	<i>Lokačně-alokační problém umístění jednotlivých výrobních jednotek na přípravu upravených uhelných kalů .....</i>	<i>91</i>
5.4.2.	<i>Postup a výsledky optimalizačních výpočtů .....</i>	<i>98</i>
5.5.	VÝPOČET EKONOMICKÝCH ÚDAJŮ PRO KONKRÉTNÍ DODAVATELSKO-ODBĚRATELSKÉ RELACE STANOVENÉ OPTIMALIZACÍ ROZMÍSTĚNÍ VÝROBNÍCH KAPACIT .....	105
5.6.	EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ INVESTIČNÍHO PROJEKTU „ÚPRAVA UHELNÝCH KALŮ JAKO ALTERNATIVNÍHO PALIVA“ .....	106
5.7.	RIZIKO INVESTIČNÍHO PROJEKTU „ÚPRAVA UHELNÝCH KALŮ JAKO ALTERNATIVNÍHO PALIVA“ ..	120
<b>6.</b>	<b>ZOBECNĚNÍ A MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝVOJE .....</b>	<b>127</b>
<b>7.</b>	<b>SHRNUTÍ VLASTNÍHO PŘÍNOSU (PRO TEORII A PRAXI) .....</b>	<b>132</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>134</b>
<b>SEZNAM LITERATURY: .....</b>		<b>136</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK:.....</b>		<b>138</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ: .....</b>		<b>140</b>
<b>SEZNAM TABULEK:.....</b>		<b>141</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ: .....</b>		<b>143</b>

## **Úvod**

Téma této disertační práce bylo velmi dlouho zvažováno a několikrát také upravováno ve snaze dosáhnout co možná nejvyššího přínosu jak pro zpracovatele tak také pro společnost, která zpracování této práce podporuje materiálně a z části také finančně. Touto společností je Vápenka Vitošov s.r.o., jeden z předních českých výrobců vysoce kvalitních vápenných a vápencových výrobků.

Problémem, který se v nedávné době týkal nejen Vápenky Vitošov s.r.o., ale téměř celé společnosti, bylo ne zcela opodstatněné navyšování cen energií. Ať už se jednalo o zemní plyn, elektřinu nebo uhlí, většinou byly nárůsty v řádech desítek procent ročně. Mezi hlavní příčiny této situace patřila masivní poptávka po těchto energiích a zároveň velmi nízká nabídka alternativních řešení. Další oblastí, kde by mohla tato práce pomoci je dnes velice aktuální oblast ekologie a ochrany klimatu. Realizace Kyotského protokolu, přidělené limity (povolenky) emisí CO<sub>2</sub> a také následné obchodování s nimi, jsou další motivy, které volbu tohoto tématu podpořily. Tato skutečnost může totiž znamenat pro mnohé obory poměrně zásadní komplikaci, ale zároveň dává šanci jiným, ekologicky mnohem více šetrnějším projektům a technologiím, které se zatím z důvodu jejich nekonkurenceschopnosti zejména v ekonomickém úhlu pohledu nemohly více rozvíjet, popřípadě vůbec se začít realizovat.

Možnou alternativou k dnes běžně používaným zdrojům energie jako je černé, popř. hnědé uhlí, ropa, plyn atd. mohou být černouhelné kaly, které se nachází v oblastech těžby a zpracování černého uhlí jako je ostravsko-karvinský region, popřípadě sousední Polsko. Byla by velká škoda nechat tak velké množství potenciálního zdroje energie bez snahy najít možnost jak tuto energii ještě efektivně využít. Základním problémem těchto kalů je jejich vysoká vlhkost, která prakticky znemožňuje manipulaci s nimi. Základním úkolem této práce by tedy mělo být nalezení a taktéž vyhodnocení způsobu ekonomicky zajímavého a ekologicky šetrného způsobu vysušení a následného zpracování tohoto materiálu.

Základní myšlenkou této práce je pokusit se snížit vlhkost těchto uhelných kalů pomocí páleného vápna. Po smíchání s uhelnými kaly by mělo pálené vápno reagovat s vlhkostí obsaženou v těchto kalech, kterou by částečně chemicky vázalo a částečně by docházelo k jejímu úniku v podobě páry. Tato chemická reakce by však neměla probíhat bez jakéhokoliv řízení, ale měla by probíhat na technologii, která by její průběh kontrolovala a maximálně zefektivnila. Touto technologií by mohla být technologie FuelCal<sup>®</sup>, která bude v následující kapitole detailněji popsána.

Výstupem z této reakce by mělo být nové alternativní palivo, jež by mohlo nalézt uplatnění především v oblastech energetiky, výroby cementu a v aglomeračním procesu vysokých pecí.

Vysoká složitost problematiky původně navržených oblastí možného použití alternativního paliva vedla k rozhodnutí vybrat z výše uvedených oblastí možného použití pouze jednu, popřípadě dvě oblasti, tak, aby byl dostatečný prostor věnovat se vybrané problematice detailně. Jako oblast nejkomplexnějšího možného uplatnění alternativního paliva se jeví výroba elektrické energie a za určitých specifických podmínek taktéž výroba cementu.

Jak již bylo uvedeno, tyto uhelné kaly jsou díky své vysoké vlhkosti jen velmi obtížně a pro životní prostředí zatěžujícím způsobem zpracovatelné, proto vidím v této práci kromě ekonomického taktéž ekologický přínos.

## **1. Cíl práce**

Cílem této disertační práce je ověřit možnost zlepšování zpracovatelnost černouhelných kalů s vysokým obsahem vlhkosti pomocí dávkování páleného vápna a možné využití technologie Fuelcal<sup>®</sup>. Druhým cílem bude vytvoření technicko – ekonomický model efektivnosti výroby alternativního paliva vyrobeného z černouhelného kalu a jeho následné využití při výrobě elektrické energie popřípadě cementu. Tento model by měl sloužit:

- pro hodnocení investičních záměrů
- pro optimalizaci umístění výrobní jednotky (Fuelcal<sup>®</sup>)
- pro průběžné hodnocení realizovaných projektů
- pro optimalizaci složení paliva v jednotlivých procesech

Dále by tato práce měla prakticky ověřit možnost přípravy alternativního paliva v různém složení, ověřit zpracovatelnost a provést základní analýzy týkající se zejména odsiřovacích schopností alternativního paliva.

Výsledky této práce, respektive výsledný model by měl přispět k jednoduššímu rozhodování při výběru vhodného paliva, respektive složení výsledného paliva pro daný obor, úspoře neobnovitelných energetických zdrojů, ale také k ekologicky šetrnější likvidaci lagun černouhelného popř. hnědouhelného kalu a ve finále také zvýšení prodeje vysoce kvalitního oxidu vápenatého, jehož podíl v rámci prodeje ostatních druhů oxidu vápenatého stále klesá.



## **2. Současná situace řešené problematiky**

V úvodu již bylo uvedeno, že tato disertační práce by měla být založena na spojení tří, doposud vzájemně nespojených stavebních prvků, kterými jsou černouhelné kaly, reakční činidlo a možné využití technologie FuelCal®. V této části disertační práce budou jednotlivé prvky stručně popsány a následně zdůrazněny ty jejich vlastnosti, které jsou klíčové pro jejich další užití jako složky alternativního paliva.

### **2.1. Uhelné kaly**

Uhelné kaly, jak již bylo uvedeno, vznikaly a částečně stále vznikají při úpravě černého uhlí. Je to směs velice jemných částic uhlí rozptýlených ve vodě. V současné době se již uhelné kaly v oblasti ostravsko – karvinských dolů téměř neprodukuje, vzhledem ke kvalitativnímu posunu v procesu úpravy černého uhlí. Nicméně odhad množství uhelných kalů deponovaných v okolí jednotlivých dolů na území Slezska se odhaduje cca. na 20 mil. tun, což je z hlediska zátěže životního prostředí poměrně alarmující množství. Na druhou stranu je však třeba si uvědomit, že zásoby neobnovitelných zdrojů energie se celosvětově snižují a v budoucnu bude nutné znovu přehodnotit, co je definitivně nepoužitelný odpad a z čeho se dá za určitých podmínek dále získávat produkt, ze kterého lze například způsobem, který popisuje tato disertační práce, vyrobit hodnotný výrobek.

Kvalita černouhelných kalů ze zmíněného regionu je popsána v níže uvedené tabulce a pro lepší představu o vzhledu typické černouhelné laguny a kalu samotného jsou zde uvedeny fotografie pořízené při odběru vzorků pro rozbor kvalitativních parametrů.

Tabulka č. 1: Vybrané vlastnosti černouhelných kalů

w	A	Qi	Qs	S <sup>d</sup>	S <sup>pop</sup>	stanovení prchl. Hořlaviny
voda	popel	výhřevnost	spalné teplo			
[%]	[%]	[MJ/kg]	[MJ/kg]	[%]	[%]	[%]
22,74	41,40	13,66	17,37	0,53	0,81	30,81

Obrázek č. 1: Foto laguny černouhelných kalů



Obrázek č. 2: Detail laguny černouhelných kalů



*Obrázek č. 3: Vytěžené černouhelné kaly*

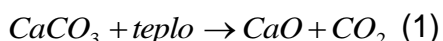


## 2.2. Reakční činidlo

Jako reakční činidlo, které v reaktoru reaguje s vlhkostí obsaženou v uhelných kalech, se použije oxid vápenatý. Oxid vápenatý (CaO), známý též pod názvy pálené vápno nebo také nehašené vápno je široce rozšířená, běžně používaná chemická sloučenina.

Oxid vápenatý je vyráběn tepelným rozkladem vysokoprocentních vápenců. Část vytěženého kameniva, vytríděného podle chemického složení a velikosti, se kalcinuje při teplotě okolo 1000°C v rozličných druzích pecí, které spalují paliva jako je např. zemní plyn uhlí, topný olej, lignit, atd.

Při samotném vzniku dolomitického a nebo kalcitického vápna se uvolňuje oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a uhličitan se přeměňuje na oxid vápenatý (CaO) podle této reakce:



Klíčovou vlastností, která přímo ovlivňuje celkovou spotřebu vápna v procesu sušení uhelných kalů, je jeho reaktivita. Při zvyšování reaktivnosti vápna dosahujeme v reaktoru vyšších teplot a tedy vyšší účinnosti při spotřebě stejného množství vápna. Pro efektivní chod technologie je tedy nutné zajistit vápno s co možná nejvyšší reaktivitou.

Reaktivita vápna je schopnost reagovat s jinými látkami, např. s vodou. V zásadě lze říci, že reaktivita vápna se zvyšuje se vzrůstajícím vnitřním povrchem, tedy čím jsou krystaly vápna menší a volný prostor mezi nimi větší, tím je vápno reaktivnější.

Reaktivita vápna závisí především na chemismu vápence (čím čistší vápenec, tím reaktivnější vápno je možno vyrobit, protože nedochází k přepalování), dále na teplotě a době výpalu. Vysoce reaktivní vápno vzniká delším pobytem vápence v peci při relativně nízké teplotě výpalu.

Technické podmínky pro výpal vápna s vysokou reaktivitou v dnešní době splňují především pecní systém typu Maerz<sup>®</sup> popřípadě rotační pece, ve kterých je však výpal mnohem energeticky náročnější.



Vápenka Vitošov s.r.o., která by měla být dodavatelem vysoce reaktivního vápna, v současnosti vyrábí na třech pecích typu Maerz o celkovém výkonu cca 1000t denně. Reaktivita vápna je zde mimo jiné určována druhem topného média, kdy pro vysoce reaktivní vápno je využíván zemní plyn a pro nižší reaktivitu např. recyklované oleje.

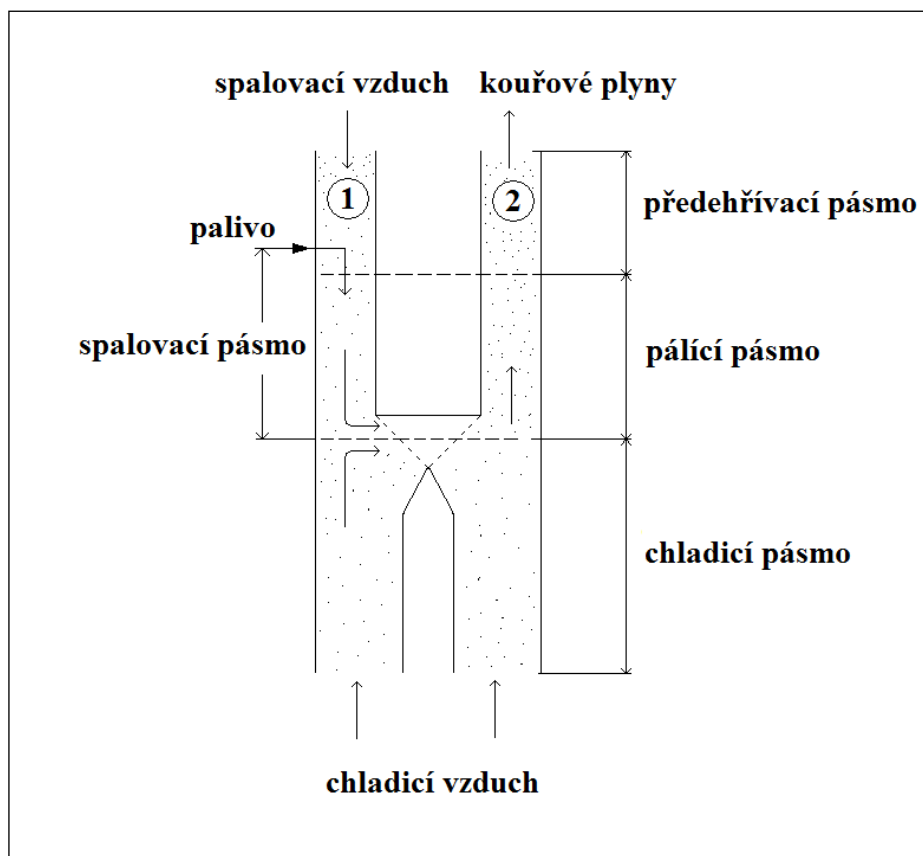
Jak již bylo uvedeno klíčová vlastnost vápna pro technologii Fuelcal<sup>®</sup> je jeho reaktivita, tato vlastnost je přímo ovlivněna vlastnostmi vsázky, tedy vysokoprocentního vápence, typem topného média a konstrukcí pecního systému. Vitošovský vápenec patří mezi nejkvalitnější vápence na území České a Slovenské republiky. Vzhledem k tomu, že tento druh vápna je možné pálit téměř výhradně plynem, jehož dodávky jsou v těchto objemech dnes monopolně zajišťovány společností RWE Transgas, je jeho cena naší společností jen velmi problematicky ovlivnitelná. Výhodou proto zůstává ekonomicky velmi výhodné řešení pecního systému typu Maerz. Obrázek č. 4 schematicky ukazuje základní konstrukci pece a znázorňuje dvě fáze proudění. Poz. A a B jsou dvě šachty obsahující vsázku vápence, který se má pálit. Tyto dvě šachty jsou vzájemně propojeny ve spodní části pálícího pásma. Reverzační zařízení a zařízení na vyprazdňování vápna z pece jsou z tohoto schématu vypuštěny.

Obě šachty jsou střídavě zaváženy vápencem a vápno je odebíráno plynule ze dna obou šachet (bez přerušení). Palivo se přivádí pouze do jedné z šachet, a to ve fázi znázorněné na pravé straně obrázku do šachty 2. Palivo je přiváděno, rovnoměrně rozdělováno po celém příčném řezu šachty, a to do spodní části předehřívacího pásma. Spalovací vzduch je vháněn pod tlakem do hrdla nad náloží a je protlačován přes materiál. Vzduch je předehříván v regenerátoru (předehřívacím pásmu) dříve, než se smísí s palivem. Plamen prochází pálícím pásmem od shora dolů (paralelní proudové vytápění). Kouřové plyny opouštějí vytápěnou šachtu (primární šachtu) přes vrstvu materiálu a vstupují do sekundární šachty, postupující směrem vzhůru v opačném směru k zavážení pece a vyhřívají tak její regenerátor (předehřívací pásmo). Dodávka paliva a spalovacího vzduchu je přenášena z jedné šachty do druhé v dvanáctiminutových intervalech (při nominálním výkonu). Chladicí vzduch je vháněn pod tlakem nepřetržitě do spodní části obou šachet.

Regenerativní systém a paralelní proudové vytápění vyžadují pec s alespoň dvěma šachtami. Při malé velikosti zrna a pro vysoký výkon se používají tříšachtové pece kvůli odporu proudění plynu, vytvářenému sloupcem navážky. V periodickém střídání je v určitou dobu vytápěna pouze jedna šachta, zatím co ostatní šachta(y) pracují jako kouřový kanál.

Vytápění paralelním prouděním je nejlepším předpokladem pro výrobu měkce páleného vápna s vysokou reaktivitou. Vyhovuje ideálně optimu vytápěcích podmínek. Je zde totiž maximální rozdíl mezi plyny k pálení a vápencem na začátku pálící zóny a to co do teploty. Na začátku pálícího pásma je totiž vápenec schopný přijmout účinně neohraňené množství tepla. A existuje minimální teplotní rozdíl ke konci pálícího pásma, kde vypálené vápno nepožaduje více tepla, aby se tak chránilo před přepálením. V případě protiproudého vytápění je vápno ve spodní části pálícího pásma přepálené následkem velkého rozdílu mezi přípustnou teplotou vsázky a skutečnou teplotou horkých plynů. Jiná charakteristika pecí s paralelním prouděním je rovněž ta, že není potřeba žádné recirkulace spalovacích plynů nebo přehřívání spalovacího vzduchu v rekuperátorech.

Obrázek č. 4: Schematický náčrt pecního systému typu Maerz



Obrázek č. 5 – Vápenka Vitošov s.r.o. - pece typu Maerz®





### **2.3. Technologie FuelCal®**

Jak již bylo v úvodu zmíněno, tak ke snižování vlhkosti černouhelných kalů by mohlo být využito průlomové technologie registrované pod obchodním názvem FuelCal®. Tato, v Polsku registrovaná technologie, byla navržena jako alternativa kafilerního způsobu likvidace odpadů živočišného původu. Předností této technologie je kumulace energie vznikající během zpracování odpadu a tím vyloučení nutnosti externího zdroje energie. Technologie FuelCal® je založena na speciální konstrukci reaktoru, který využívá energii uvolňovanou hydratací oxidu vápenatého, která běžně při procesu hydratace zůstává nevyužita. Hydratace je v tomto případě vyvolána reakcí dávkovaného oxidu vápenatého s vlhkostí, kterou obsahuje živočišný odpad, v případě této disertační práce uhelné kaly.

Tyto odpady jsou touto technologií upravovány tak, aby mimo jiné splňovaly podmínky nařízení EU č. 1774/2002 o likvidaci odpadů živočišného původu, takže je možno takto zpracovaný odpad použít například jako organicko - minerální hnojivo. Jednou z podmínek výše uvedeného nařízení je například sterilizace odpadů teplotou na úrovni cca 160°C. Teplota dosažená hydratační reakcí v reaktoru je několikanásobně vyšší než teplota, kterou dosáhneme běžnou hydratací oxidu vápenatého.

Vstupní odpad dopravovaný do vyrovnávacího zásobníku musí být rozmělněn na částice o velikosti do 12mm. Odpadové materiály obsahující více jak 20% vody jsou rychle smíchány (od 2 do 20 minut) s reakční složkou (vysoce reaktivní mleté pálené vápno o  $t_{60} = 0,5-2$  minuty), která má schopnost vázat velké množství vody za vývinu hydratačního tepla. Váhový poměr reakční složky k odpadnímu materiálu činí 5 až 30 % (v závislosti na vlhkosti odpadu).

Důkladně promíchané složky jsou protlačovány přes štěrby dané velikosti do reaktoru, kde je směs za stálého míchání vystavena vysokým teplotám. Vlivem uvolňování velkého množství páry během reakčního procesu, které uniká z odpadního materiálu, dojde k rozpadu případných shluků či žmolků. Během exotermní reakce páleného vápna a vlhkostí odpadního materiálu dochází k neustálému mechanickému zdrobňování. V průběhu míchání uniká převážné

množství vlhkosti ve formě páry, která je neustále odsávána odtahovým systémem spolu s plyny a výpary. Zbývá část vlhkosti je spotřebována na reakci páleného vápna na vápenný hydrát, který vytváří suchý, porézni a tepelně izolační produkt. Hydratační teplo zvýší teplotu produktu přibližně na 70-160°C. Optimální teplotní hladina v reaktoru je regulována změnou dávkování reakční složky. Dochází ke změně dávkování o  $\pm (10 - 15)\%$  v závislosti na změně teploty změřenou teplotními čidly  $\pm (5 - 10)^\circ\text{C}$ .

Předepsané optimální teplotní hladiny:

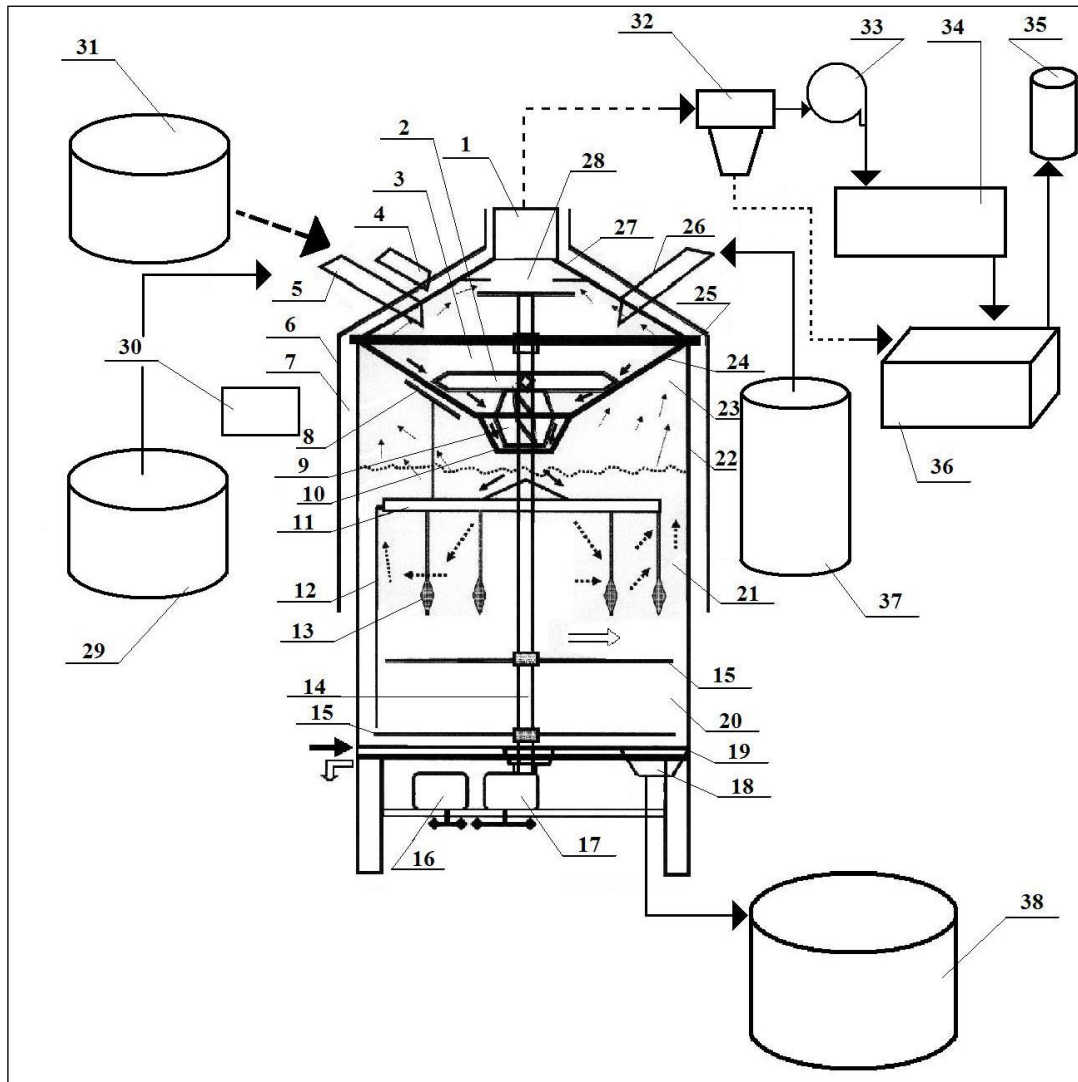
- 140°C - zvířecí odpad kategorie I, doporučená 150°C
- 110°C - zvířecí odpad kategorie II, doporučená 120°C
- 60 až 80°C - zvířecí odpad kategorie III, doporučená 75°C
- 50 až 70°C - zahuštěné kaly z čistíren odpadních vod, doporučená 65°C
- 120 až 160°C - termoplastický odpad 0-2 mm, doporučená 140°C

Změnou množství reakční složky, intenzity míchání reagující směsi a chlazení reakční komory, lze dosáhnout požadované teploty v reagující směsi bez použití vnějšího zdroje tepla. Produkty reakce v podobě granulátu o teplotě 150°C se přepraví šnekovým dopravníkem do jedné ze tří dozrávacích komor, kde během 25 minut dojde k řádné tepelné a chemické sterilizaci. Po ukončení reakčního procesu je komora vyprázdněna do skladovacího zásobníku pomocí vynášecího systému spojeného s chladicím systémem, kde dojde k ochlazení granulátu na teplotu okolního vzduchu. Chod linky je řízen počítačem, do kterého jsou zaznamenávány veškeré vstupní a výstupní hodnoty a je kontrolováno dodržování předepsaných požadavků pro daný druh zpracovávaného odpadu.

Vyrobený produkt lze využít jako:

- Organické vápenato-hořečnaté hnojivo (např. z drůbežního odpadu).
- Organické vápenaté hnojivo nebo jako asanační materiál pro obecní skládky (např. ze zahuštěných kalů z čistíren odpadních vod)
- Po drcení a prosévání jako alternativní palivo v cementárnách (např. ze zvířecích odpadů kategorie I)

Obrázek č. 6: Schematické zobrazení technologie FUELCAL



Legenda:

- |                                    |                               |                                 |   |
|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---|
| 1. odtah                           | 11. míchadlo                  | 24. ventilační štěrby           | 33. odtahový ventilátor                             |
| 2. unašeče                         | 12. svislé klapky             | 25. kryt                        | 34. kondenzor (chladič)                             |
| 3. mísicí pánev                    | 13. míchací ramena            | 26. žlab vápna                  | 35. filtr vzduchu                                   |
| 4. skluzný žlab korekčního činidla | 14. hnací hřídel              | 27. sada teplotních čidel       | 36. absorbér  |
| 5. žlab odpadního materiálu        | 15. řezací nože               | 28. kónický dýmník              | 37. zásobník reakčního činidla (mleté pálené vápno) |
| 6. ochranný kovový plášť           | 16. elektromotor              | 29. zásobník korekčního činidla | 38. zásobník na výrobek                             |
| 7. izolační vrstva                 | 17. ozubené soukolí           | 30. dávkovač složek             |   |
| 8. skloněné škrabací lopatky       | 18. vynášecí zařízení výrobku | 31. vyrovnávací zásobník odpadu |   |
| 9. míchací a tlačící prvky         | 19. stavidlový uzávěr         |                                 |   |
| 10. cedník                         | 20. sada teplotních čidel     |                                 |   |
|                                    | 21. sada teplotních čidel     |                                 |   |
|                                    | 22. stěna reaktoru            |                                 |   |
|                                    | 23. reakční komora            |                                 |   |
|                                    |                               | 32. cyklón výparů               |   |

Jak již bylo uvedeno, tato technologie získala v Polsku veškerá nutná povolení k tomu, aby mohla být běžně požívána k likvidaci živočišných odpadů, například na jatkách nebo v různých velkochovech hospodářských zvířat. Výsledný produkt této technologie získal potřebná povolení k tomu, aby mohl být dále prodáván jako plnohodnotné hnojivo. Bohužel v České Republice tato technologie narazila na celou řadu zejména legislativních problémů především ze strany Státní veterinární správy České Republiky. Jako jediné možné zařízení pro likvidaci těchto druhů odpadů je kafilerní zařízení, což se může zdát jako prohlášení nad rámec pravomocí této instituce. I přes tento neúspěch, bylo nadále snahou nalézt pro tuto technologii uplatnění mimo obory, pro které byla původně určena. Zjednodušeně se dá na celou technologii nahlížet jako na jakousi energeticky nenáročnou sušičku různých, pro svoji vlhkost, těžko zpracovatelných materiálů, kdy díky patentované konstrukci dochází k úspoře cca dvaceti procent reakčního činidla ve srovnání s jinými technologiemi. Jedním z možných materiálů jsou právě uhelné kaly, jejichž možné zpracování je tématem této disertační práce.

### 3. Výchozí teoretické podklady

Tato část popisuje samotný výrobek, tedy alternativní palivo a proces jeho přípravy. Popisuje jednotlivé komponenty paliva a jejich možný vliv na jeho další vlastnosti, které se u paliv sledují. Nejdříve je nutné stanovit teoretická východiska spojená s procesem spalování černého popř. hnědého uhlí, definovat hlavní vlastnosti, které jsou obecně u paliv sledovány a vyhodnocovány a které jsou také základem pro stanovení prodejní ceny paliva. Tyto vlastnosti budou následně porovnány s vlastnostmi, které byly zjištěny u navrhovaných složení alternativního paliva. Dalším úkolem bylo navržení takového poměru běžného paliva, tedy hnědého a černého uhlí a navrženého alternativního paliva tak, aby bylo možné dosáhnout co nejvyšší odsiřovací účinnosti a zároveň výrazně nesnížit výhřevnost této směsi a nezvyšovat příliš obsah popelovin.

#### 3.1. Chemické složení uhlí

Z chemického hlediska lze uhelnou hmotu rozdělit na 3 základní komponenty:

- hořlavinu
- popeloviny (nehořlavé složky pevné)
- vodu

##### 3.1.1. Hořlavina

Hořlavina je definována jako spalitelná část uhlí, která se získá odečtením obsahu vody a popelovin od celkové hmoty uhlí. Je to ta část uhlí, která je činí použitelným jako palivo i jako surovinu pro další zpracování – je to užitková složka uhlí. Základní charakteristikou hořlaviny je její elementární složení.

Je to směs vysokomolekulárních chemických sloučenin uhlíku (C), vodíku (H), kyslíku (O), dusíku (N) a spalitelné síry (S). Nejvíce je zastoupen uhlík, méně kyslík a ještě méně vodík, síra a dusík. Toto zastoupení závisí na geologickém stáří uhlí a na stupni prouhelnění. Se stupněm prouhelnění stoupá obsah uhlíku,

ubývá kyslíku a zpravidla i vodíku. Podíl jednotlivých prvků v uhelné hmotě je závislý na složení látek, z nichž uhlí vzniklo, tj. hlavně na složení rostlinných pletiv. Podle reakce při zahřívání lze hořlavinu rozdělit na hořlavinu prchavou a neprchavou.

Prchavá hořlavina je ta část hořlaviny, která při zahřívání za nepřístupu vzduchu (koksování) při cca 850° unikne (vytěká) v plynné formě.

Neprchavá hořlavina je pak neprchavý podíl neboli zbytek po koksování. Při praktickém zpracování je podíl prchavé hořlaviny zvětšen o množství vody obsažené v uhlí a podíl neprchavé hořlaviny je zvětšen o množství popelovin přeměněných při koksování na popel (nespalitelný zbytek). Obsah prchavé hořlaviny v hořlavině uhlí je nejtypičtějším znakem pro stupeň prouhelnění uhelné hmoty a klesá s rostoucím stupněm prouhelnění. Této skutečnosti se s výhodou využívá při klasifikaci uhlí.

Významným problémem výzkumu uhelné hmoty je její chemická struktura. Ta je závislá na struktuře materiálu, ze kterého uhelná hmota vznikla. Největší podíl v materiálu, podílejícím se na tvorbě uhelné hmoty mají uhlohydráty (celulóza, škrob, cukry), lignin, bílkoviny, pryskyřice, tuky a vosky. Při rozkladných procesech původních látek se produkty rozkladu slučovaly a výsledkem byly další látky s větší molekulovou hmotností. Protože lignin je dosti odolný proti rozkladu a rostliny ho obsahují značné množství, byla na základě přeměny ligninu vypracována tzv. „ligninová teorie“ vzniku uhlí. [13]

### **3.1.2. Popeloviny**

Popeloviny jsou minerální složky obsažené v uhelné hmotě, popel je netěkavý podíl, který zůstane z uhelné hmoty po jejím dokonalém spálení (pevný zbytek).

Některé popeloviny při spalování uhelné hmoty přecházejí do spalin, a proto se nazývají těkavé. Popeloviny v uhlí dělíme na vlastní (inherentní) a přimíšené. Vlastní popeloviny jsou v uhelné hmotě jemně rozptýleny a částečně vázány i na hořlavinu uhlí. Tyto popeloviny nelze od uhelné hmoty (hořlaviny) oddělit procesy úpravy (drcení, rozdrůžování). Jsou to anorganické součásti, které byly obsaženy

v rostlinstvu, z něhož uhlí vzniklo nebo se k němu dostaly při jeho hromadění, čímž vzniklo znečištění uhelné hmoty těmito nerostnými součástkami. Jejich množství je malé, v černém uhlí jen okolo 1 %. Při mokré úpravě může být odstraněna pouze rozpuštěním (např. chloridy). Vlastní popeloviny nejsou v uhelné hmotě viditelné okem ani obyčejnými mikroskopy.

Přimíšené popeloviny (cizí, vnější) jsou vlastně anorganické horniny z nadloží a podloží uhelných vrstev (slojí). V blízkosti uhelných slojí se někdy vyskytují proplástky, které obsahují velký podíl přimíšených popelovin. K uhelné hmotě se dostávají hlavně při jejím dobývání. Jsou zpravidla v těžené surovině viditelné pouhým okem. Jejich množství v těžené hmotě je různé a závisí na řadě faktorů, jako jsou např. přírodní (geologické) podmínky, čistota uhelné hmoty, uložení sloje, dobývací metody aj. Pro další použití uhelné hmoty nesmí jejich obsah překročit určitou mez. Odstranit je z těžené suroviny je úkolem úpravy uhlí, při níž se tyto vnější popeloviny odstraňují ve formě hlušiny nebo prorostliny (kousky uhelné hmoty prorostlé popelovinami). Popeloviny jsou tvořeny nejčastěji křemičitany, uhličitany, sulfidy, sulfáty a chloridy a při spálení přecházejí často na jinou formu. Popel je tvořen nejčastěji oxidem křemičitým, oxidy hliníku, vápníku, hořčíku, železa, titanu, alkalickými oxidy (sodíku, dusíku apod.), sulfátem vápníku aj.

### **3.1.3. Obsah vody v uhlí**

Obsah vody v uhelné hmotě souvisí se stupněm prouhelnění. Čím je uhlí starší, více prouhelněné, tím má nižší obsah vody. Voda je v uhelné hmotě obsažena v různých formách, které jsou podstatné pro určení povahy uhlí a jeho klasifikaci. Tuto vodu nazýváme vodou původní (inherentní). Obsah původní vody se snižuje s rostoucím stupněm prouhelnění. U čerstvě těžené rašeliny může být obsah vody až 90 %, u lignitů až 65 %, u hnědé uhlí 15 – 60 %, u černého uhlí zpravidla 2 – 4 %, výjimečně až 10 % a u antracitu okolo 1 %. Malá část vody je vázána na popeloviny jako tzv. hydrátová voda a část vody je chemicky vázána na organickou hmotu paliva jako tzv. konstituční voda. Tyto druhy vody se zahříváním neodstraní a při běžné analýze se nestanovují. Z hlediska vazby vody lze tuto rozdělit na vodu kapilární, povrchovou a přimíšenou.

Kapilární voda je obsažena uvnitř uhelné hmoty (v kapilárách). Dělí se na vodu hrubou, hygroskopickou a okludovanou. Část této vody (hrubou) lze z uhlí odstranit volným vysýcháním na vzduchu (až do určitého obsahu v závislosti na teplotě a relativní vlhkosti okolní atmosféry). Zbytek kapilární vody se uvolňuje z uhelné hmoty za teploty 105 ° C (voda hygroskopická). Vodu lze z uhelné hmoty uvolnit až při teplotách rozkladu paliva spolu s vodou hydrátovou a konstituční. [13]

### **3.2. Stanovení technologických vlastností uhlí**

Na základě rozdílů svého chemického složení vykazuje uhelná hmota různé vlastnosti po tepelném zpracování. Tyto vlastnosti určují možnosti využití každého paliva (spalování, koksování, chemické zpracování aj.) a jejich technologickou nebo obchodní klasifikaci. Mezi ukazatele hodnotící tyto vlastnosti patří na příklad spalné teplo, výhřevnost, index puchnutí, Rogovo číslo, koksovatelnost (dilatační a kontrakční schopnost), bod tání popela aj. [13]

#### **3.2.1 Spalné teplo a výhřevnost**

Spalné teplo je teplo uvolněné spálením 1 kg nebo 1 g paliva na CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> a kapalnou vodu. Označuje se symbolem Q<sub>s</sub>. Výhřevnost je teplo uvolněné za stejných podmínek pouze s tím rozdílem, že místo kapalné vody se uvolňuje vodní pára. Výhřevnost se označuje symbolem Q<sub>i</sub>. Jednotkou spalného tepla i výhřevnosti je MJ/kg. Z definice obou ukazatelů je zřejmé, že spalné teplo je větší než výhřevnost a to o hodnotu výparného tepla vody. Spalné teplo tuhých paliv se stanoví v kalorimetru na tuhá paliva. Princip stanovení je spálení navážky paliva v kalorimetrické bombě pod tlakem kyslíku. Teplo uvolněné spálením vzorku se předá vodě, která je v kalorimetrické nádobě a v níž je kalorimetrická bomba ponořena. Ze stoupanutí teploty v kalorimetrické nádobě a z vodní hodnoty kalorimetru se vypočte spalné teplo měřeného paliva. Teplota v nádobě se měří rtuťovým teploměrem, který je dělen po 0,01° C. Spalné teplo paliva se pak vypočte ze vzorce (2):



$$Q_s^a = \frac{K(D_t - k) - \sum c}{a} \quad (2)$$

kde

$Q_s^a$  .....spalné teplo analytického vzorku paliva, (MJ/kg)

K.....vodní hodnota kalorimetru, (MJ/°C)

$D_t$ .....naměřený vzestup teploty, (°C)

k.....oprava za výměnu tepla s okolím, (°C)

$\sum c$ ...součet tepel, která způsobují zvýšení teploty kalorimetru, mimo teplo uvolněné spálením měřeného paliva, (MJ)

a.....navážka analytického vzorku paliva, (g)

Výhřevnost pak lze vypočítat pomocí stanovené hodnoty spalného tepla ze vzorce (3)

$$Q_i^a = Q_s^a - \frac{586}{100} \cdot (W^a + 8,94 \cdot H^a) \quad (3)$$

kde

$Q_i^a$  .....výhřevnost analytického vzorku paliva, (MJ/kg)

$Q_s^a$  ..... spalné teplo analytického vzorku paliva, (MJ/kg)

W..... obsah vody ve zkoušeném palivu, (%)

$H^a$ ..... obsah vodíku v analytickém vzorku paliva, (%)

586.....výparné teplo vody 20°C teplé, (MJ/kg)

8,94.....koeficient přepočtu vodíku na vodu

Postup stanovení obou ukazatelů je uveden v ČSN 44 1352 „Stanovení spalného tepla a výhřevnosti“.

### 3.2.2. Bod tání popela

Pro chování tuhého paliva v topeništích je důležitý bod tání popela. Z technologických důvodů je nutno znát nejnižší možnou teplotu tání měřeného popela, okamžik, kdy popel se může roztavit a zalít rošt. Hodnota bodu tání popela závisí na složení popela a atmosféře, v níž se nachází. Oxidy křemíku a hliníku zvyšují bod tání, oxidy železa, titanu, vápníku, hořčíku, sodíku, draslíku snižují bod tání. Nejvyšší bod tání je v prostředí silně oxidačním, vysoký v prostředí silně redukčním a nejnižší v prostředí smíšeném (vznik sloučenin dvojmocného železa). Protože popely jsou směsí různých látek, není bod tání ostrý, ale tání popela probíhá v širokém teplotním intervalu (až přes 200°C). Při měření se zaznamenávají čtyři teploty a to:

- počátek deformace DT, dochází k prvotním změnám vzorku
- počátek měknutí ST, vzorek začíná měknout
- bod tání popela HT, všechny složky popela se taví
- počátek tečení popela FT, protavené složky popela přejdou do tekutého stavu

Podle úrovně teploty HT se popely dělí na několik skupin:

HT = 1000 - 1200°C	lehce tavitelné
HT = 1200 - 1450°C	středně tavitelné
HT = větší než 1450°C	těžce tavitelné

Stanovení bodu tání se provádí několika způsoby. Běžná je metoda zahřívání vzorků popela ve formě trojbokého jehlanu v žíhací trubici se smíšenou atmosférou. Zaznamenávají se změny tvaru jehlanu a deformace odpovídající hledaným teplotám DT – FT.

Doporučený postup stanovení bodu tání popela je uveden v ČSN 44 1359 „Stanovení bodu tání popelů tuhých paliv“. [13]

### **3.3. 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. V některých spalovacích systémech může být teplotní gradient vyšší než  $106\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$  v závislosti na velikosti částice. Tak např. u  $60\text{ }\mu\text{m}$  částice může být dosažena teplota částice  $1600^{\circ}\text{C}$  za  $0,05 - 0,1\text{ s}$ .

Uhlí uvolňuje prchavé látky v přibližně stejném čase a množství a složení 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),

- vytváření sloučenin dusíku, síry a dalších prvků, jakož i příslušný reakční mechanismus. [13]

### 3.3.1. Zařízení pro spalování uhlí

Spalovací zařízení se dělí podle konstrukce ohniště na:

- roštové,
- práškové,
- fluidní.

V oblasti malých zdrojů, tzn. spotřebiče s výkonem do 200 KW, existují pouze spotřebiče s roštovým ohništěm. V oblasti středních zdrojů existují většinou spotřebiče s práškovým resp. roštovým uspořádáním ohniště. Spotřebiče s fluidním ohništěm jsou téměř vždy v kategorii velkých zdrojů.

#### **Roštová ohniště**

Tyto spotřebiče slouží ke spalování kusových tuhých paliv ve vrstvě na roštu. Spalovací rošt v ohništi vytváří a udržuje vrstvu paliva požadované tloušťky, zajišťuje přívod vzduchu do spalovací komory a zachycuje tuhé zbytky po spalování. Výkon roštových ohnišť je omezen konstrukčními podmínkami a v současné době jsou používána hlavně v oblasti malých zdrojů.

#### **Prášková ohniště**

Tento typ ohniště je používán ve většině našich elektráren. Spaluje se v nich uhelný prášek, který je injektován hořáky do spalovacího prostoru. Uhelny prášek má ve srovnání s tříděným uhlím, které se používá pro roštová ohniště 100 až 1000krát větší měrný povrch a proto jeho spalování probíhá rychleji. Nevýhodou práškových ohnišť je vznik většího množství jemnozrnných odpadních produktů po spalování.

Podle způsobu vypouštění strusky se tato ohniště dělí na výtavná a granulační. V granulačních ohništích se teplota v jádru plamene pohybuje v rozmezí 1100 až 1500°C podle druhu paliva tak, aby nedocházelo k tvorbě tekuté strusky a

zastruskování ohniště. Při vychlazení ohniště vzniká tuhá škvára, která padá ke dnu ohniště, odkud se mechanicky nebo hydraulicky odvádí. Ve škváře granulačního ohniště se zachytí 15-25 % popelovin, které jsou obsaženy v uhlí. Zbytek tvoří jemná zrna popílku, která jsou stržena spaliny a odcházejí z ohniště do dodatkových ploch a přes odlučovače do komína.

Podmínkou výtavného procesu je udržení vyšší teploty v ohništi, než je teplota tečení popelovin, aby se zbytky po spálení paliva shromažďovaly na dně výtavného ohniště ve formě tekuté strusky. Z této podmínky vyplývá požadavek na vyšší teploty, než jsou v ohništích granulačních. Vysokých spalovacích teplot se dosahuje volbou vhodného paliva (vyšší výhřevnost, nižší obsah popelovin), vyšší teplotou spalovacího vzduchu, zvětšením jemnosti mletí, vysušením uhelného prášku, dokonalým směřováním paliva a vzduchu a dále snížením stupně vychlazení plamene stěnami ohniště v tavicím prostoru.

### **Fluidní ohniště**

Tato ohniště spalují drcené palivo vytvořené vzestupným proudem spalovacího vzduchu a vznikajících spalin tak, že zrna paliva se vyhoříváním postupně zmenšují. Vznikající popílek je vynášen do určité výšky, kdy vlivem rozšiřujícího se průřezu ohniště poklesne rychlost nosného média na hodnotu rychlosti vznosu. Přiváděné palivo se spolu se zrny popílku rozvrství podle hmotnosti zrn do různých výšek. Částice neustále víří kolem své rovnovážné polohy. Tuhé zbytky po spálení, které zůstávají určitou dobu v ohništi ve formě sypkého popílku, se nesmí spékat, tj. musí mít maximální teplotu nižší než je teplota měknutí popelovin. Nízké teploty ve fluidním loži se dosahují tak, že se používá palivo s nízkou výhřevností, přiváděný vzduch je ohříván na nízkou teplotu.

V ohništi s cirkulující fluidní vrstvou je uhlí spalováno ve vrstvě obsahující popel a vápenec. Odloučení únosu je prováděno v cyklónovém odlučovači, odkud jsou částice vraceny zpět do fluidní vrstvy. Dávkování vápence snižuje emise  $\text{SO}_2$  a relativně nízká teplota ( $900^\circ\text{C}$ ) fluidní vrstvy snižuje emise  $\text{NO}_x$ . Teplo vystupujících horkých spalin je využíváno v kotli na odpadní teplo, které je spolu s teplem z nutného chlazení fluidního ohniště použito k výrobě páry pro konvenční

parní cyklus. Opakovanou cirkulací částic je zajištěno vyhovující vyhoření. Účinnost tohoto systému je přibližně stejná jako u práškových ohnišť. [13]

I v ČR dochází k přesunu od spalování uhlí v práškových ohništích k dokonalejšímu spalování ve fluidní vrstvě. Při spalování ve vzosu se proces spalování lépe vyrovnává s měnící se kvalitou uhlí, při čemž relativně nízké teploty v ohništi snižují tvorbu oxidů dusíku. Při předávání vápence k uhlí probíhá odsiřování spalin přímo ve fluidní vrstvě. Spalování ve fluidní vrstvě prochází rychlým vývojem, s postupným zvyšováním účinnosti v časových etapách, a to:

- atmosférická fluidní vrstva,
- cirkulující fluidní vrstva,
- tlaková fluidní vrstva.

### **3.4. Popis oblastí možného použití alternativního paliva**

V této části práce jsou popsány vytipované oblasti možného použití nového alternativního paliva. Každá z kapitol, popisující možné oblasti použití alternativního paliva, je rozdělena na dvě hlavní části. V první části je popsána základní teorie dané oblasti, vysvětleny současné procesy a podmínky za jakých tyto procesy fungují. Dále je snahou nalézt možná problematická místa těchto procesů a také vzájemné vazby vznikající v jejich průběhu.

V druhé části budou potom vysvětleny možnosti nahradit současně používané palivo novým alternativním palivem. Budou zde popsány výhody, které by mohlo nové alternativní palivo přinést, ale také možné komplikace, které by mohla tato náhrada způsobit.

Jak již bylo v úvodu uvedeno, z původně navrhovaných tří možných oblastí využití byly nakonec ponechány pouze dvě. Jedná se především o oblast energetiky a částečně o oblast výroby cementu.

### 3.4.1. Oblast energetiky

Výroba elektrické energie v tepelných elektrárnách je první možnou oblastí, kde by v budoucnu mohlo najít uplatnění navrhované alternativní palivo. V tomto segmentu možného uplatnění alternativního paliva jsou mnohem snáze kvantifikovatelné přínosy obou benefitů než tomu je například v oblasti výroby cementu.

Hlavními prvotními zdroji pro výrobu elektrické energie a tepelné energie v České republice byly, jsou a budou uhlí a jaderné palivo. Pro využití vodní energie nemá Česká republika, která leží v oblasti pramenů a horního povodí velkých řek, zvláště příznivé podmínky.

Česká republika nemá větší zásoby ropy a zemního plynu a je nutno počítat s importem ropy, zemního plynu a perspektivně i jaderného paliva. Z ostatních primárních energetických zdrojů přichází v úvahu zejména využití sluneční energie, spalování biomasy, větrné elektrárny, využití geotermální energie a palivových článků. I při největším rozšíření lze však v nejbližší budoucnosti počítat s pokrytím nejvýše několika procent celkové spotřeby prvotních zdrojů v České republice. [5]

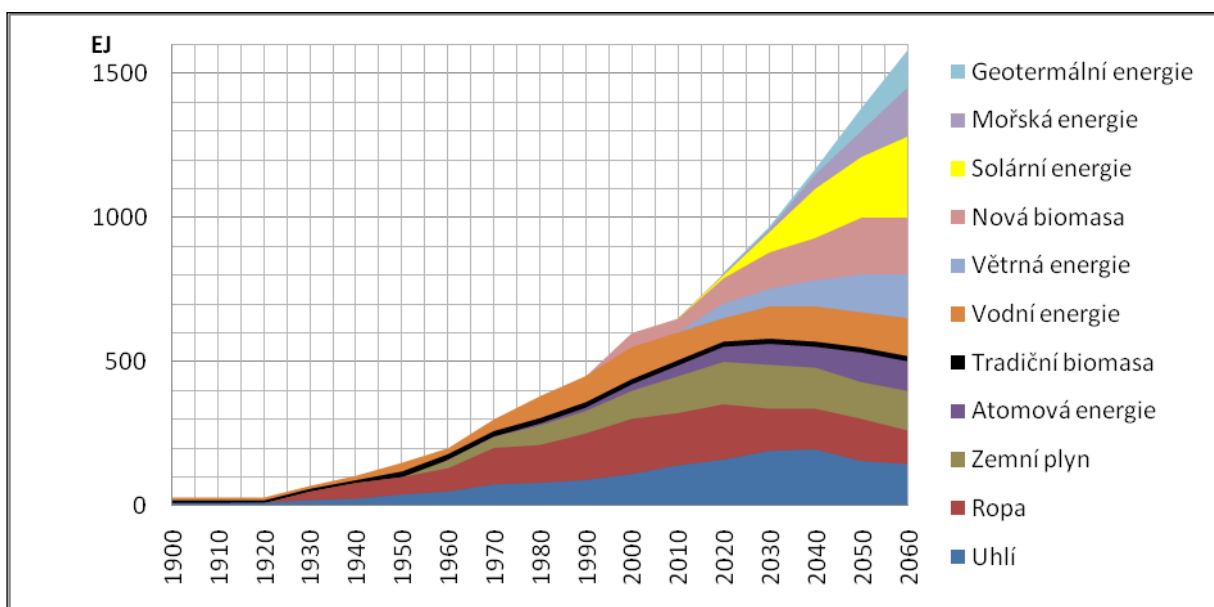
Energetické zdroje v budoucnosti budou v první řadě ovlivněny dostupnými primárními zdroji, přístupností k nim a dodržením potřebné diverzifikace zdrojů. Pro první polovinu 21. století zůstává v České republice uhlí majoritním zdrojem energie.

Vývoj energetiky byl vždy svázán s politicko-hospodářskou situací v českých zemích a s možnostmi získání primárních zdrojů a jejich potřebnou diverzifikací.

Vývoj a výroba energetických zařízení budou v budoucnu ovlivněny v první řadě dostupnými primárními zdroji, dodržením potřebné diverzifikace zdrojů a zřejmě povedou k výstavbě několika velkých moderních bloků s ověřenými technologiemi, s vysokou účinností a přijatelnými pořizovacími i provozními náklady. Podíl velkých elektrárenských bloků na výrobě elektřiny bude mírně klesat ve prospěch kogeneračních jednotek s menšími výkony. Dále je potřeba počítat s vyšším využitím obnovitelných zdrojů reálně aplikovatelných v ČR (využití

sluneční energie – zejména fotovoltaiky, vodní energie, tradiční a nové biomasy, energie větru, geotermální energie) a zvýšit podíl těchto zdrojů v celkové bilanci energie státu. Lze předpokládat, že ČR bude v této problematice dodržovat světový trend, který lze odvozovat z následujícího grafu, kde jsou uvedeny orientační hodnoty celosvětové potřeby a podíly jednotlivých druhů primární energie. [5]

Graf č. 1: Vývoj využívání elektrické energie z různých zdrojů [5]



### Tepelná elektrárna a proces výroby elektrické energie

Základní princip fungování uhelné elektrárny je založen na přeměně energie tepelné na mechanickou a mechanické na elektrickou. Teplo uvolněné v kotli ohřívá vodu procházející trubkami uvnitř kotle a mění ji v páru. Pára proudí do turbíny, jejím lopatkám předá svou pohybovou energii a roztočí ji. Vzhledem k tomu, že je turbína pevně spojena s generátorem, roztáčí se i ten a přeměňuje mechanickou energii na elektřinu. V elektrárenském generátoru rotuje magnet (elektromagnet), vinutí, v němž se indukuje napětí a proud, je umístěno na statoru okolo něj. Pára vycházející z turbíny je vedena do kondenzátoru, kde z kondenzuje, tj. z plynu se stane opět kapalina. Z kondenzátoru je voda vedena zpět do kotle, kde celý cyklus začíná znovu. Pára vyrobená v kotli nemusí být využita pouze k výrobě elektřiny, může sloužit i k vytápění přilehlých obcí a měst.



Fyzikálním jevem, na němž je ve většině typů elektráren založena výroba elektrického proudu, je elektromagnetická indukce. Podle Faradayova zákona o elektromagnetické indukci se na koncích smyčky, která se otáčí v magnetickém poli, indukuje střídavé elektrické napětí. Uzavřeme-li obvod, prochází smyčkou střídavý elektrický proud. Platí, že čím rychleji vodičem v magnetickém poli pohybujeme, tím je indukované napětí větší. [8]

### **Způsoby odsiřování spalin v tepelných elektrárnách**

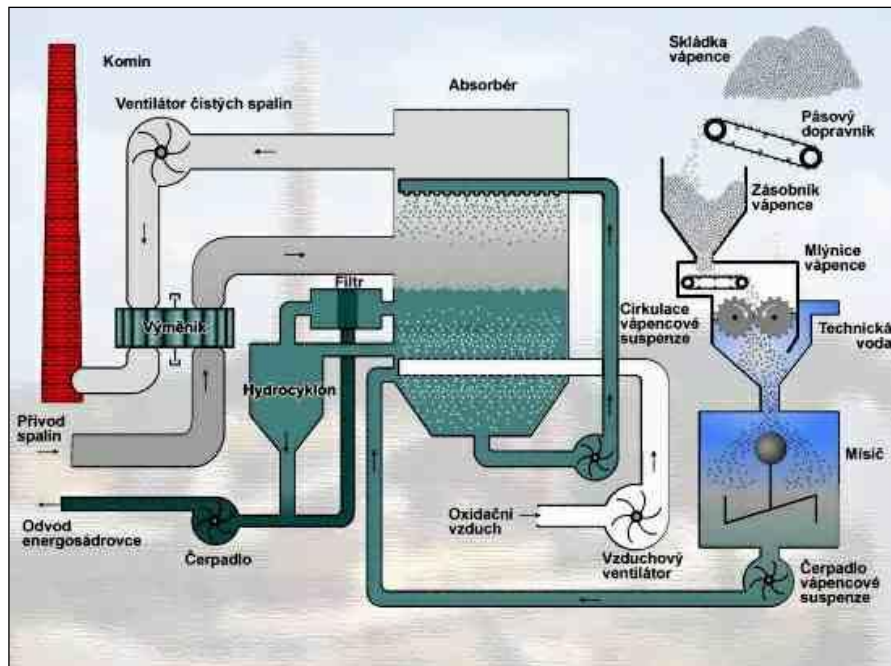
Při spalování sirnatých paliv v uhelných elektrárnách je třeba odstraňovat ze spalin oxidy síry, které patří mezi nejškodlivější látky zatěžující životní prostředí. K nejužívanějším odsiřovacím způsobům patří:

- mokrá vápno-vápencová vypírka
- suché aditivní vápencové technologie [19]

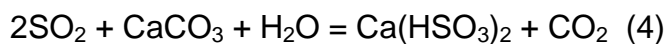
### **Mokrá vápno – vápencová vypírka spalin**

Tato metoda patří v současné době k nejrozšířenějším jak v Evropě, tak v USA i Japonsku. Reakčním činidlem, na které se oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ) zachycuje, je vodní suspenze jemně mletého vápence a produktem odsíření je i hydrát síranu vápenatého ( $\text{CaCO}_3 \times 2 \text{H}_2\text{O}$ ), tzv. *energósádovec*. Účinnost zachycení  $\text{SO}_2$  je vysoká dosahuje až 96 % při současně vysokém využití reakčního činidla vápence. Produkt odsíření, energósádovec, je velmi dobře využitelný zejména ve stavební výrobě, kde plně nahradí používaný přírodní sádovec. Energósádovec je využíván jako přísada při výrobě cementu a sádry. [19]

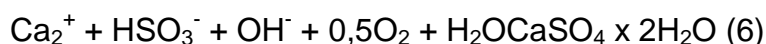
Obrázek č. 7: Schéma odsíření mokrou vápencovou cestou [8]



Princípem odsířování je vypírání plynného oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ), obsaženého ve spalinách vodní vápencovou suspenzí ( $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ) za vzniku roztoku hydrogensířičitanu vápenatého  $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ . Tento proces je možné vyjádřit souhrnnou chemickou rovnicí:



Hydrogensířičitan vápenatý  $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$  je poměrně dobře rozpustná sůl, kterou lze snadno oxidovat již v odsířovacím reaktoru a tak získat dihydrát síranu vápenatého, energosádrovec. Proces oxidace vyjadřují dvě rovnice:



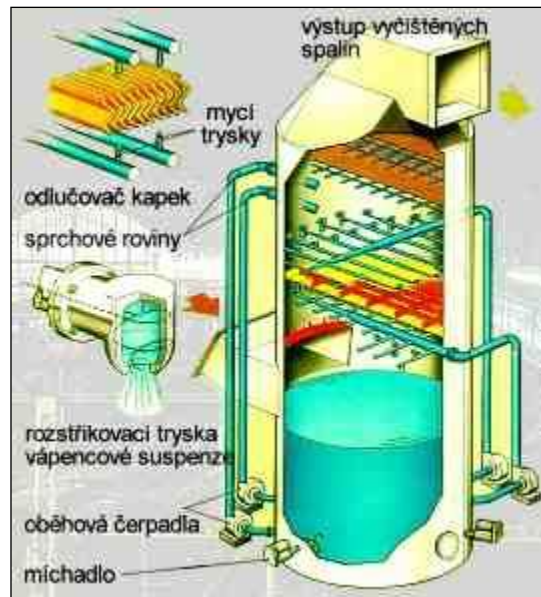
Čistota energosádrovce je vysoká, protože jde o krystalizaci z roztoku. Aby popsaný princip zdárně fungoval a produktem odsíření byl žádoucí energosádrovec, je nutné ve vodní suspenzi odsiřovacího zařízení udržovat "kyselé prostředí" s hodnotou pH pohybující se v rozmezí 3,5 až 5,0. Toto prostředí je jednou z rozhodujících skutečností, majících za následek silné korozní napadání ocelových částí odsiřovacího zařízení a jejich znehodnocování. Ochrana zařízení stojí značné úsilí i prostředky.

### **Technologický proces odsiřování**

Spaliny, odcházející z kotle, jsou v elektrostatickém odlučovači zbaveny téměř všech tuhých látek (popílku) a vstupují do odsiřovacího zařízení, tzv. absorbéru. Absorbér je vertikální nádoba obdélníkového nebo častěji kruhového průřezu. Průměr absorbéru, např. pro blok 200 MW, je asi 15 m a výška 43 m. V jeho horní části jsou vestavěny 3 až 4 tzv. *sprchové roviny*, spodní část (asi 1/5 výšky absorbéru) tvoří *jímka absorpční suspenze* a střední část nazýváme *absorpční zónou*. Sprchová rovina je horizontální potrubní síť opatřená velkým množstvím speciálních trysek, kterými se po celé ploše absorbéru rozstříkuje absorpční činidlo vápencová suspenze. Trysky jsou konstruovány tak, aby kapičky rozstříkované vápencové suspenze byly co nejmenší a usnadnila se tak reakce s oxidem siřičitým. Spaliny vstupující do absorbéru ve spodní části, absorpční zóny stoupají do horní části absorbéru a jsou během proudění zkrápěny vápencovou suspenzí rozstříkovanou v horní části absorbéru. Padající kapičky vápencové suspenze přicházejí do styku se stoupajícími spalinami a absorbují oxid siřičitý obsažený ve spalinách. [19]

Ve spodní části absorbéru v jímce se zachycuje suspenze siřičitanu vápenatého, vzniklá reakcí  $\text{SO}_2$  s vápencovou suspenzí. Do suspenze zachycené v jímce je vháněn oxidační vzduch, dochází k oxidaci siřičitanu na síran vápenatý sádrovec a následně ke krystalizaci sádrovce. Jímka absorbéru musí mít patřičný objem, aby doba zádrže suspenze v jímce byla dostatečně dlouhá a došlo ke krystalizaci sádrovce.

Obrázek č. 8: Absorbér [8]



Spaliny vstupující do absorbéru s teplotou 140 až 160 °C jsou v něm ochlazeny sprchováním vápencovou suspenzí a vystupují z něj s teplotou asi 59 °C. V závislosti na místních podmínkách jsou vyčištěné spaliny po opuštění absorbéru zavedeny buď do chladících věží, nebo do komínů a vypuštěny do atmosféry.

Spaliny po průchodu absorbérem jsou nasyceny vodní párou, vzniklou odpařením vody obsažené ve vápencové suspenzi, a obsahují velké množství kapiček vápencové a sádrovcové suspenze unášené spalinami proudícími absorbérem. Aby se zabránilo unikání těchto kapiček z absorbéru a jejich následnému rozptýlu do atmosféry, jsou v horní části absorbéru nad sprchovou zónou umístěny odlučovače kapek, které je zachycují.

Pro lepší rozptýl vyčištěných spalin v ovzduší jsou před zavedením do komínu zpravidla opět ohřívány na teplotu přibližně 80 až 90 °C, s využitím tepla odebraného spalinám před vstupem do absorbéru. Poměrná komplikovanost zařízení pro ohřev spalin vedla k hledání jiného vhodného způsobu vypouštění vyčištěných spalin do ovzduší. Stalo se jím zavedení vyčištěných spalin do chladících věží elektráren. Chladicí věž je vedle komínu dominantní stavbou elektrárny, upoutávající naši pozornost zejména v zimním období, kdy se z ní valí

oblaka vodní páry. Účelem chladicí věže je ochladit vodu, ohřátou a použitou během technologického procesu, a vrátit ji zpět do výrobního cyklu.

Pro vypouštění odsířených spalin do ovzduší jsou používány chladicí věže s tzv. *přírozeným tahem*. Je to vysoký železobetonový komolý kužel, jehož základna je několik metrů nad zemí na příslušné konstrukci. Touto "mezerou" proudí do chladicí věže vzduch, který spolupůsobí společně s teplou vodou při vytváření přírodního tahu věže, obdobnému "tahu" komínu. Vzduch je spodkem věže do ní "nasáván" a na jejím vrcholu spolu s vodní parou, vzniklou ochlazením vody rozstříkované ve spodní části věže, vypuštěn do ovzduší. Přírozený tah věže umožňuje vypouštění vyčištěných spalin do ovzduší bez ohřevu. [19]

### **Suché aditivní vápencové technologie (s intenzifikací)**

Principem této technologie je dávkování jemně mletého vápence do prostoru ohniště kotle. Vzniklý oxid vápenatý váže oxid siřičitý a ve formě síranu vápenatého se odlučuje ze spalin spolu s popílkem v odlučovacích zařízeních. Intenzifikace spočívá v hydrataci nezreagovaného oxidu vápenatého ve spalinách vodou před jejich vstupem do odlučovačů. Vzniklý hydroxid vápenatý váže dobře oxid siřičitý za vzniku síranu a siřičitanu vápenatého. Tato suchá aditivní vápencová technologie je použita s úspěchem u kotlů s fluidním ohništěm. [5]

Obě výše popsané vápencové technologie jsou aplikovány na odsíření spalin v České Republice.

### **3.4.2. Oblast výroby cementu**

Cement je hydraulické pojivo, které po smíchání s vodou vytváří kaši tuhnoucí a tvrdnoucí v důsledku hydratačních reakcí a procesů. Po zatvrdnutí zachovává svoji pevnost a stálost jak na vzduchu, tak i ve vodě. Při správném dávkování a vhodném míchání s pískem nebo kamenivem a vodou umožňuje cement výrobu malt a betonů, po dostatečnou dobu vhodně zpracovatelných a po odpovídající době zrání též dostatečně pevných. [12]

Portlandský slínek, jako základní surovina pro výrobu cementu, vzniká výpalem dokonale homogenizované surovinové směsi, jejíž chemickou bází jsou

čtyři základní oxidy, dávkované v přesně vymezených poměrech. Jedná se o oxid vápenatý,  $\text{CaO}$ , a tzv. hydraulické oxidy, konkrétně oxid křemičitý,  $\text{SiO}_2$ , oxid hlinitý,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , a oxid železitý,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

### **Výroba cementu**

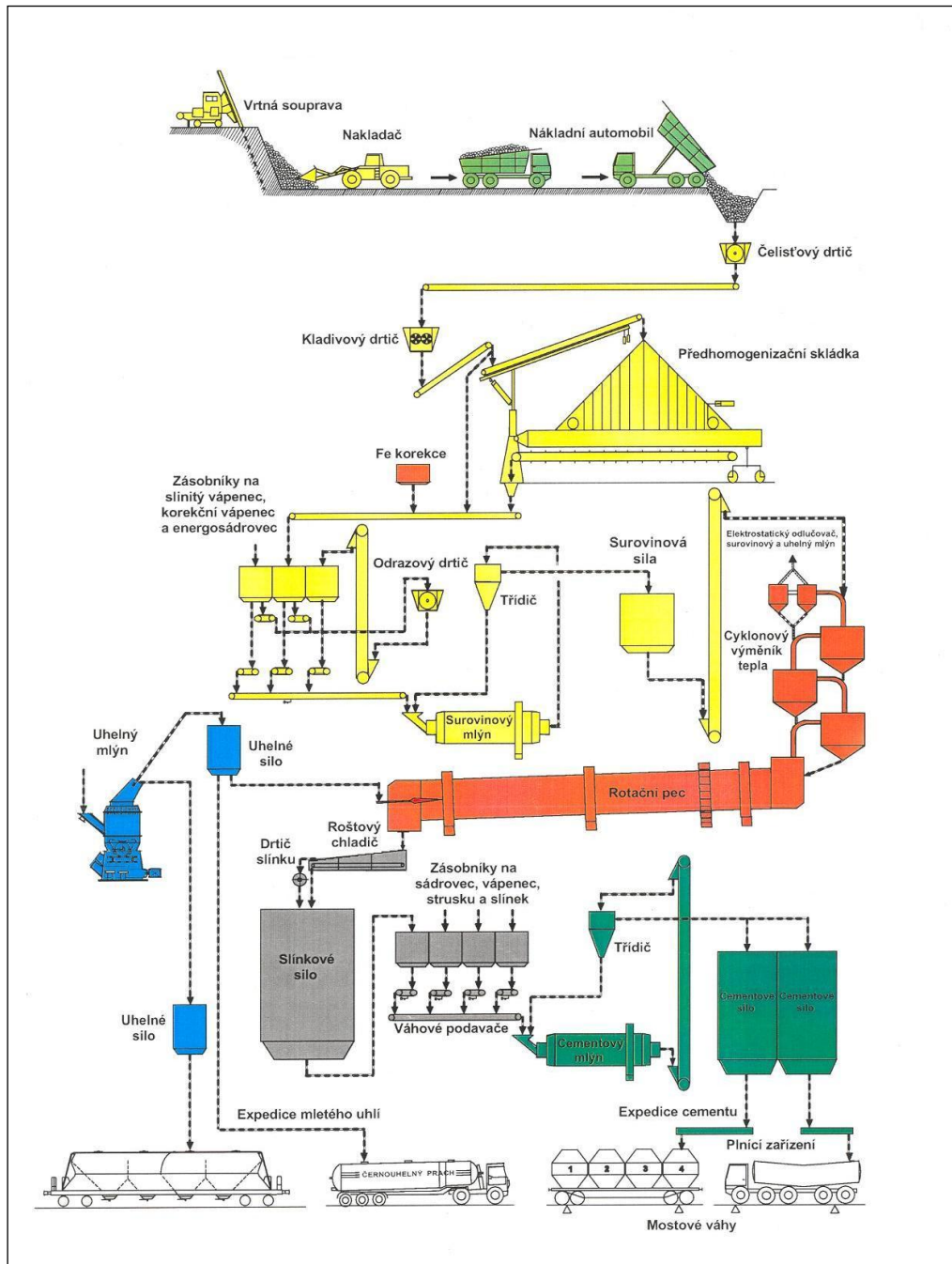
Technologii výroby cementu lze schematicky rozdělit do tří výrobních kroků. Prvním z nich je úprava surovin před výpalem slinku, která zahrnuje jejich těžbu, drcení, mletí a homogenizaci. Druhý krok představuje výpal slinku, třetím krokem je mletí slinku společně s regulátorem tuhnutí, eventuelně dalšími přísadami či příměsemi na cement.

Úprava surovinové směsi může být realizována v zásadě dvojitým způsobem, a to za mokra, kdy výsledkem je tzv. surovinový kal a za sucha, kdy výsledkem je tzv. surovinová moučka. Podle zvolené technologie úpravnictví se pak označuje i celá výrobní technologie, a to buď termínem mokrý výrobní způsob anebo termínem suchý výrobní způsob.

Při suchém výrobním způsobu se vápenec i zemina dvou či vícestupňově drtí, dále suší a mele. Poté se surovinová moučka dopravuje do zásobníků, kde se homogenizuje a zároveň se koriguje její složení.

Přestože v dřívější době byly u nás používány oba výrobní způsoby (mokrý výrobní způsob např. v cementárně Hranice či Maloměřice) v současnosti je u nás používán výhradně výrobní způsob suchý. [12]

Obrázek č. 9: Schéma výroby cementu



## Paliva pro výpal cementové suroviny

Cementářský průmysl spotřebuje vedle značného množství elektrické energie a nerostných surovin rovněž výrazný objem paliv. Palivo se spotřebuje v převážné míře k výpalu surovinové směsi. Aby bylo dosaženo vysoké teploty, nezbytné k výpalu surovinové směsi, spaluje se palivo bezprostředně v pecích, do nichž se současně přivádí potřebný vzduch k hoření. Podle skupenství rozdělujeme paliva do tří skupin:

- kapalná paliva
- plynná paliva
- pevná paliva

Hlavním představitelem *kapalných paliv* je mazut, získaný destilací ropy. Obsah popelovin kapalných paliv se pohybuje cca kolem hodnoty 0,5 %. Měrná výhřevnost mazutu dosahuje hodnoty  $42\ 000\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Navzdory těmto vynikajícím vlastnostem se mazut vyznačuje negativy. Nepříjemnou charakteristikou je obsah jistého množství síry, které spolu s obsaženými alkáliemi působí nepříznivě na životnost vyzdívky apod. Další takovou nevýhodou je velmi vysoká viskozita, díky které je třeba mazut rozehrát na teplotu  $50 - 70\ ^\circ\text{C}$ . Je také nutno podotknout, že rychlost spalování a sálavost plamene z mazutu je poněkud nižší ve srovnání s pevnými palivy.

*Plynným palivem* je zpravidla myšlen zemní plyn, jehož hlavní složkou je metan ( $\text{CH}_4$ ). Měrná výhřevnost obvykle kolísá v rozmezí hodnot  $33\ 000 - 38\ 000\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Obsah popelovin tohoto paliva se blíží téměř k 0 %. Ze všech tří typů paliv se tento vyznačuje nejvyšší cenou. Dnes se téměř nepoužívá (pouze pro výpal bílého slínku).

Mezi *pevná paliva* se řadí především koks (který se používal dříve i v šachtových pecích), hnědé a černé uhlí, lignit (druh hnědé uhlí) a dále i druhotné či alternativní suroviny (pneumatiky z automobilů, plastový odpad, dřevěné odpady, masokostní moučka apod. Tato paliva (koks apod.) jsou zpravidla mleta v objemových mlýnicích na minimální velikost zrna do  $90\ \mu\text{m}$ . Výhřevnost pevných paliv se průměrně pohybuje v rozmezí hodnot  $20\ 000$  až



27 000 kJ.kg<sup>-1</sup>. Nevýhodou pevných paliv je relativně vysoký obsah popelovin (15 %). V současnosti jsou pevná paliva v cementářském průmyslu nejpoužívanější (rotační pece).

Vzhledem k tomu, že cena „klasických paliv“ stále velmi razantně roste, nahrazuje většina výrobců cementu ve stále větší míře klasická paliva, paliva alternativními. Podmínky spalování v cementářských pecích jsou takové, že je možno spalovat alternativní paliva v širokém rozsahu složení, původu a vlastností bez rizika pro životní prostředí. Proces je charakterizovaný vysokou filtrační schopností souprůdně a protiprůdně se pohybujících částic, obsahujících kromě CaCO<sub>3</sub> i volné CaO. Tyto částice díky intenzivnímu styku s kouřovými plyny jsou schopny zachytit ze spalin veškeré kyselé reagující složky, jako jsou SO<sub>2</sub>, Cl, F. Kromě toho hlavně ve stabilizátoru a elektrostatickém odlučovači slouží jako kondenzační jádra, na nichž se účinně zachycují i sloučeniny těžkých těžkých kovů, kterými jsou Hg a Tl. Ostatní kovy se váží do krystalové mřížky slínekových minerálů s účinností více jak 95 % tak pevně, že se ani ze zatvrdlého betonu, vyrobeného z takového cementu neuvolňují a výluhy z takového betonu splňují požadavky na pitnou vodu. Teplota plamene společně s dobou zdržení paliva v plameni umožňuje také dokonalou destrukci a vyhoření všech organických látek včetně PCB a chlorovaných uhlovodíků.

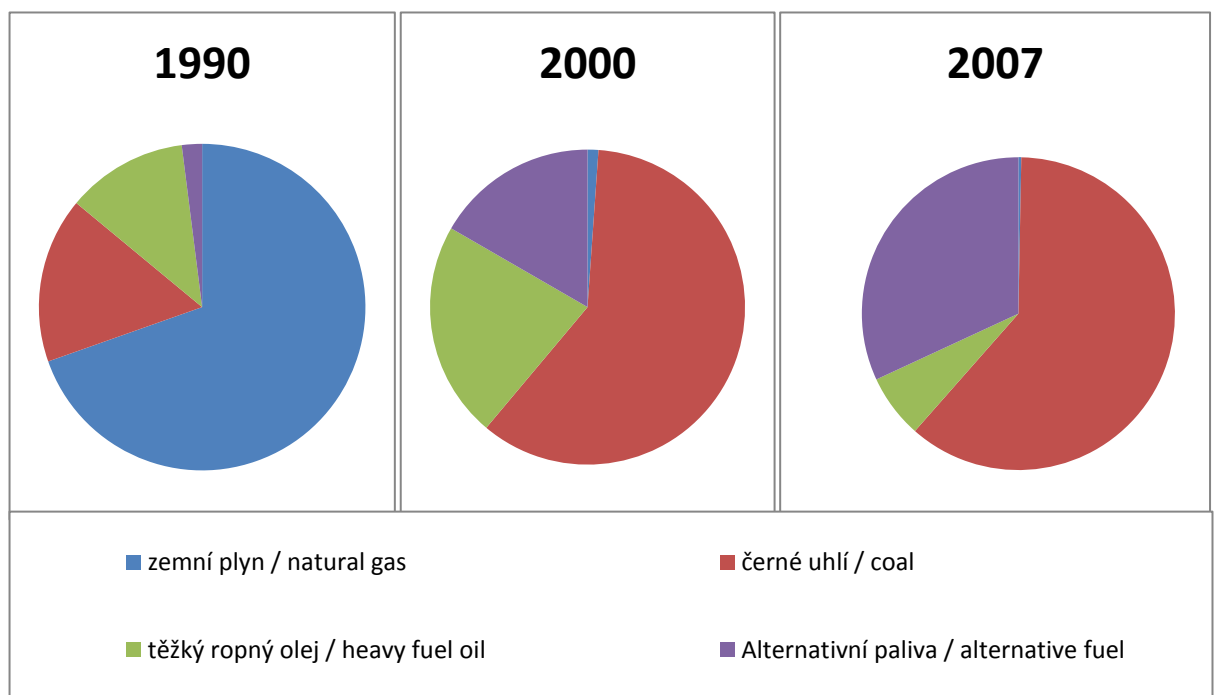
Výhoda zhodnocení různých vytríděných částí odpadů ve formě alternativních paliv spočívá v bezodpadové destrukci organických látek a v intenzivním a vysoce účinném zachycení těžkých kovů a kyselých škodlivin, čímž je umožněna úspora přírodních neobnovitelných zdrojů paliv a surovin a redukce objemu odpadů, ukládaných na skládky při minimálním riziku pro životní prostředí a zdraví.

Některé z alternativních paliv a materiálů představují pouze druhotný zdroj energie, byť i třeba velmi vydatný (např. směsi odpadního papíru a plastů mají výhřevnost jako kvalitní černé uhlí), některé svým nespalitelným podílem jsou významnou součástí surovinové směsi pro výpal cementářského slínku. V některých případech se tato nespalitelná složka může stát velmi důležitým zdrojem, např. oxidu železitého v surovině. Při výrobě cementářského slínku se

jejich nespalitelná složka stává součástí surovinové směsi a nahrazuje jiné surovinové složky. Celý pecní systém, sestávající z disperzních výměníků tepla, rotační pece, chladiče slínku, stabilizátoru a elektrostatického odlučovače prachu představuje dokonalý systém pro zachycení a bezodpadové zneškodnění škodlivin, vznikajících při spalovacím procesu.

Mezi tzv. klasická alternativní paliva používaná v cementárnách patří v dnešní době zejména odpadní oleje, použité pneumatiky, ale také spalování čistírenských kalů a masokostní moučky. Nárůst spotřeby alternativních paliv na úkor klasických ukazuje následující graf.

Graf č. 2: Vývoj struktury paliv používaných k výrobě cementu [23]



### **3.5. Možnosti uplatnění alternativního paliva**

#### **3.5.1. Oblast energetiky**

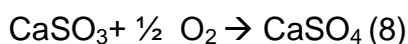
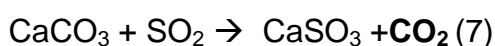
V oblasti energetiky je spatřována nejkompexnější možnost využití nového alternativního paliva. Vzhledem k tomu, že uhlí je dlouhodobě klíčovou surovinou pro českou energetiku. Podíl uhlí ve struktuře primárních energetických zdrojů, ve výrobě elektřiny, ve výrobě tepla i v konečné spotřebě je podstatně vyšší než v zemích EU a pouze Polsko ve všech těchto parametrech překonává ČR. V závěru roku 2007 se projeví různé ekonomické a politické události na rapidním vzestupu ceny černého uhlí. Téměř 60% podíl uhlí ve výrobě elektřiny a 45% podíl uhlí na primárních energetických zdrojích se opírá o zatím vysokou tuzemskou těžbu hnědého a černého uhlí, která plně pokrývá tuzemskou spotřebu a v případě černého uhlí i export. Životnost zbývajících zásob v rámci územních limitů již ale neumožňuje plnou reprodukci stávajících kapacit uhelných elektráren a tepláren a tak česká energetika vchází do zcela nové fáze: tuzemské uhlí se stane nedostatkovou surovinou, se všemi z toho vyplývajícími důsledky, včetně tlaku na růst cen.

Nejvýznamnějším problémem ovlivňujícím využitelnost hnědého uhlí v rámci energetického mixu ČR je trvalý administrativní a politický blokování možnosti využití velkého objemu zásob hnědého uhlí, které je základním primárním zdrojem energie pro výrobu elektřiny a centrálně vyráběného tepla v ČR. To představuje kritický problém dalšího rozvoje energetického hospodářství ČR. Tuzemskou energetiku proto čeká obtížné hledání nové strategie jak nalézt optimální složení energetických zdrojů pro budoucnost.

Z výše uvedeného vyplývá nejen to, že cena uhlí bude i nadále velmi strmě růst, ale také to, že celková produkce uhlí bude jen velmi obtížně pokrývat jeho spotřebu, což by měl být impuls pro výrobce elektrické energie, popř. tepla k hledání levnějších alternativ k hnědému a černému uhlí, kterou by mohlo být navrhované alternativní palivo.

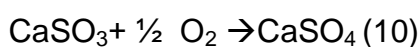
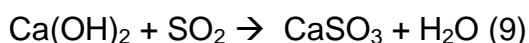
Přínosy alternativního paliva v procesu odsíření kouřových plynů jsou spatřovány především v obsahu vápenného hydrátu v palivu, kde vápenný hydrát obsažený ve výrobku vykazuje mnohem větší účinnost odsířování ve srovnání s uhličitánem vápenatým široce používaným v elektrárnách a dále pak použitím vápenného hydrátu na odsíření kouřových plynů nevznikají přídavné emise oxidu uhličitého, což je patrné z následujících vztahů:

Uhličitán vápenatý reagující s oxidem siřičitým vytváří nejprve siřičitan vápenatý a poté síran vápenatý, ale přídavně se také uvolňuje problematický oxid uhličitý.



Uvolňovaný oxid uhličitý přídavně zvyšuje své emise v procesu.

Vápenný hydrát reagující s oxidem siřičitým vytváří nejprve siřičitan vápenatý, dále oxidující na síran vápenatý.



Nevznikají žádné emise oxidu uhličitého.

Výše uvedené rovnice byly konzultovány zejména s vedoucími výroby hnědouhelné elektrárny EMĚ a EMĚIII v Mělníce. Bylo však domluveno, že tyto teoretické úvahy budou dále potvrzeny laboratorními zkouškami.

Ekonomický model by tedy měl vyhodnotit popsané přínosy alternativního paliva v podobě levnějšího paliva, nižší spotřebě mletých vápenců pro odsíření a úspoře v oblasti emitování CO<sub>2</sub>.

Zejména při možném použití alternativního paliva v této oblasti je třeba mít na zřeteli kromě výše uvedených výhod taktéž jeho případné negativní vlivy, jak na samotný průběh spalování tak také na výsledné vlastnosti vedlejších energetických produktů, jakými jsou například struska nebo popílek, které jsou v současné době certifikovány a dále prodávány. Výsledky rozborů popelovin z námi připravených vzorků však prokázaly, že používání alternativního paliva by

nemělo mít negativní vliv na výsledné vlastnosti vedlejších energetických produktů.

### **3.5.2. Výroba cementu**

V předchozí kapitole již byly stručně popsány možné konkurenční výhody popisovaného alternativního paliva v procesu výroby cementu. Jsou jimi nízká cena za palivo respektive za jednotku tepla měřenou v MJ/kg a dále pak určitý podíl CaO obsažený v popisovaném palivu. Výhodu plynoucí z obsahu CaO v palivu je spatřována v částečné úspoře vsázky pro výrobu cementu, tedy surovinové moučky, jejímž základem je vápenec ( $\text{CaCO}_3$ ) z něhož je termodynamickou reakcí vyráběn slínek. Při této reakci je do ovzduší uvolňován oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ , jehož vypouštění je nyní velmi přísně regulováno ze strany Evropské Unie. V současnosti jsou všichni výrobci cementu v České Republice nuceni v rámci zachování jejich výroby dokupovat na trhu řádově tisíce těchto povolenek. Cena se na počátku druhého alokačního období pohybuje v rozmezí mezi 15-25 € za jednu povolenku.

V průběhu konzultací s technologií výroby cementu, byly vyspecifikovány klíčové parametry alternativního paliva a taktéž byly určeny hraniční hodnoty, ve kterých by se měly tyto parametry pohybovat. Tyto parametry jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 2: Kvalitativní parametry tuhého paliva používaného v cementárnách

složka, vlastnost	jednotka	maximum	minimum
Voda	hmot. %	15	-
Popel	hmot. %	40	-
Hořlavina	hmot. %	75	-
Výhřevnost	MJ/kg	-	15
síra veškerá	hmot. %	8	-
Chlor	hmot. %	0,5	-
Fluor	hmot. %	0,2	-
PCB	mg/kg	30	-
Měď	mg/kg	2000	-
Zinek	mg/kg	5000	-
Nikl	mg/kg	500	-
Olovo	mg/kg	2000	-
Kadmium	mg/kg	150	-
Chrom	mg/kg	300	-
Arsen	mg/kg	150	-
Rtuť	mg/kg	2	-
Thalium	mg/kg	10	-
tavitelnost popela-bod měknutí	°C	-	1000
tavitelnost popela-bod tání	°C	-	1200

Při porovnání kvalitativních požadavků ze strany výrobců cementu s kvalitativními parametry základní varianty alternativního paliva zjistíme, že požadavek nesplňuje především vyšším obsahem popelovin a také nižší výhřevností. Oba dva tyto parametry jsou přímo ovlivněny množstvím přidaného oxidu vápenatého. Obsah oxidu vápenatého má taktéž přímý vliv na úsporu vsázky pro výpal slínku, což, jak bylo uvedeno, je druhý benefit alternativního paliva. Optimální obsah oxidu vápenatého ve směsi byl konzultován s technologií tak, aby mohly být co nejlépe využity oba benefity. Při konzultaci tohoto problému v cementárně společnosti Holcim Prachovice a.s., v návaznosti na jejich technologii výpalu slínku, v systému nebylo nalezeno vhodné místo pro nadávkování paliva do systému tak, aby bylo zajištěno jeho celkové prohoření, což je hlavní podmínka použití alternativního paliva. Jedinou možností se ukázalo dávkování hlavním hořákem.

Tato možnost jako jediná z námi prověřovaných zajišťuje bezproblémové prohoření dávkovaného paliva, nevýhodou tohoto dávkovacího místa je to, že se obsah oxidu vápenatého již nestihne plně zapojit do procesu výroby slínku.

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že při použití alternativního paliva při výrobě cementu nelze s obsahem oxidu vápenatého ve směsi počítat jako s benefitem, ale pouze jako s vedlejším produktem, který vniká při snižování vlhkosti směsi na požadovanou úroveň. Úkolem tedy zůstává najít takový poměr oxidu vápenatého ve směsi, který zajistí požadovanou úroveň vlhkosti a zároveň výslednou směs zbytečně neprodrazí.

Na první pohled se tedy může zdát nabídka tohoto nového alternativního paliva pro cementárny jako předem ztracený boj, vzhledem k tomu, že všechny cementárny dnes již své stále dodavatele alternativních paliv, kteří jím je dodávají zdarma nebo jen za velmi nízkou cenu.

Je však třeba vidět kromě výhod, které spalování alternativních paliv přináší také některé jejich významné nevýhody. Mezi ty hlavní patří jejich agresivní působení, zejména paliv s kyselým pH, na některé části rotační pece, tvorba různých nálepů v peci a tudíž nutnost častěji pec odstavovat a čistit, což sebou přináší snížení celkové výrobní kapacity pece. Dalším, často přehlíženým

negativem je problematická kontrola kvality vyráběného produktu a v neposlední řadě se stále více projevuje trend jakéhosi kopírování růstu cen klasických paliv růstem cen paliv alternativních, byť cenový rozdíl mezi těmito cenami i nadále zůstává propastný. Navrhované alternativní palivo by výše uvedené problémy způsobovat nemělo, spíše naopak by některé specifické problémy mohlo pomoci řešit.

Jak bylo výše uvedeno navrhované alternativní palivo má dva hlavní problémy, kterými jsou vyšší obsah popelovin a nižší výhřevnost. Problém vyššího obsahu popelovin ve směsi není z pohledu užití při výrobě cementu nikterak závažný neboť všechny cementárny v současné době levným popelem „ředí“ většinu jimi vyráběných produktů.

Další problém, kterým je nižší výhřevnost paliva, je taktéž řešitelný a to přidavkem určitého vytríděného odpadu s extrémní výhřevností, který není samostatně spalitelný a jehož likvidace je například v Německu podporována finanční dotací. Možnost obohatit alternativní palivo o další možné komponenty budou více popsány v následujících kapitolách. Přidávání těchto přísad je však možné pouze za současného zkusování alternativního paliva, což také neznamena velkou komplikaci, protože je v současnosti na trhu poměrně široká nabídka různých peletovacích popřípadě briketovacích zařízení.

Aby navrhované alternativní palivo mohlo soupeřit s dnes používanými alternativními palivy také v ekonomické oblasti, je potřeba, aby potenciální spotřebitel tohoto paliva byl schopen ve svém provozu ekonomicky zhodnotit také druhou složku alternativního paliva, tedy obsažené CaO. Což v běžném cementářském provozu není možné.

Částečné řešení tohoto problému se podařilo nalézt u společnosti Lafarge cement a.s. Tato cementárna má totiž jako jediná v rámci České i Slovenské republiky dlouhodobý problém s nevhodností suroviny pro výpal slínku. Jimi těžená surovina je totiž poměrně chudá na obsah  $\text{CaCO}_3$ , tedy základní surovinu pro výpal slínku. Tento nedostatek v současnosti řeší nákupem a dopravou kvalitnější suroviny z Velkolomu Čertovy schody u Berouna, který je od Čížkovic, kde cementárna leží, vzdálen cca. 120 kilometrů, tento fakt poměrně výrazně



navyšuje výrobní náklady této společnosti, která se intenzivně snaží nalézt levnější zdroj  $\text{CaCO}_3$  popřípadě  $\text{CaO}$ .

V současné době je připravována zkouška v této cementárně, která by měla prokázat očekávané přínosy, tedy levnější palivo obsahující  $\text{CaO}$ , které by následně obohacovalo vsázku na výrobu cementu, která se v současnosti poměrně nákladně nakupuje.

Jak již bylo uvedeno, zkouška se v současnosti připravuje, tudíž nelze nyní provést přesné ekonomické vyhodnocení.

Vzhledem k tomu, že možné použití připravovaného alternativního paliva při výrobě cementu sebou přináší velké množství problémů a možná řešení těchto je potřeba nejdříve spolehlivě ověřit, bude další zaměření této disertační práce zaměřeno pouze na využití v oblasti energetiky.

## **4. Alternativní palivo**

Složení navrhovaného alternativního paliva bylo již stručně popsáno v úvodních kapitolách této práce. V této části bude popsáno detailněji, spolu s postupem, který vedl k jeho základní podobě. Alternativní palivo tedy tvoří dvě základní složky, kterými jsou uhelné kaly s vysokou vlhkostí a pálené vápno. Praktická příprava alternativního paliva je rozdělena na dvě základní etapy. V první etapě bylo namícháno pálené vápno s uhelnými kaly v různém poměru a následně analyzovány změny základních fyzikálních vlastností směsí, způsobených přidáním páleného vápna. V druhé etapě byly namíchány v různých poměrech vybrané vzorky alternativního paliva z první etapy příprav s běžně používanými typy paliv tedy s černým a hnědým uhlím.

### **4.1. První etapa přípravy a následné analýzy**

Účelem této etapy bylo zjistit jak se postupným přidáváním páleného vápna, začne měnit zpracovatelnost uhelných kalů, tedy možnost jednodušší manipulace s materiálem jak při jeho nakládce tak především při vykládce a jeho následném dávkování do spalovacího systému.

#### **4.1.1. Příprava alternativního paliva**

V první etapě bylo připraveno několik jednokilogramových vzorků samotného uhelného kalu (viz obrázek č. 7) a vloženo do laboratorní míchačky. Poté bylo postupně přidáváno pálené vápno v různém množství od 5%. Doba míchání byla pět minut. Po promíchání vzorku s přidáním pěti procent vápna se projevilo částečné snížení vlhkosti, ale zpracovatelnost takto upraveného vzorku byla stále velmi špatná. Materiál byl stále velmi lepkavý a vytvářel velké slepené hroudy. Dalším přidaným množstvím bylo deset procent páleného vápna. Po promíchání byl výsledný stav vzorku viditelně méně lepkavý, ale stále se tvořily menší slepené hrudky, tedy pro další zpracování také nevyhovující. Při dávce 15% páleného vápna byl méně lepkavý a netvořil téměř žádné shluky, tak jak tomu bylo u

předcházejících vzorků. Dalším přídatkem bylo dvacet, dvacetpět a třicet procent páleného vápna. Z pohledu lepivosti a tvorby shluků se tyto vzorky od sebe téměř nelišily, všechny byly krásně sypké a i po stlačení v ruce se opět rozpadly. Jediný vizuální rozdíl byl v jejich barvě, kdy přídatkem vápna docházelo k zesvětlení celého vzorku.

Vzhledem k tomu, že se zpracovatelnost s dalším přídatkem páleného vápna již více neměnila, nemělo význam pokračovat v navyšování množství vápna. Horní hranice přidaného vápna tedy zůstala na třiceti procentech. Dolní hranici však bylo zapotřebí ještě upřesnit, vzhledem k tomu, že při deseti procentech nebyla zpracovatelnost na přijatelné úrovni a při patnácti už byla téměř bezproblémová, byl vytipován přídatek dvanácti procent páleného vápna, kdy se ukázalo, že při tomto množství se slepené hrudky tvoří jen velmi ojediněle a tedy, že takto upravený materiál se dá dále zpracovávat.

*Obrázek č. 10: Uhelný kal*



Obrázek č. 11: Směs uhelného kalu a 5% CaO



Při dávkování menšího množství CaO, jako bylo 5% a 10%, vznikaly výrazné sbalky kalu a vápna. Jádro takového sbalku obsahovalo čistý kal a CaO se nabalilo pouze po povrchu. Dávka vápna byla příliš malá na to, aby efektivně vysušila větší kusy kalu a způsobila tak jejich rozpad. Ani intenzivní míchání neposkytovalo efektivní rozdužení.

Obrázek č. 12: Směs uhelného kalu a 10% CaO



Obrázek č. 13: Směs uhlénoho kalu a 20% CaO



U vyšší dávky vápna již můžeme hovořit o práškové směsi, neboť docházelo k intenzivnímu vysoušení kalu a rozpadu větších kusů. Přesto směsi obsahovaly menší množství malých sbalků, které se však při mírném tlaku rozpadaly.

Obrázek č. 14: Směs uhlénoho kalu a 30% CaO





K přípravě vzorků byla použita laboratorní míchačka firmy BETON SYSTEM s nastavitelnými režimy míchání. V ocelové míchací nádobě bylo možno najednou připravit přibližně 1,5 kg vzorku. Při větším množství hrozilo nebezpečí ztráty části dávkovaných složek a došlo by tak k nežádoucí změně složení směsi.

Obrázek č. 15: Laboratorní mísící zařízení od firmy Beton System



Při přípravě vzorků s obsahem 5% a 10% docházelo k výraznému nabalování černouhelného kalu na lopatku míchačky (viz. obrázek č. 13) a na stěny nádoby, což znemožňovalo efektivní zpracování páleného vápna a kalu. Bylo nutno míchání zastavit a opatrně očistit míchací lopatku. Poté již k dalším nepříjemným nálepům necházelo.

Obrázek č. 16: Vzorek na počátku míchání



Obrázek č. 17: Vzorek po 5 minutách míchání



#### 4.1.2. Analýza alternativního paliva

Dalším úkolem první etapy bylo zjistit vliv, který mělo výše popsání přidávání páleného vápna na základní vlastnosti paliva, kterými jsou vlhkost, výhřevnost a obsah popelovin. Bylo tedy připraveno pět vzorků s příměsí páleného vápna v následujícím poměru:

č.1 – 30% CaO      č.2 – 25% CaO

č.3 – 20% CaO      č.4 – 15% CaO

č.5 – 12% CaO      č.6 – kal

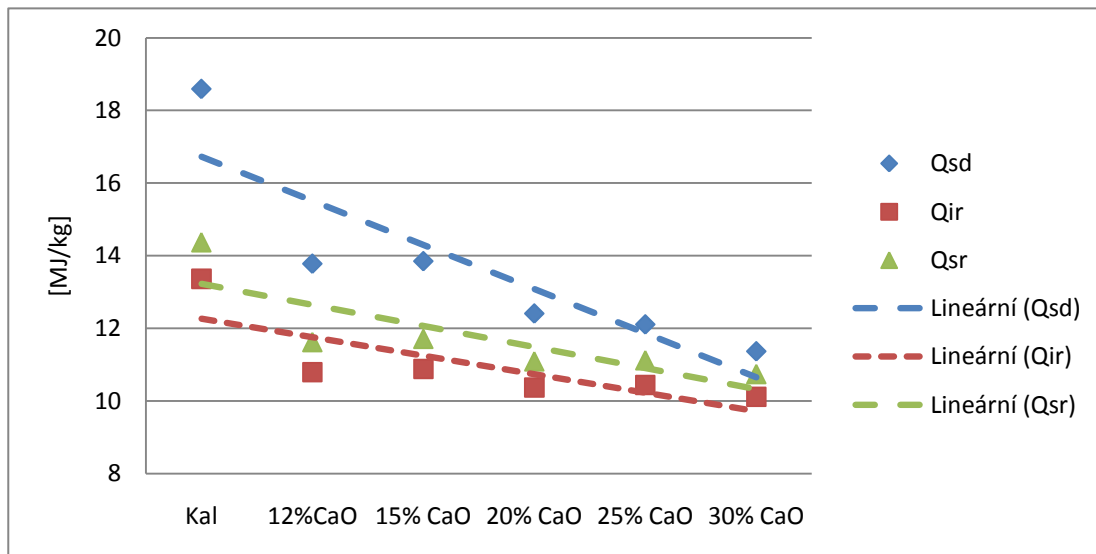
Jako šestý vzorek byl přidán čistý kal. Těchto šest vzorků bylo následně vyhodnoceno v partnerské laboratoři Vápenky Vitošov s.r.o..

Tabulka č. 3: Výsledky základního technologického rozboru

popis vzorku	$W_t^r$ %	$A^r$ %	$A^d$ %	$Q_s^d$ MJ/kg	$Q_i^r$ MJ/kg	$Q_s^r$ MJ/kg	$S^d$ %
30% CaO	5,52	51,72	54,74	11,37	10,11	10,74	0,41
25% CaO	8,21	51,12	55,69	12,11	10,44	11,12	0,4
20% CaO	10,69	49,68	55,63	12,41	10,37	11,09	0,45
15% CaO	15,54	44,78	53,02	13,85	10,88	11,71	0,5
12%CaO	15,71	45,16	53,58	13,78	10,79	11,62	0,6
Kal	22,74	34,3	44,4	18,59	13,36	14,37	0,53



Graf č. 3: Vliv obsahu CaO na výhřevnost a spalné teplo



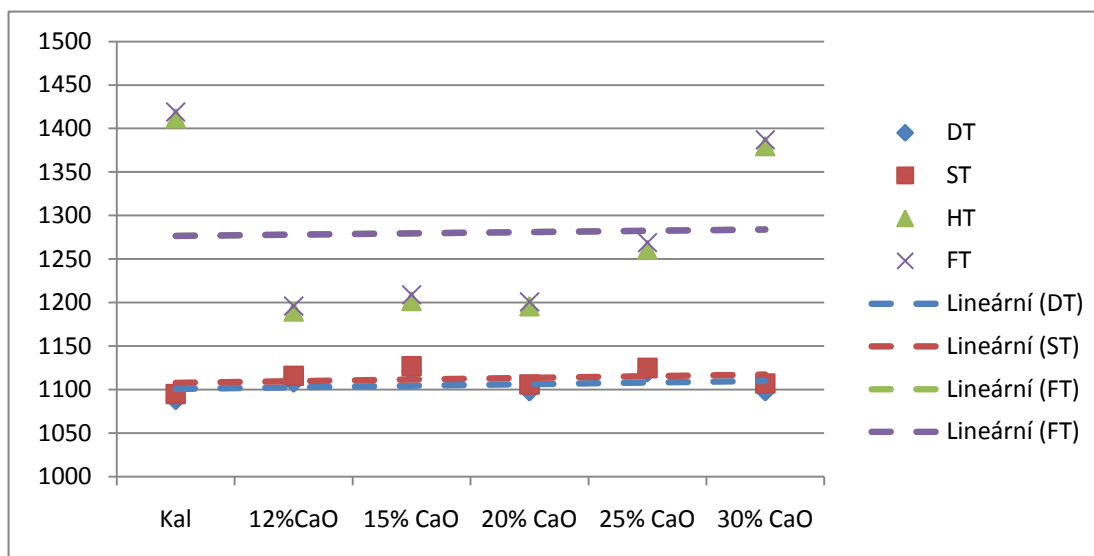
Z výsledků je patrné, že přidavkem CaO k černouhelným kalům dochází k výraznému nárůstu obsahu popela, prakticky totožným s množstvím přidaného CaO. V případě výhřevnosti dochází s přidavkem CaO ke snižování, což koresponduje s hodnotami obsahu popela. Obsah síry se opět pozvolna snižuje s rostoucím obsahem CaO. Zajímavý je trend snižování obsahu vody ve vzorku, kdy přidavkem CaO došlo k jeho snížení až o 75 %.

Již při prvních konzultacích jak u výrobců cementu, tak u výrobců elektrické energie byly doporučeny jako nezbytně nutné další analýzy. Jednalo se především o obsah chloru a teploty tavitelnosti. Výsledky této analýzy jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka č. 4: Výsledky rozborů obsahu chloru a teplot tavitelnosti

popis vzorku	Cl	Teploty tavitelnosti °C			
	%	DT	ST	HT	FT
30% CaO	0,0262 ± 0,0026	1098	1107	1380	1387
25% CaO	0,0357 ± 0,0036	1120	1125	1261	1269
20% CaO	0,0575 ± 0,0058	1098	1106	1196	1201
15% CaO	0,0348 ± 0,0035	1121	1127	1202	1209
12%CaO	0,0413 ± 0,0041	1108	1116	1190	1196
Kal	0,0945 ± 0,0095	1088	1095	1412	1419

Graf č. 4: Vliv obsahu CaO na teploty tavitelnosti



Obsah chloru se s přidavkem CaO snižuje a snížení při maximálním obsahu CaO se pohybuje na úrovni obsahu hnědých uhlí. První deformační teplota DT a teplota ST se pohybují okolo 1090°C resp. 1110°C. Tyto hodnoty jsou mírně vyšší, než je tomu u hnědých a černých uhlí. Přidavkem CaO nedochází k jejich výrazné změně. Tyto teploty nejsou pro určení vhodnosti pro spalovací

zařízení zásadní. Větší důraz je kladen na hodnoty teplot HT a FT. U vzorku čistého kalu jsou hodnoty těsně pod průměrnými hodnotami hnědých uhlí (českých) a některých vícepopelnatých druhů černých uhlí.

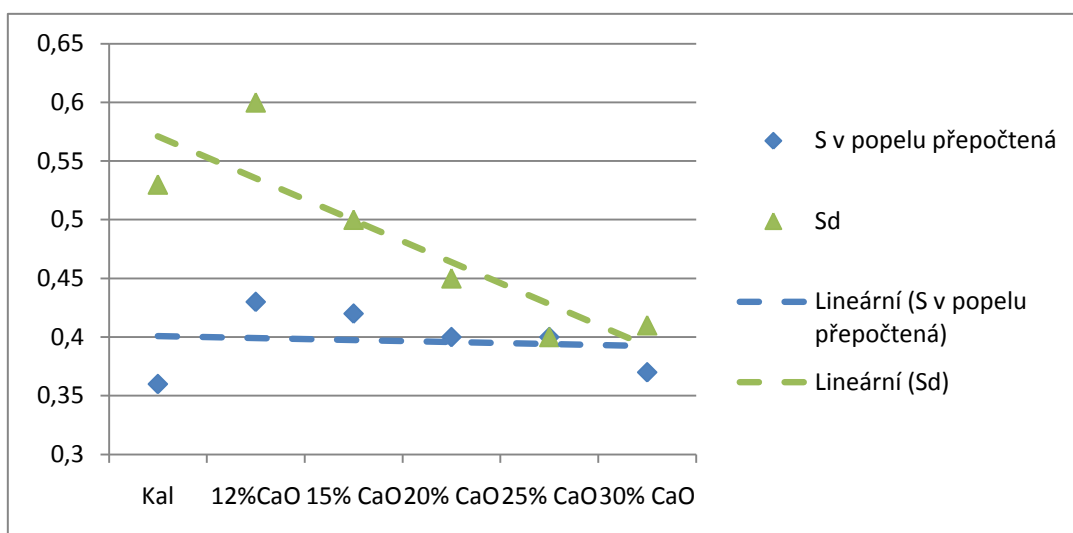
Poslední analýzou v rámci první etapy bylo stanovení stupně odsíření těchto šesti vzorků. Vzorky byly nejdříve vysušeny v sušárně při teplotě 105 – 110°C do konstantní hmotnosti. Vysušené vzorky byly potom žíhány v muflové peci při teplotě 900°C s postupným nárůstem teploty a s časovou prodlevou (30 min.) při teplotě 700°C. Celková doba žíhání aditivovaných dílčích vzorků byla 10 hodin. Po ukončení žíhání a vychladnutí popela byla provedena vizuální kontrola případných nespálených částic. Současně byla zjištěna ztráta žíháním každého vzorku. V takto získaném popelu jednotlivých vzorků byl stanoven celkový obsah síry  $S_t^d$ . Aby bylo možné porovnat obsah síry v popelu bylo nutné stanovit „rovnovážný stav“. Tím byl přepočten na stejný obsah popela. U takto přepočtených vzorků bylo již možné stanovit obsah síry, která přešla během spalování do popelovin a která emitovala.

Tabulka č. 5: Výsledky stanovení stupně odsíření

popis vzorku	$A^r$	$A^d$	$S^d$	$S^{pop}$	S v popelu přepočtená	emise síry	% odsíření	balasty
	%	%	%	%	%	%	%	%
30% CaO	51,7	54,7	0,41	0,68	0,37	0,04	90,79	60,26
25% CaO	51,1	55,7	0,4	0,72	0,4	0	100	63,9
20% CaO	49,7	55,6	0,45	0,72	0,4	0,05	89,01	66,32
15% CaO	44,8	53	0,5	0,8	0,42	0,08	84,83	68,56
12%CaO	45,2	53,6	0,6	0,8	0,43	0,17	71,44	69,29
Kal	34,3	44,4	0,53	0,81	0,36	0,17	67,86	67,14

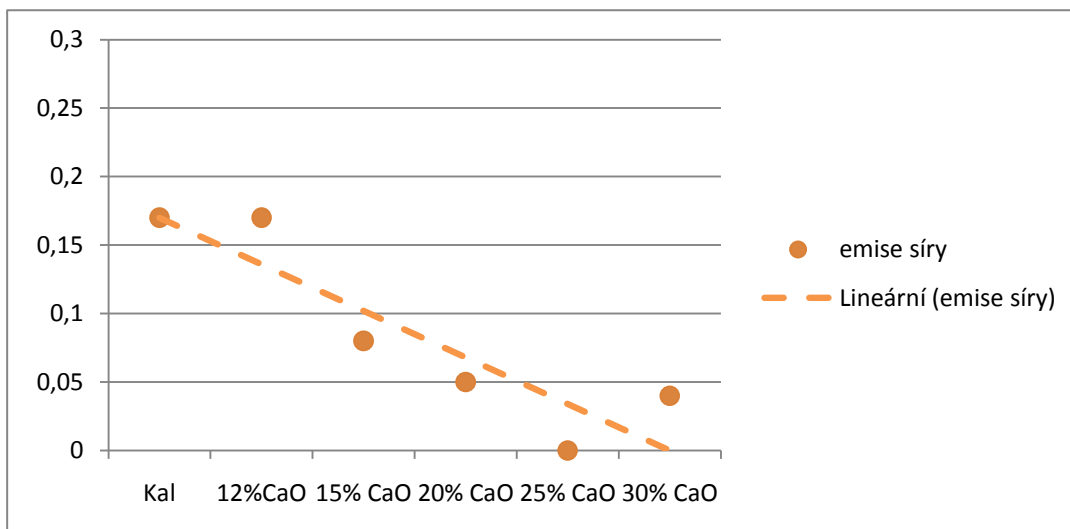
Z výsledků vyplývá, že již samotný vzorek kalu má vysoké „samoodsiřovací“ schopnosti a v laboratorních podmínkách bylo dosaženo více než 67 % odsíření. Stupeň odsíření se zvyšoval až k obsahu CaO 25%, kdy bylo dosaženo „teoreticky“ 100% odsíření. Poté již účinnost odsíření začala klesat. Z toho vyplývá, že přídavek CaO má význam maximálně do deklarované výše 25%, po dosažení této hranice je vzorek tzv. „předitivovaný“. Při úvaze použití vzorků jako paliva je nutné zhodnotit množství tzv. balastních látek. Tento se s přídavkem CaO zvyšuje, jelikož CaO je téměř nespalitelný a zvyšuje obsah popela.

Graf č. 5: Obsah síry ve vzorku a v popelu po přepočtení v závislosti na obsahu CaO

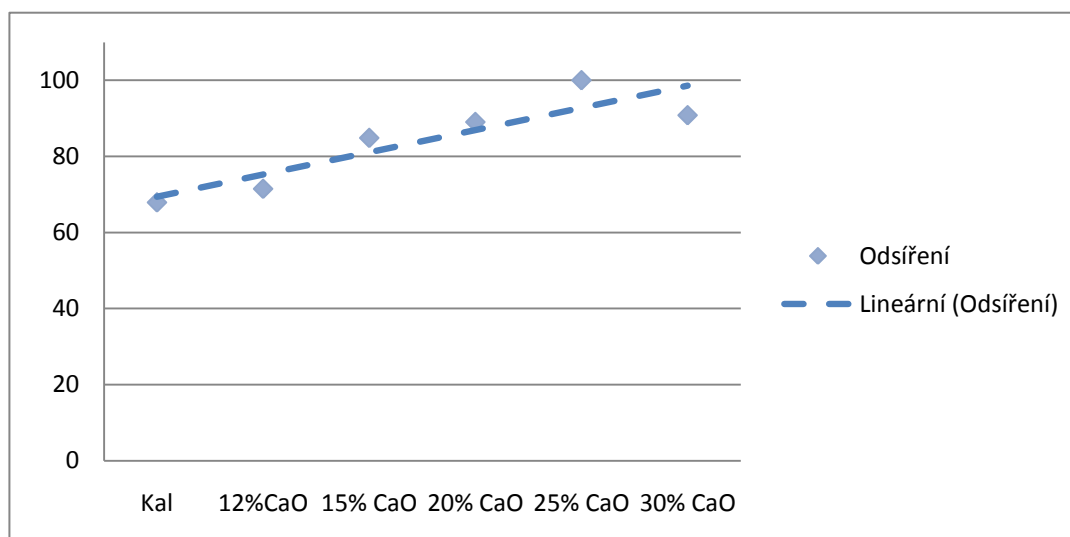


Z výsledků je patrné, že přes snižování obsahu síry ve vzorku v důsledku navyšování obsahu CaO, tak po přepočítání síry na stejný obsah popela zůstával její obsah na přibližně stejné hodnotě. Z toho lze usuzovat, že došlo k nižším emisím a více síry přešlo do popela.

Graf č. 6: Odvozené emise síry v %



Graf č. 7: Vypočítané odsíření v %



$$\text{Odsíření} = 1,0122 \times M_{\text{CaO}} + 66,781$$

Z naměřených dat můžeme odvodit regresní vztah pro odsíření:

kde  $M_{\text{CaO}}$  = obsah dávky páleného vápna

## **4.2. Druhá etapa přípravy a následné analýzy**

Vzhledem k tomu, že při reálném pálení alternativního paliva nebude nikdy docházet k tomu, že by se alternativní palivo pálilo samotné, ale bude docházet ke spoluspalování s jinými palivy, nejčastěji s černým a hnědým uhlím, z tohoto důvodu bylo rozhodnuto pro druhou etapu zkoušek připravit další skupinu vzorků. Snahou bylo připravit taková složení výsledné směsi, která by postihla co možná nejširší paletu technicko-kvalitativních požadavků jak velkých tepelných elektráren, tak menších energetických zdrojů.

Vzhledem k tomu, že některé z potřebných analýz jsou poměrně náročné, nebylo už v druhé etapě možné použít všechny směsi připravené v etapě první, ale byly vybrány pouze vzorek č. 3 - 20% CaO a pro srovnání opět i samotný kal. Ty byly následně namíchány v různých poměrech jak s hnědým tak s černým uhlím. Takto bylo připraveno šestnáct vzorků, ke kterým byl ještě přidán jeden vzorek hnědé uhlí a jeden vzorek černého uhlí. Takto připravené vzorky byly opět analyzovány stejným postupem jako v etapě první a výsledky jsou uvedeny v následujících kapitolách.

#### 4.2.1. Základní technologický rozbor

Tabulka č. 6: Základní technologický rozbor (AP obsahovalo 20% CaO)

Popis vzorku	Poměr složek		$W_t^r$	$A^r$	$A^d$	$Q_i^r$	$S^d$
	Uhlí [%]	AP [%]	[%]	[%]	[%]	[MJ/kg]	[%]
černé uhlí + AP (20% CaO)	85	15	7,8	14,32	15,53	25,13	0,27
černé uhlí + AP (20% CaO)	90	10	7,63	11,83	12,81	25,97	0,31
černé uhlí + AP (20% CaO)	93	7	7,53	10,37	11,21	26,5	0,29
černé uhlí + AP (20% CaO)	95	5	7,46	9,31	10,06	26,78	0,32
hnědé uhlí + AP (20% CaO)	85	15	23,36	20	26,1	16,22	1,15
hnědé uhlí + AP (20% CaO)	90	10	24,11	18,09	23,84	16,49	1,31
hnědé uhlí + AP (20% CaO)	93	7	24,56	17,01	22,55	16,59	1,38
hnědé uhlí + AP (20% CaO)	95	5	24,85	15,79	21,01	16,87	1,37
černé uhlí + kal	85	15	9,61	12,86	14,23	24,83	0,31
černé uhlí + kal	90	10	8,83	11,15	12,23	25,63	0,37
černé uhlí + kal	93	7	8,37	10,15	11,08	26,08	0,35
černé uhlí + kal	95	5	8,07	9,51	10,34	26,33	0,35
hnědé uhlí + kal	85	15	25,17	19,01	25,41	15,68	1,36
hnědé uhlí + kal	90	10	25,31	18,23	24,41	15,9	1,42
hnědé uhlí + kal	93	7	25,4	17,64	23,65	15,97	1,47
hnědé uhlí + kal	95	5	25,46	17,29	23,19	16,03	1,48
hnědé uhlí	100	0	25,6	16,1	21,64	16,23	1,37
černé uhlí	100	0	7,29	7,71	8,32	27,44	0,34

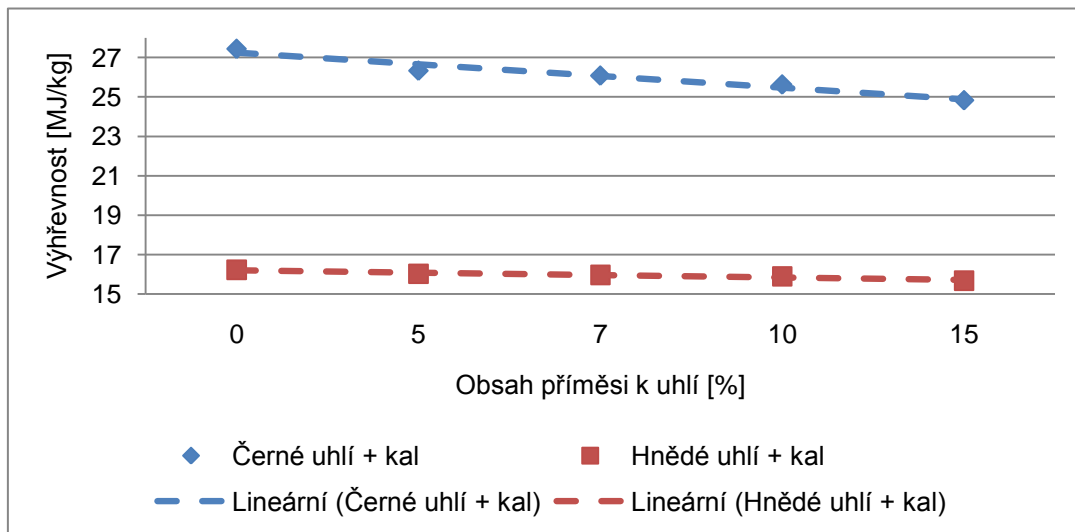
### **Analýza vzorků s různou příměsí čistého uhelného kalu**

V případě vzorku čistého kalu v kombinaci s hnědým uhlím je obsah vody prakticky stejný u všech vzorků s mírným trendem snižujících hodnot s vyšším přídatkem CaO. To odpovídá tomu, že vzorek kalu má mírně vyšší obsah vody než vzorek hnědého uhlí a přídatkem kalu k hnědému uhlí dochází ke zvyšování obsahu vody. Stejná situace nastala i v případě obsahu popela a potvrzuje vyšší popelnatost u vzorku černouhelného kalu. V případě výhřevnosti opět docházelo k jejímu poklesu v závislosti na množství přidaného kalu, jehož výhřevnost byla mírně nižší než hnědé uhlí. Uhlí s přídatkem 15% kalu má přesto hodnotu výhřevnosti srovnatelnou s hodnotami běžně používaných energetických uhlí. Nižší obsah síry opět způsobil její postupné snižování v závislosti na přídatku černouhelného kalu.

V případě kombinace čistého kalu s černým uhlím docházelo k postupnému zvyšování obsahu vody, jelikož obsah vody ve vzorku kalu byl vyšší než u vzorku černého uhlí. Vyšší obsah popela v čistém kalu způsobil zvyšování obsahu popela ve směsném vzorku, jelikož černé uhlí mělo obsah popela zhruba o 75% nižší. Přesto je hodnota obsahu popela u vzorku s přídatkem 15% kalu na úrovni kvalitních druhů černých uhlí. Stejně tak hodnota výhřevnosti klesala až na hodnotu 24,83 MJ/kg. Tato hodnota je taktéž přijatelnou hodnotou u černých uhlí, používaných k energetickým účelům. Hodnota síry se výrazně neměnila.



Graf č. 8: Vliv obsahu příměsi kalu na výhřevnost směsí

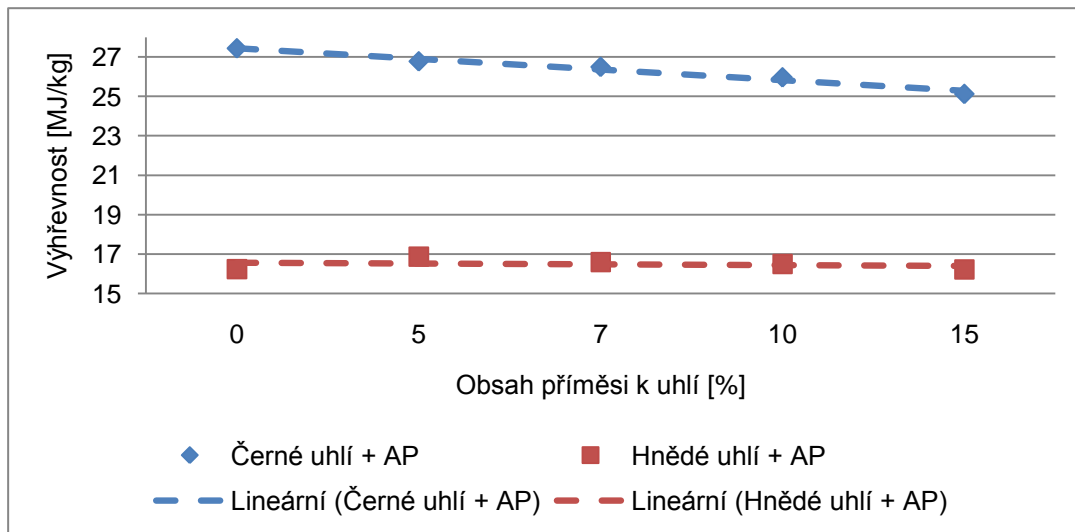


### Analýza vzorků s různou příměsí alternativního paliva (20% CaO)

U vzorků připravených kombinací s hnědým uhlím opět klesal obsah vody s postupným přidavkem vzorku AP (20% CaO). Obsah popela se zvyšoval, přesto by tato hodnota dramaticky neovlivnila průběh spalování při provozním použití. Výhřevnost měla sestupný trend. Obsah síry se výrazně snížil a došlo k jeho poklesu o cca 20%.

U vzorků připravených kombinací s černým uhlím obsah vody narůstal pozvolněji než v případě použití čistého černouhelného kalu, což potvrzuje nižší hodnotu obsahu vody u vzorku AP (CaO 20%). Stejně tak naopak výrazně rostl obsah popela. Výhřevnost klesala pozvolně a výsledná hodnota je opět velmi reálně použitelná pro energetické účely. Hodnota síry se výrazně neměnila z důvodu podobných hodnot u vstupních vzorků černého uhlí a AP (CaO 20%).

Graf č. 9: Vliv obsahu příměsi AP na výhřevnost směsí



#### 4.2.2. Obsah chloru, emisní faktor, prchavá hořlavina a teploty tavitelnosti

Přehled výsledků stanovení obsahu chloru, prchavé hořlaviny, emisního faktoru a teplot tavitelnosti popela v oxidační atmosféře je uveden v tabulce č.7.

Emisní faktor je údaj, který slouží pro výpočet množství emitovaného CO<sub>2</sub>. Jeho hodnota je používána v rámci obchodování s emisními povolenkami. V tabulce je uveden trend jeho vývoje. Platí, že čím nižší hodnota, tím méně emisí CO<sub>2</sub>. Tento údaj by měl potencionálním zákazníkům posloužit pro případ provozního použití na konkrétním energetickém zdroji. Stejně tak hodnota prchavé hořlaviny je provozní údaj pro potřeby spalování paliva na konkrétním zdroji.

Tabulka č. 7: Obsah chloru, emisní faktor a teploty tavitelnosti (AP obsahovalo 20% CaO)

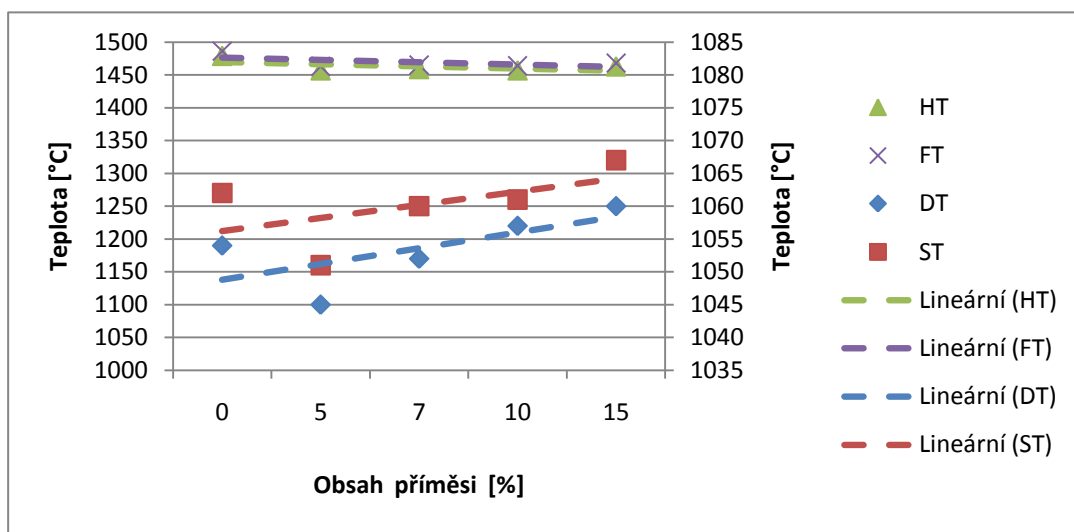
Popis vzorku	Poměr složek		Emisní faktor	$V^{daf}$	Cl	DT	ST	HT	FT
	Uhlí [%]	AP [%]	[t CO <sub>2</sub> /TJ]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
černé uhlí + AP	85	15	90,13	38,84	0,0075 ± 0,0008	1048	1055	1249	1254
černé uhlí + AP	90	10	90,49	38,6	0,0075 ± 0,0008	1050	1058	1291	1296
černé uhlí + AP	93	7	90,12	38,4	0,0062 ± 0,0006	1048	1056	1301	1308
černé uhlí + AP	95	5	90,37	38,27	0,0060 ± 0,0006	1038	1046	1289	1294
hnědé uhlí + AP	85	15	93,05	53,44	0,0101 ± 0,0010	1039	1047	1304	1311
hnědé uhlí + AP	90	10	92,3	53,31	0,0077 ± 0,0008	1041	1048	1300	1305
hnědé uhlí + AP	93	7	92,54	53,12	0,0082 ± 0,0008	1060	1066	1303	1311
hnědé uhlí + AP	95	5	92,37	53,26	0,0056 ± 0,0006	1045	1052	1339	1346
černé uhlí + kal	85	15	91,31	36,97	0,0142 ± 0,0014	1060	1067	1463	1468
černé uhlí + kal	90	10	91,23	36,84	0,0141 ± 0,0014	1057	1061	1457	1464
černé uhlí + kal	93	7	90,82	36,88	0,0083 ± 0,0008	1052	1060	1459	1465
černé uhlí + kal	95	5	91,47	36,88	0,0112 ± 0,0011	1045	1051	1457	1463
hnědé uhlí + kal	85	15	93,8	50,44	0,0312 ± 0,0031	1029	1036	1447	1453
hnědé uhlí + kal	90	10	93,1	51,26	0,0110 ± 0,0011	1040	1047	1460	1466
hnědé uhlí + kal	93	7	93,36	51,65	0,0120 ± 0,0012	1035	1042	1452	1458
hnědé uhlí + kal	95	5	93,25	52,39	0,0476 ± 0,0047	1026	1034	1472	1476
hnědé uhlí	100	0	95,09	53,71	0,0050 ± 0,0005	1061	1068	1468	1475
černé uhlí	100	0	91,05	36,4	0,0117±0,0012	1054	1062	1479	1486

### Analýza vzorků s různou příměsí čistého uhelného kalu

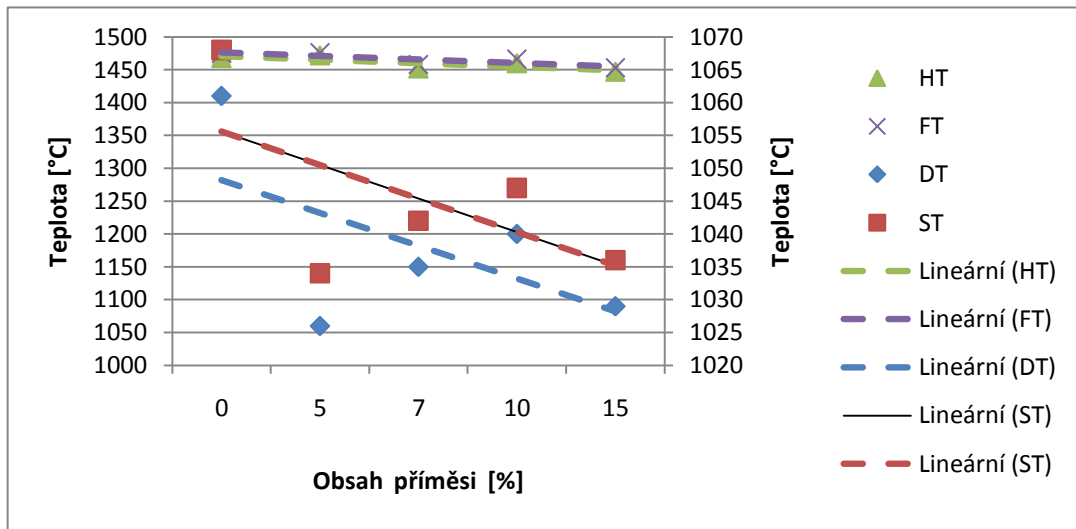
V případě vzorku čistého kalu v kombinaci s hnědým uhlím dochází ke zvyšování obsahu chloru ve výsledném vzorku. Toto koresponduje s vysokým obsahem chloru v černouhelném kalu. Přesto jsou hodnoty chloru ve směsných vzorcích v toleranci s hodnotami u hnědých uhlí. Teploty tavitelnosti se výrazně neměnily z důvodu podobných hodnot u vstupních vzorků kalu a hnědého uhlí.

V případě vzorku čistého kalu v kombinaci s černým uhlím docházelo opět ke zvyšování se vzrůstajícím přídávkem kalu. Zjištěné hodnoty jsou však nižší než u hnědého uhlí z důvodu extrémně nízkého obsahu chloru u černého uhlí. Hodnoty teplot tavitelnosti se opět výrazně neměnily.

Graf č. 10: Vliv obsahu příměsí uhelného kalu na spalné teplo černého uhlí



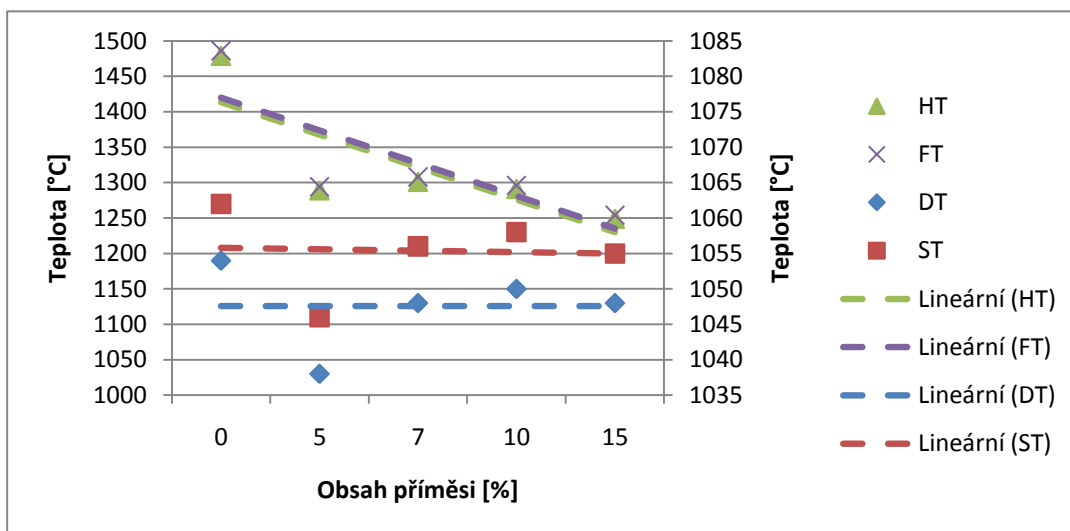
Graf č. 11: Vliv obsahu příměsi uhelného kalu na spalné teplo hnědého uhlí



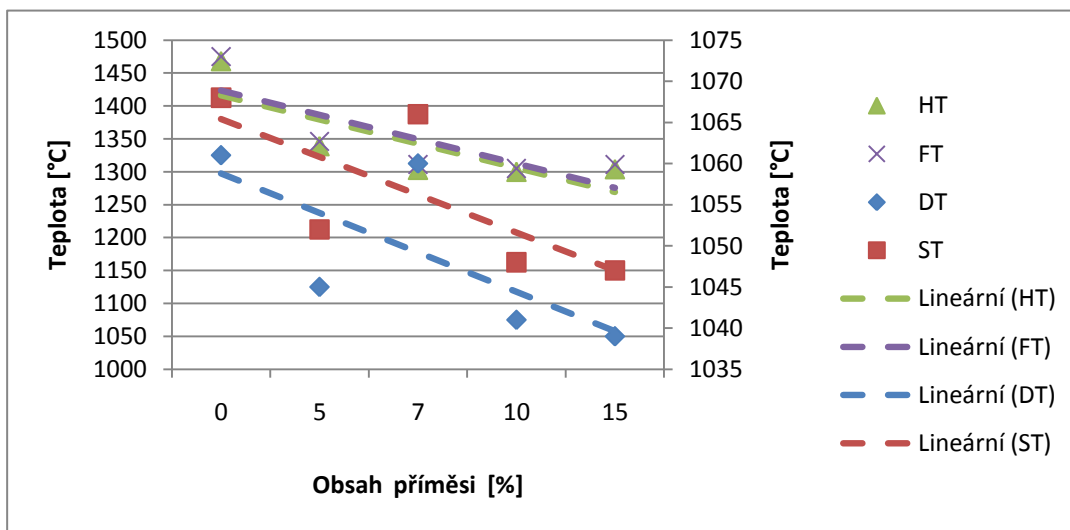
### Analýza vzorků s různou příměsí alternativního paliva (20% CaO)

Při kombinaci vzorku AP (CaO 20%) s hnědým uhlím byly zjištěny nižší hodnoty než u vzorků připravených kombinací s čistým kalem. Toto bylo způsobeno nižším obsahem chloru ve vstupním vzorku AP (CaO 20%). V případě hodnot teplot tavitelnosti byly zjištěny nízké hodnoty, což koresponduje se zjištěnými hodnotami u vzorku AP (CaO 20%). Přídavek CaO ke vzorku kalu způsobuje pokles teplot tavitelnosti. U vzorků připravených kombinací s černým uhlím byly zjištěny nejnižší hodnoty obsahu chloru, což je potvrzení nejnižších hodnot u vstupních vzorků černého uhlí a AP(CaO 20%).

Graf č. 12: Vliv obsahu příměsi AP na spalné teplo černého uhlí



Graf č. 13: Vliv obsahu příměsi AP na spalné teplo hnědého uhlí



#### 4.2.3. Stanovení stupně odsíření

Nejočekávanější analýzou bylo stanovení stupně odsíření připravených směsí, výsledky těchto analýz jsou uvedeny v tabulce č.8 a č.9. Stupeň odsíření byl stanoven stejným způsobem jako v první etapě, tedy vzorky byly nejdříve vysušeny v sušárně při teplotě 105 – 110°C do konstantní hmotnosti. Vysušené vzorky byly následně žihány v muflové peci při teplotě 900°C s postupným nárůstem teploty a s časovou prodlevou (30 min.) při teplotě 700°C. Celková doba žihání aditivovaných dílčích vzorků byla 10 hodin. Obsah síry byl opět přepočten

na stejný obsah popela. U takto přepočtených vzorků bylo již možné stanovit obsah síry, která přešla během spalování do popelovin a která emitovala.

Tabulka č. 8: Obsah síry v popelu (AP obsahovalo 20% CaO)

Popis vzorku	Poměr složek		$W_t^r$	$A^r$	$A^d$	$S^d$	$S^{pop}$
	Uhlí [%]	AP [%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
černé uhlí + AP	85	15	7,8	14,32	15,53	0,27	3,18
černé uhlí + AP	90	10	7,63	11,83	12,81	0,31	3,74
černé uhlí + AP	93	7	7,53	10,37	11,21	0,29	3,44
černé uhlí + AP	95	5	7,46	9,31	10,06	0,32	2,46
hnědé uhlí + AP	85	15	23,36	20	26,10	1,15	3,41
hnědé uhlí + AP	90	10	24,11	18,09	23,84	1,31	2,6
hnědé uhlí + AP	93	7	24,56	17,01	22,55	1,38	1,97
hnědé uhlí + AP	95	5	24,85	15,79	21,01	1,37	1,47
černé uhlí + kal	85	15	9,61	12,86	14,23	0,31	0,44
černé uhlí + kal	90	10	8,83	11,15	12,23	0,37	0,35
černé uhlí + kal	93	7	8,37	10,15	11,08	0,35	0,4
černé uhlí + kal	95	5	8,07	9,51	10,34	0,35	0,23
hnědé uhlí + kal	85	15	25,17	19,01	25,41	1,36	0,38
hnědé uhlí + kal	90	10	25,31	18,23	24,41	1,42	0,43
hnědé uhlí + kal	93	7	25,4	17,64	23,65	1,47	0,36
hnědé uhlí + kal	95	5	25,46	17,29	23,19	1,48	0,34

Z výsledků vyplývá, že stupeň odsíření roste s rostoucím přídatkem samotného kalu i vzorku připraveného kombinací kalu a CaO 20%.

Tabulka č. 9: Stanovení laboratorního stupně odsíření (AP obsahovalo 20% CaO)

Popis vzorku	Poměr složek		S v popelu přepočtená	emise síry	% odsíření	balasty
	Uhlí [%]	AP [%]	[%]	[%]	[%]	[%]
černé uhlí + AP	85	15	0,49	-0,22	182,91	23,33
černé uhlí + AP	90	10	0,48	-0,17	154,55	20,44
černé uhlí + AP	93	7	0,39	-0,1	132,97	18,74
černé uhlí + AP	95	5	0,25	0,07	77,34	17,52
hnědé uhlí + AP	85	15	0,89	0,26	77,39	49,46
hnědé uhlí + AP	90	10	0,62	0,69	47,32	47,95
hnědé uhlí + AP	93	7	0,44	0,94	32,19	47,11
hnědé uhlí + AP	95	5	0,31	1,06	22,54	45,86
černé uhlí + kal	85	15	0,06	0,25	20,2	23,84
černé uhlí + kal	90	10	0,04	0,33	11,57	21,06
černé uhlí + kal	93	7	0,04	0,31	12,66	19,45
černé uhlí + kal	95	5	0,02	0,33	6,79	18,41
hnědé uhlí + kal	85	15	0,1	1,26	7,1	50,58
hnědé uhlí + kal	90	10	0,1	1,32	7,39	49,72
hnědé uhlí + kal	93	7	0,09	1,38	5,79	49,05
hnědé uhlí + kal	95	5	0,08	1,4	5,33	48,65

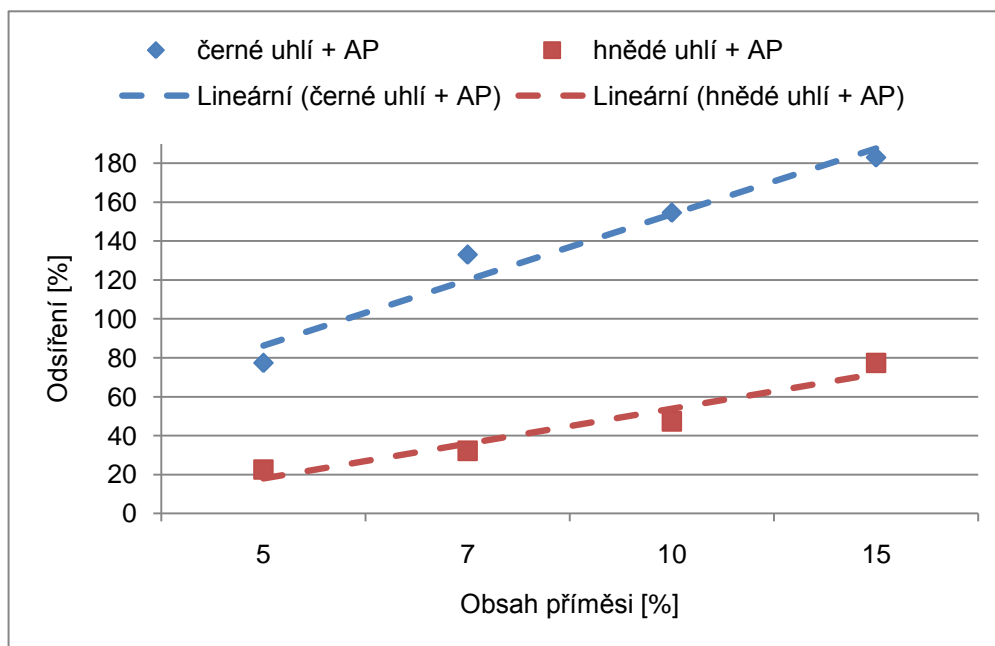
### Analýza vzorků s různou příměsí čistého uhelného kalu

V případě vzorků čistého kalu nebyl zaznamenán vysoký stupeň odsíření ani u kombinace s černým ani s hnědým uhlím. Samotný kal sice obsahuje vysoký



podíl CaO, ten přesto nevstupuje do reakce odsíření a odsíření se pohybovalo na průměrné hranici 7% u hnědého uhlí resp. 15% u černého uhlí. V případě obsahu balastních látek nedošlo k výraznému navýšení a pohybovalo se na úrovni 49% u hnědého uhlí resp. 19% u černého uhlí.

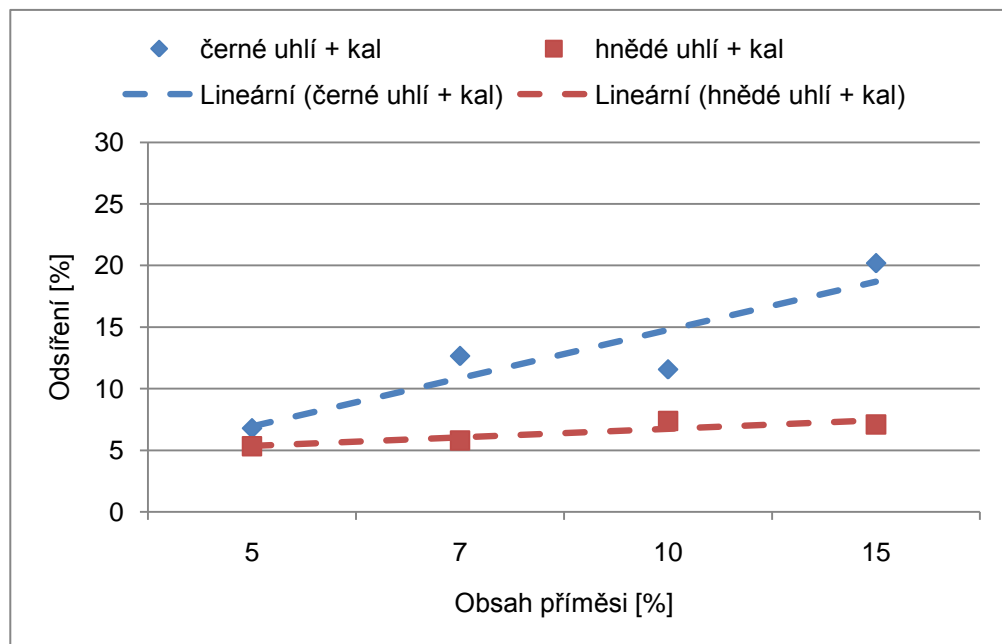
Graf č. 14: Vliv obsahu příměsi AP na odsíření



### Analýza vzorků s různou příměsí alternativního paliva (20% CaO)

Opačná situace nastala v případě kombinací vzorku AP (CaO 20%). V případě hnědého uhlí byl zaznamenán výrazný vzestup stupně odsíření od 22 až do 77%. V případě černého uhlí byl vysoký stupeň odsíření zaznamenán již s přídávkem 5% hm. vzorku kalu v kombinaci s AP (20% CaO). Tento stupeň výrazně rostl a již další vzorek vykazoval prakticky stoprocentní odsíření. Z výsledků je tedy patrné, že při spoluspalování s černým uhlím bude potřeba zvolit vhodnější poměr mezi černým uhlím a alternativním palivem nebo upravit obsah CaO v samotném alternativním palivu.

Graf č. 15 : Vliv obsahu příměsi kalu na odsíření



## 5. Technicko-ekonomický model

Zpracování technicko-ekonomického modelu má být potvrzením předpokladu, že využití upravených uhelných kalů je z technicko-ekonomického hlediska reálné. První laboratorní zkoušky uvedené v kapitole číslo čtyři k tomuto zpracování rovněž vybízí. Nepředpokládá se, že technologické zařízení pro výrobu alternativního paliva bude pořizovat a provozovat každý větší spotřebitel. Větší šance na realizaci výroby alternativního paliva je spojována s podnikatelským záměrem jednoho podnikatelského subjektu. Technicko-ekonomický model bude tedy sestavován jako podklad pro investiční rozhodování tohoto *jednoho* podnikatelského subjektu. Postup zpracování technicko-ekonomického modelu:

- Kvantifikace možnosti uplatnění upravených kalů v tepelných elektrárnách, teplárnách
- Popis jednotlivých druhů přínosů a matematický model jejich vyčíslení
- Popis jednotlivých druhů nákladů a matematický model jejich vyčíslení
- Lokačně-alokační problém umístění jednotlivých výrobních jednotek na přípravu upravených uhelných kalů a vyčíslení investičních nákladů na jejich pořízení
- Výpočet ekonomických údajů pro konkrétní dodavatelsko-odběratelské relace stanovené optimalizací rozmístění výrobních kapacit
- Vyhodnocení investičního záměru

### **5.1. Kvantifikace možností uplatnění upravených uhelných kalů jako alternativního paliva**

Jak již bylo v předchozím textu zmíněno, okruh potencionálních zákazníků je třeba hledat především v energetice (elektrárny a teplárny), hutnictví a výrobě cementu. Ze statistiky roku 2006 vyplývá, že bylo u 105 spotřebitelů hnědého uhlí s roční spotřebou nad 2 500 t a bylo spáleno celkem 42 594 tis. t hnědého uhlí a 4 256 tis. t černého uhlí. Rozmístění spotřebitelů na území České republiky se

podle jednotlivých krajů diametrálně odlišuje. Následující tabulka ukazuje, že rozhodující roli v umístění kraje poloha zdroje uhlí. Spotřeba hnědého uhlí jednoznačně dominuje v severozápadních Čechách (Ústecký a Karlovarský kraj). Pokud se jedná o černé uhlí, zde naopak převládá spotřeba v Moravskoslezském kraji, tedy u zdroje ostravsko-karvinského revíru a přeshraničního revíru v Polsku. Dle statistik celkových spotřeb hnědého a černého uhlí v následujících letech je spotřeba obdobná a dá se předpokládat, že podíl spotřeby dle jednotlivých krajů se nemění.

Tabulka č. 10: Rozdělení spotřeby uhlí podle krajů

Kraj	Hnědé uhlí		Černé uhlí	
	tis. T	Podíl	tis. T	Podíl
Středočeský + Praha	5 534	13,0%	402	9,4%
Ústecký + Karlovarský	28 410	66,7%	0	0,0%
Plzeňský	1 294	3,0%	0	0,0%
Liberecký	6	0,0%	0	0,0%
Pardubický + Hradecký	4 900	11,5%	277	6,5%
Jihočeský	934	2,2%	0	0,0%
Vysočina	55	0,1%	0	0,0%
Jihomoravský	467	1,1%	0	0,0%
Olomoucký	230	0,5%	353	8,3%
Moravsko -slezský	107	0,3%	3 194	75,0%
Zlínský	657	1,5%	30	0,7%
<b>Celkem spotřeba</b>	<b>42 594</b>	<b>100,0%</b>	<b>4 256</b>	<b>100,0%</b>

Po několika diskuzích s odborníky z oboru jsme došli k závěru, že je možno počítat s tím, že upravené uhelné kaly (UKA) na alternativní palivo mohou nahradit minimálně 10% až 15% současné spotřeby černého nebo hnědého uhlí. Pro další výběr potencionálních zákazníků je jedním z rozhodujících hledisek přepravní vzdálenost ke zdroji uhelných kalů, mletého vápna nebo k výrobně upravených uhelných kalů. Z tohoto důvodu byly z okruhu potencionálních zákazníků vyloučeni spotřebitele v krajích: Ústecký, Karlovarský, Plzeňský, Liberecký a Jihočeský. Přepravní náklady by efektivnost celého projektu velmi výrazně snížily. Přes

vyločení těchto největších spotřebitelů hnědého uhlí, pořád zůstává víc než dostatečná možnost uplatnění alternativního paliva. Stejně tak je proti předpokladu odborníků do níže uvedené výpočtové tabulky možnosti uplatnění upravených uhelných kalů jako alternativního paliva vloženo pouze 7%-ní náhrada a tím byla tedy určena hranice spotřeby na 1000 kt upravených kalů ročně za limitní. Limitem je jak zdroj mletého vápna, tak i zdroj vlastních uhelných kalů. Tímto postupem jsou dle dostupných informací kvantifikovány možnosti uplatnění upravených uhelných kalů a následující tabulka je dokládá. Seznam určitě neuvádí všechny možnosti uplatnění a na kvantifikaci možného uplatnění upravených uhelných kalů proto nahlížejme jako na minimální možnosti.

Tabulka č. 11: Uplatnění uhelných kalů

Číslo	Název firmy:	Místo provozovny:	Spotřeba ČU v r. 2006 v kt	Spotřeba HU v r. 2006 v kt	Předpokla d spotřeby UKA v kt
1	ČEZ a.s. Praha	Elektrárna Dětmorovice	900		63
2	ČEZ a.s. Praha	Elektrárna Chvaletice		2 328	163
3	ČEZ a.s. Praha	Elektrárna Mělník II,III		2 304	161
4	ČEZ a.s. Praha	Elektrárna Poříčí	30	392	30
5	ČEZ a.s. Praha	Elektrárna Hodonín		457	32
6	ArcelorMittal Ostrava a.s.	ArcelorMittal Ostrava a.s.	790		55
7	IP Opatovice	Elektrárna Opatovice		1 866	131
8	Dalkia Česká republika, a.s.	Teplárna Olomouc		174	12
9	Dalkia Česká republika, a.s.	ETB Ova - Třebovice	628		44
10	Dalkia Česká republika, a.s.	Přerov	310		22
11	Dalkia Česká republika, a.s.	Karviná	215		15
12	ENERGETIKA TŘINEC, a.s.	Třinec	200		14
13	ECKG Kladno	Kladno	190	799	69
14	Synthesia, a.s.	Pardubice - Semtín	187		13
15	ENERGOTRANS a.s.	Elektrárna Mělník I		1 630	114
16	Pražská teplárenská a.s.	Teplárna Malešice	153		11
17	Atel Energetika Zlín s.r.o.	Teplárna Zlín	30	313	24
18	Teplárna Otrokovice a.s.	Teplárna Otrokovice		285	20
19	Holcim (Česko) a.s.	Prachovice	60		4
<b>Celkem předpokládané uplatnění UKA v kt</b>					<b>997</b>

## **5.2. Jednotlivé druhy přínosů a matematický model jejich vyčíslení**

Popis jednotlivých druhů přínosů použití alternativního paliva jako doplňkového paliva v tepelných elektrárnách a teplárnách

$P_1$  – Náhrada hnědého/černého uhlí

$$P_1 = M_{hu} \times C_{hu}, \text{ kde} \quad (11)$$

$C_{hu}$  = cena hnědého uhlí v Kč/t

V dalším zpracování bude množství nahrazeného hnědého uhlí  $M_{hu}$  [t] zjištěno dle rovnice vyjadřující stejné množství dodaného tepla:

$$M_{hu} \times Q_{hu} = M_{uka} \times Q_{uka}, \text{ kde} \quad (12)$$

$M_{uka}$  = množství upravených kalů (alternativního paliva)

$Q_{hu}$  = výhřevnost hnědého uhlí v rozmezí 12 – 17 [GJ/t]

$Q_{uka}$  = výhřevnost upravených uhelných kalů v rozmezí 9,5 – 12,5 [GJ/t]

$$P_1 = M_{uka} \times C_{hu} \times Q_{uka} / Q_{hu} \quad (13)$$

Stejný způsob propočtu přínosu  $P_1$  platí i pro případ použití upravených kalů jako doplňkového paliva při spalování černého uhlí.

$$P_1 = M_{uka} \times C_{cu} \times Q_{uka} / Q_{cu}, \text{ kde} \quad (14)$$

$Q_{cu}$  = výhřevnost černého uhlí

$C_{cu}$  = cena černého uhlí v Kč/t

Správnost výpočtu množství nahrazeného uhlí (hnědého i černého) alternativním palivem metodou porovnání výhřevností obou druhů uhlí a alternativního paliva byla ověřena pomocí naměřených hodnot uvedených v kapitole číslo čtyři. K ověření bylo použito naměřených výsledků směsí hnědého, resp. černého uhlí s alternativním palivem, které je označeno jako AP(20%CaO), což je uhelný kal upravený 20%-ním podílem mletého vápna. V následujících

tabulkách je vypočtena teoretická výhřevnost směsi uhlí a alternativního paliva a je porovnána se skutečně naměřenými hodnotami.

Hnědé uhlí:

Výhřevnost  $Q_{uka} = 10,37$  MJ/kg

Výhřevnost  $Q_{hu} = 16,23$  MJ/kg

Tabulka č. 12: Tabulka výhřevností HU

Podíl AP20%CaO jako náhrada hnědé uhlí	Výsledná výhřevnost		
	vypočtená	zjištěná	rozdíl
15,00%	15,35	16,22	0,87
10,00%	15,64	16,49	0,85
7,00%	15,82	16,59	0,77
5,00%	15,94	16,87	0,93

Černé uhlí:

Výhřevnost  $Q_{uka} = 10,37$  MJ/kg

Výhřevnost  $Q_{cu} = 27,44$  MJ/kg

Tabulka č. 13: Tabulka výhřevností ČU

Podíl AP20%CaO jako náhrada černého uhlí	Výsledná výhřevnost		
	vypočtená	zjištěná	rozdíl
15,00%	24,88	25,13	0,25
10,00%	25,73	25,97	0,24
7,00%	26,25	26,50	0,25
5,00%	26,59	26,78	0,19

Ve všech případech je naměřená hodnota výhřevnosti vyšší než teoreticky vypočtená z příslušné směsi. Z toho vyplývá, že je možno tento teoretický výpočet používat a tento postup nenadhodnotí přínos, ale naopak jej vyčíslí s určitou malou rezervou.

*P<sub>2</sub> – Náhrada mletého vápence při odsiřování kouřových plynů*

Z chemických rovnic vyplývá následující teoretický výpočet:

0,56 t CaO (ml. vápno) při vysoušení uhelného kalu vyprodukuje 0,74 t Ca(OH)<sub>2</sub> (vápený hydrát), které na sebe naváže stejné množství síry jako 1 t CaCO<sub>3</sub> (mletý vápenec). Přínos spočívající v úspoře mletých vápenců, které se v současné době k odsiřování užívají, lze vyjádřit následovně:

$$P_2 = M_{\text{mvpc}} \times C_{\text{mvpc}} \quad (15)$$

$C_{\text{mvpc}}$  = cena mletého vápence

V dalším zpracování bude množství nahrazeného mletého vápence stanoveno dle výše uvedené chemické rovnice

$$P_2 = (1/0,56) \times M_{\text{va}} \times C_{\text{mvpc}} = 1,7857 \times M_{\text{uka}} \times PO_{\text{vap}} \times C_{\text{mvpc}}, \text{ kde} \quad (16)$$

$PO_{\text{vap}}$  = podíl vápna (CaO) v upravených kalech (alternativním palivu)

*P<sub>3</sub> – Snížení emise CO<sub>2</sub>*

Emise CO<sub>2</sub> vznikají ze dvou zdrojů a to:

- 1) při vlastním hoření uhlí
- 2) při odsiřování kouřových plynů pomocí mletého vápence (CaCO<sub>3</sub>) dochází k uvolňování oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) do ovzduší.

Ad1) Při spalování uhlí odchází do ovzduší CO<sub>2</sub> a množství jeho emise je závislá na druhu paliva. Matematicky je závislost množství emisí na druhu paliva vyjádřena emisním faktorem, který dává do vzájemné závislosti množství emise v t CO<sub>2</sub> na výhřevnosti paliva. Následující tabulka podává základní přehled emise CO<sub>2</sub> při hoření vzorků černého a hnědého uhlí samostatně a s doplňkem alternativního paliva, kterým jsou upravené kaly s 20%-ním podílem vápna. Alternativní palivo je použito jako 15%, 10%, 7% a 5%-ní doplněk základního paliva. Celkové emise CO<sub>2</sub> jsou vypočteny jako součin výhřevnosti paliva [GJ/t] a jeho emisního faktoru [t CO<sub>2</sub>/TJ]. Výpočet je poté mírně upraven násobením oxidačním faktorem



(bezrozměrné číslo). Pokles emisí při použití alternativního paliva jako doplňku je z výpočtu patrný.

Tabulka č. 14: Výpočet emisí při použití podílu alternativního paliva

Základní palivo	Podíl alternativního paliva AP20%CaO	Výhřevnost	Emisní faktor	Oxidační faktor	Celkové emise CO <sub>2</sub> z 1 t paliva
		GJ/t	t CO <sub>2</sub> /TJ	0 - 1	t CO <sub>2</sub>
hnědé uhlí	0%	16,23	95,09	0,99	1,53
hnědé uhlí	15%	16,22	93,05	0,99	1,49
hnědé uhlí	10%	16,49	92,30	0,99	1,51
hnědé uhlí	7%	16,59	92,54	0,99	1,52
hnědé uhlí	5%	16,87	92,37	0,99	1,54
černé uhlí	0%	27,44	91,05	0,99	2,47
černé uhlí	15%	25,13	90,13	0,99	2,24
černé uhlí	10%	25,97	90,49	0,99	2,33
černé uhlí	7%	26,50	90,12	0,99	2,36
černé uhlí	5%	26,78	90,37	0,99	2,40

Pro technicko-ekonomický model je třeba zjistit, jaké snížení emisí CO<sub>2</sub> přinese použití 1 t alternativního paliva. V předchozí tabulce byly vypočteny emise CO<sub>2</sub> při spálení:

$$1 \text{ tuny hnědé uhlí} = E_{\text{HU}} [\text{t CO}_2/\text{1t paliva}]$$

$$1 \text{ tuny směsi hnědé uhlí + alternativního paliva} = E_{\text{HU+AP}} [\text{t CO}_2/\text{1t paliva}]$$

$$1 \text{ tuny černého uhlí} = E_{\text{CU}} [\text{t CO}_2/\text{1t paliva}]$$

$$1 \text{ tuny směsi černého uhlí + alternativního paliva} = E_{\text{CU+AP}} [\text{t CO}_2/\text{1t paliva}]$$

Pro zjištění snížení emisí CO<sub>2</sub> je třeba vycházet z takového množství směsi hnědé, resp. černého uhlí a alternativního paliva, které odpovídá výhřevnosti 1 tuny hnědé, resp. černého uhlí. Tento přepočítá podílem výhřevností hnědé uhlí  $Q_{\text{HU}}$  (černého uhlí  $Q_{\text{CU}}$ ) a výhřevnosti směsi hnědé uhlí a alternativního paliva  $Q_{\text{HU+AP}}$ , resp. směsi černého uhlí a alternativního paliva

$Q_{CU+AP}$ . Takže nahrazení 1 tuny hnědého uhlí směsí hnědého uhlí a alternativního paliva v potřebném množství pro dodání stejného množství tepla bude přinášet následující snížení emisí t CO<sub>2</sub>:

$$\text{snížení emisí t CO}_2 = E_{HU+AP} \times Q_{HU} / Q_{HU+AP} - E_{HU} \quad (17)$$

z čehož přepočít na 1t směsi hnědého uhlí a alternativního paliva bude následující:

$$\text{snížení emisí t CO}_2 \text{ připadající na 1 t směsi} = (E_{HU+AP} \times Q_{HU} / Q_{HU+AP} - E_{HU}) \times Q_{HU+AP} / Q_{HU} \quad (18)$$

a nyní zbývá provést přepočít snížení emisí, které přináší 1 t alternativního paliva. Tento propočít je proveden dělením předchozího vzorce podílem doplňku alternativního paliva  $PO_{AP}$ .

$$1 \text{ t AP sníží emise CO}_2 = ((E_{HU+AP} \times Q_{HU} / Q_{HU+AP} - E_{HU}) \times Q_{HU+AP} / Q_{HU}) / PO_{AP}, \quad (19)$$

při doplnění (náhradě) hnědého uhlí jako základního paliva.

$$\text{Pro případ doplňku (náhrady) černého uhlí platí obdobně snížení emise CO}_2 = ((E_{CU+AP} \times Q_{CU} / Q_{CU+AP} - E_{CU}) \times Q_{CU+AP} / Q_{CU}) / PO_{AP}. \quad (20)$$

Následující tabulka dle těchto matematických formulací vyčísluje snížení emisí CO<sub>2</sub>, které připadají na 1 tunu alternativního paliva v různých podílech doplňku k základnímu palivu:

Tabulka č. 15: Výsledky snížení emisí CO<sub>2</sub>

Základní palivo	Podíl alternativního paliva AP20%CaO	Výhřevnost	Emisní faktor	Celkové emise CO <sub>2</sub> z 1 t paliva	1 t AP přináší snížení emisí
	PO <sub>AP</sub>				
hnědé uhlí	0%	16,23	95,09	1,528	0,0000
hnědé uhlí	15%	16,22	93,05	1,494	-0,2207
hnědé uhlí	10%	16,49	92,30	1,507	-0,4550
hnědé uhlí	7%	16,59	92,54	1,520	-0,5986
hnědé uhlí	5%	16,87	92,37	1,543	-0,9060
černé uhlí	0%	27,44	91,05	2,473	0,0000
černé uhlí	15%	25,13	90,13	2,242	-0,1520
černé uhlí	10%	25,97	90,49	2,327	-0,1350
černé uhlí	7%	26,50	90,12	2,364	-0,3471
černé uhlí	5%	26,78	90,37	2,396	-0,3500

Hodnoty snížení emisí, které přináší 1 t alternativního paliva vykazují dost značný rozdíl, který zatím neumím vysvětlit. Důvodem však určitě bude pouze jedno měření. Do budoucna bude třeba provést měření většího počtu vzorků. Pro další vyhodnocení přínosu alternativních paliv budu z důvodu opatrnosti v této práci počítat s nejnižší hodnotou u hnědého uhlí, tj. přínos 1 t alternativního paliva ve výši – 0,2207 t CO<sub>2</sub> a u černého uhlí je přínos 1 t alternativního paliva ve výši – 0,1350 t CO<sub>2</sub>.

Finanční vyjádření snížení emisí je potom:

$$P_{3ad1}) = M_{po} \times C_{po} \quad (21)$$

$C_{po}$  = cena povolenky na vypuštění 1 t CO<sub>2</sub> do ovzduší

$M_{po}$  = množství uspořené povolenek, které vypočteme násobením celkového množství alternativního paliva jeho jednotkovým přínosem ve snížení emisí.

$$M_{po} = 0,2207 \times M_{uka} \dots\dots\dots \text{pro alternativní palivo jako doplněk k hnědému uhlí}$$

$$M_{po} = 0,1350 \times M_{uka} \dots\dots\dots \text{pro alternativní palivo jako doplněk k černému uhlí}$$

$$P_{3 \text{ ad1})} = 0,2207 \times M_{\text{uka}} \times C_{\text{po}} \dots\dots \text{pro alternativní palivo jako doplněk k hnědému uhlí} \quad (22)$$

$$P_{3 \text{ ad1})} = 0,1350 \times M_{\text{uka}} \times C_{\text{po}} \dots\dots \text{pro alternativní palivo jako doplněk k černému uhlí} \quad (23)$$

Ad 2) Z chemických rovnic je možno odvodit, že 1 t mletého vápence ( $\text{CaCO}_3$ ) použitá při odsiřování uvolní do ovzduší 0,44 t oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) – tj. emisní faktor

Nahradíme-li tedy část mletého vápence v procesu odsiřování použitím alternativního paliva, dojde k úspoře emisních povolenek.

$$P_{3\text{ad2})} = M_{\text{po}} \times C_{\text{po}} \quad (24)$$

$M_{\text{po}}$  = množství uspořených povolenek zjistíme z výše uvedené chemické rovnice

$$M_{\text{po}} = 0,44 \times M_{\text{mvpc}} = 0,44 \times (1/0,56) \times M_{\text{va}} = 0,44 \times 1,7857 \times M_{\text{uka}} \times \text{PO}_{\text{vap}}$$

$$M_{\text{po}} = 0,7857 \times M_{\text{uka}} \times \text{PO}_{\text{vap}} \quad (25)$$

$$P_{3\text{ad2})} = 0,7857 \times M_{\text{uka}} \times \text{PO}_{\text{vap}} \times C_{\text{po}} \quad (26)$$

Celkový přínos ze snížení emisí  $\text{CO}_2$  je potom součtem  $P_{3 \text{ ad1})}$  a  $P_{3\text{ad2})}$ :

$$P_3 = M_{\text{uka}} \times C_{\text{po}} \times (0,2207 + 0,7857 \times \text{PO}_{\text{vap}}) - \text{pro alt. palivo jako doplněk k hnědému uhlí} \quad (27)$$

$$P_3 = M_{\text{uka}} \times C_{\text{po}} \times (0,1350 + 0,7857 \times \text{PO}_{\text{vap}}) - \text{pro alt. palivo jako doplněk k černému uhlí} \quad (28)$$

#### *P<sub>4</sub> – Zvýšená produkce popelovin*

Celkové přínosy z uplatnění alternativního paliva je třeba korigovat i o negativní důsledky jejich použití. Tímto negativním důsledkem je v případě použití alternativního paliva jako doplňku k černému uhlí zvýšený vznik popelovin. V kombinaci alternativního paliva s hnědým uhlím tento negativní efekt nepočítám, protože na rozdíl od černého uhlí má vyšší obsah popela na straně jedné a na

straně druhé potom popeloviny vznikají při odsiřování použitím mletého vápence. Pro černé uhlí je vyčíslení tohoto negativního dopadu následující:

$$P_4 = (M_{cu} \times POP_{cu} - M_{uka} \times POP_{uka}) \times C_{pop}, \quad (29)$$

Kde  $POP_{cu}$  je obsah popela v černém uhlí,  $POP_{uka}$  je obsah popela v alternativním palivu a  $C_{pop}$  je cena za ukládání popílku.

Po přepočtu  $M_{cu}$  na bázi  $M_{uka}$  pomocí poměru výhřevností je

$$P_4 = M_{uka} \times (POP_{cu} \times Q_{uka}/Q_{cu} - POP_{uka}) \quad (30)$$

Celkový přínos použití upravených uhelných kalů jako alternativního paliva je dán součtem

$$P = \sum P_i, \text{ kde } i = 1, 2, 3 \text{ a } 4$$

Pro alternativní palivo použité jako doplňkové palivo k hnědému uhlí

$$P = M_{uka} \times (C_{hu} \times Q_{uka} / Q_{hu} + 1,7857 \times PO_{vap} \times C_{mvpc} + (0,2207 + 0,7857 \times PO_{vap}) \times C_{po}) \quad (31)$$

a obdobně při použití jako přídavek k černému uhlí

$$P = M_{uka} \times (C_{cu} \times Q_{uka} / Q_{cu} + 1,7857 \times PO_{vap} \times C_{mvpc} + (0,1350 + 0,7857 \times PO_{vap}) \times C_{po} + POP_{cu} \times Q_{uka}/Q_{cu} - POP_{uka}) \quad (32)$$

Tabulka č. 16: Výpočet přínosu 1t alternativního paliva

	Jednotka	jako doplněk k hnědému uhlí					jako doplněk k černému uhlí				
Podíl vápna v upravených kalech	%	10,7%	13,0%	16,7%	20,0%	23,1%	10,7%	13,0%	16,7%	20,0%	23,1%
Cena povolenky na 1 t CO <sub>2</sub>	Kč/t CO <sub>2</sub>	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Přínos P <sub>3ad2</sub> )	Kč/t	34	41	52	63	73	34	41	52	63	73
1 t AP přináší snížení emisí	t CO <sub>2</sub> /t AP	0,2207	0,2207	0,2207	0,2207	0,2207	0,1350	0,1350	0,1350	0,1350	0,1350
Přínos P <sub>3ad1</sub> )	Kč/t	88	88	88	88	88	54	54	54	54	54
Přínos P <sub>3</sub>	Kč/t	122	129	140	151	161	88	95	106	117	127
Cena mletého vápence	Kč/t	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Přínos P <sub>2</sub>	Kč/t	153	186	239	286	330	153	186	239	286	330
Cena uhlí	Kč/t	1 370	1 370	1 370	1 370	1 370	2 900	2 900	2 900	2 900	2 900
Výhřevnost upravených kalů	GJ/t	10,79	10,88	10,57	10,44	10,11	10,79	10,88	10,57	10,44	10,11
Výhřevnost hnědého /černého uhlí	GJ/t	16,23	16,23	16,23	16,23	16,23	27,44	27,44	27,44	27,44	27,44
Přínos P <sub>1</sub>	Kč/t	911	918	892	881	853	1 140	1 150	1 117	1 103	1 068
Cena za uložení popílku	Kč/t						660	600	600	600	600
Obsah popela v AP	%						41,1%	42,6%	45,0%	47,2%	49,2%
Rozdíl v produkci popelovin	t						0,38	0,40	0,42	0,44	0,46
Přínos P <sub>4</sub>	Kč/t						-251	-237	-252	-266	-278
Celkem přínos	Kč/t	1 186	1 233	1 271	1 318	1 344	1 130	1 194	1 210	1 240	1 247

### 5.3. Popis jednotlivých druhů nákladů a matematický model jejich vyčíslení

Nákladové druhy, se kterými bude v technicko-ekonomickém modelu počítáno:

$N_1$  - Nákup uhelných kalů

$$N_1 = M_{ka} \times C_{ka} \quad (33)$$

$M_{ka}$  = množství nakoupených uhelných kalů [t]. Bude zjišťováno z vypočteného množství upravených uhelných kalů  $M_{uka}$  [t] a jejich složení definované podílem vsázky vápna  $PO_{vap}$  [%]. Dále pak bude výpočet upraven o obsah vody  $PO_{voda}$  [%], která se při výrobě upravených kalů odpaří.

$$N_1 = M_{uka} \times C_{ka} \times (1 - PO_{vap}) / (1 - PO_{voda}) \quad (34)$$

$C_{ka}$  = cena uhelných kalů [Kč/t], momentálně zjištěná cena v Polsku je 10 EUR/t.

### *$N_2$ - Vsázka mletého vápna*

$$N_2 = M_{va} \times C_{va} \quad (35)$$

$M_{va}$  = vsázka vápna [t]. Bude zjišťováno z vypočteného množství upravených uhelných kalů  $M_{uka}$  [t] a jejich složení definované podílem vsázky vápna  $PO_{vap}$  [%].

$C_{va}$  = cena vápna [Kč/t]

### *$N_3$ - Přepravní náklady*

$$N_3 = M_{ka} \times C_{pka} + M_{va} \times C_{pva} + M_{uka} \times C_{puka} \quad (36)$$

$C_{pka}$  = cena přepravy uhelných kalů [Kč/t] vychází z ceny v rozmezí 1,30 až 1,40 Kč/tkm násobené příslušnou vzdáleností od místa těžby uhelných kalů (předpokládáme laguny v Polsku) k místu zpracování na upravený uhlý kal.

$C_{pva}$  = cena přepravy vápna [Kč/t] vychází z ceny v rozmezí 1,10 až 1,20 Kč/tkm násobené příslušnou vzdáleností z VÁPENKY VITOŠOV s.r.o. k místu zpracování na upravený uhlý kal.

$C_{puka}$  = cena přepravy upravených uhelných kalů [Kč/t] vychází z ceny v rozmezí 1,20 až 1,30 Kč/tkm násobené příslušnou vzdáleností od místa výroby upravených uhelných kalů do místa spotřeby.

#### *N<sub>4</sub> - Zpracovací náklady*

$$N_4 = M_{\text{uka}} \times (\text{jednotkové náklady na energie a mzdy}) + \text{odpisy} + \text{výrobní režie} \quad (37)$$

Jednotkové náklady budou stanoveny na základě technických dat jednotlivých druhů reaktorů. Odpisy budou zjišťovány z investičních pořizovacích nákladů a předpokládané minimální doby životnosti 6 roků. Výrobní režie bude stanovena procentní sazbou ze základny „mzdy“.

#### N<sub>41</sub> – Náklady na spotřebu energie

Výrobce zařízení předpokládá měrnou spotřebu 20 kWh/t. Při vhodném rozložení provozu do časů vysokého tarifu a nízkého tarifu se domnívám, že je reálné dosáhnout průměrné ceny 3 Kč/kWh. Takže

$$N_{41} = 60 \text{ Kč/ t výroby upravených kalů}$$

#### N<sub>42</sub> – Osobní náklady

Stanovení osobních nákladů, tzn. mzdové náklady a od nich odvozené sociální náklady vychází z předpokládané obsluhy zařízení v počtu 2 pracovníků. Při hodinové mzdě 125 Kč/hod a hodinovém výkonu 10 t upravených kalů vychází mzdový náklad 25 Kč/t. Podle stávajících předpisů budou sociální náklady (sociální a zdravotní pojištění) činit 35% ze mzdových nákladů. Potom tedy

$$N_{42} = 1,35 \times 25 \text{ Kč/t} = 34 \text{ Kč/t}$$

Pozn. Dá se předpokládat, že potřeba obsluhy 2 pracovníků bude stejná i při vyšších výkonech a osobní náklady na 1 t produkce by mohly být i poloviční. Pro kalkulace a další výpočty však použiju náklady s určitou rezervou.

#### N<sub>43</sub> – Odpisy hmotného majetku

Výše odpisů je odvislá od skladby výrobních jednotek. Od výrobce mám k dispozici orientační ceny dle výkonových parametrů (10, 15, 30, 50 a 100 tis.t/rok). Pro výpočet odpisů uvažuji se 6-ti letou životností zařízení.



Z investičních výdajů a kalkulované produkce, které jsou v investičním záměru předpokládány vychází potom hodnota odpisů na jednotku produkce ve výši 39 Kč/t.

$$N_{43} = 39 \text{ Kč/t}$$

$N_{44}$  – Výrobní a správní režie

Pro stanovení sazby výrobní a správní režie nejsou zatím žádné podklady a proto budou použity kalkulační údaje z obdobných provozů ve VÁPENCE VITOŠOV s.r.o. Tyto režie vypočítám procentní sazbou ze základu, kterým jsou osobní náklady:

Výrobní režie 250% z osobních nákladů, správní režie včetně odbytové režie 200%, tzn. že

$$N_{44} = 4,5 \times N_{42}$$

Dále uvedená tabulka vyčísluje výrobní a expediční náklady dle popsaných matematických formulací a porovnává je s dříve vypočtenými přínosy. Na tuto tabulku je třeba nahlížet jako na obecnou, neboť pro každé spotřební místo budou vyčísleny jiné dopravní náklady a ty v celkové kalkulaci hrají významnou roli (v průměru je počítáno až s 30 % z celkových nákladů). Náklady na přepravu na druhé straně jsou obsaženy také v ceně paliv (hnědé a černé uhlí) a tudíž se projeví i na straně přínosů v ceně uspořené paliva.

Tabulka č. 17: Kalkulace nákladů na 1t alternativního paliva

	Jednotka	jako doplněk k hnědému uhlí					jako doplněk k černému uhlí				
		10,7%	13,0%	16,7%	20,0%	23,1%	10,7%	13,0%	16,7%	20,0%	23,1%
Podíl vápna v upravených kalcích	%	10,7%	13,0%	16,7%	20,0%	23,1%	10,7%	13,0%	16,7%	20,0%	23,1%
Ztráta vody v upravených kalcích	%	1,5%	2,9%	4,8%	6,1%	11,5%	1,5%	2,9%	4,8%	6,1%	11,5%
Potřeba kalů na 1 t upravených kalů	t <sub>kg</sub> /t <sub>uká</sub>	0,907	0,896	0,875	0,852	0,869	0,907	0,896	0,875	0,852	0,869
Cena kalů	Kč/t	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
<b>Nákup kalů N<sub>1</sub></b>	<b>Kč/t</b>	<b>227</b>	<b>224</b>	<b>219</b>	<b>213</b>	<b>217</b>	<b>227</b>	<b>224</b>	<b>219</b>	<b>213</b>	<b>217</b>
Potřeba vápna na 1 t upravených kalů	t <sub>g</sub> /t <sub>uká</sub>	0,107	0,130	0,167	0,200	0,231	0,107	0,130	0,167	0,200	0,231
Cena vápna (exw. Vitošov)	Kč/t	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750
<b>Nákup vápna N<sub>2</sub></b>	<b>Kč/t</b>	<b>187</b>	<b>228</b>	<b>292</b>	<b>350</b>	<b>404</b>	<b>187</b>	<b>228</b>	<b>292</b>	<b>350</b>	<b>404</b>
<b>Ø Přepravní náklady N<sub>3</sub></b>	<b>Kč/t</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>
Spotřeba elektrické energie	kWh/t	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Cena elektrické energie	Kč/kWh	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Spotřeba elektrické energie N <sub>41</sub>	Kč/t	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Hodinová mzda	Kč/hod	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Potřeba pracovníků	osob	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Hodinový výkon	t/hod	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Osobní náklady N <sub>42</sub>	Kč/t	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Odpisy N <sub>43</sub>	Kč/t	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Režijní náklady N <sub>44</sub>	Kč/t	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153
<b>Zpracovací náklady N<sub>4</sub></b>	<b>Kč/t</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>286</b>
<b>Celkem náklady</b>	<b>Kč/t</b>	<b>1 068</b>	<b>1 106</b>	<b>1 165</b>	<b>1 217</b>	<b>1 275</b>	<b>1 068</b>	<b>1 106</b>	<b>1 165</b>	<b>1 217</b>	<b>1 275</b>
<b>Přínosy - náklady</b>	<b>Kč/t</b>	<b>118</b>	<b>127</b>	<b>106</b>	<b>101</b>	<b>69</b>	<b>62</b>	<b>88</b>	<b>45</b>	<b>23</b>	<b>-28</b>

#### **5.4. Lokačně-alokační problém umístění jednotlivých výrobních jednotek na přípravu upravených uhelných kalů a vyčíslení investičních nákladů na jejich pořízení**

Určení počtu výrobních zařízení a jejich umístění je velmi důležitým optimalizačním krokem, protože náklady na přepravu vzhledem k relativně nízké kilogramové ceně budou jedním z rozhodujících nákladů. Úkolem tohoto optimalizačního kroku je minimalizovat náklady na přepravu uhelných kalů, mletého vápna a upravených uhelných kalů (přepravní náklady  $N_3 = M_{ka} \times C_{pka} + M_{va} \times C_{pva} + M_{uka} \times C_{puka}$ ) a současně docílit co nejnižších investičních nákladů, které budou odvislé od počtu jednotlivých výrobních jednotek a jejich výkonu. Při řešení lokačně-alokačního problému budou hledány nejvhodnější umístění výrobních jednotek tak, aby náklady na přepravu byly minimální. Následně potom jsou nejlepší alternativy oceněny investičními náklady a bude hledáno optimum.

Takto popsaný postup hledání počtu výrobních zařízení a jejich umístění je postupem zjednodušeným, který však pro účely této práce postačí. Při definitivním zpracování projektu – investičního záměru je třeba hodnotit veškerá kritéria, tzn. nejen kritéria ekonomická, ale i kritéria mimoekonomická. Ekonomická kritéria u materiálově orientovaného projektu, kterým tento projekt náročný na výchozí suroviny a jejich zpracování a dopravu bezesporu je, tvoří souhrn dopravních, výrobních a distribučních nákladů. Mezi mimoekonomická kritéria, která v této práci zohledněna nejsou a která při definitivním zpracování investičního záměru budou hrát velkou roli, protože v mnoha případech mají charakter omezujících podmínek, je třeba zahrnout zejména:

- dopravní dostupnost a propustnost
- ekologické požadavky v dané lokalitě (hodnocení dopadu na životní prostředí – EIA)

Není předpoklad, že by některá z jinak optimálních variant umístění dle ekonomických kritérií měla mít problém s ekologickými požadavky s výjimkou zvýšení přepravních výkonů v dané lokalitě. Kritérium dopravní dostupnosti a

propustnosti může naopak v některých vybraných lokalitách svoji funkci omezující podmínky naplnit.

#### **5.4.1. Lokačně-alokační problém umístění jednotlivých výrobních jednotek na přípravu upravených uhelných kalů**

Pro řešení problému je připraven program v tabulkovém procesoru EXCEL tak, aby bylo možno jednotlivé výpočtové tabulky při změně zadání automaticky přepočítat. Výchozí řešení vychází z předpokladu, že výrobní zařízení může být umístěno u zdroje uhelných kalů (laguny v Polsku) a nebo u zdroje vápna (VÁPENKA VITOŠOV s.r.o.) a nebo v místě spotřeby, tj. u 19-ti výše uvedených potencionálních zákazníků.

Tabulka č. 18: Výpočet optimálního umístění mísícího místa

Vzdálenosti v km	Laguny Polsko	Vápenka Vitošov	Elektrárna Dětmorovice	Elektrárna Chvaletice	Elektrárna Mělník II,III	Elektrárna Poříčí	Elektrárna Hodonín	Arceor Mittal Ostrava	Elektrárna Opatovice	Teplárna Olomouc	ETB Ostrava - Třebovice	Dalkia Přerov	Dalkia ČSA Karviná	Energetika Třinec	ECKG Kladno	Synthesia, a.s. Pardubice	Elektrárna Mělník I	Teplárna Malesice	Teplárna Zlín	Otrokovice	Holčim Prachovice
	0	202	54	329	420	326	275	56	308	155	62	143	52	56	472	304	420	436	175	162	310
	202	0	180	135	240	159	163	152	126	47	146	72	180	166	270	123	240	226	115	104	128
	54	180	0	302	400	309	248	27	281	128	34	116	9	35	445	277	400	409	135	148	282
	329	135	302	0	100	93	224	274	40	172	267	194	301	288	126	29	104	81	253	241	28
	420	240	400	100	0	130	320	374	123	280	367	293	401	387	46	123	5	49	348	336	125
	326	159	309	93	130	0	267	247	58	194	244	219	318	313	201	73	130	155	261	251	96
	275	163	248	224	320	267	0	220	221	121	213	99	247	234	308	210	320	273	77	66	214
	56	152	27	274	374	247	220	0	261	108	8	88	27	47	425	250	374	382	107	120	255
	308	126	281	40	123	58	221	261	0	153	247	173	280	267	148	15	123	102	216	205	38
	155	47	128	172	280	194	121	108	153	0	94	22	127	115	318	146	278	283	64	54	150
	62	146	34	267	367	244	213	8	247	94	0	82	33	52	410	243	367	375	110	113	248
	143	72	116	194	293	219	99	88	173	22	82	0	116	103	324	169	293	289	43	32	175
	52	180	9	301	401	318	247	27	280	127	33	116	0	26	444	277	401	409	134	147	282
	56	166	35	288	387	313	234	47	267	115	52	103	26	0	431	263	387	396	121	134	289
	472	270	445	126	46	201	308	425	148	318	410	324	444	431	0	142	46	36	335	325	151
	304	123	277	29	123	73	210	250	15	146	243	169	277	263	142	0	125	96	212	202	29
	420	240	400	104	5	130	320	374	123	278	367	293	401	387	46	125	0	49	347	336	125
	436	226	409	81	49	155	273	382	102	283	375	289	409	396	36	96	49	0	299	289	106
	175	115	135	253	348	261	77	107	216	64	110	43	134	121	335	212	347	299	0	14	217
	162	104	148	241	336	251	66	120	205	54	113	32	147	134	325	202	336	289	14	0	206
	310	128	282	28	125	96	214	255	38	150	248	175	282	269	151	29	125	106	217	206	0

Cena přepravy v Kčt.km

1,25  
mleté vápno

1,35  
uhelné kaly

1,30  
směsí

Převpravní náklady na dovoz uhelných kalů a vápna do místa výroby UKA v Kč/t

mleté vápno	253	0	225	169	300	199	204	190	158	59	183	90	225	208	338	154	300	283	144	130	160
uhelné kaly	0	273	73	444	567	440	371	76	416	209	84	193	70	76	637	410	567	589	236	219	419

Předbežně stanovený podíl

vápna ve směsí

15%

15%

15%

15%

15%

15%

15%

15%

Tabulka č. 19: Výpočet přepravních nákladů

Výroba	Celkové přepravní náklady na 1 t upravených kalů (přepravné $C_{pva}$ + přepravné $C_{pika}$ + přepravné $C_{puka}$ )																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Spotřebitel	Elektrárna Dětmorovice	Elektrárna Chvalětice	Elektrárna Mělník II,III	Elektrárna Pofiči	Elektrárna Hodonín	Arcelor Mittal Ostrava	Elektrárna Opatovice	Teplárna Olomouc	ETB Ostrava - Třebovice	Dalka Přerov	Dalka Teplárna ČSA Karviná	Energetika Třinec	ECKG Kladno	Synthesia, a.s. Pardubice	Elektrárna Mělník I	Teplárna Malesčice	Teplárna Zlín	Teplárna Otrokovice	Holcim Prachovice
Laguny Polsko	108	466	584	462	395	111	438	239	119	224	106	111	652	433	584	605	265	249	441
Vápenka Vítkošov	466	408	544	439	444	430	396	293	422	326	466	448	583	392	544	526	382	367	398
Elektrárna Dětmorovice	96	488	616	498	418	131	461	262	140	247	108	141	674	456	616	628	271	288	462
Elektrárna Chvalětice	795	403	533	524	694	759	455	626	750	655	794	777	567	440	538	508	732	716	439
Elektrárna Mělník II,III	1 047	657	527	696	943	1 013	687	891	1 004	908	1 048	1 030	587	687	533	591	979	964	689
Elektrárna Pofiči	806	525	573	404	751	725	479	656	721	689	817	811	665	499	573	605	743	730	529
Elektrárna Hodonín	668	637	762	693	346	632	633	503	623	475	667	650	746	619	762	701	446	432	624
Arcelor Mittal Ostrava	128	449	579	414	379	93	432	234	104	208	128	154	646	418	579	590	232	249	425
Elektrárna Opatovice	743	429	537	453	665	717	377	576	698	602	741	724	570	397	537	510	658	644	427
Teplárna Olomouc	353	410	551	439	344	327	385	187	309	215	362	336	600	376	548	554	270	257	382
ETB Ostrava - Třebovice	143	446	576	416	376	109	420	221	99	205	142	166	632	415	576	586	242	246	421
Dalka Přerov	328	430	558	462	306	292	402	206	284	178	328	311	599	397	558	553	233	219	405
Dalka Teplárna ČSA Karviná	105	485	615	507	414	128	457	258	136	244	93	127	670	453	615	625	267	284	460
Energetika Třinec	141	470	599	503	400	157	443	245	163	230	130	96	656	438	599	611	253	270	446
ECKG Kladno	1 171	756	652	853	993	1 145	785	1 006	1 125	1 013	1 169	1 152	592	777	652	639	1 028	1 015	788
Synthesia, a.s. Pardubice	732	409	532	467	645	697	391	561	688	591	732	714	556	372	534	496	647	634	409
Elektrárna Mělník I	1 047	662	533	696	943	1 013	687	888	1 004	908	1 048	1 030	587	689	527	591	978	964	689
Teplárna Malesčice	1 075	648	607	745	898	1 040	676	911	1 031	919	1 075	1 058	590	668	607	543	932	919	681
Teplárna Zlín	398	551	675	562	322	361	503	305	365	278	396	380	658	498	673	611	222	240	504
Teplárna Otrokovice	398	519	642	532	291	362	472	276	353	247	397	380	628	468	642	581	224	206	473
Holcim Prachovice	747	417	543	505	658	712	430	575	703	608	747	730	576	418	543	518	662	648	380

Tabulka č. 20: Celkové přepravní náklady

Výroba	Celkové přepravní náklady ( $M_{\text{tra}} \times C_{\text{přia}} + M_{\text{tra}} \times C_{\text{přia}} + M_{\text{tra}} \times C_{\text{přia}} + M_{\text{tra}} \times C_{\text{přia}}$ ) podle místa výroby (v mil. Kč)																				Zvýšení nákladů při zrušení
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Laguna Polsko	6.804	75.958	94.024	13.860	12.640	6.105	57.378	2.868	5.236	4.928	1.590	1.554	44.988	5.629	66.576	6.655	6.360	4.980	1.764	0,00	
Vápenka Vítkov	29.358	66.504	13.170	14.208	23.650	13.376	3.516	18.588	7.172	6.990	6.990	6.272	40.227	5.096	62.016	5.786	9.168	7.340	1.592	0,00	
Elektrárna Dětmorovice	6.048	79.544	99.176	14.940	13.376	7.205	60.391	3.144	6.160	5.434	1.620	1.974	46.506	5.928	70.224	6.908	6.504	5.760	1.848	0,57	
Elektrárna Chvalčovice	50.085	65.689	85.813	15.720	22.208	41.745	59.605	7.512	33.000	14.410	11.910	10.878	39.123	5.720	61.332	5.588	17.588	14.320	1.756	0,82	
Elektrárna Mělník I,II,III	65.961	107.091	84.847	20.880	30.176	55.715	89.997	10.692	44.176	19.976	15.720	14.420	40.503	8.931	60.762	6.501	23.496	19.280	2.756	0,81	
Elektrárna Poříčí	50.778	85.575	92.253	12.120	24.032	39.875	62.749	7.872	31.724	15.158	12.255	11.354	45.885	6.487	85.322	6.655	17.832	14.600	2.116	0,30	
Elektrárna Hodonín	42.084	103.831	122.682	20.790	11.072	34.760	82.923	6.036	27.412	10.450	10.005	9.100	51.474	8.047	86.888	7.711	10.704	8.640	2.496	0,00	
Arceor Mittal Ostrava	8.064	73.187	93.219	12.420	12.128	5.115	56.592	2.808	4.576	4.576	1.920	2.156	44.574	5.434	66.006	6.490	5.568	4.980	1.700	0,88	
Elektrárna Opatovice	46.809	69.927	86.457	13.590	21.280	39.435	49.387	6.912	30.712	13.244	11.115	10.136	39.330	5.161	61.218	5.610	15.792	12.880	1.708	1,05	
Teplárna Olomouc	22.239	66.830	88.711	13.170	11.008	17.985	50.435	2.244	13.596	4.730	5.280	4.704	41.400	4.888	62.472	6.094	6.480	5.140	1.528	0,23	
ETB Ostrava -Třebovice	9.009	72.698	92.736	12.480	12.032	5.995	55.020	2.662	4.356	4.510	2.130	2.324	43.608	5.995	65.664	6.446	5.808	4.920	1.684	0,22	
Dalkia Pterov	20.664	70.090	89.838	13.860	9.792	16.060	52.662	2.472	12.496	3.916	4.920	4.354	41.331	5.161	63.612	6.083	5.592	4.380	1.620	0,59	
Dalkia Teplárna ČSA Karviná	6.615	79.055	99.015	15.210	13.248	7.040	59.867	3.096	5.984	5.368	1.395	1.778	46.230	5.889	70.110	6.875	6.408	5.680	1.840	0,20	
Energetika Třinec	8.883	76.610	96.439	15.090	12.800	8.635	58.033	2.940	7.172	5.060	1.950	1.344	45.264	5.694	68.286	6.721	6.072	5.400	1.784	0,21	
ECKG Kládko	73.773	123.228	104.972	25.590	31.776	62.975	102.835	12.072	49.500	22.286	17.535	16.128	40.848	10.101	74.328	7.029	24.672	20.300	3.152	0,00	
Synthesis, a.s. Pardubice	46.116	66.667	85.652	14.010	20.640	38.335	51.221	6.732	30.272	13.002	10.980	9.996	38.364	4.836	60.876	5.456	15.528	12.680	1.636	0,94	
Elektrárna Mělník I	65.961	107.906	85.813	20.880	30.176	55.715	89.997	10.666	44.176	19.976	15.720	14.420	40.503	8.957	60.078	6.501	23.472	19.280	2.756	0,68	
Teplárna Malesšice	67.725	105.624	97.727	22.350	28.736	57.200	88.556	10.932	45.364	20.218	16.125	14.812	40.710	8.684	69.198	5.973	22.368	18.380	2.724	0,00	
Teplárna Zlín	25.074	89.813	108.675	16.860	10.304	19.855	65.893	3.660	16.060	6.116	5.940	5.320	45.402	6.474	76.722	6.721	5.328	4.800	2.016	0,05	
Teplárna Otrokovice	25.074	84.597	103.362	15.960	9.312	19.910	61.832	3.312	15.532	5.434	5.955	5.320	43.332	6.084	73.188	6.391	5.376	4.120	1.892	0,74	
Holcim Prachovice	47.061	67.971	87.423	15.150	21.056	39.160	56.330	6.900	30.932	13.376	11.205	10.220	39.744	5.434	61.902	5.698	15.888	12.960	1.520	0,01	

Přírůstek přepravních nákladů při přetřetí spotřebitele k dalšímu výrobci	0,57	0,82	0,81	0,30	0,48	0,88	1,05	0,23	0,22	0,59	0,20	0,21	0,76	0,05	0,68	0,13	0,05	0,26	0,01	X
---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

Min. přepravní náklady  
Počet vyroben, resp. míst výroby  
365,48 mil. Kč  
16

Na první ze tří předchozích výpočtových tabulek je vyhodnocena kilometrová vzdálenost mezi jednotlivými místy možného umístění výroby a místy spotřeby. Ve spodní části je potom vyčíslena cena přepravy uhelných kalů z lagun v Polsku a cena přepravy mletého vápna z Vápenky Vitošov do místa výroby.

Ve druhé tabulce jsou potom vyčísleny jednotkové přepravní náklady, které jsou potřebné k přepravě uhelných kalů a mletého vápna od zdroje k místu výroby k výrobě 1 tuny upravených kalů a dále k přepravě 1 tuny upravených uhelných kalů z místa výroby k místu spotřeby. Vyčísleny jsou všechny teoreticky možné kombinace s tím, že relace minimálních přepravních nákladů je u každého spotřebitele zvýrazněna.

Třetí tabulka kvantifikuje potřebné přepravní náklady absolutně a je vypočtena jako součin jednotlivých buněk jednotkových nákladů uvedených v předchozí tabulce a množstvím předpokládaných dodávek upravených uhelných kalů jednotlivým spotřebitelů. Barevně je potom zvýrazněna první a druhá nejvýhodnější relace mezi místem výroby a místem spotřeby. Pro orientaci dalších optimalizačních kroků je tabulka rozšířena o sl. 20 „Zvýšení nákladu při zrušení výroby“. Údaje v tomto sloupci udávají, jaký by byl absolutní přírůstek přepravních nákladů u všech míst spotřeby, kdyby umístění výroby do místa v daném řádku uvedeném, nebylo možné.

*Pro ilustraci je možno uvést příklad na řádku 9, ze kterého vyplývá, že případné zamezení výstavby výrobní jednotky v Elektrárně Opatovice přinese zvýšení přepravních nákladů minimálně o 1,05 mil. Kč a s tím, že by elektrárna byla zásobována upravenými uhelnými kaly z místa výroby v Olomouci.*

Příznak umístění výroby (žluté pole zcela vpravo) slouží k zadávání dalších optimalizačních kroků a udává, že v daném místě je možné (1) nebo nemožné (0) výrobní jednotku postavit, nikoliv, že v daném místě je o postavení výrobní jednotky rozhodnuto.

Ve spodním „přidaném“ řádku je potom informace o zvýšení přepravních nákladů u jednotlivých spotřebitelů v případě změny dodavatelsko-odběratelské relace k další (druhé) nejvýhodnější relaci.



Výsledné základní shrnutí je potom uvedeno vlevo dole ve žlutém poli. Pro výchozí řešení tedy celkové přepravní náklady pro objem 997 kt upravených uhelných kalů činí 365,48 mil. Kč a výrobní jednotky jsou umístěny v 16-ti místech z 21 variantně možných. Ještě před zahájením optimalizačních výpočtů bylo však toto výchozí řešení upraveno, protože z úvodních propočetů (výpočtových tabulek porovnání přínosů a nákladů) a z tabulky minimálních přepravních nákladů vyplývá, že při dosažení skutečných přepravních nákladů na místo průměrných se lokalita Mělník (Elektrárna Mělník I, II a III) a lokalita Kladno (ECKG Kladno) dostávají za hranici nulové ziskovosti. Z tohoto důvodu jsou již v tomto momentě tyto zákazníci ze seznamu spotřebitelů vyloučeni. Stejně tak není dále s těmito lokalitami počítáno pro případné umístění výrobní upravených uhelných kalů. Jednotlivé dodavatelsko-odběratelské relace po této úpravě jsou pro výchozí variantu řešení patrné z následující tabulky.

Tabulka č. 21: Optimální dodavatelsko-odběratelské relace – výchozí stav

Výroba / Spotřebitel		Optimální dodavatelsko-odběratelské relace - výchozí stav																				Celkem
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		Elektrárna Dětmorovice	Elektrárna Chvaletice	Elektrárna Mělník II,III	Elektrárna Poříčí	Elektrárna Hodonín	Arceor Mittal Ostrava	Elektrárna Opatovice	Teplárna Olomouc	ETB Ostrava - Třebovice	Dalkia Přerov	Dalkia Teplárna ČSA Karviná	Energetika Třinec	ECKG Kladno	Synthesia, a.s. Pardubice	Elektrárna Mělník I	Teplárna Malesšice	Teplárna Zlín	Teplárna Otrokovice	Holcim Prachovice		
Laguny Polsko		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Vápenka Vitošov		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Elektrárna Dětmorovice		63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	
Elektrárna Chvaletice		0	163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163	
není výroba		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Elektrárna Poříčí		0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	
Elektrárna Hodonín		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Arceor Mittal Ostrava		0	0	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	
Elektrárna Opatovice		0	0	0	0	0	131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131	
Teplárna Olomouc		0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	
ETB Ostrava - Třebovice		0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	
Dalkia Přerov		0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	
Dalkia Teplárna ČSA Karviná		0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	
Energetika Třinec		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
není výroba		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Synthesia, a.s. Pardubice		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	11	0	0	0	24	
není výroba		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Teplárna Malesšice		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Teplárna Zlín		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	24	
Teplárna Otrokovice		0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	52	
Holcim Prachovice		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	
Pořeba UKA v tis. t		63	163	0	30	32	55	131	12	44	22	15	14	0	13	0	11	24	20	4	653	
Počet výroben, resp. míst výroby																						

V úvodu této podkapitoly je konstatováno, že je třeba optimalizovat přepravní náklady a současně dosáhnout co nejnižších investičních nákladů. Výchozí varianta řešení je proto dále ohodnocena i investičními náklady:

Tabulka č. 22: Výchozí skladba výrobních jednotek

Výchozí skladba výrobních jednotek	Požadovaná produkce	Cena v mil. Kč	Počet výrobních jednotek o výkonu a ceně					Celkem kapacita	Rezerva	Investiční náklad
			18,75	15,00	11,25	8,75	7,00			
			Roční výkon kt/rok	100	50	30	15			
Laguny Polsko	0						0	0	0,00	
Vápenka Vitošov	0						0	0	0,00	
Elektrárna Dětmorovice	63		1				100	37	18,75	
Elektrárna Chvaletice	163		2				200	37	37,50	
Elektrárna Mělník II,III	0						0	0	0,00	
Elektrárna Poříčí	30				1		30	0	11,25	
Elektrárna Hodonín	0						0	0	0,00	
Arcelor Mittal Ostrava	55		1				100	45	18,75	
Elektrárna Opatovice	131		1	1			150	19	33,75	
Teplárna Olomouc	12					1	15	3	8,75	
ETB Ostrava - Třebovice	44			1			50	6	15,00	
Dalkia Přerov	22				1		30	8	11,25	
Dalkia Teplárna ČSA Karviná	15					1	15	0	8,75	
Energetika Třinec	14					1	15	1	8,75	
ECKG Kladno	0						0	0	0,00	
Synthesia, a.s. Pardubice	24				1		30	6	11,25	
Elektrárna Mělník I	0						0	0	0,00	
Teplárna Malešice	0						0	0	0,00	
Teplárna Zlín	24				1		30	6	11,25	
Teplárna Otrokovice	52		1				100	48	18,75	
Holcim Prachovice	4						10	6	7,00	
<b>Celkem</b>	<b>653</b>		<b>6</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>875</b>	<b>222</b>	<b>220,75</b>

#### 5.4.2. Postup a výsledky optimalizačních výpočtů

Po zpracování výchozí varianty je v další výpočtové (výsledkové) tabulce hledáno optimum. Kriterium optimality podle výše uvedeného je *minimum součtu celkových přepravních nákladů a odpisů*, které jsou počítány jako podíl celkových investičních nákladů na 6 roků. Toto kriterium je dostačující, protože

- se jedná o rozhodující náklady (samozřejmě mimo nákup surovin),
- další optimalizační kroky povedou ke snižování počtu umístění výrobních jednotek a dá se tedy předpokládat, že ostatní náklady, tj. osobní náklady a

zejména režie, budou vztaženy na jednotku produkce klesat. Najde-li se tedy optimum u menšího počtu umístění výrobních jednotek, bude toto řešení lepší proti výchozímu nejen ve formulované podmínce optimality, ale i v ostatních zpracovacích nákladech.

Optimální počet a umístění výrobních jednotek se nachází mezi dvěma krajními variantami, kterými jsou:

- řešení s minimálními přepravními náklady bez ohledu na počet lokalit pro umístění výrobních jednotek a tedy bez ohledu na investiční náklady (výše označené výše jako výchozí),
- řešení s umístěním výrobní (výrobních) jednotky (jednotek) do jedné lokality bez ohledu na přepravní náklady.

Postup optimalizačních výpočtů:

#### 1. Stanovení omezujících podmínek

V optimalizačním procesu je třeba počítat nejen s ekonomickými kritérii, ale také s kritérii mimoekonomickými. Tyto kritéria mají často podobu omezujících podmínek a veškerá omezení je třeba před začátkem optimalizačních kroků jasně definovat. Při zpracování této práce nebyly zjišťovány možnosti a podmínky pro umístění a provoz výrobních jednotek v úvahu připadajících 21 místech. Pro zpracování investičního projektu je toto zjištění bezpodmínečné. Proto není stanovena podmínka nepřipustnosti stavby v některém z nich. Jako jediná omezující podmínka pro optimalizační propočet je zákaz zrušení místa výrobní jednotky a přiřazení její produkce k výrobní jednotce na jiném místě pokud roční produkce u takové výrobní jednotky přesáhne 100 tis.t. a to jak na počátku optimalizačních kroků, tak i v jejich průběhu.

## 2. Optimalizační kroky

Postup řešení je dán vytvářením seznamů nezrušitelných, zrušitelných a zrušených míst výstavby výrobních jednotek. Do seznamu nezrušitelných míst se uvádí ta místa, pro která je účinná omezující podmínka uvedená v bodě 1. Nové varianty – jednotlivé optimalizační kroky se vytváří přesunem položek ze seznamu zrušitelných do seznamu zrušených. Po každém optimalizačním kroku je nutno nejdříve zkontrolovat, zda není naplněna omezující podmínka u některé z položek seznamu zrušitelných míst. Pokud ano, je třeba ji před dalším krokem přesunout naopak do seznamu nezrušitelných. U každé nové varianty se vypočítají celkové přepravní náklady, počet jednotlivých výrobních jednotek dle výkonu a jejich rozmístění, výpočet celkových kapacitních rezerv, výpočet investičních nákladů a nakonec vyčíslení stanoveného kritéria optimality, tj. přepravní náklady +  $1/6$  investičních nákladů. Jak již bylo uvedeno, pro tyto výpočty byl připraven program v tabulkovém procesoru EXCEL. Výsledky z jednotlivých kroků jsou následně přenášeny do další výpočtové tabulky, ve které je k jednotlivým optimalizačním krokům vyčíslováno optimalizační kritérium.

Konkrétní postup byl tedy následující:

- Nejdříve se vyčíslí dvě krajní meze v počtu umístění výrobních jednotek. Z dříve uvedené tabulky celkových přepravních nákladů je možno zjistit, že nejnižší řádkový součet přepravních nákladů je na pozici č. 11 (Ostrava - Třebovice). Pokud by tedy toto místo jako jediné bylo vybráno k umístění výrobních jednotek o celkové kapacitě min. 653 kt, potom by investiční náklady činily 131,25 mil.Kč a řádkový součet přepravních nákladů ke všem spotřebitelům v jednotlivých sloupcích je 207,5 mil.Kč. Druhou krajní mezí v počtu umístění výrobních jednotek je dříve uvedená výchozí varianta minimálních přepravních nákladů bez ohledu na počet výrobních míst.
- Před prvním optimalizačním krokem jsou dvě místa (4 a 9) zařazeny do seznamu nezrušitelných míst, protože již ve výchozí variantě byla u těchto míst omezující podmínka „nezrušitelnosti“ naplněna.

- Ze zbylých variant umístění, které tedy byly zařazeny do seznamu zrušitelných míst je vybrána jedna, která je převedena do seznamu zrušených a vytvoří se tak zadání pro první (následný) optimalizační krok. Rozhodnutí, které z možných umístění pro tento převod bude vybráno, se řídí dle nejmenší hodnoty přírůstku přepravních nákladů, které u jednotlivých míst byly vyčísleny pro případ, že toto místo bude vyloučeno pro možné umístění výrobní jednotky. Jedná se o výběr minimálního přírůstku přepravních nákladů uvedený pro každé umístění ve sloupci č. 20 v tabulce výpočtu celkových přepravních nákladů dříve uvedené. Význam tohoto sloupce byl již krátce dříve při popisu této tabulky komentován. Nulové hodnoty znamenají, že u tohoto místa na celém řádku není žádná dodavatelsko-odběratelská relace k některému sloupci (spotřebiteli). Velmi málo pravděpodobná by byla varianta, že se ve sl. 20 objeví dvě stejné hodnoty. Pokud přece jen, pak by bylo vybráno to umístění, ke kterému je vázáno méně odběratelů na pozici nejnižších nebo druhých nejnižších přepravních nákladů (viz. barevné odlišení) pro danou relaci. Pozice (řádky) s nulovou hodnotou ve sloupci 20 nejsou vybírány proto, že se ještě v dalších optimalizačních krocích může stát, že tomuto místu bude výrobní jednotka přiřazena. Tyto místa bez přiřazení výrobní jednotky jsou do seznamu zrušených míst převedeny ze seznamu zrušitelných míst až v posledním optimalizačním kroku. Pro první optimalizační krok bylo převedeno umístění (řádek) č. 21 – Holcim Prachovice, u kterého přírůstek přepravních nákladů při neumístění výrobní jednotky proti předchozímu kroku činil minimální částku 0,01 mil. Kč. Do buňky v zadávacím žlutém sloupci potom u pozice (řádku) 21 se vloží místo čísla 1 nula, což je příznak pro zrušení možnosti umístění výrobní jednotky v tomto místě. Tímto zadáním se všechny výpočtové tabulky přehodnotí a najdou se nové optimální dodavatelsko - odběratelské relace a vyčíslí se znovu minimální hodnota celkových přepravních nákladů. Dále se sestaví konfigurace výrobních jednotek a vyčíslí se potřebné investiční náklady. V dalším optimalizačním kroku se postup opakuje.

Tabulka č. 23: Přehled optimalizačních kroků a vyčíslení optimalizačního kritéria

Přehled jednotlivých optimalizačních kroků a vyčíslení optimalizačního kritéria										
Optimalizační krok	Seznam míst pro umístění výroby					Skutečný počet umístění	Rezerva v celkové kapacitě	Celkové přepravní náklady	Celkové investiční náklady	Vyhodnocení přepravní náklady + odpisy
	Nezrušitelných	Zrušitelných	Zrušených	[seznam]	[seznam]					
[pořadí]	[seznam]	[seznam]	[seznam]	[seznam]	[pocet]	[kt/rok]	[mil. Kč]	[mil. Kč]	[mil. Kč]	[mil. Kč]
výchozí varianta				krajní varianta výrobní jednotky v jednom místě	1	47	207,50	131,25	229,38	
1.	4,9	1,2,3,6,7,8,10,11,12,13,14,16,18,19,20,21	prázdný		14	222	182,19	220,75	218,98	
2.	4,9	1,2,3,6,7,8,10,11,12,13,14,16,18,19,20	21		13	227	182,19	216,25	218,23	
3.	4,9	1,2,3,6,7,8,10,11,12,13,14,16,18,20	19,21		12	197	182,24	205,00	216,41	
4.	4,9	1,2,3,6,7,8,10,11,12,13,14,18,20	16,19,21		11	167	182,43	193,75	214,72	
5.	4,9	1,2,3,6,7,8,10,11,12,14,18,20	13,16,19,21		11	167	182,62	193,75	214,91	
6.	4,9	2,3,6,7,8,10,11,12,14,18,20	1,13,16,19,21		10	152	182,65	185,00	213,48	
7.	4,9	2,3,6,7,8,10,12,14,18,20	1,11,13,16,19,21		9	102	182,87	170,00	211,20	
8.	4,8,9	2,3,7,12,14,18,20	1,6,11,13,16,19,21		8	102	183,17	170,00	211,50	
9.	4,8,9	3,7,12,14,18,20	1,6,10,11,13,16,19,21		8	122	183,67	173,75	212,63	
10.	4,8,9	3,7,12,18,20	1,2,6,10,11,13,16,19,21		7	92	183,76	162,50	210,84	
11.	4,8,9	3,7,12,18	1,2,6,10,11,13,14,16,19,21		6	97	184,39	157,50	210,64	
12.	4,8,9,12		1,2,3,6,7,10,11,13,14,16,18,19,20,21		5	97	185,33	146,25	209,71	
					4	47	187,82	142,50	211,57	

Tabulka č. 24: Optimální dodavatelско-odběratelská relace

Spotřebitel \ výroba		Optimální dodavatelско-odběratelské relace																			Celkem
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
		Elektrárna Dětmorovice	Elektrárna Chvalčovice	Elektrárna Mělník II, III	Elektrárna Poříčí	Elektrárna Hodonín	Arcekor Mittal Ostrava	Elektrárna Opatovice	Teplárna Olomouc	ETB Ostrava - Třebovice	Dalkia Přerov	Dalkia Teplárna ČSA Karviná	Energetika Trinec	ECKG Kladno	Synthesia, a.s. Pardubice	Elektrárna Mělník I	Teplárna Malesčice	Teplárna Zlín	Teplárna Otrokovice	Holcim Prachovice	
1	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Elektrárna Dětmorovice	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	14	0	0	0	0	0	0	0	92
4	Elektrárna Chvalčovice	0	163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	174
5	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Elektrárna Hodonín	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Arcekor Mittal Ostrava	0	0	0	30	0	55	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	153
9	Elektrárna Opatovice	0	0	0	0	0	0	131	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	144
10	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Dalkia Přerov	0	0	0	0	32	0	0	12	0	22	0	0	0	0	0	0	0	20	4	90
13	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	není výroba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Potřeba UKA v tis. t		63	163	0	30	32	55	131	12	44	22	15	14	0	13	0	11	24	20	4	653
Počet míst výroby																					5



Tabulka č. 25: Optimální skladba výrobních jednotek

Optimální skladba výrobních jednotek	Požadovaná produkce	Cena v mil. Kč	Počet výrobních jednotek o výkonu a ceně					Celkem kapacit a	Rezerva	Investiční náklad
			18,75	15,00	11,25	8,75	7,00			
Umístění výrobní jednotky		Roční výkon kt/rok	100	50	30	15	10			
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
Elektrárna Dětmárovice	92		1					100	8	18,75
Elektrárna Chvaletice	174		2					200	26	37,50
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
Elektrárna Hodonín	0							0	0	0,00
Arcelor Mittal Ostrava	153		2					200	47	37,50
Elektrárna Opatovice	144		1	1				150	6	33,75
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
Dalkia Přerov	90		1					100	10	18,75
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
není výroba	0							0	0	0,00
<b>Celkem</b>	<b>653</b>		<b>7</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>750</b>	<b>97</b>	<b>146,25</b>

Předchozí 3 výpočtové tabulky ukazují výsledek optimalizačních kroků. Jako nejoptimálnější byla zjištěna varianta s rozmístěním výrobních jednotek do 5 lokalit (umístění 3,4,8,9 a 12). Do těchto lokalit, jak ukazuje poslední tabulka je umístěno 8 výrobních jednotek o celkové kapacitě 750 kt/rok, tzn. s kapacitní rezervou 97 kt/rok proti předpokládané potřebě. Investiční náklad na tuto výrobní kapacitu je 146,25 mil. Kč. Minima optimalizačního kritéria bylo dosaženo v 11. optimalizačním kroku, následující 12. krok ukázal opět zvyšování hodnoty optimalizačního kritéria. Více kroků než 12 nebylo možno provést, protože před eventuálním 13. krokem byl již seznam nezrušitelných míst prázdný.

## 5.5. Výpočet ekonomických údajů pro konkrétní dodavatelско-odběratelské relace stanovené optimalizací rozmístění výrobních kapacit

Tabulka č. 26: Výpočet tržeb, nákladů a zisku dle jednotlivých zákazníků

Výpočet tržeb, nákladů a zisku dle jednotlivých zákazníků															
Odběratel	Prodej kt	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	Přínosy	Cena	Náklady	Tržby	Náklady	Zisk
		Kč/t	Kč/t	Kč/t	Kč/t	Kč/t	Kč/t	Kč/t	Kč/t	Kč/t	Kč/t	Kč/t	mil. Kč	mil. Kč	mil. Kč
Elektrárna Dětmorovice	63	1 150	186	95	-237	224	228	96	286	1 194	1 014	834	63,88	52,54	11,34
Elektrárna Chvaletice	163	918	186	129	0	224	228	403	286	1 233	1 187	1 141	193,48	185,98	7,50
Elektrárna Poříčí	30	918	186	129	0	224	228	414	286	1 233	1 193	1 152	35,79	34,56	1,23
Elektrárna Hodonín	32	918	186	129	0	224	228	306	286	1 233	1 139	1 044	36,45	33,41	3,04
Arcelor Mittal Ostrava	55	1 150	186	95	-237	224	228	93	286	1 194	1 013	831	55,72	45,71	10,01
Elektrárna Opatovice	131	918	186	129	0	224	228	377	286	1 233	1 174	1 115	153,79	146,07	7,73
Teplárna Olomouc	12	918	186	129	0	224	228	206	286	1 233	1 089	944	13,07	11,33	1,74
ETB Ostrava - Třebovice	44	1 150	186	95	-237	224	228	104	286	1 194	1 018	842	44,79	37,05	7,74
Dalkia Přerov	22	1 150	186	95	-237	224	228	178	286	1 194	1 055	916	23,21	20,15	3,06
Dalkia Teplárna ČSA Karviná	15	1 150	186	95	-237	224	228	108	286	1 194	1 020	846	15,30	12,69	2,61
Energetika Třinec	14	1 150	186	95	-237	224	228	141	286	1 194	1 037	879	14,52	12,31	2,21
Synthesia, a.s. Pardubice	13	1 150	186	95	-237	224	228	372	286	1 194	1 152	1 110	14,98	14,43	0,55
Teplárna Malešice	11	1 150	186	95	-237	224	228	496	286	1 194	1 214	1 234	13,35	13,57	-0,22
Teplárna Zlín	24	918	186	129	0	224	228	232	286	1 233	1 102	970	26,45	23,28	3,17
Teplárna Otrokovice	20	918	186	129	0	224	228	219	286	1 233	1 095	957	21,90	19,14	2,76
Holcim Prachovice	4	1 150	186	95	-237	224	228	405	286	1 194	1 169	1 143	4,68	4,57	0,10
<b>Celkem prodej v kt =</b>	<b>653</b>												<b>731,35</b>	<b>666,78</b>	<b>64,57</b>

Podíl výrobce na rozdílu přínosů a nákladů = 50 %

V podkapitolách 5.2. a 5.3. jsou popsány v matematických formulacích způsob výpočtu přínosů z uplatnění upravených uhelných kalů jako alternativního paliva a rovněž způsob výpočtu nákladů potřebných k dosažení těchto přínosů. V některých případech se však jednalo o údaje průměrované případně stanovené z možného rozpětí s patřičnou rezervou. Následující tabulka již obsahuje, zejména pokud se přepravních nákladů týká, konkrétní údaje odpovídající dané dodavatelsko-odběratelské relaci. Ceny alternativního paliva byly stanoveny tak, aby efekt byl rozdělen mezi dodavatele a odběratele 1 : 1.

### **5.6. Ekonomické vyhodnocení investičního projektu „Úprava uhelných kalů jako alternativního paliva“**

V této podkapitole je provedeno stručné ekonomické hodnocení projektu úpravy uhelných kalů s cílem doložit, že tento projekt je nejen životaschopný, ale i investičně zajímavý.

Výchozí předpoklady pro sestavení investičního plánu, plánu prodeje a výkazu zisků a ztrát:

- Realizace investičního projektu je rozložena do 2 let. V roce výstavby ( 0-tý rok) budou postaveny 2 výrobní jednotky o roční výrobní kapacitě 100 tis. t/rok. Investiční náklad 1. roku je 37,5 mil. Kč (tj. 2 x 18,75 mil. Kč). V následujícím roce (1. roce z pohledu produkce) budou postaveny další výrobní jednotky v místech určených v optimalizačních propočtech v kapitole 5.4. Roční výrobní kapacita potom dosáhne 750 tis. t. Investiční náklady v tomto dalším roce budou ve výši 108,75 mil. Kč.
- Produkce a prodej se postupně rozvíjí od 1. roku produkce ve výši 120 tis. t., ve 2. roce 300 tis. t až po 5. rok, ve kterém je předpokládáno již optimální naplnění vybudované kapacity.
- Životnost výrobního zařízení je počítána na 6 let, další rok potom následuje obnova zařízení. V mezidobí jsou plánovány paušálně stanovené investiční náklady a to ve výši 0,5 % z hodnoty tržeb.

- U prodejních cen, stejně jako u cen nákupních není předpokládáno výrazné zvýšení a počítá se pouze paušální meziroční růst ve výši 1 %. Pouze u mzdových nákladů je předpokládán nárůst v hodinových výdělcích ve výši 2%.
- Pokud se týká sestavení rozvahy pro zjištění potřeby cizích zdrojů (úvěrů):
  - a) Předpokládá se formální vklad 200 tis. Kč do základního kapitálu,
  - b) Stavy zásob jsou počítány ze zadané doby obratu zásob (3 dny).
  - c) Pohledávky a závazky jsou počítány ze zadané průměrné doby splatnosti (u pohledávek 30 dnů a u závazků 14 dnů).
  - d) Ostatní aktiva a ostatní pasiva jsou zjišťovány paušálně ze zadaného % z tržeb (u ostatních aktiv zadávám 1 % a u ostatních pasiv 2 %).
  - e) Nákladové úroky jsou počítány zjednodušeně z průměru stavu úvěru na začátku a na konci každého ročního období. Úroková sazba odhadnuta na 8 % p. a., což je u perspektivního projektu sazba reálná.
  - f) Sazba daně z příjmu dle momentálně platného znění zákona ve výši 19%.

Propočet plánu výroby a prodeje, tržeb a nákladů pro období 15 let je uveden v následujících tabulkách:

Tabulka č. 27: Plán výroby, prodeje, tržeb a nákladů

Plán výroby a prodeje, tržeb a nákladů		1	2	3	4	5	6	7	8
Rok									
Prodej		120 tis. t	300 tis. t	550 tis. t	600 tis. t	650 tis. t	650 tis. t	650 tis. t	650 tis. t
Průměrná cena index růstu cen		1 183 CZK/t	1 195 CZK/t	1 207 CZK/t	1 219 CZK/t	1 231 CZK/t	1 246 CZK/t	1 261 CZK/t	1 276 CZK/t
		TCZK	TCZK	TCZK	TCZK	TCZK	TCZK	TCZK	TCZK
Tržby za výrobky	1	141 960	358 500	663 850	731 400	800 150	809 900	819 650	829 400
Ostatní tržby	2								
<b>Celkem tržby</b>	3=1+2	<b>141 960</b>	<b>358 500</b>	<b>663 850</b>	<b>731 400</b>	<b>800 150</b>	<b>809 900</b>	<b>819 650</b>	<b>829 400</b>
Material - uhelné kaly cena [CZK/t] / index růstu cen	4	26 880	68 006	126 157	139 238	152 589	154 336	156 083	157 830
		250	253	256	259	262	265	268	271
Material - vápno cena [CZK/t] / index růstu cen	5	28 860	72 891	134 992	148 746	162 747	164 353	165 958	167 648
		1 850	1 869	1 888	1 907	1 926	1 945	1 964	1 984
Energie cena [CZK/tWh] / index růstu cen	6	7 200	18 180	33 660	37 080	40 560	40 950	41 340	41 730
		3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2
Přepravení náklady ø cena [CZK/tkm] / index růstu cen	7	33 960	85 749	158 780	174 948	191 425	193 343	195 273	197 223
		283	286	289	292	295	297	300	303
Osobní náklady ø hod. mzda [CZK/hod] / index růstu mezd	8	4 050	10 530	20 077	22 779	25 663	26 690	27 757	28 589
		125	130	135	141	146	152	158	163
Režijní náklady	9	18 225	47 385	90 347	102 506	115 484	120 105	124 907	128 651
	10								
	11								
<b>Výrobní a režijní náklady (bez odpisů)</b>	12=4 až 11	<b>119 175</b>	<b>302 741</b>	<b>564 013</b>	<b>625 237</b>	<b>688 468</b>	<b>699 777</b>	<b>711 318</b>	<b>721 671</b>
Finanční náklady	13	7 001	9 801	6 149	1 856	0	0	0	0
Odpisy dlouhodobého majetku	14	24 375	24 674	25 227	25 836	26 503	27 178	24 470	24 862
<b>Celkem náklady</b>	15=12+13+14	<b>150 551</b>	<b>337 216</b>	<b>595 389</b>	<b>652 990</b>	<b>714 971</b>	<b>726 955</b>	<b>735 788</b>	<b>746 533</b>
<b>Hospodářský výsledek před zdaněním</b>	18	<b>-8 591</b>	<b>21 284</b>	<b>68 461</b>	<b>78 410</b>	<b>85 179</b>	<b>82 945</b>	<b>83 862</b>	<b>82 867</b>
Daň z příjmů	19	0	2 412	13 008	14 898	16 184	15 760	15 934	15 745
<b>Hospodářský výsledek</b>	20=18-19	<b>-8 591</b>	<b>18 872</b>	<b>55 453</b>	<b>63 512</b>	<b>68 995</b>	<b>67 185</b>	<b>67 928</b>	<b>67 122</b>
Sazba daně z příjmu		20%		19%	stojná sazba pro další roky				

Tabulka č. 28: Plán výroby, prodeje, tržeb a nákladů

Plán výroby a prodeje, tržeb a nákladů		9	10	11	12	13	14	15
Rok								
Prodej		650 tis. t	650 tis. t	650 tis. t	650 tis. t	650 tis. t	650 tis. t	650 tis. t
Průměrná cena index růstu cen		1 221 CZK/t 1,2%	1 236 CZK/t 1,2%	1 251 CZK/t 1,2%	1 266 CZK/t 1,2%	1 281 CZK/t 1,2%	1 296 CZK/t 1,2%	1 312 tis. t 1,2%
		TCZK	TCZK	TCZK	TCZK	TCZK	TCZK	TCZK
Tržby za výrobky	1	793 650	803 400	813 150	822 900	832 650	842 400	852 800
Ostatní tržby	2							
<b>Celkem tržby</b>	3=1+2	<b>793 650</b>	<b>803 400</b>	<b>813 150</b>	<b>822 900</b>	<b>832 650</b>	<b>842 400</b>	<b>852 800</b>
Material - uheľné kaly cena [CZK/t] / index růstu cen	4	159 578 274 1,0%	161 325 277 1,0%	163 072 280 1,0%	164 819 283 1,0%	166 566 286 1,0%	168 314 289 1,0%	170 061 292 1,0%
Material - vápno cena [CZK/t] / index růstu cen	5	160 212 1 896 1,0%	161 818 1 915 1,0%	163 423 1 934 1,0%	165 029 1 953 1,0%	166 719 1 973 1,0%	168 409 1 993 1,0%	170 099 2 013 1,0%
Energie cena [CZK/kWh] / index růstu cen	6	42 120 3,2 1,0%	42 510 3,3 1,0%	42 900 3,3 1,0%	43 290 3,3 1,0%	43 680 3,4 1,0%	44 070 3,4 1,0%	44 460 3,4 1,0%
Převravní náklady ø cena [CZK/km] / index růstu cen	7	199 193 306 1,0%	201 182 310 1,0%	203 197 313 1,0%	205 231 316 1,0%	207 285 319 1,0%	209 359 322 1,0%	211 452 325 1,0%
Osobní náklady ø hod. mzda [CZK/hod] / index růstu mezd	8	25 704 146 2,0%	26 218 149 2,0%	26 743 152 2,0%	27 278 155 2,0%	27 824 159 2,0%	28 380 162 2,0%	28 947 165 2,0%
Režijní náklady	9	115 668	117 981	120 344	122 751	125 208	127 710	130 262
	10							
	11							
<b>Výrobní a režijní náklady (bez odpisů)</b>	12=4 až 11	<b>702 475</b>	<b>711 034</b>	<b>719 679</b>	<b>728 398</b>	<b>737 282</b>	<b>746 242</b>	<b>755 281</b>
Finanční náklady	13	0	0	0	0	0	0	0
Odpisy dlouhodobého majetku	14	24 828	24 921	24 968	25 015	25 681	25 730	25 779
<b>Celkem náklady</b>	15=12+13+14	<b>727 303</b>	<b>735 955</b>	<b>744 647</b>	<b>753 413</b>	<b>762 963</b>	<b>771 972</b>	<b>781 060</b>
<b>Hospodářský výsledek před z daněním</b>	18	<b>66 347</b>	<b>67 445</b>	<b>68 503</b>	<b>69 487</b>	<b>69 687</b>	<b>70 428</b>	<b>71 740</b>
Daň z příjmů	19	12 606	12 815	13 016	13 203	13 240	13 381	13 631
<b>Hospodářský výsledek</b>	20=18-19	<b>53 741</b>	<b>54 630</b>	<b>55 488</b>	<b>56 285</b>	<b>56 446</b>	<b>57 047</b>	<b>58 110</b>

Sazba daně z příjmu

Finanční analýza a hodnocení ekonomické efektivity projektu je zásadní součástí jeho technicko-ekonomické studie. Je třeba tedy navrhnout a propočítat kritéria ekonomické efektivity, z nichž nejčastěji používané jsou tyto:

- Rentabilita kapitálu, která se v praxi používá v různých modifikacích. Z těchto možností je vybrána rentabilita celkového kapitálu, resp. rentabilitu aktiv ROA (Return of Assets), která je dána tímto vztahem  $ROA = EBIT/Aktiva$ , kde EBIT je zisk před úroky a zdaněním (Earnings before Interest and Taxes). Jako doplňující kritérium rentability bude zjištěna ještě rentabilita tržeb ROS (Return on Sales) a to jako podíl zisku před zdaněním k celkovým tržbám. [11]
- Doba úhrady jako doba potřebná pro úhradu vložených investičních nákladů budoucím čistým peněžním tokem (příjmy – výdaje). Tento propočet je sice jednoduchý, ale zejména u projektů s delší dobou návratnosti se výrazně projeví nedostatek tohoto kritéria a sice to, že nebere v úvahu vliv časového rozložení příjmů a výdajů. Zohlednění časové hodnoty peněz je zejména u projektů s delší dobou realizace a s delší dobou následné úhrady z provozu velmi důležité a může projekty s přijatelnou dobou úhrady ukázat jako nepřijatelné. Z tohoto důvodu je doplněn propočet doby úhrady o výpočet, který časovou hodnotu peněz respektuje a označen je jako *diskontovaná doba úhrady* s tím, že ji počítána stejným způsobem jako dobu úhrady, ale z diskontovaného peněžního toku. [11]
- Kritérium založené na diskontování, které respektuje časovou hodnotu peněz a budoucí příjmy a výdaje podle jednotlivých období přepočítává na stejnou časovou úroveň, kterou je současnost. Z kritérií založených na tomto principu je vybrána ta nejčastěji používaná a dobře interpretovatelná a to *čistá současná hodnota ČSH* (net present value). ČSH je součtem diskontovaného čistého peněžního toku projektu za celou dobu jeho existence, tzn. od zahájení výstavby po dobu provozu až k jeho ukončení. Doporučením k realizaci projektu je dosažení *kladné ČSH*. Vzhledem k tomu, že ve výchozích předpokladech pro sestavování investičního plánu

je stanovena doba životnosti na 6 let bude se i hodnocení výpočtu ČSH na tuto časovou hranici orientovat. Tato hranice má své opodstatnění nejen pro takto předpokládanou minimální životnost zařízení, ale i proto, že je reálné předpokládat, že zdroje uhelných kalů na původně uvažovaných místech mohou být do značné míry vyčerpány a bude se přecházet k jiným, případně k jiné základní bázi pro alternativní paliva. Takováto změna může v optimalizaci rozmístění výrobních zařízení vyvolat i změnu. Předpokládá se, že do budoucna bude v periodě 6 až 8 let docházet k vyhodnocování stavu a k dalšímu investičnímu rozhodování. Přestože zajištění alternativních paliv jako doplňku ke klasickým palivům je možno vidět jako dlouhodobou potřebu, z výše uvedených důvodů se na projekt bude nahlížet jako na projekt, který se periodicky opakuje v uvedené periodě a pro přijetí projektu do realizace budou požadovat dosažení kladné ČSH již po 6-ti letech.

Pro vyhodnocení zvolených ekonomických kritérií efektivnosti je v návaznosti na uvedený plán výroby a prodeje, tržeb a nákladů sestaven výkaz zisků a ztrát, resp. přehled rozhodujících položek a ukazatelů tohoto výkazu, a dále sestava rozvahy rovněž v základních položkách. Současně jsou vyčísleny vybrané ukazatele rentability (ROA a ROS). Pro vyhodnocení dalších kritérií a to doby úhrady, resp. návratnosti a zejména k výpočtu čisté současné hodnoty je základem peněžní tok. Peněžní tok (cash flow) tvoří veškeré příjmy a výdaje, které projekt během celé doby existence provázejí. V období výstavby se jedná o investiční výdaje. V období provozu, což je rozhodující období co do délky i peněžního toku, se jedná o příjmy z tržeb a k nim příslušným výdajům provozních nákladů. V tomto období je třeba počítat i s investičními výdaji na obnovu a rozšíření výrobní základny. Poslední etapou existence projektu je jeho likvidace, která může přinášet jak příjmy, tak i náklady. V následujících výpočtech není s touto poslední etapou počítáno, resp. je počítáno s tím, že náklady na případnou likvidaci budou kompenzovány příjmy z této likvidace (odprodej použitelného majetku, tržby za šrot, apod.).



Pro vyčíslení peněžního toku je použita nepřímá metoda, která vychází z výkazu zisku a ztrát, tzn., že příjmy a výdaje zaměňuje za výnosy a náklady. Rozdíl mezi výnosy a příjmy a mezi náklady a výdaji je zjišťován:

- vyloučením nákladů, které jsou charakterizovány nepeněžním tokem (např. odpisy dlouhodobého majetku, tvorba a čerpání rezerv, aj.
- změnami čistého pracovního kapitálu. Kromě investičních nákladů na pořízení dlouhodobého majetku je potřeba i provozních prostředků, které jsou vázány v čistém pracovním kapitálu, jehož výše odpovídá rozdílu mezi oběžnými aktivy a krátkodobými závazky. Prostředky dlouhodobě vázané (prakticky po celou dobu trvání provozní části existence projektu) v oběžných aktivech jsou především zásoby materiálu, polotovarů a výrobků, pohledávky z obchodního styku a ostatní pohledávky a potřebná výše finančních prostředků na účtu. Na straně druhé stav závazků představuje část prostředků jejichž peněžní tok (výdaj) je odložen na pozdější dobu dle doby jejich splatnosti.
- Ke kompletnímu výpočtu peněžního toku je třeba zohlednit dále investiční náklady, změnu dlouhodobých závazků (zejména příjem a splátky úvěrů) a případné změny v oblasti vlastního kapitálu, tzn. např. další vklady společníků, výplaty podílů na zisku, resp. dividend a případné platby z fondů (soc. fond).

Potřebné informace pro výpočet peněžního toku nepřímou metodou jsou tedy obsaženy ve výkazu zisku a ztrát a v rozvaze.

Tabulka č. 29: Výkaz zisku a ztrát

v tis. Kč	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Celkové tržby</b>	134 400	339 300	628 100	691 800	757 250	766 350	775 450	784 550	793 650	803 400	813 150	822 900	832 650	842 400	852 800
Meziroční růst v %	0%	152%	88%	10%	9%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Výkonová spotřeba	-95 340	-240 887	-446 236	-491 978	-538 533	-544 109	-549 697	-555 390	-561 103	-566 835	-572 592	-578 369	-584 250	-590 152	-596 072
<b>Přidaná hodnota</b>	39 060	98 413	181 804	199 822	218 717	222 241	225 753	229 160	232 547	236 565	240 558	244 531	248 400	252 248	256 728
Podíl přidané hodnoty na tržbách v %	29,1%	29,0%	28,9%	28,9%	28,9%	29,0%	29,1%	29,2%	29,3%	29,4%	29,6%	29,7%	29,8%	29,9%	30,1%
Ostatní tržby	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Mezisoučet</b>	39 060	98 413	181 804	199 822	218 717	222 241	225 753	229 160	232 547	236 565	240 558	244 531	248 400	252 248	256 728
Osobní náklady	-4 050	-10 328	-19 312	-21 489	-23 745	-24 221	-24 705	-25 200	-25 704	-26 218	-26 743	-27 278	-27 824	-28 380	-28 947
Podíl osobních nákladů na tržbách v %	3,0%	3,0%	3,1%	3,1%	3,1%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,4%	3,4%
Ostatní provozní náklady	-18 225	-46 476	-86 904	-96 701	-106 853	-108 995	-111 173	-113 400	-115 668	-117 981	-120 344	-122 751	-125 208	-127 710	-130 262
Podíl ostatních provoz. nákladů na tržbách v %	13,6%	13,7%	13,8%	14,0%	14,1%	14,2%	14,3%	14,5%	14,6%	14,7%	14,8%	14,9%	15,0%	15,2%	15,3%
<b>EBITDA</b>	16 785	41 609	75 588	81 632	88 119	89 025	89 875	90 560	91 175	92 366	93 471	94 502	95 368	96 158	97 519
Podíl EBITDA/ tržby	12,5%	12,3%	12,0%	11,8%	11,6%	11,6%	11,6%	11,5%	11,5%	11,5%	11,5%	11,5%	11,5%	11,4%	11,4%
Odpisy dlouhodobého majetku	-24 375	-24 658	-25 181	-25 758	-26 369	-27 027	-24 319	-24 690	-24 828	-24 921	-24 968	-25 015	-25 681	-25 730	-25 779
Podíl odpisů na tržbách v %	18,1%	7,3%	4,0%	3,7%	3,5%	3,5%	3,1%	3,1%	3,1%	3,1%	3,1%	3,0%	3,1%	3,1%	3,0%
<b>Provozní výsledek / EBIT</b>	-7 590	16 951	50 407	55 874	61 730	61 998	65 556	65 870	66 347	67 445	68 503	69 487	69 687	70 428	71 740
Podíl EBIT/ tržby	-5,6%	5,0%	8,0%	8,1%	8,2%	8,1%	8,5%	8,4%	8,4%	8,4%	8,4%	8,4%	8,4%	8,4%	8,4%
Nákladové úroky	-7 001	-9 801	-6 149	-1 856	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Výsledek před zdaněním</b>	-14 591	7 150	44 258	54 018	61 730	61 998	65 556	65 870	66 347	67 445	68 503	69 487	69 687	70 428	71 740
Return on Sales	-10,9%	2,1%	7,0%	7,8%	8,2%	8,1%	8,5%	8,4%	8,4%	8,4%	8,4%	8,4%	8,4%	8,4%	8,4%
Daň z příjmů	0	0	-6 995	-10 263	-11 729	-11 780	-12 456	-12 515	-12 606	-12 815	-13 016	-13 203	-13 240	-13 381	-13 631
<b>Hospodářský výsledek</b>	-14 591	7 150	37 263	43 755	50 002	50 218	53 100	53 355	53 741	54 630	55 488	56 285	56 446	57 047	58 110
Změna stavu rezerv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Cash-flow</b>	9 784	31 808	62 444	69 512	76 390	77 245	77 419	78 045	78 569	79 551	80 455	81 299	82 128	82 777	83 888

Zadání:

Sazba daně z příjmů  
 19% od 2. roku  
 19% pro 1. rok



Tabulka č. 31: Rozvaha

Rozvaha - Aktiva v tis. Kč	Výstavba														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dlouhodobá aktiva k 1.1.	37 500	121 875	98 914	76 873	54 574	31 972	8 776	114 457	93 690	72 830	51 926	31 025	10 124	118 443	96 925
Investice	108 750	1 697	3 141	3 459	3 786	3 832	130 000	3 923	3 968	4 017	4 066	4 115	134 000	4 212	4 264
Odpisy dlouhodobého majetku	24 375	24 658	25 181	25 758	26 389	27 027	24 319	24 690	24 828	24 921	24 968	25 015	25 681	25 730	25 779
<b>Dlouhodobá aktiva 31.12.</b>	<b>37 500</b>	<b>121 875</b>	<b>98 914</b>	<b>76 873</b>	<b>54 574</b>	<b>31 972</b>	<b>8 776</b>	<b>114 457</b>	<b>93 690</b>	<b>72 830</b>	<b>51 926</b>	<b>31 025</b>	<b>10 124</b>	<b>118 443</b>	<b>96 925</b>
Zásoby	0	795	2 007	3 719	4 100	4 488	4 534	4 581	4 628	4 676	4 724	4 772	4 820	4 869	4 967
Pohledávky z obchodního styku	0	11 200	28 275	52 342	57 650	63 104	63 863	64 621	65 379	66 138	66 950	67 763	68 575	69 388	70 200
Krátkodobý finanční majetek	-5 493	-16 355	-32 869	-16 497	52 729	45 646	-7 431	-13 802	10 306	35 300	61 151	87 797	-14 611	-16 581	-17 538
Ostatní krátkodobý majetek	0	1 344	3 393	6 281	7 573	7 664	7 755	7 846	7 937	8 034	8 132	8 229	8 327	8 424	8 528
<b>Krátkodobá (oběžná) aktiva</b>	<b>0</b>	<b>7 845</b>	<b>17 320</b>	<b>29 473</b>	<b>52 170</b>	<b>127 894</b>	<b>69 525</b>	<b>64 050</b>	<b>89 055</b>	<b>115 008</b>	<b>141 816</b>	<b>169 421</b>	<b>67 972</b>	<b>66 961</b>	<b>67 024</b>
<b>Aktiva celkem</b>	<b>37 500</b>	<b>129 720</b>	<b>116 234</b>	<b>106 346</b>	<b>106 745</b>	<b>159 866</b>	<b>130 483</b>	<b>183 983</b>	<b>157 741</b>	<b>161 886</b>	<b>172 841</b>	<b>179 545</b>	<b>186 415</b>	<b>163 887</b>	<b>142 434</b>

Doba obrátu zásob ve dnech:  Splatnosti pohledávek ve dnech:  dnů

Paušální sazba ostatních aktiv z tržeb:  %

Rozvaha - Pasiva v tis. Kč	Výstavba														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Vlastní kapitál k 1.1.	200	-14 391	-7 241	30 022	73 776	123 778	93 996	147 096	120 451	124 192	128 823	134 310	140 595	147 041	124 088
Hospodářský výsledek	-14 591	7 150	37 263	43 755	50 002	50 218	53 100	53 355	53 741	54 630	55 488	56 285	56 446	57 047	58 110
Podíly na HV	0	0	0	0	0	-80 000	0	-80 000	-50 000	-50 000	-50 000	-50 000	-50 000	-80 000	-80 000
<b>Vlastní kapitál k 31.12.</b>	<b>200</b>	<b>-14 391</b>	<b>-7 241</b>	<b>30 022</b>	<b>73 776</b>	<b>123 778</b>	<b>93 996</b>	<b>147 096</b>	<b>120 451</b>	<b>124 192</b>	<b>128 823</b>	<b>134 310</b>	<b>140 595</b>	<b>147 041</b>	<b>124 088</b>
Dlouhodobé rezervy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Odloužená daň	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bankovní úvěry	37 300	137 715	107 321	46 406	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Závazky z obchodního styku	0	3 708	9 368	17 356	19 132	20 943	21 160	21 377	21 599	21 821	22 044	22 267	22 492	22 721	22 950
Ostatní závazky	0	2 688	6 786	12 562	13 836	15 145	15 327	15 509	15 691	15 873	16 068	16 263	16 458	16 653	16 848
<b>Pasiva celkem</b>	<b>37 500</b>	<b>129 720</b>	<b>116 234</b>	<b>106 346</b>	<b>106 745</b>	<b>159 866</b>	<b>130 483</b>	<b>183 983</b>	<b>157 741</b>	<b>161 886</b>	<b>172 841</b>	<b>179 545</b>	<b>186 415</b>	<b>163 887</b>	<b>142 434</b>

Čeky Aktiva - Pasiva

Krytí aktiv vlastním kapitálem 0,5% -11,1% -6,2% 28,2% 69,1% 77,4% 72,0% 80,0% 76,4% 76,7% 77,2% 77,7% 78,3% 78,9% 75,7% 71,8%

Nákladové úroky 7 001 9 801 6 149 1 856 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Zadání:

Úroková sazba pro cizí kapitál (úvěry)  %

Ø doba splatnosti závazků ve dnech:

Paušální sazba ostatních pasiv z tržeb:  %

V předchozích třech tabulkách je vytvořena výchozí základní báze pro výpočet zvolených kritérií. V modrých „zadávacích“ polích jsou uvedeny vstupní hodnoty, které jsou v úvodu této podkapitoly popsány a uvedeny jako výchozí předpoklady. Tato báze postačí pro zjištění ukazatelů rentability a pro zjištění peněžního toku, ze kterého se zjistí doba úhrady. Pro další kritéria, která zohledňují časovou změnu hodnoty peněz je však zapotřebí ještě stanovit sazbu, pomocí které se provede přepočet peněžního toku v jednotlivých obdobích na společnou bázi současné hodnoty, tedy na bázi na které mohou peněžní toky z jednotlivých let sčítat. Časovou hodnotu peněz nejvíce ovlivňuje:

- Inflace, která v čase hodnotu peněz snižuje (snižuje kupní sílu)
- Nejistota budoucích příjmů, která s postupujícím časem roste
- Možnost uplatnění investovaných prostředků do jiných projektů (hmotných či kapitálových), které přináší srovnatelné příjmy

Stanovení diskontní sazby je stejně jako výpočet peněžních toků dalším důležitým úkolem při hodnocení projektu pomocí kritéria ČSH. Východiskem pro stanovení diskontní sazby je podmínka zajistit úhradu nákladů spojených s použitím cizího kapitálu (nejčastěji půjde o úvěry či půjčky) a náklady vlastního kapitálu. Náklady vlastního kapitálu jsou často v odborné literatuře označovány jako tzv. „oportunitní náklady“ neboli náklady na alternativní příležitosti a z nich plynoucí budoucí výnosy. Stanovení nákladů vlastního kapitálu není jednoduchou záležitostí a je přímo úměrné podnikatelskému riziku, tzn., že větší riziko v podnikání musí být vyváženo vyšší výnosností. Při zjišťování nákladů vlastního kapitálu je toto ocenění označováno jako riziková prémie (v %). Tato riziková prémie je nástavbou na tzv. časovou prémii a v součtu představují hledané náklady vlastního kapitálu. Časovou prémii (v %) můžeme označit za minimální náklad vlastního kapitálu a stanovuje se podle výnosnosti zcela bezrizikové investice, za kterou je považována investice do státních dluhopisů. Zjištění nákladů cizího kapitálu je relativně jednodušší záležitostí, protože je možno odvodit je od úrokové sazby úvěrů a půjček. Obtížnější je vyčíslit náklady cizího kapitálu, pokud je získán formou dluhopisů. S tímto případem však není počítáno.

Výsledná diskontní sazba je dána váženým průměrem nákladů vlastního a cizího kapitálu, kde váhou je podíl těchto kapitálů na financování projektu.

Diskontování peněžního toku se vypočte násobením hodnot peněžního toku odúročitelem (diskontním faktorem), který má tento výpočtový vzorec

Odúročitel (diskontní faktor) =  $1 / (1 + r)^t$  , kde

$r$  = úroková míra (diskontní sazba)

$t$  = počet roků od počátku diskontování po období, pro které se diskontní faktor počítá

V následné výpočtové tabulce je diskontní faktor pro stanovenou úrokovou míru tabelován dle jednotlivých období.

Tabulka č. 32: Peněžní tok, diskontovaný peněžní tok a ukazatelé rentability

Projekt : Úprava uhelných kalů jako alternativního paliva																
v/vis. Kč	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Cash-flow z výsledovky</b>		9 784	31 808	62 444	69 512	76 390	77 245	77 419	78 045	78 569	79 551	80 455	81 299	82 128	82 777	83 888
Investiční výdaje	-37 500	-108 750	-1 697	-3 141	-3 459	-3 786	-3 832	-130 000	-3 923	-3 968	-4 017	-4 066	-4 115	-134 000	-4 212	-4 264
Změna stavu zásob		-795	-1 213	-1 712	-381	-388	-46	-47	-47	-48	-48	-48	-48	-49	-49	-49
Změna stavu pohledávek		-12 544	-19 124	-26 955	-5 945	-6 109	-849	-849	-849	-849	-910	-910	-910	-910	-910	-971
Změna stavu závazků		6 396	9 758	13 764	3 051	3 119	399	399	403	404	418	419	420	424	425	438
<b>Celkem Cash-flow</b>	<b>-37 500</b>	<b>-105 908</b>	<b>19 532</b>	<b>44 401</b>	<b>62 778</b>	<b>69 227</b>	<b>72 917</b>	<b>-53 077</b>	<b>73 629</b>	<b>74 108</b>	<b>74 995</b>	<b>75 851</b>	<b>76 646</b>	<b>-52 408</b>	<b>78 030</b>	<b>79 043</b>
<b>Celkem Cash-flow v kumulaci</b>	<b>-37 500</b>	<b>-143 408</b>	<b>-123 876</b>	<b>-79 475</b>	<b>-16 697</b>	<b>52 529</b>	<b>125 446</b>	<b>72 369</b>	<b>145 998</b>	<b>220 106</b>	<b>295 100</b>	<b>370 951</b>	<b>447 597</b>	<b>395 189</b>	<b>473 219</b>	<b>552 262</b>
Bankovní úvěry		37 300	100 415	-30 394	-46 406	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bankovní úvěry v nápočtu		37 300	137 715	107 321	46 406	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vklad do základního kapitálu		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Podíly na hospodářském výsledku		0	0	0	0	0	0	0	-80 000	-130 000	-180 000	-230 000	-280 000	-330 000	-410 000	-490 000
<b>Stav finančního majetku</b>	<b>0</b>	<b>-5 493</b>	<b>-16 355</b>	<b>-32 869</b>	<b>-16 497</b>	<b>52 729</b>	<b>125 646</b>	<b>72 569</b>	<b>66 198</b>	<b>90 306</b>	<b>115 300</b>	<b>141 151</b>	<b>167 797</b>	<b>65 389</b>	<b>63 419</b>	<b>62 462</b>
<b>Doba úhrady = 5,24 roku</b>																
<b>Uroková míra pro diskontování</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Diskontní faktor	1,000	0,926	0,857	0,794	0,735	0,681	0,630	0,583	0,540	0,500	0,463	0,429	0,397	0,368	0,340	0,315
Diskontovaný Cash-flow	-37 500	-98 063	16 746	35 247	46 144	47 115	45 950	-30 970	39 779	37 072	34 737	32 531	30 437	-19 270	26 566	24 918
Diskontovaný Cash-flow v kumulaci	-37 500	-135 563	-118 817	-83 570	-37 426	9 689	55 639	24 669	64 448	101 520	136 257	168 788	199 225	179 955	206 521	231 439
<b>Diskontovaná doba úhrady = 5,79 roku</b>																
<b>Ukazatelé rentability</b>																
Ukazatel		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rentabilita kapitálu ROA (zisk / $\phi$ aktiva)		-17,45%	5,81%	39,77%	50,70%	46,31%	42,71%	41,69%	38,55%	41,52%	41,02%	40,32%	39,44%	38,08%	40,21%	46,84%
Rentabilita tržeb ROS (zisk před zd. / tržby)		-10,86%	2,11%	7,05%	7,81%	8,15%	8,09%	8,45%	8,40%	8,36%	8,39%	8,42%	8,44%	8,37%	8,36%	8,41%

Jak je patrné z předchozího výpočtu, pro výpočet diskontovaného peněžního toku bylo použito diskontní sazby ve výši 8 %. Z peněžního toku je patrné, že financování investičního projektu je prakticky celé řešeno z cizích zdrojů (s malou výjimkou vložených 200 tis. Kč). Je možno v tomto zadání spatřovat i snahu o jednodušší stanovení diskontní sazby, protože je možno ji v tomto případě stanovit na základě nákladů cizího kapitálu a není nutno zjišťovat složitěji náklady vlastního kapitálu. Definitivní náklady cizího kapitálu je možno stanovit až po uzavření úvěrové smlouvy, což obráceně při zpracování investičního projektu nemůže ještě být. Proto nezbyvá než úrokovou sazbu odborně odhadnout a případně ověřit konzultací u potencionální financující banky. Při přesném propočtu diskontní sazby ze zadané úrokové míry úvěru je třeba ještě tuto úrokovou míru ponížít koeficientem vypočteného dle vzorce ve tvaru  $(1 - \text{sazba daně z příjmu v } \%)$ , protože nákladové úroky placené bance snižují základnu pro výpočet daně z příjmu a tedy i vlastní daň. V současné době by tento koeficient byl 0,8 (tj.  $1 - 20\%$ ), v dalších letech potom 0,81.

Celý postup ekonomického vyhodnocení tohoto investičního záměru je veden snahou o maximální opatrnost a proto i při stanovení diskontní sazby není počínáno jinak. Zvolení diskontní sazby ve výši 8 % je výsledkem tohoto přístupu. Doba úhrady počítaná z nediskontovaného peněžního toku je relativně krátká a proto je možná domněnka, že i vyšší diskontní sazba nepřinese zásadní změnu v investičním rozhodnutí. Pro potvrzení této domněnky jsou provedeny ověřovací výpočty a jejich shrnutí je uvedeno v následující tabulce:

*Tabulka č. 33: Závislost doby návratnosti a ČSH po 6-ti letech provozu na stanovení úrokové míry použité pro diskontování*

Úroková míra pro diskontování	Diskontovaná doba úhrady	ČSH po 6-ti letech provozu
6 % p.a.	5,64 roků	70 109 tis. Kč
8 % p.a.	5,79 roků	55 639 tis. Kč
10 % p.a.	5,96 roků	42 743 tis. Kč
12 % p.a.	6,15 roků	31 233 tis. Kč



Z těchto hodnot vyplývá, že kladné stanovisko k realizaci investic by bylo přijato i v případě vyšší než 8 %-ní diskontní sazby.

### **5.7. Riziko investičního projektu „Úprava uhelných kalů jako alternativního paliva“**

K úplnému vyhodnocení investičního projektu rovněž patří i pojmenování rizik a jejich kvantifikace a vliv na kritéria ekonomické efektivity. Riziko investičního projektu spočívá v nebezpečí změn (odchylek) předpokladů, na základě kterých byl investiční projekt navržen a vyhodnocen. S rizikem je podnikání složitější, naopak bez něj mnohdy úspěšně podnikat nelze. Nejde tedy o to hledat projekty bez rizika, ale umět riziko projektu poznat, pojmenovat a vyjádřit pravděpodobnost, že se riziko stane skutečností. Kalkulovat s možností odchylek je nutné a je třeba s pravděpodobností jejich vzniku počítat a doplnit o ni vyhodnocení ekonomických kritérií. Dosavadní výpočty v předchozích subkapitolách byly víceméně „deterministické“ v tom smyslu, že u jednotlivých vstupních zadání vycházely z jedné hodnoty dané vstupní veličiny, byť většinou stanovené jako nejpravděpodobnější odhad. Každý odhad vychází z určitého pravděpodobnostního rozložení. Dosavadní výpočty tedy vycházely ze středních hodnot, resp. z nejpravděpodobnějšího odhadu, který v tomto případě byl navíc neustále ovlivňován maximálně opatrným přístupem, tak jak již bylo v průběhu několikrát zmiňováno. Je však třeba připustit, že v průběhu života projektu může dojít k odchylkám od nejpravděpodobnějšího zadaného odhadu u jedné nebo více vstupních veličin a v horším případě to může být u všech odchylka jedním směrem, která zasáhne negativně peněžní tok. Samozřejmě je možný i obrácený směr odchylek, který naopak vede k dosažení vyššího zisku, resp. k lepšímu peněžnímu toku. Postup zohlednění rizika investičního projektu realizují ve dvou krocích:

- 1) Sestavení přehledu rizikových faktorů, které jsou podstatné a mají možnost značně ovlivnit úspěšnost projektu. Stanovit rozložení jejich pravděpodobnosti. Pro účely této práce je rozložení pravděpodobnosti

nahrazeno jen bodovým vyčíslením a bude snaha pravděpodobnost těchto mezí odhadnout.

- 2) Je sestaven pravděpodobnostní strom hodnocení projektu, který všem kombinacím jako jednotlivým scénářům určí pravděpodobnost jejich vzniku. Pro každý scénář je vyhodnoceno kritérium ČSH a diskontovaná doba úhrady. Pro závěrečné hodnocení obou kritérií jsou potom vypočítána obě kritéria jako vážený aritmetický průměr těchto kritérií ze všech scénářů. Vahou pro vážený aritmetický průměr je pravděpodobnost jednotlivých scénářů.

#### Přehled rizikových faktorů

##### *Rizikový faktor č. 1 – Zvýšení investičních nákladů*

Investiční náklady byly zjišťovány u výrobce zařízení a není předpoklad, že by mělo dojít k významným odchylkám při dodání. Reálná možnost zvýšení investičních nákladů se však jeví v oblasti tzv. vyvolaných investic, které se mohou v některých lokalitách vyskytnout. Důvodem potřeby dalších investic může být především ten fakt, že se jedná o projekt náročný na tok materiálu a tudíž náročný na dopravní infrastrukturu v té které lokalitě. Investiční vícenáklady jsou odhadnuté na 15% a pravděpodobnost jejich vzniku ve výši 0,2 z rozpětí 0 až 1.

##### *Rizikový faktor č. 2 – Zvýšení přepravních nákladů*

Zvýšení přepravních nákladů je možné očekávat v souvislosti se zvyšováním cen pohonných hmot. Dalším důvodem může být taktéž zpoplatňování používání dálnic a v budoucnu silnic I. třídy a zvyšování požadavků ze strany životního prostředí na emise výfukových plynů. Možné zvýšení přepravních nákladů je odhadnuto na 10 % a pravděpodobnost tohoto zvýšení ve výši 0,1 z rozpětí 0 až 1. Zvýšení přepravních nákladů o 10% bude korigováno růstem prodejní ceny alternativního paliva o 2%.

##### *Rizikový faktor č. 3 – Změna cen uhlí*

Cena uhlí je jedním nejdůležitějších předpokladů vstupních hodnot pro výpočet přínosů použití upravených uhelných kalů jako alternativního doplňku

paliva, kterým je hnědé nebo černé uhlí. Zvyšování ceny uhlí ekonomiku tohoto projektu podporuje, snižování naopak. Vychází se z toho, že změny cen jsou u jednotlivých druhů paliv v relativně úzké závislosti. Proto je možné počítat s tím, že pokud ke změně cen dojde, půjde u hnědého i černého uhlí o stejný směr změny v přibližně stejné procentuální výši. Při změně ceny upravených uhelných kalů bude vycházeno ze stejného principu jako při tvorbě plánu prodeje a tržeb a sice, že o přínos z uplatnění alternativního paliva se výrobce a spotřebitel dělí půl na půl. Podíl přínosů z úspory nákladů za nahrazené uhlí alternativním palivem činí cca 75 %. Jestliže připustíme růst cen uhlí o 20 %, potom dle „principu dělení zisku“ je s polovinou tohoto nárůstu počítáno při stanovení růstu ceny. Znamená to, že při zvýšení ceny uhlí o 20 %, je počítáno s úpravou ceny alternativního paliva o 7,5 % ( $= 10\% \times 0,75$  ceny AP). Zvýšení ceny uhlí je předpokládáno s pravděpodobností 0,25 z rozpětí 0 až 1. U pohybu cen uhlí (obecně pak i energií) je třeba počítat s odchylkami do obou směrů a proto s pravděpodobností 0,1 z rozpětí 0 až 1 je počítáno se snížením cen uhlí o 15 %. Pro tento případ je pak počítáno se snížením ceny alternativního paliva a to o 5,62 % ( $= - 7,5\% \times 0,75$  ceny AP).

O relativně úzké závislosti změny cen u jednotlivých paliv již byla zmínka. Se změnou ceny uhlí bude korespondovat cena ropy a plynu a to pouze s případným časovým předstihem nebo posunem. Na základě těchto změn je možné počítat i se změnou elektrické energie. Proto při vyčíslení dopadů změn ceny uhlí do ekonomiky projektu se nebude pouze měnit prodejní cena, ale při zvýšení ceny uhlí bude rovněž zvýšena cena mletého vápna a cena elektrické energie.

Při zvýšení ceny uhlí o 20 % bude

- Zvýšena prodejní cena alternativního paliva o 7,5 %
- Zvýšena nákupní cena mletého vápna o 8 % ( $20\% \times 0,4$  podíl energii v ceně vápna)
- Zvýšena nákupní cena elektrické energie o 16 %

Při snížení ceny uhlí o 15 % bude

- Snížena prodejní cena alternativního paliva o 5,625 %

- Snížena nákupní cena mletého vápna o 6 % ( $15\% \times 0,4$  podíl energii v ceně vápna)
- Snížena nákupní cena elektrické energie o 12 %

Pravděpodobnostní strom má celkem 12 scénářů (S1 až S12), což jsou všechny vzájemné kombinace dvou alternativ rizikového faktoru č. 1, dvou alternativ rizikového faktoru č. 2 a tří alternativ rizikového faktoru č. 3. V programu, ve kterém je proveden výpočet kriterií a jehož výstupní tabulky jsou na předchozích stranách uvedeny, je všech 12, resp. 11 scénářů (scénář S 1 odpovídá základnímu výpočtu) nasimulováno a spočítaná ČSH po 6-ti letech a diskontovaná doba úhrady.

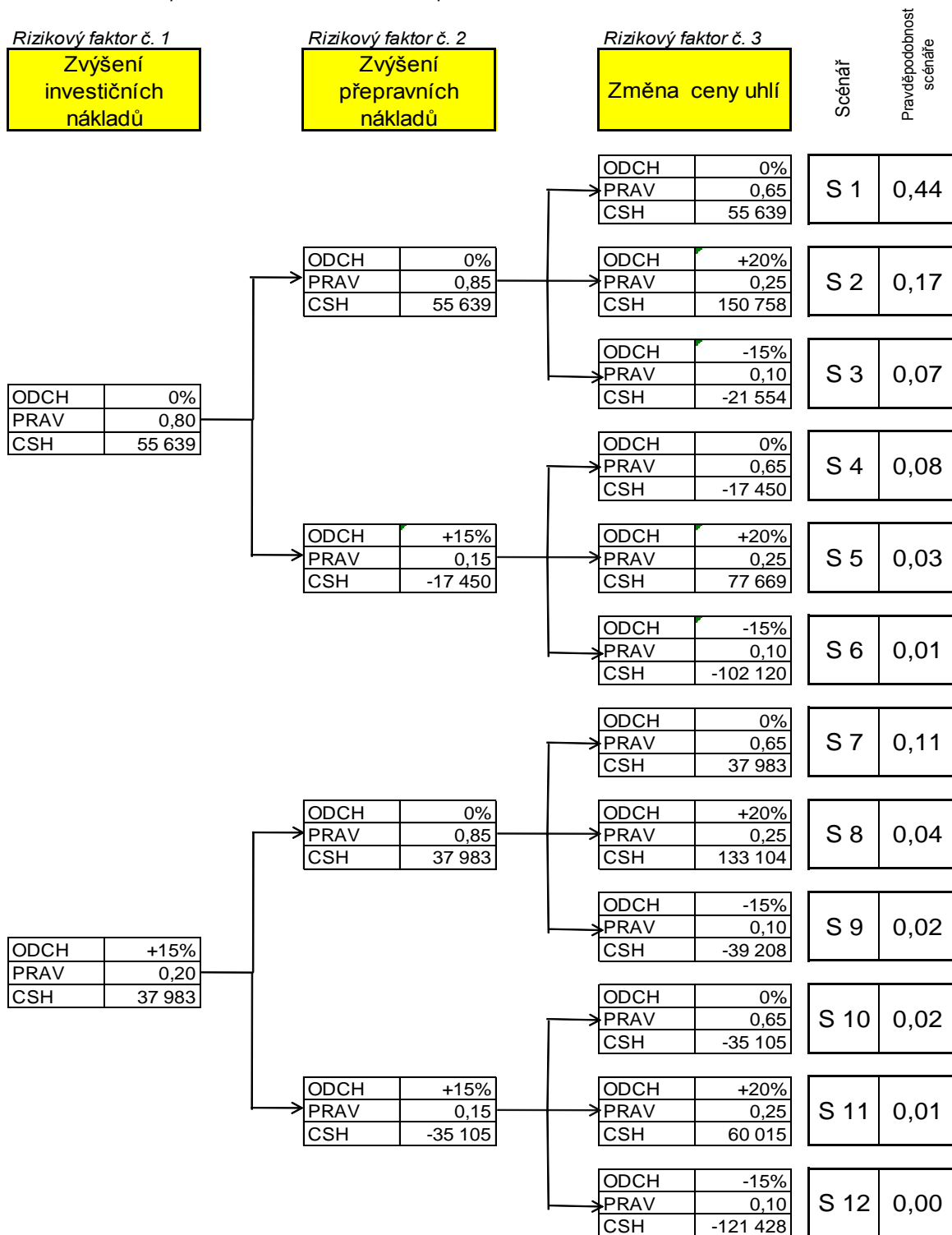
Tabulka 34: Pravděpodobnostní strom projektu – čistá současná hodnota

Legenda:

ODCH = odchylka od projektu

PRAV = pravděpodobnost odchyly

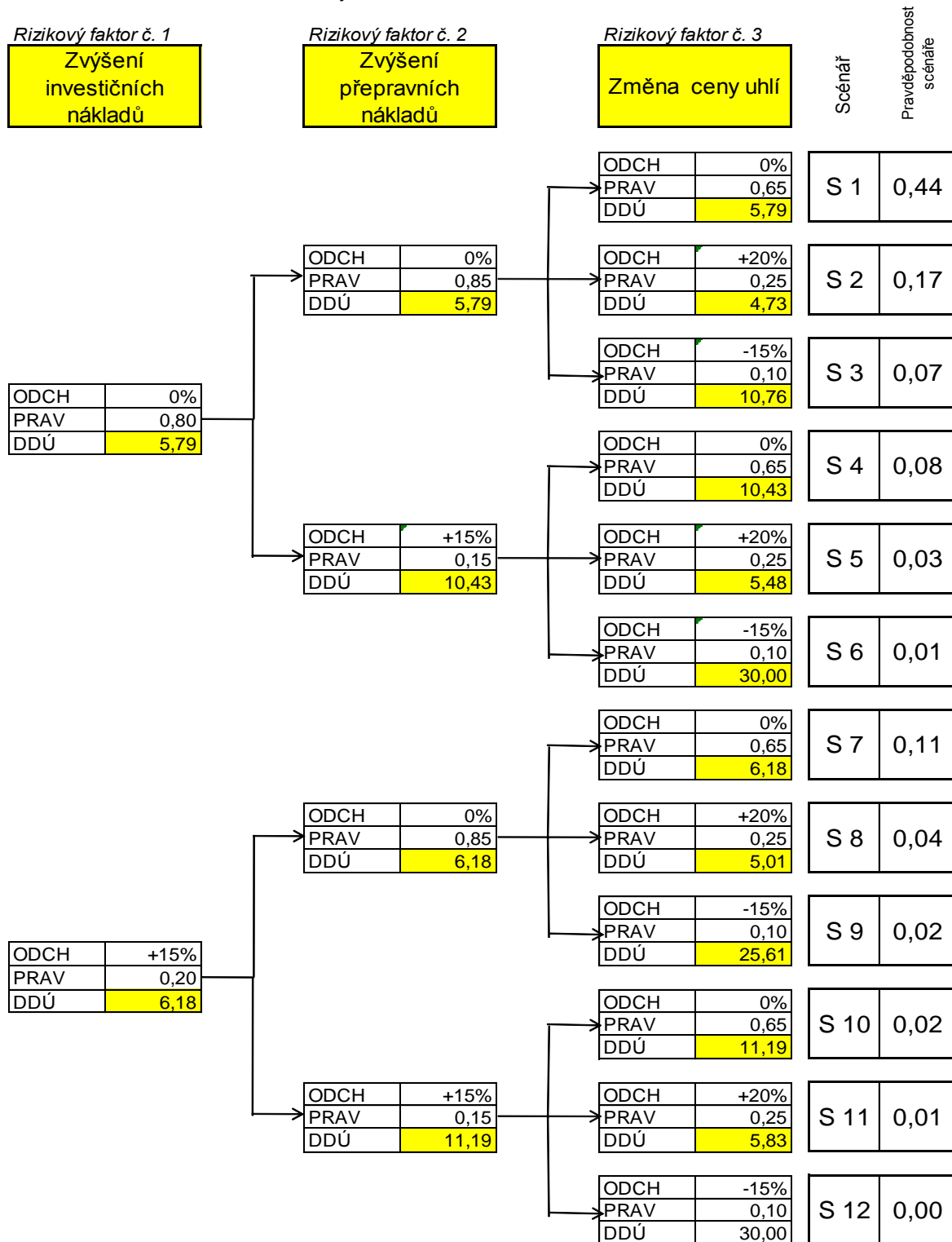
CSH = ČSH při zohlednění daného scénáře po 6-ti letech



ČSH jako vážený průměr všech scénářů 57 088 tis.Kč

Tabulka č. 35: Pravděpodobnostní strom projektu – diskontovaná doba úhrady

Legenda:  
 ODCH = odchylka od projektu  
 PRAV = pravděpodobnost odchyly  
 DDÚ = diskontovaná doba úhrady



**DDÚ jako vážený průměr všech scénářů 7,12 roků**

Při zohlednění rizik dle jejich pravděpodobnosti vzniku se diskontovaná doba úhrady prodloužila cca o 13 měsíců. Pravděpodobnost, že diskontovaná doba úhrady bude větší než 6 let je 23 %-ní. Překročení 7-mi leté hranice je s pravděpodobností 11 %. Při použití úrokové míry pro diskontování ve výši 8 % p.a. , je možno projekt „Úprava uhelných kalů na alternativní palivo“ hodnotit dobře a doporučit jej k realizaci.

## 6. Zobecnění a možnosti dalšího vývoje

V této kapitole jsou popsány některé problémy, které vyvstaly v průběhu konzultací disertační práce u odborníků pracujících v oborech, kde by alternativní palivo mohlo nalézat uplatnění a dále nastíněny možné řešení těchto problémů, které již byly v předcházejících kapitolách stručně popsány.

Jedním z popisovaných problémů, který vyvstal především u výrobců cementu, byla relativně vysoká cena za GJ tepla. Jak již bylo v předchozích kapitolách vysvětleno, výrobci cementu mají díky konstrukci rotační pece a kvalitativním požadavkům na palivo poměrně širokou paletu různých paliv, což bylo důvodem ne příliš velkého zájmu o toto palivo i přes obsah CaO v něm, byl pro ně tento materiál drahý. Na jedné z konferencí týkající se likvidace odpadů byl prezentován jeden specifický odpad vznikající v Německu, na jehož možnostech likvidace se nyní pracuje. Jedná se o materiál, který má velmi vysokou výhřevnost, která nedovoluje tento typ paliva běžně spalovat. Likvidace toho materiálu je navíc dotována cca 10 eury za jednu tunu. Pokud by se tedy podařilo, udělat směs alternativního paliva a toho materiálu vyřešil by se tím problém nízké výhřevnosti a díky finanční dotaci by také nedošlo k výraznému prodražení tohoto paliva. Při zkušebním zamísení tohoto materiálu s alternativním palivem se však vyskytl problém s dosažením a udržením homogenity takto připraveného paliva. Při sebemenším pohybu s touto směsí docházelo k rozduřování těchto dvou materiálů. Vzhledem k velkým rozdílům ve výhřevnosti těchto dvou paliv je dokonalá homogenita předpokladem bezproblémového spalování této směsi. Jako možné řešení se nabízí okamžité zkusování směsi bezprostředně po jejím zamísení. V současnosti se pro zkusování nejčastěji používají různé briketační popřípadě peletizační lisy, které sypký materiál kusovají na požadovanou velikost nebo váhu. Vzhledem k tomu, že se v této chvíli jedná pouze o návrh možného řešení, nedá se nyní dále pokračovat nějakou ekonomickou kalkulací. Pokud by však nakonec, jako ekonomicky zajímavé, vyšlo rozšíření této technologie o briketační popřípadě peletizační lis, bude jeho možné využití také pro přípravu paliva pro sektor energetiky. Místo materiálu s vysokou výhřevností by se k alternativnímu palivu přimíchávalo určité množství biomasy. Biomasou se



označuje veškerá organická hmota vzniklá prostřednictvím fotosyntézy, nebo hmotu živočišného původu. Tímto pojmem je často označována rostlinná biomasa využitelná pro energetické účely jako obnovitelný zdroj energie. V České republice je v oblasti obnovitelných energií nutné splnit indikativní i závazné cíle, které nám byly stanoveny směrnicemi EU. Podle státní politiky životního prostředí a státní energetické koncepce by měl být v roce 2010 podíl obnovitelných energií na primární spotřebě energetických zdrojů 6%. Podíl biomasy jako obnovitelné energie ve stávajících scénářích v České republice stále stoupá a v roce 2010 by měl představovat 81,7% obnovitelných energií. Lze tedy uvést, že navržené řešení míchání upravených uhelných kalů s biomasou a následné zkusování tohoto paliva přináší další možnost jak navýšit objem elektrické energie vyrobené z alternativních zdrojů, k čemuž se Česká republika zavázala v rámci boje za snižování skleníkových plynů. Je však potřeba zdůraznit, že výše popsané směry dalšího rozvoje alternativního paliva byly zatím jen teoreticky konzultovány a nelze tedy s jistotou tvrdit, že vše bude fungovat, tak jak bylo uvedeno.

Pro ověření, zdali je vůbec reálné výše popsané zkusování alternativního paliva s uhlím, s různými druhy odpadů a také s biomasou, byly v průběhu cca dvou měsíců provedeny laboratorní zkoušky zkusování připravených materiálů.

Obrázek č. 18 Briketovací lis firmy Hosokawa



Pro přípravu paliva byl použit laboratorní briketovací lis Hosokawa Bepex BhmH z Německa. Na obrázku č. 18 je zobrazen tento briketovací lis, který se skládá z násypného kužele, jehož součástí je šroubovitá hřídel, která tlačí materiál mezi lisovací hlavy a vytváří tlak ve vertikálním směru.

Pro první zkoušku byl zvolen vzorek, který byl připraven kombinací 15% hm. alternativního paliva a 85 % hm černého uhlí. Materiál byl dávkován do zásobníku. Hřídel v kuželovitém zásobníku zatlačovala materiál mezi rotační matrice a docházelo k aglomeraci materiálu a tvorbě briket. Brikety byly kompaktní, při dopadu nedoházelo k rozpadu či odlamování. Na vzorku briket byla stanovena pevnost, objemová hmotnost a vlhkost. Po stanovení těchto hodnot bylo rozhodnuto, že dojde k modifikaci parametrů na briketovacím zařízení a ke zjemnění distribuce zrn, neboť vzorek obsahoval větší shluky kalu s vápnem, větší zrna uhlí a jevil se málo homogenní. Po úpravě parametrů a předrcení homogenizaci vstupního materiálu se nově vzniklé brikety jeví jako pevnější.

Obrázek č. 19: Vyrobené palivo ze vzorku s příměsí černého uhlí



Pro briketování vzorku s biomasou bylo zvoleno stejných parametrů i postupu jako u předcházejícího vzorku. Nejprve došlo k přemletí vzorku, poté k jeho briketaci. Brikety vykazovaly podobné pevnosti jako brikety z předcházejícího vzorku. Udržely si pevnost při stisku mezi prsty a ani při dopadu nedocházelo k jejich rozlomení. Po zchlazení byly brikety naloženy do igelitových pytlů.

Obrázek č. 20: Detail brikety vyrobené s příměsí biomasy



Takto bylo připraveno cca 500 kg vzorků, u kterých byly ověřovány různé fyzikální vlivy na kvalitu konečného produktu. Na základě výsledků provedených laboratorních zkoušek lze tvrdit, že navrhované palivo bude moci být v budoucnosti zkusovováno a tedy, že se podařilo nalézt řešení popsaného problému.

## 7. Shrnutí vlastního přínosu (pro teorii a praxi)

Tato kapitola má za úkol zhodnotit přínos, který by tato práce měla přinést, respektive, co je v ní to nové oproti v současnosti používaným technologiím.

Když pomineme klasické a všeobecně známé využití vápna zejména ve stavebnictví, popř. hutnictví a zaměříme se na podobné možnosti využití vlastností vápna, jaké popisuje tato disertační práce, nalezneme dvě oblasti možného použití. Jedná se využití v oblasti stabilizace půd a při neutralizaci resp. hygienizaci odpadních kalů.

Jak již bylo uvedeno první oblastí kde je využívána reakce vápna a vlhkým materiálem je půdní stabilizace, kde základní úlohou aplikace vápna je snížení množství vody obsažené v zemině díky exotermické reakci páleného vápna s vodou na hydroxid vápenatý. Dochází tak k vysušení zeminy až na optimální vlhkost, při které je možno zeminu efektivně hutnit. Vápno v zemině způsobuje sekundární zpevnění zeminy díky pojivovým vlastnostem hydroxidu vápenatého a také z dlouhodobého hlediska může ovlivňovat pevnost zpětná přeměna hydroxidu vápenatého na uhličitán vápenatý.

Neutralizace, popřípadě hygienizace různých odpadních materiálů jako jsou například kaly z čističek odpadních vod, kde je hygienizace kalu používaná zejména jako metoda dodatečná po předchozí aerobní nebo anaerobní stabilizaci. Hlavní výhodou této metody jsou nízké náklady, vysoká účinnost eliminace salmonel, zvýšení sušiny odvodněného kalu a atraktivnost vápněného kalu pro zemědělské využití, zejména pro půdy s nízkým pH.

Technologie FuelCal<sup>®</sup> měla také původně sloužit jako jakési sofistikovanější zařízení pro hygienizaci kalů z čistíren odpadních vod, kde bylo zapotřebí kontrolovat teplotu, čas po který dochází k reakci vápna s vlhkostí, výslednou vlhkost popř. pH atd. A teprve při snaze zefektivnit celý tento proces vzniká tato patentově chráněná technologie. Dnes v Polsku stojí cca osm těchto jednotek zpracovávajících odpad zejména z živočišné výroby, který by jinak skončil v kafilériích, popřípadě na různých skládkách.

Přínos tedy můžeme vidět v prezentaci technologie, která je doposud známa jen velmi úzkému okruhu lidí a která je zároveň plnohodnotnou alternativou kafilerního zpracování živočišných odpadů. Hlavní přínos je však spatřován v náhledu na tuto technologii jako na technologii, která umožňuje ekonomicky zajímavé zpracování různých těžko zpracovatelných materiálů. Je velmi pravděpodobné, že existuje celá řada dalších, díky svým vlastnostem velmi hodnotných materiálů, které se v současné době nedají zpracovat, protože jejich samotné sušení v průmyslové sušičce by bylo z technických nebo ekonomických důvodů jen velmi těžko proveditelné. Naopak sušení pomocí technologie FuelCal<sup>®</sup>, kdy by následný obsah vápenného hydrátu v materiálu byl bonusem, který by zpracovatel byl schopen ekonomicky popř. jinak zhodnotit, může být řešením pro tyto druhy materiálů, které jsou v současnosti odpadem. A nemusí se jednat například pouze o odsiřovací schopnosti vápenného hydrátu. Vápenný hydrát je v dnešní době přidáván do celé řady materiálů, kde plní funkci výborného pojiva, které ovšem svým složením dále neovlivňuje další vlastnosti zpracovávaných materiálů.

Z výše uvedených důvodů lze tedy konstatovat, že tato disertační práce má svůj přínos jak po teoretické stránce tak především v oblasti praktické, což dokazuje zájem ze strany provozovatelů energetických zařízení o provedení poloprovozních zkoušek s popsáním materiálem.

## Závěr

Tato disertační práce v sobě spojuje dva na sobě závislé cíle. Prvním cílem bylo ověření možnosti zlepšit zpracovatelnost černouhelných kalů s vysokým obsahem vody pomocí dávkování mletého páleného vápna za možného využití technologie FuelCal<sup>®</sup>. Druhým cílem bylo sestavení technicko – ekonomického modelu, který by mohl být použit k vyhodnocení efektivnosti potencionálního projektu výroby alternativního paliva z černouhelných kalů.

Úvodní část disertační práce popisuje teoretická východiska řešeného problému.

V praktické části disertační práce se hledal vhodný poměr mezi páleným vápnem a uhelnými kaly, který by zajistil snížení jejich vlhkosti a tedy zlepšení zpracovatelnosti a zároveň příliš nezhoršil vlastnosti, které jsou podstatné pro koncového spotřebitele, kterým by měly být zejména uhelné elektrárny a teplárny. Mezi tyto vlastnosti patří zejména výhřevnost, odsiřovací schopnosti, ale také např. obsah popela. Bylo připraveno šest vzorků s různým obsahem vápna (resp. Vápenného hydrátu) a ty byly následně analyzovány. Na základě velmi dobrých výsledků bylo rozhodnuto o přípravě druhé části, která měla za úkol simulovat spalování připraveného alternativního paliva v různém poměru s doposud běžně používanými typy paliv jako je černé a zejména hnědé uhlí. Také výsledky zkoušek druhé části byly velmi dobré, kdy se potvrdila vysoká odsiřovací schopnost připraveného alternativního paliva a zároveň nedošlo k příliš výraznému poklesu výhřevnosti výsledné palivové směsi.

Poznatky získané při řešení prvního úkolu disertační práce byly následně využity při sestavení technicko – ekonomického modelu efektivnosti výroby alternativního paliva. Sestavení technicko – ekonomického modelu mělo za úkol potvrdit reálnost předpokladu, že využití černouhelných kalů k přípravě alternativního paliva je z technicko – ekonomického hlediska možné. Model tedy popisuje a kvantifikuje jednotlivé druhy přínosů a nákladů a dále pak řeší lokačně alokační problém možného umístění výrobní linky. Na závěr této části byl

sestaven a vyhodnocen investiční záměr včetně analýzy možných rizik, který také potvrdil zejména ekonomickou reálnost tohoto projektu

V závěrečné části disertační práce jsou popsány možnosti rozšíření stávající podoby alternativního paliva, které by tím mohly zvýšit a rozšířit zájem o tento druh materiálu, jedná se zejména o následnou možnost zkusování alternativního paliva, která umožní přidávání dalších složek k základní podobě alternativního paliva.

Na závěr lze tedy konstatovat, že tato disertační práce potvrdila předpoklady popsané v úvodních kapitolách tedy především ty, že navržené alternativní palivo dokáže zintenzivnit proces odsíření v tepelné elektrárně a zároveň svou nízkou výhřevností negativně neovlivní proces hoření ani kvalitu tzv. vedlejších energetických produktů. Technicko - ekonomický model následně potvrdil také ekonomickou životaschopnost tohoto projektu. Tato disertační práce by tedy mohla v budoucnu sloužit jako úvodní studie při zpracování velkých zásob uhelných kalů.



## Seznam literatury:

- [1] BEREBS, L.: Kalk, Verlag Stahleisen M.B.H., Düsseldorf 1972
- [2] Fotr, J.: Podnikatelský plán a investiční rozhodování. Praha: Grada Publishing, 1999, s.214. ISBN 80-7169-812-1
- [3] Fotr, J.: Strategické finanční plánování. Praha: Grada Publishing, 1999, s.149. ISBN 80-7169-694-3
- [4] IBLER, Z. a kol.: Energetika v příkladech.Praha: BEN- technická literatura, 2003, s. 384. ISBN 80-7300-097-0
- [5] IBLER, Z. a kol.: Technický průvodce energetika. Praha: BEN- technická literatura, 2002, s. 616. ISBN 80-7300-026-1
- [6] JIRKŮ, E.: Cement, Spolek chemiků Slováků, Bratislava 1948
- [7] KUTA, V.: Investiční proces a jeho technicko organizační aspekty. 1. Vyd. Ostrava: VŠB-TUO, 1998, s. 58. ISBN 80-7078-522-5
- [8] Multimedialní DVD SIMOPT s.r.o.: Encyklopedie energie v1. 1990
- [9] NOVOTNÝ, P., PŘÍVOZNÍK, M. a kol.:Jak se vyrábí elektrická a tepelná energie, Pardubice: IPO a.s. 2006
- [10] ROLLO, J.: Praktické příklady z operační analýzy. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1973, s. 148. Tč L31-B3-IV-41/31952/XI
- [111] STON, P.: Vyhodnocení projektu a realizace investičních akcí v podniku stavebního průmyslu. Ostrava: VŠB-TUO Diplomová práce 2001
- [12] ŠAUMAN, Z: Maltoviny I., Vysoké učení technické v Brně, 1993, ISBN 80-214-0509-0
- [13] SCHMIDT, P.: Provedení a vyhotovení laboratorních zkoušek účinnosti odsiřování směsných černouhelných kalů, Most: VÚHU a.s. 2008
- [14] TUČEK, A.: Stavivo – Výrobně technický měsíčník pro obor stavivo, Praha 1979

- [15] VALACH, J.: Investiční rozhodování a dlouhodobé financování (1. část). 4.dotisk 1. vyd. Praha: ediční oddělení VŠE, 1998, s.156. ISBN 80-7079-520-4
- [16] VALACH, J.: Investiční rozhodování a dlouhodobé financování (2. část). 2.dotisk 1. vyd. Praha: ediční oddělení VŠE, 1998, s.130. ISBN 80-7079-067-9
- [17] VOŠTA, J., MATĚJKA, Z., MACÁK, J.:Energetika, Vydavatelství VŠCHT Praha 1999, ISBN 80-7080-358-4
- [18] [www.carbonwarehouse.eu](http://www.carbonwarehouse.eu)
- [19] [www.cez.cz](http://www.cez.cz)
- [20] [www.maerz.com](http://www.maerz.com)
- [21] [www.mpo.cz](http://www.mpo.cz)
- [22] [www.pravda.cz](http://www.pravda.cz)
- [23] [www.svcement.cz](http://www.svcement.cz)
- [24] [www.wikipedia.cz](http://www.wikipedia.cz)

## Seznam zkratek:

$M_{cu}$  = množství nahrazeného černého uhlí

$P_1$  – *Náhrada hnědého/černého uhlí*

$C_{hu}$  = cena hnědého uhlí v Kč/t

$Q_{hu}$  = výhřevnost hnědého uhlí v rozmezí 12 – 17 [GJ/t]

$Q_{uka}$  = výhřevnost upravených uhelných kalů v rozmezí 9,5 – 12,5 [GJ/t]

$Q_{cu}$  = výhřevnost černého uhlí

$Q_{hu}$  = výhřevnost černého uhlí

$C_{cu}$  = cena černého uhlí v Kč/t

$P_2$  – *Náhrada mletého vápence při odsiřování kouřových plynů*

$C_{mvp}$  = cena mletého vápence

$PO_{vap}$  = podíl vápna (CaO) v upravených kalech (alternativním palivu)

$P_3$  – *Snížení emise  $CO_2$*

$PO_{AP}$  - podíl doplňku alternativního paliva

$E_{HU}$  – emise 1 z tuny hnědého uhlí

$E_{HU+AP}$  – emise 1 tuny směsi hnědého uhlí + alternativního paliva

$E_{CU}$  – emise 1 tuny černého uhlí

$E_{CU+AP}$  – emise 1 tuny směsi černého uhlí + alternativního paliva

$C_{po}$  = cena povolenky na vypuštění 1 t  $CO_2$  do ovzduší

$M_{po}$  = množství uspořené povolenek

$POP_{cu}$  - obsah popela v černém uhlí

$POP_{uka}$  - obsah popela v alternativním palivu

$C_{pop}$  - cena za ukládání popílku

$M_{ka}$  - množství nakoupených uhelných kalů [t]

$PO_{voda}$  [%] - obsah vody, která se při výrobě upravených kalů odpaří

$C_{ka}$  - cena uhelných kalů [Kč/t]

$M_{va}$  - vsázka vápna [t]

$M_{uka}$  - množství upravených uhelných kalů [t]

$PO_{vap}$  - podílem vsázky vápna [%].

$C_{va}$  - cena vápna [Kč/t]

$C_{pka}$  - cena přepravy uhelných kalů [Kč/t]

$C_{pva}$  - cena přepravy vápna [Kč/t]

$C_{puka}$  - cena přepravy upravených uhelných kalů [Kč/t]

$N_{44}$  – Výrobní a správní režie

$N_{43}$  – Odpisy hmotného majetku

$N_{42}$  – Osobní náklady

$N_{41}$  – Náklady na spotřebu energie

$N_4$  - *Zpracovací náklady*

$N_3$  - *Přepravní náklady*

$N_2$  - *Vsázka mletého vápna*

$N_1$  - *Nákup uhelných kalů*

## Seznam obrázků:

- Obrázek č. 1: Foto laguny černouhelných kalů
- Obrázek č. 2: Detail laguny černouhelných kalů
- Obrázek č. 3: Vytěžené černouhelné kaly
- Obrázek č. 4: Schematický nákres pecního systému typu Maerz
- Obrázek č. 5 – Vápenka Vitošov s.r.o. - pece typu Maerz
- Obrázek č. 6: Schematické zobrazení technologie FUELCAL
- Obrázek č. 7: Schéma odsíření mokrou vápencovou cestou
- Obrázek č. 8: Absorbér
- Obrázek č. 9: Schéma výroby cementu
- Obrázek č. 10: Uhelný kal
- Obrázek č. 11: Směs uhelného kalu a 5% CaO
- Obrázek č. 12: Směs uhelného kalu a 10% CaO
- Obrázek č. 13: Směs uhelného kalu a 20% CaO
- Obrázek č. 14: Směs uhelného kalu a 30% CaO
- Obrázek č. 15: Laboratorní mísící zařízení od firmy Beton System
- Obrázek č. 16: Vzorek na počátku míchání
- Obrázek č. 17: Vzorek po 5 minutách míchání
- Obrázek č. 18 Briketovací lis firmy Hosokawa
- Obrázek č. 19: Vyrobené palivo ze vzorku s příměsí černého uhlí
- Obrázek č. 20: Detail brikety vyrobené s příměsí biomasy

## Seznam tabulek:

- Tabulka č. 1: Vybrané vlastnosti černouhelných kalů*
- Tabulka č. 2: Kvalitativní parametry tuhého paliva používaného v cementárnách*
- Tabulka č. 3: Výsledky základního technologického rozboru*
- Tabulka č. 4: Výsledky rozborů obsahu chloru a teplot tavitelnosti*
- Tabulka č. 5: Výsledky stanovení stupně odsíření*
- Tabulka č. 6: Základní technologický rozbor (AP obsahovalo 20% CaO)*
- Tabulka č. 7: Obsah chloru, emisní faktor a teploty tavitelnosti (AP obsahovalo 20% CaO)*
- Tabulka č. 8: Obsah síry v popelu (AP obsahovalo 20% CaO)*
- Tabulka č. 9: Stanovení laboratorního stupně odsíření (AP obsahovalo 20% CaO)*
- Tabulka č. 10: Rozdělení spotřeby uhlí podle krajů*
- Tabulka č. 11: Uplatnění uhelných kalů*
- Tabulka č. 12: Tabulka výhřevností HU*
- Tabulka č. 13: Tabulka výhřevností ČU*
- Tabulka č. 14: Výpočet emisí při použití podílu alternativního paliva*
- Tabulka č. 15: Výsledky snížení emisí CO<sub>2</sub>*
- Tabulka č. 16: Výpočet přínosu 1t alternativního paliva*
- Tabulka č. 17: Kalkulace nákladů na 1t alternativního paliva*
- Tabulka č. 18: Výpočet optimálního umístění mísícího místa*
- Tabulka č. 19: Výpočet přepravních nákladů*
- Tabulka č. 20: Celkové přepravní náklady*
- Tabulka č. 21: Optimální dodavatelsko-odběratelské relace – výchozí stav*
- Tabulka č. 22: Výchozí skladba výrobních jednotek*
- Tabulka č. 23: Přehled optimalizačních kroků a vyčíslení optimalizačního kritéria*
- Tabulka č. 24: Optimální dodavatelsko-odběratelská relace*
- Tabulka č. 25: Optimální skladba výrobních jednotek*
- Tabulka č. 26: Výpočet tržeb, nákladů a zisku dle jednotlivých zákazníků*

## Disertační práce

*Tabulka č. 27: Plán výroby, prodeje, tržeb a nákladů*

*Tabulka č. 28: Plán výroby, prodeje, tržeb a nákladů*

*Tabulka č. 29: Výkaz zisku a ztrát*

*Tabulka č. 30: Investice a odpisy*

*Tabulka č. 31: Rozvaha*

*Tabulka č. 32: Peněžní tok, diskontovaný peněžní tok a ukazatelé rentability*

*Tabulka č. 33: Závislost doby návratnosti a ČSH po 6-ti letech provozu na stanovení úrokové míry použité pro diskontování*

*Tabulka č. 34: Pravděpodobnostní strom projektu – čistá současná hodnota*

*Tabulka č. 35: Pravděpodobnostní strom projektu – diskontovaná doba úhrady*

## Seznam grafů:

*Graf č. 1: Vývoj využívání elektrické energie z různých zdrojů*

*Graf č. 2: Vývoj struktury paliv používaných k výrobě cementu*

*Graf č. 3: Vliv obsahu CaO na výhřevnost a spalné teplo*

*Graf č. 4: Vliv obsahu CaO na teploty tavitelnosti*

*Graf č. 5: Obsah síry ve vzorku a v popelu po přepočtení v závislosti na obsahu CaO*

*Graf č. 6: Odvozené emise síry v %*

*Graf č. 7: Vypočítané odsíření v %*

*Graf č. 8: Vliv obsahu příměsi kalu na výhřevnost směsí*

*Graf č. 9: Vliv obsahu příměsi AP na výhřevnost směsí*

*Graf č. 10: Vliv obsahu příměsi uhelního kalu na spalné teplo černého uhlí*

*Graf č. 11: Vliv obsahu příměsi uhelního kalu na spalné teplo hnědého uhlí*

*Graf č. 12: Vliv obsahu příměsi AP na spalné teplo černého uhlí*

*Graf č. 13: Vliv obsahu příměsi AP na spalné teplo hnědého uhlí*

*Graf č. 14: Vliv obsahu příměsi AP na odsíření*

*Graf č. 15 : Vliv obsahu příměsi kalu na odsíření*