České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní – Ústav Energetiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Srovnání uhlí z různých ložisek v ČR

2017 Vojtěch Máslík

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Máslík** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **437728**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**

Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**

Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Porovnání vlastností uhlí z různých ložisek v ČR

Název bakalářské práce anglicky:

Comparison of coal from different coal deposits in the Czech Republic

Pokyny pro vypracování:

Porovnejte složení a spalovací vlastnosti uhlí z různých ložisek ČR.
Práce bude obsahovat:
1. Zpracování rešerše druhů, vlastností a využívání uhlí v ČR.
2. Porovnání složení uhlí z různých ložisek v ČR.
3. Popis přípravy uhlí před jeho dalším využitím.
4. Výpočet a vzájemné srovnání spalovacích vlastností uvedených druhů uhlí.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Havlík, ústav energetiky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **02.06.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce	Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta
24. 4. 2017	

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci zpracoval samostatně a souhlasím s tím, že její výsledky mohou být dále využity dle uvážení vedoucího této práce Ing. Jana Havlíka jako jeho spoluautora. V případě publikace si přeji být uveden jako spoluautor.

Datum…… Podpis……

Anotační list

Jméno autora:	Vojtěch Máslík
Název BP/DP:	Porovnání vlastností uhlí z různých ložisek v ČR
Anglický název:	Comparison of coal from different coal deposits in the Czech Republic
Akademický rok:	2017
Ústav/Odbor:	Ústav energetiky
Vedoucí BP/DP:	Ing. Jan Havlík
Bibliografické údaje:	Počet stran: 33 Počet obrázků: 4 Počet tabulek: 23 Počet příloh: 4
Klíčová slova:	Uhlí, výhřevnost, ložiska uhlí, příprava uhlí, výpočet účinnosti kotle
Keywords:	Coal, caloric value, coal deposits, preparation of the coal, calculation of the boiler efficiency
Anotace:	Práce se zabývá porovnáním vlastností uhlí z různých ložisek uhlí na území ČR. Jsou zde popsány hlavní ložiska uhlí v ČR a k nim přiřazeny složení a vlastnosti příslušných typů uhlí. Dále je popsána příprava uhlí před jeho spalováním. Jsou vypočítány spalovací vlastnosti uhlí pro jednotlivé doly, z kterých se aktivně těží na území ČR. Tyto vlastnosti jsou následně porovnány.
Abstrakt:	This work deals with comparison of the coal properties from different deposits in Czech republic. The main coal deposits in Czech republic are described, their composition and properties of every type of coal being mined. Also the preparation of the coal before combustion. Combustion properties are being calculated for every active mine in the Czech republic. Those properties are being compared afterwards.

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat všem, kteří mi při vytváření této práce pomáhali. Především děkuji svému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Janu Havlíkovi. za cenné rady a připomínky při vedení mé bakalářské práce.

Obsah

1. Úvod **3**

2. Uhlí a jeho využití v ČR **4**

2.1. Zařazení fosilních paliv 4

2.2. Vznik fosilních paliv 4

2.3. Chemické a fyzikální vlastnosti uhlí 5

2.4. Druhy uhlí 7

2.5. Využití uhlí 7

3. Ložiska uhlí na území ČR a jejich srovnání **8**

3.1. Ložiska černého uhlí na území ČR 8

3.2. Ložiska hnědého uhlí na území ČŘ 10

3.3. Ložiska lignitu na území ČR 11

3.4. Druhy paliva z jednotlivých dolů 13

3.4.1. Černé uhlí 13

3.4.2. Hnědé uhlí 14

3.5. Srovnání průmyslové směsi hnědého uhlí 17

3.6. Srovnání hnědého uhlí používané v komunální sféře 18

4. Příprava uhlí před spalováním **18**

5. Srovnání spalovacích vlastností uhlí **21**

5.1. Výpočet spalovacích vlastností 21

5.1.1. Složení paliva 21

5.1.2. Přepočet paliva a výpočet výhřevnosti 22

5.1.3. Stechiometrické výpočty 22

5.1.4. Tepelné ztráty kotle 23

5.1.5. Výpočet množství paliva 25

5.2. Srovnání spalovacích vlastností 25

6. Závěr **27**

7. Seznam použité literatury **29**

Seznam symbolů, indexu a zkratek

PS	průmyslová směs
TS	topná směs
ESP	energetická směs praná
ETP	energetická tříděná praná
WBD	World biodiversity database
HP	hrubý prach
ČSA	Československá armáda
SHP	sušený hnědouhelný prach

1. Úvod

Uhlí je dodnes jedno z nejpoužívanějších energetických paliv v ČR, i přes výraznou snahu snížit tuto spotřebu je v energetickém průmyslu nejvíce zastoupeno v tvorbě elektrické energie. Také k vytápění domácností je stále používáno několika statisíci domácnostmi.

Uhlí je děleno podle kvality a stupně prouhelnění na antracit, černé uhlí, hnědé uhlí a lignit. Na území ČR se těží z největší části hnědé uhlí, které se nachází v oblasti severozápadní části ČR, mezi aktivně těžené pánve patří sokolovská a severočeská pánev. Vytěžené uhlí z těchto pánví slouží zejména energetickému průmyslu. Černé uhlí je těženo z hornoslezské pánve, která je jediná aktivně těžena, ostatní pánve jsou chráněny těžebními limity nebo jsou již vytěženy.

Cílem této práce bude porovnání vlastnosti uhlí z různých ložisek uhlí, které se nacházejí na území ČR, přiřadit jednotlivé druhy uhlí k dolům a rozhodnout, které uhlí má nejlepší chemické a fyzikální vlastnosti pro další použití.

Součástí této práce bude také výpočet spalovacích vlastností pro dva druhy uhlí, průmyslové směsi a kostky 2, a následně tyto vlastnosti porovnány. Pro výpočet průmyslové směsi bude uvažováno použití práškového kotle, pro kostku 2 pak použití roštového kotle. Poté budou výsledky porovnány pro každé palivo a bude rozhodnuto, které palivo je nejvýhodnější k používání na základě vypočítaných spalovacích vlastností a účinnosti kotle.

2. Uhlí a jeho využití v ČR

2.1. Zařazení fosilních paliv

Fosilní paliva neboli kaustobiolity jsou formy odumřelé organické substance, též zvané nekromasa, která se nachází v zemské kůře a v některých případech na povrchu. Nekromasu lze rozdělit po stránce kvalitativní a chemické do tří kategorií, podle toho v čem je a zda je rozpustná a extrahovatelná z dané horniny, na bitumen, huminové látky a kerogen spolu s karboidy.[1]

Bitumen je organická substance rozpustná v organických rozpouštědlech např. v chloroformu. Mezi bitumeny patří primárně přírodní uhlovodíky, které budují i ropu nebo uhlovodíkový zemní plyn.[1]

Huminové látky jsou organické hydrosoly a gely rozpustné v alkalických rozpouštědlech a lze je najít např. v humusu, rašelině nebo v hnědém uhlí. Chybějí v ropě, vysoce prouhelněném černém uhlí a v antracitu. [1]

Kerogen a karboidy jsou organická substance nerozpustné v organických i alkalických rozpouštědlech, tyto substance jsou však spalitelné. Karboidem jsou označovány látky např. antracit, základní hmota vysoce prouhelněných černých uhlí nebo základní hmota vysoce lesklých nerostů z přírodních uhlovodíků. Mezi karboidy lze zařadit i umělé produkty jako koks nebo saze.[1]

2.2. Vznik fosilních paliv

Pro změnu nekromasy, planktonu nebo vyšších rostlin na fosilní palivo musí projít procesy uhelnění nebo ropotvorby. Podstatou procesů je hluboký rozklad velkých molekul biopolymerů a nekromasy na monomery a posléze syntéza monomerů na nové velké velkomolekulární organické látky bohatší na uhlík a vodík.[1]

Proces uhelnění, který postihuje převážně nekromasu vyšších rostlin primárně reprezentuje rašelinění, které probíhá na povrchu, a prouhelňování v kůře. K ropotvorbě je na povrchu proces hnití, v kůře pak bituminace. [1]

Podle řídících faktorů a reakcí v průběhu uhelnění a ropotvorby je tvorba fosilních paliv rozdělena na dvě fáze, fází biochemickou s rašeliněním a hnitím a fázi geomechanickou s prouhelňováním a bitumací. [1]

Rašelinění je biochemická fáze, která probíhá při omezeném přístupu vzduchu. Podstatu nekromasy rašelinišť tvoří cévnaté rostliny a jejich těla, v kterých se rozkládá zejména lignin, celulosa a proteiny obsažené v rostlinných organismech. Při rašelinění vznikají a

unikají CO_2 a CH_4. Výsledným produktem je rašelina, která je definována jako organická, hydrofilní, koloidní substance obsahující podíl vyšších částích rostlin do různého stupně rozložení, minerální příměsi a přibližně 75% vody. [2]

tabulka č. 1: Elementární složení rašeliny

Elementární složka	složení [%]
uhlík	50 - 60
kyslík	33 - 40
vodík	4,5 -6
dusík	0,9 - 3,5
síra	0,1 - 2

Geochemická fáze je proces, při kterém již dochází k tvorbě fosilních paliv. Celý tento děj probíhá v litosféře, kde plynule přechází z rozkladu organismů v hloubce prvních metrů. Pro danou fázi je typické působení geologických faktorů, zejména teploty, tlaku a času. [1]

V průběhu geochemické fáze se rašelina a organická příměs sedimentů mění prouhelňováním na hnědé uhlí, černé uhlí a antracit, z příměsí vznikají bituminací plynné uhlovodíky, např. zemní plyn nebo kapalné uhlovodíky, mezi které řadíme např. ropu. [1]

Během prouhelňování dochází k tvorbě karboidů, tj. přibližování makromolekul s krystality grafitu. Z fyzikálního a chemického pohledu se zmenšuje objem, klesá obsah vody, roste tvrdost a roste obsah uhlíku. [1]

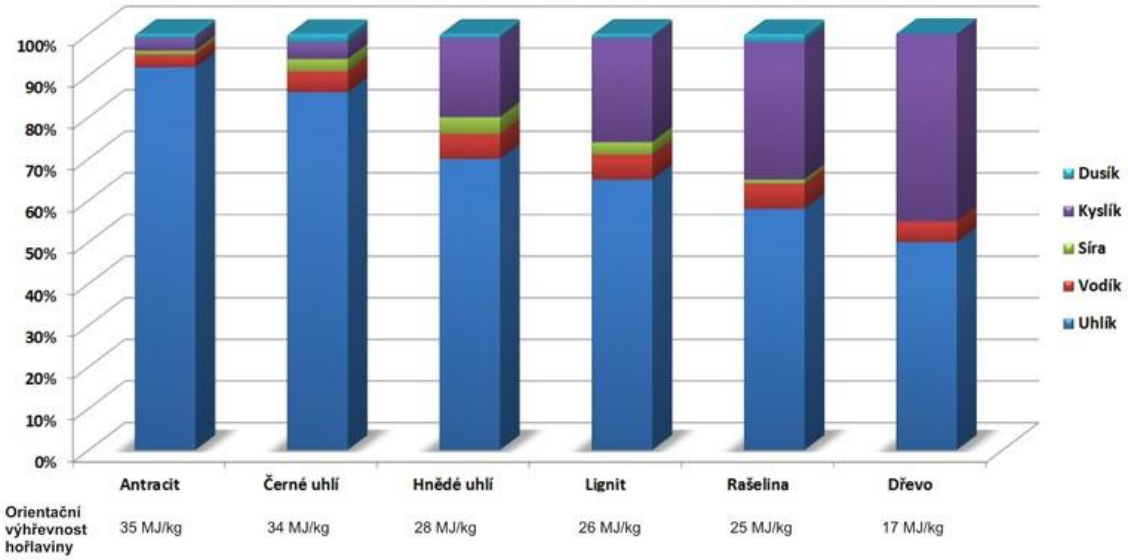
Uhlí je možné rozdělit podle stupně prouhelnění:

- málo prouhelněné uhlí se nazývá hnědé
- středně prouhelněné černé
- hodně prouhelněné uhlí je antracit.
- Méně kvalitní hnědé uhlí se také nazývá lignit, patří mezi nejméně kvalitní uhlí a obecně jeho výhřevnost oproti více prouhelněnému je značně nižší.

2.3. Chemické a fyzikální vlastnosti uhlí

Vlastnosti uhlí jsou závislé na stupni prouhelnění, charakteru minerální příměsi a stupni porušení daného ložiska. Mezi elementární prvky složení patří uhlík - C, vodík - H, kyslík - O, dusík - N, sýra - S a také stopové množství dalších prvků. Podíly jednotlivých prvků se liší podle stupně prouhelnění. Čím více je daný vzorek

prouhelněný, tím je vyšší obsah uhlíku, klesá obsah vodíku a kyslíku, obsah dusíku je přiměřeně stejný. Vyšší obsah síry je nežádoucí vůči životnímu prostředí. [1]



Obr. 1: Složení jednotlivých uhlí podle stupně prouhelnění [3]

Z hlediska energetického je výhodné, aby dané uhlí bylo co nejvíce prouhelněné, s vyšším obsahem C se zvyšuje výhřevnost. Výhřevnost je vlastnost paliva, která udává množství uvolněné energie při spálení 1 kg dané hmoty. [3]

Na výhřevnost mají pozitivní vliv aktivní prvky, zejména C, ale také H a S. Nežádoucí vliv má naopak voda obsažená v uhlí, která ji snižuje. Vodu můžeme odstranit dalšími přípravami uhlí jako např. sušením. [3]

Množství energie, které lze dostat z hmoty spálením, lze také popsat pomocí spalného tepla, které je definováno jako teplo, které se uvolnilo při dokonalém spálení jednoho kg dané hmoty, oproti výhřevnosti, která počítá s tím, že voda ve spalinách zůstane v plynném stavu a neuvolní se skupenské teplo vody. Výhřevnost není možné experimentálně měřit, a proto se zpravidla vypočítává ze spalného tepla. [3]

Výpočet výhřevnosti a spalného tepla je stanoven pomocí normy ČSN 44 1352 resp. ČSN EN ISO 1716 STANOVENÍ SPALNÉHO TEPLA A VÝPOČET VÝHŘEVNOSTI MATERIÁLŮ, která popisuje experimentální stanovení spalného tepla Q_s. [4]

Pro výpočet výhřevnosti ze spalného tepla je možné přepočítat pomocí vztahu

$$Q_i^r = Q_s^r - 2453 \cdot (W^r + 9 \cdot \mathrm{H}^r)$$

W - obsah vody v analytickém vzorku

9 - koeficient pro přepočet vodíku na vodu

H^r- obsah vodíku v analytickém vzorku. [16]

2.4. Druhy uhlí

Vytěžené uhlí se také dále dělí zpravidla podle velikosti zrn uhlí. Toho se docílí tříděním uhlí na jednotlivé velikosti, které jsou popsány v tab. č. 2., která znázorňuje druhy hnědého uhlí, používané v ČR. Pro práškové kotle se používají paliva s nižší výhřevností a vyšším obsahem popela a hlavně malou zrnitostí. V těchto kotlích se používá průmyslová směs 1 (PS1) a průmyslová směs 2 (PS2), také topné směsi 1 a 2 (TS1 a TS2) a také hrubý prach. [8]

Pro menší kotle, zpravidla roštové, se používají paliva s menším obsahem popela a vyšší zrnitostí. Mezi takové druhy uhlí patří ořech 1 a ořech 2 a také kostka 2, která je charakteristická většími rozměry než ořech. [8]

tabulka č. 2: Druhy hnědého uhlí

druh uhlí	zrnitost [mm]	W^r- obsah vody [%]	A^d - obsah popela [%]	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]
PS1	0 - 40	26 - 36	22 - 27	12 - 16
PS2	0 - 40	25 - 36	28 - 41	14 - 18
TS1	0 - 40	26 - 27	17	18
TS2	0 - 40	26 - 27	26	15
HP	0 - 12	28 - 39	13 - 20	14 - 17
ořech 1	20 - 50	26 - 40	9 - 16	14 - 20
ořech 2	20 - 50	26 - 40	9 - 17	14 - 20
kostka 2	40 - 80	26 - 40	9 - 15	14 - 20

Černé uhlí se nerozděluje na tolik druhů jako hnědé viz tab. 8. Pro elektrárenský průmysl se používá zejména ESP (energetická směs praná) a ETP (energetické tříděné prané), které jsou využívané v práškových kotlích. Pro menší kotle roštové jsou převážně používané druhy ořech 1 a kusy. [8]

2.5. Využití uhlí

V České republice patří největší podíl na výrobě elektrické energie právě hnědému a černému uhlí. V roce 2013 tvořil podíl celkové produkce elektrické energie pomocí hnědého uhlí 40,15% a černé uhlí bylo zastoupeno 5,97%. Za poslední roky je snaha tuto produkci nahradit některým více ekologickým způsobem, zejména jadernými elektrárnami a také se několikanásobně zvýšila výroba elektrické energie ze solárních elektráren, ale na celkový podíl výroby z uhlí to nemělo až tak zásadní vliv.[13]

Mezi další významné využití uhlí patří komunální sféra, tzn. zejména jeho spalování pro vytápění domácností. V roce 2011 používalo tuto formu vytápění 346 000 domácností.

Poslední roky je ale tendence tuto hodnotu snižovat díky přísnějším kontrolám na kotle a rostoucích cen uhlí.[13]

Dále je uhlí také používáno pro metalurgické procesy, zejména pro výrobu surového železa a oceli, kde se využívá v původní formě nebo ve formě koksu. Koksování uhlí je soubor procesů, při kterém bez přístupu vzduchu a vysokých teplot dosahující 1000 °C dochází ke vzniku koksu, ne všechny druhy uhlí jsou vhodné pro tuto úpravu a zejména se používá černé uhlí.[14]

Uhlí je také možné zkapalnit. Zkapalňování uhlí se provádí obvykle při 430 - 480 °C, tlaku 15 - 25 MPa a reakční době 20 - 60 minut a je možné takto vyrobit kapalné fosilní paliva, např. naftu nebo benzín, ale tento proces je velice energeticky náročný a nevyplatí se z ekonomických důvodů. [12]

3. Ložiska uhlí na území ČR a jejich srovnání

Černé a hnědé uhlí patří mezi nejdůležitější energetické surovinové zdroje v České republice. Zásoby uhlí na území je zhruba rovno jednomu procentu celosvětové zásoby. [5]

Při současné těžbě uhlí by veškeré zásoby došly v roce 2040, z pohledu celosvětového měřítka je to velmi krátká doba, ale za poslední roky je těžba výrazně omezována z politických a ekologických důvodů. Nejkvalitnější antracit už se na našem území nenachází. V celosvětovém měřítku tvoří ale přibližně 1% všech nalezených ložisek. [5]

3.1. Ložiska černého uhlí na území ČR

Černé uhlí, vytěžené na území ČR, patřilo mezi hlavní vývozní surovinu, ovšem s omezující se těžbou při stálé tendenci bude ČR za pár let nejspíše černé uhlí dovážet. Celková těžba černého uhlí v roce 2015 tvořila 0,11% celosvětové těžby. [5]

tabulka č. 3: Vývoz a dovoz černého uhlí za rok v rámci ČR

rok	2011	2012	2013	2014	2015
dovoz [kt]	2 408	1 978	2 153	3 138	2 886
vývoz [kt]	6 257	5 370	4 845	4 315	3 565

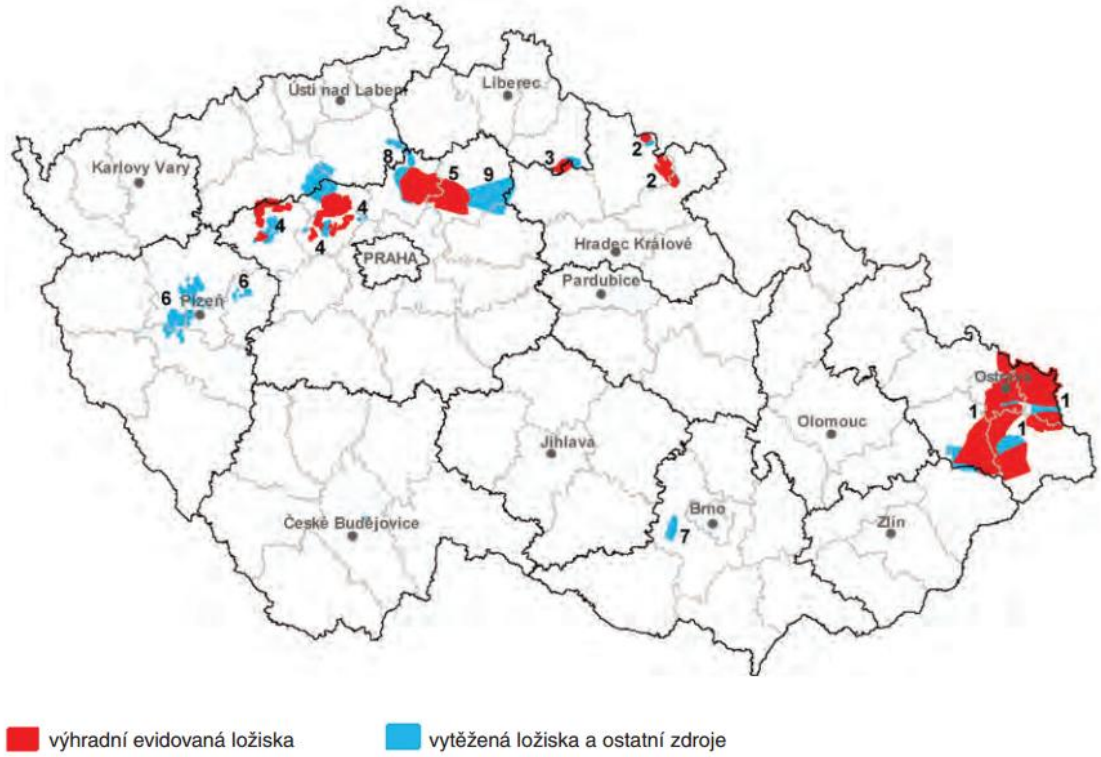
Těžba černého uhlí se za posledních 5 let se snížila o 30%. Pokud se neprolomí těžební limity v některých místech, těžba bude nadále klesat. [5]

tabulka č. 4: Těžba uhlí za rok v rámci ČR

rok	2011	2012	2013	2014	2015
černé uhlí [kt]	10 967	10 796	8 610	8 341	7 640
hnědé uhlí [kt]	46 848	43 710	40 585	38 348	38 351
lignit [kt]	0	0	0	0	0
Antracit [kt]	0	0	0	0	0

Mezi nejhlavnější ložiska černého uhlí patří hornoslezská pánev, v které se nachází nejvíce zásob černého uhlí. Také je momentálně jediná pánev, ze které probíhá těžba. Mezi nevytěžené pánve černého uhlí také patří mšensko-roudnická pánev, česká část vnitrosudetské pánve, podkrkonošská pánev a kladensko-rakovnická pánev. [5]

Vytěžené pánve se nachází v plzeňské a radnické oblasti, také mnichovohradišťská pánev, část mšensko-roudnické pánve, boskovická brázda a část středočeské pánve. [5]



Obr. 2: Evidovaná ložiska černého uhlí České republiky [5]

tabulka č. 5: Přehled těžebních společností působící v jednotlivých pánvích

Název pánve	Společnost	Název dolu	Status dolu	č. pánve na obr. 2
hornoslezská	OKD a.s.	ČSA	uzavřen	1
		Lazy	uzavřen	
		Darkov	uzavřen	
		Paskov	aktivní	
mšensko-roudnická	-	-	netěženo	5
vnitrosudetská	-	-	netěženo	2
kladensko-rakovnická	-	-	netěženo	4
plzeňská	-	-	vytěženo	6
radnická	-	-	vytěženo	8
mnichovohradišťská	-	-	vytěženo	9
boskovitská brázda	-	-	vytěženo	7

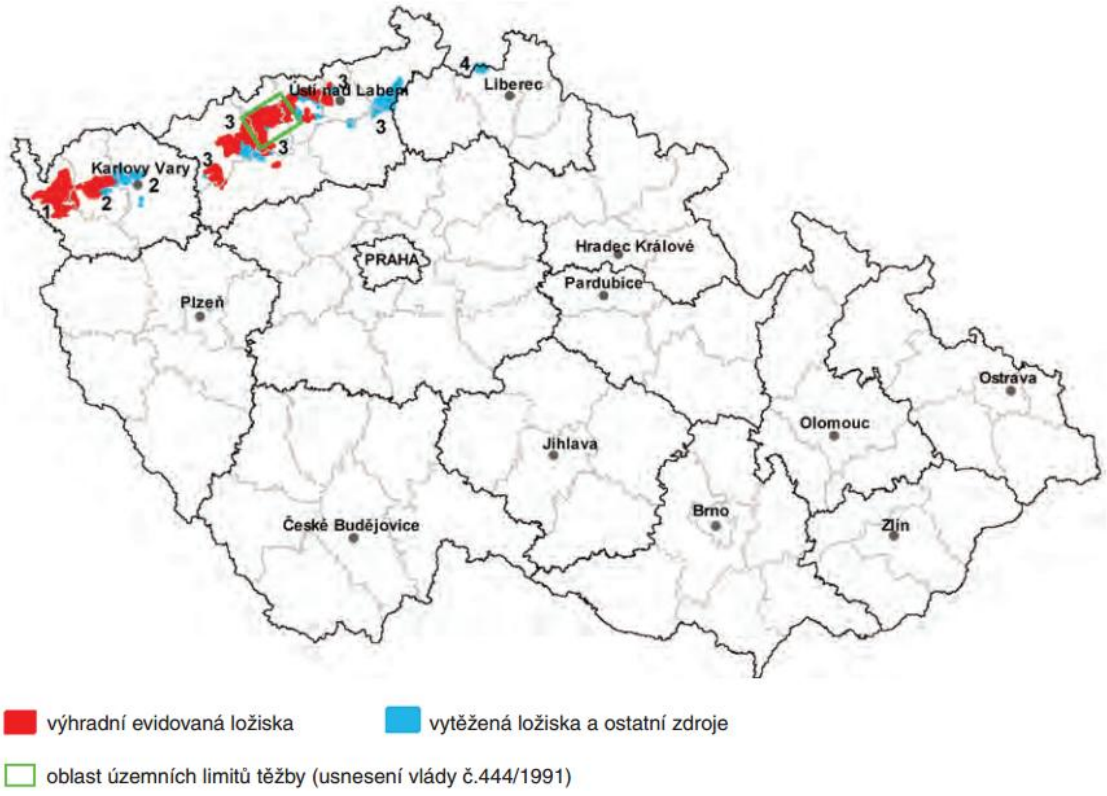
3.2. Ložiska hnědého uhlí na území ČŘ

Hnědé uhlí je z největší části těžené v oblasti severních Čech. Mezi největší ložiska patří sokolovská pánev a severočeská pánev, které se pořád aktivně těží i přes jejich ubývající zásoby, také v severočeské pánvi je těžba omezena limity z usnesení vlády č. 444/1991. Mezi nevytěžené také patří chebská pánev, která ale nejspíš nikdy těžena nebude z politických a ekologických důvodů. Severní česká část žitavské pánve je již zcela vytěžená. [5]

tabulka č. 6: Vývoj ceny dovozu mezi roky 2011 a 2015

rok	2011	2012	2013	2014	2015
Průměrná cena dovozu [Kč/t]	2 017	1 203	1 263	606	653

Pro těžební společnosti je také problém padající cena hnědého uhlí. Mezi roky 2011 a 2015 dovozní cena spadla téměř o 1400Kč/t při počáteční ceně 2 017Kč/t. [5]



Obr. 3: Evidovaná ložiska hnědého uhlí České republiky [5]

tabulka č. 7 Přehled těžebních společností působící v jednotlivých pánvích

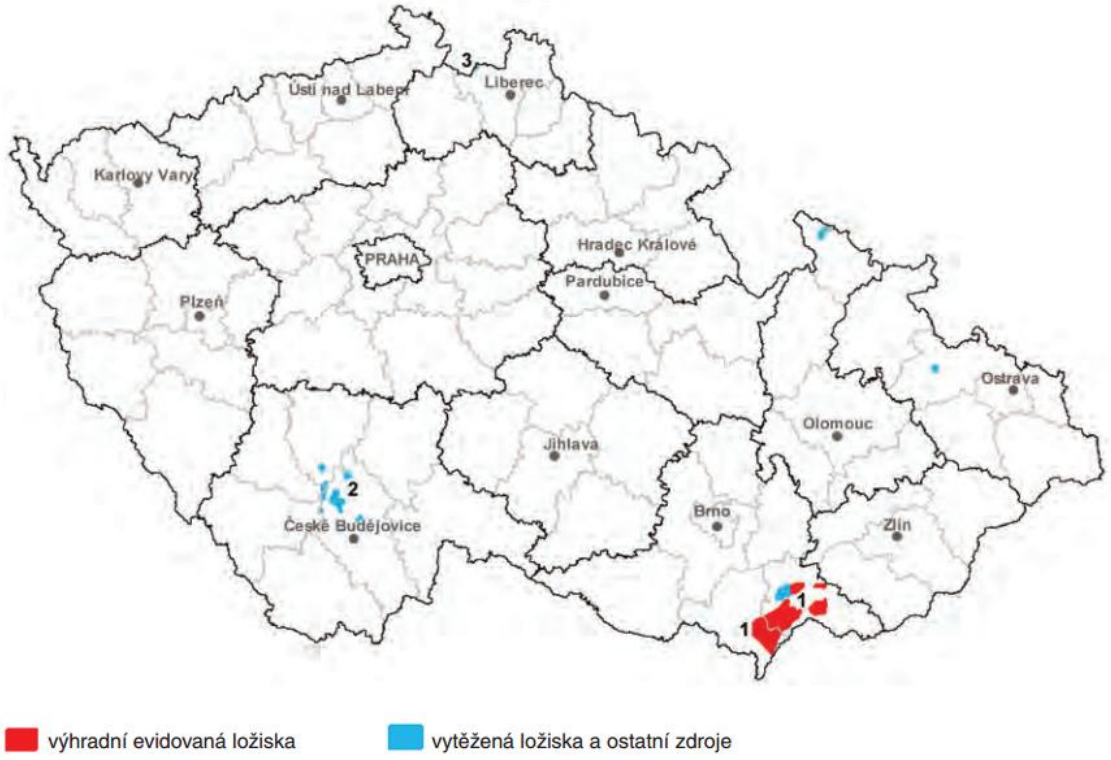
Název pánve	Společnost	Název dolu	Status dolu	č. pánve na obr. 3
sokolovská	Sokolovská uhelná a.s.	Jiří	aktivní	2
		Družba	uzavřen	
severočeská	Czech Coal	ČSA	aktivní	3
		Vršany	aktivní	
		Jan Šverma	uzavřen	
		Most - Ležáky	uzavřen	
	Severočeské doly a.s.	Bílina	aktivní	3
		Nástup - Tušimice	aktivní	
chebská	-	-	netěženo	1
žitavská	-	-	vytěženo	4

3.3. Ložiska lignitu na území ČR

Lignit na území ČR se nachází nejvíce na jihu, konkrétně v severní části vídeňské pánve. Z této pánve nyní nedochází k těžení. Mezi vytěžené pánve patří českobudějovická pánev, která je již plně vytěžena. Také česká část žitavské pánve je zcela vyčerpána. [5]

Lignit je nejméně kvalitní hnědé uhlí díky vysokému podílu vody v struktuře. Na našem území se nenachází tak velká ložiska a také některé státy při obchodování nezohledňují kvalitativně mezi lignitem a hnědým uhlí a proto se neudává cena zvlášť. V celosvětovém měřítku má těžba hnědého uhlí a lignitu v letech 2010 až 2014 tendenci stagnovat a nedochází k zvyšování těžby. [5]

Největším těžařem v roce 2014 podle WBD bylo Německo s celkovým podílem 21,7% celkové produkce následované USA s 8,8% a Ruskem s 8,4%. V tomto měřítku chybí Čína, která nechce udávat svojí těžbu uhlí z ekologických důvodů, ale v tomto přehledu by zabírala přední místa mezi těžaři. [5]



Obr. 4: Evidovaná ložiska lignitu České republiky [5]

tabulka č. 8 Přehled těžebních společností působících v jednotlivých pánvích

Název pánve	Společnost	Název dolu	Status dolu	č. pánve na obr. 4
vídeňská	-	-	netěženo	1
karpatská	-	-	vytěženo	2

3.4. Druhy paliva z jednotlivých dolů

3.4.1. Černé uhlí

Vytěžené uhlí je dále rozdělováno podle tvaru vytěžené rudy a dalších chemických energetických vlastností.

Mezi největší a také jedinou společnost, která aktivně těží černé uhlí na území ČR je OKD a.s. působící v hornoslezské pánvi. Důl s největší produkcí uhlí je firemně nazýván Důlní závod 1. Vznikl sloučením Dolu Darkov a Dolu Karviná. Mezi tyto doly jsou začleněny 3 lokality, lokalita ČSA, Lazy a Darkov. V dole Paskov byla ukončena těžba 31. března 2017.[6]

tabulka č. 9: Seznam dolů společnosti OKD

Název dolu	status dolu	rok zavření
ČSA	aktivní	-
Lazy	aktivní	-
Darkov	aktivní	-
Paskov	zavřen	2017

Ve všech lokalitách se nachází pouze černé uhlí, které je dále upravováno k zejména energetickým účelům.

ESP (energetická směs praná) je používána pro velké energetické společnosti a těžký průmysl, zejména pro cementárny a tzv. vysoké pece, které slouží k výrobě surového železa. [7]

ETP (energetické tříděné prané) je rozdělováno podle velikosti zrnitosti a používáno pro domácnosti a cukrovary. Mezi ETP patří Oříšek, Ořech 1 a Kusy. HP (hrubý prach) je druh uhlí, který vzniká tříděním ostatních druhů a zpravidla má zrnitost 0-20 mm. Slouží především v elektrárenských a energetických provozech. [7]

Proplástek je druh černého uhlí s nejnižší výhřevností a také s nejvyšší popelnatostí.

tabulka č. 10: Přehled druhů uhlí těžených společností OKD

druh uhlí	zrnitost [mm]	W^r- obsah vody [%]	A^d - obsah popela [%]	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]	S_t - obsah síry [%]
ESP	0 - 30	8 - 10	7,5 - 8,5	28,50	0,5 - 0,6
oříšek	10 - 30	5	5,0	30,85	0,6 - 0,7
ořech 1	30 - 50	5	6,5	30,48	0,6 - 0,7
kusy	50 - 200	4	6,5	30,19	0,6 - 0,7
HP	0 - 20	8 - 10	20,0 - 26,0	24,00	0,6 - 0,7
proplástek	0 - 30	10 - 14	38,0 - 45,0	16,50	0,6 - 0,8

Mezi černé uhlí s nejvyšší výhřevností patří druh ETP, který je také charakteristický díky nízkému obsahu vody a popela. Nejméně kvalitní druh je proplástek, kvůli vysokému obsahu popela a vody také není vhodný pro domácí použití a je žádoucí ho dále upravit.[7]

Z oblasti Lazy se také těží uhlí vhodné pro koksování, při kterém uhlí prochází strukturní a chemickou změnou. Konečným výsledkem je pak koks, který se používá jako energetické palivo nebo jako redukční činidlo ve vysoké peci. [7]

3.4.2. Hnědé uhlí

Hnědé uhlí je na území ČR těženo několika společnostmi, mezi společnost s největší produkcí hnědého uhlí patří společnost Severočeské doly a.s. V roce 2009 dosahovala 49% podílu produkce na českém území.[5]

Mezi další významnou skupinu patří společnost Czech Coal a.s., která produkuje 32% celkové produkce na území ČR. Skupině Czech Coal patří těžební společnosti Severní energetická a.s. a Vršanská uhelná a.s. [10]

Také na Chomutovsku působí společnost Sokolovská uhelná a.s. s nejmenším podílem produkce hnědého uhlí. Společnost k roku 2017 těží již jen v jednom dolu Jiří. V dole Družba byla těžba přerušena v roce 2011.[11]

Severočeské doly

Mezi největší odběratele uhlí od Severočeských dolů patří skupina ČEZ, která je největší energetická společnost pro výrobu elektřiny na území ČR. Mezi další odběratele patří teplárenské společnosti, komunální sféra a velkoobchodní společnosti. [8]

tabulka č. 11: Seznam dolů společnosti Severočeské doly

Název lomu	Status dolu	Rok zavření
Bílina	aktivní	-
Nástup - Tušimice	aktivní	-

Největší lom, který tato společnost vlastní, je lom Bílina, v kterém se nachází nízkosirnaté hnědé uhlí s nízkým obsahem popela po spálení. [8]

tabulka č. 12: Přehled druhů uhlí těžených společností Severočeské doly v lomu Bílina

druh uhlí	zrnitost [mm]	W^r- obsah vody [%]	A^d - obsah popela [%]	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]	S_t - obsah síry [%]
kostka 2	40 - 100	30,2	9,8	17,60	0,77
ořech 1	20 - 40	30,2	9,8	17,60	0,77
ořech 2	10 - 25	30,2	9,8	17,60	0,77
HP	0 - 10	29,7	13,1	16,90	0,84
PS1	0 - 40	28,1	22,5	15,00	0,85
PS2	0 - 40	25,4	39,7	14,00	0,82

Společnost Severočeské doly a.s. také těží v lomu Nástup – Tušimice, z kterého je ale uhlí nejméně kvalitní a slouží pouze pro energetické účely skupiny ČEŽ. Průměrná výhřevnost se pohybuje okolo 10,1 MJ/kg a také obsahuje vysoké procento síry, která je nežádoucí. [8]

tabulka č. 13: Přehled druhů uhlí těžených společností Severočeské doly v lomu Nástup - Tušimice

druh uhlí	zrnitost [mm]	W^r- obsah vody [%]	A^d - obsah popela [%]	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]	S_t - obsah síry [%]
PS2	0 - 40	34,0	41,0	10,1	2,0

Oba doly jsou geologicky zařazeny do oblasti severočeské pánve.[5]

Czech Coal

Společnost Severní energetická a.s. patřící skupině Czech Coal, provozuje lom Československá Armáda (ČSA) a také hlubinný důl v bočních svazích ČSA. V roce 2012 také uzavřela těžbu v jediném hlubinném dole Jan Šverma. Od roku 1999 byl také zavřen lom Jan Šverma, který byl v roce 2002 zaplaven a dnes se zde nachází jezero. [9]

tabulka č. 14: Seznam dolů společnosti Czech Coal

Název lomu	Status dolu	Rok zavření
ČSA	aktivní	-
Vršany	aktivní	-
Jan Šverma	zavřen	2012
Most - Ležáky	zavřen	1999

Tyto lomy se nachází v severočeské pánvi a jedná se o nejkvalitnější hnědé uhlí na území ČR, které je aktivně těženo ze dvou dolů. Průměrná výhřevnost se pohybuje okolo 20 MJ/kg pro ořechy a kostku, se srovnáním z ostatních dolů je až o čtvrtinu vyšší. Průměrná hodnota obsahu síry se pohybuje okolo 1% a také obsahuje relativně nízký obsah popela.[9]

tabulka č. 15: Přehled druhů uhlí těžených společností Czech Coal v lomu ČSA

druh uhlí	zrnitost [mm]	W^r- obsah vody [%]	A^d - obsah popela [%]	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]	S_t - obsah síry [%]
kostka 2	40 - 100	26,5	12,0	20,0	1,0
ořech 1	20 - 40	26,5	12,0	20,0	1,0
ořech 2	10 - 25	26,5	12,0	20,0	1,1
prach	0 - 10	26,0	11,5	18,7	1,1
HP	0 - 10	28,0	20,5	16,5	1,1
PS1	0 - 40	26,5	27,0	15,5	1,1
PS2	0 - 40	27,0	28,5	14,5	1,0
PS3	0 - 40	26,5	42,0	11,1	0,8
TS1	0 - 40	26,0	17,0	18,2	1,2
TS2	0 - 40	27,0	26,0	15,7	1,1

Společnost také těží průmyslové směsi a topné směsi (TS), které slouží zejména pro tepelné elektrárny skupiny ČEZ a další těžký průmysl. [9]

Společnost Vršanská uhelná a.s. těží uhlí výhradně pro skupinu ČEZ v lomu Vršany, též součást severočeské pánve, který disponuje méně kvalitním uhlím. Výhřevnost se pohybuje okolo 11,4MJ/kg , uhlí má velký obsah popela, proto není vhodné pro komunální sféru bez další úpravy.[9]

tabulka č. 16: Přehled druhů uhlí těžených společností Czech coal v lomu Vršany

druh uhlí	zrnitost [mm]	W^r- obsah vody [%]	A^d - obsah popela [%]	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]	S_t - obsah síry [%]
PS3	0 - 40	28,2	39,0	11,4	1,1

Sokolovská uhelná a.s.

Sokolovská uhelná a.s. je těžební společnost, těžící v sokolovské pánvi, která obsahuje hnědé uhlí s nejvyšším obsahem vody, a proto je žádoucí před dalším použitím toto uhlí upravit. Jako jediný aktivní lom je Jiří, v lomu Družba byla těžba přerušena v roce 2015, ale je plánováno znovuotevření lomu z druhé strany mezi lety 2020 až 2035. [11]

tabulka č. 17: Seznam dolů společnosti Sokolovská uhelná

Název lomu	Status dolu	Rok zavření
Jiří	aktivní	-
Družba	zavřen	2015*

Výhřevnost uhlí oproti severočeské pánvi je nižší až o 6MJ/kg a také vzniká vyšší procento popela.[11]

tabulka č. 18: Přehled druhů uhlí těžených společností Sokolovská uhelná v lomu Jiří

druh uhlí	zrnitost [mm]	W^r- obsah vody [%]	A^d - obsah popela [%]	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]	S_t - obsah síry [%]
kostka 2	40 - 80	40,5	15,0	14,50	0,90
ořech 1	22 - 40	40,5	16,0	14,00	1,00
ořech 2	12 - 20	39,5	17,0	14,00	1,00
drobné 1	0 - 40	38,0	19,0	14,00	1,05
drobné 2	0 - 40	38,0	21,0	13,25	1,30
HP	0 - 12	39,0	19,0	13,75	1,05
PS1	0 - 40	36,5	30,0	11,75	1,35
PS2	0 - 40	36,0	33,0	11,25	1,40
PS3	0 - 40	35,0	36,5	10,75	1,45

Společnost Sokolovská uhelná toto uhlí také upravuje na další produkty, zejména brikety, které mají mnohem vyšší výhřevnost a menší obsah vody. Také při procesu třídění vzniká odpadní sušený hnědouhelný prach (SHP), který je ale možný spálit ve velkých energetických továrnách.[11]

tabulka č. 19: Přehled druhů uhlí upravených společností Sokolovská uhelná

druh uhlí	zrnitost [mm]	W^r- obsah vody [%]	A^d - obsah popela [%]	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]	S_t - obsah síry [%]
SHP	0 - 0,5	4,5	22,0	21,50	1,30
hranoly 7''	170 - 185	9,0	12,0	23,75	0,75
kostky 3,5''	63 - 95	9,0	12,0	23,75	0,75
zlomky	25 - 63	9,0	12,0	23,75	0,75
třísky	0 - 25	9,0	12,0	23,50	0,75

U těchto upravených produktů je výsledná výhřevnost až o 40% vyšší než před úpravou. Tyto produkty pak slouží zejména pro komunální sféru a malé kotle pro vytápění. [11]

3.5. Srovnání průmyslové směsi hnědého uhlí

Mezi nejpoužívanější druh hnědého uhlí pro energetické účely je používána průmyslová směs. Pro srovnání kvality jednotlivých dolů byla použita PS2.[15]

tabulka č. 20: Srovnání průmyslové směsi 2 hnědého uhlí

Název dolu	W^r- obsah vody [%]	A^d - obsah popela [%]	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]	S_t - obsah síry [%]
Jiří	36,0	33,0	11,25	1,40
Bílina	25,4	39,7	14,00	0,82
Nástup - Tušimice	34,0	41,0	11,00	2,00
ČSA	27,0	28,5	14,50	1,00
Vršany	28,2	39,0	11,40	1,10

Mezi uhlí s nejvyšší výhřevností patří hnědé uhlí těžené v lomu ČSA. Výhřevnost tohoto uhlí je až o 4 MJ/kg vyšší ve srovnání s uhlím z jiných lokalit. Naopak uhlí s nejnižší výhřevností se nachází v lomu Nástup - Tušimice. Toto uhlí také obsahuje nejvíce síry a popela. Hnědé uhlí s nejnižším obsahem síry na území ČR je z lomu Bílina. Je také charakteristické nejnižším obsahem vody. Uhlí s nejvyšším obsahem uhlí je těženo z lomu Jiří patřící Sokolovské uhelné.

3.6. Srovnání hnědého uhlí používaného v komunální sféře

V komunální sféře je často používán druh uhlí kostka 2, který je výhodný do menších kotlů pro vytápění a další potřeby domácnosti. Toto hnědé uhlí se těží ve třech lokalitách.

tabulka č. 21: Srovnání druhu kostky 2 hnědého uhlí

Název dolu	W^r - obsah vody [%]	A^d - obsah popela [%]	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]	S_t - obsah síry [%]
Jiří	40,5	15,0	14,5	0,90
Bílina	30,2	9,8	17,6	0,77
ČSA	26,5	12,0	20,0	1,00

Oproti průmyslové směsi je výhřevnost tohoto druhu uhlí až o 6 MJ/kg vyšší v porovnání s nejkvalitnějšími druhy směsí. Uhlí s nejvyšší výhřevností se nachází v lomu ČSA. Výhřevnost dosahuje hodnot až 20 MJ/kg a uhlí má také nízký obsah vody. Hnědé uhlí z lomu ČSA je také charakteristické nejvyšším obsahem popela. Uhlí s nejnižším obsahem síry se nachází v dolu Bílina. Toto uhlí má také nejnižší obsah popela. Druh kostka 2 je charakteristický nízkým obsahem popela a také vyšší výhřevností než ostatní druhy.

4. Příprava uhlí před spalováním

Pro vytvoření optimálních podmínek pro spalování je žádoucí dané uhlí připravit. Příprava tuhého paliva pro spalování spočívá především v úpravě velikosti částic s ohledem na to, jakým způsobem chceme dané palivo spalovat. Mezi další úpravy patří sušení, kterým se z paliva dostává voda, která je nežádoucí.[16]

Při spalování uhlí na roštu není třeba se používají tříděné druhy uhlí, které není třeba dále upravovat.[16]

Pro spalování ve fluidním kotli stačí před spalování předřadit drtiče pro homogenizaci velikosti zrn před přívod kotle.

Pro spalování uhlí v práškové formě se používají nejméně kvalitní druhy uhlí a je potřeba zajistit, aby zrna paliva měla požadovanou jemnost ale i vlhkost, tedy aby vzněcování zrn probíhalo co nejrychleji. Tyto procesy se obvykle provádějí najednou pomocí mletí a zároveň sušením v mlecím okruhu kotle. Sušícím médiem zpravidla může být horký vzduch přiváděný do ohříváku vzduchu nebo ze spalin spalovací komory. Při tomto procesu je potřeba zajistit stabilní teplotu, aby nedošlo k podchlazení nebo k překročení mezní teploty. To by vedlo k orosení nebo výbuchu paliva. [16]

tabulka č. 22: Nejvyšší dovolené teploty sušícího prostředí za mlýnem [16]

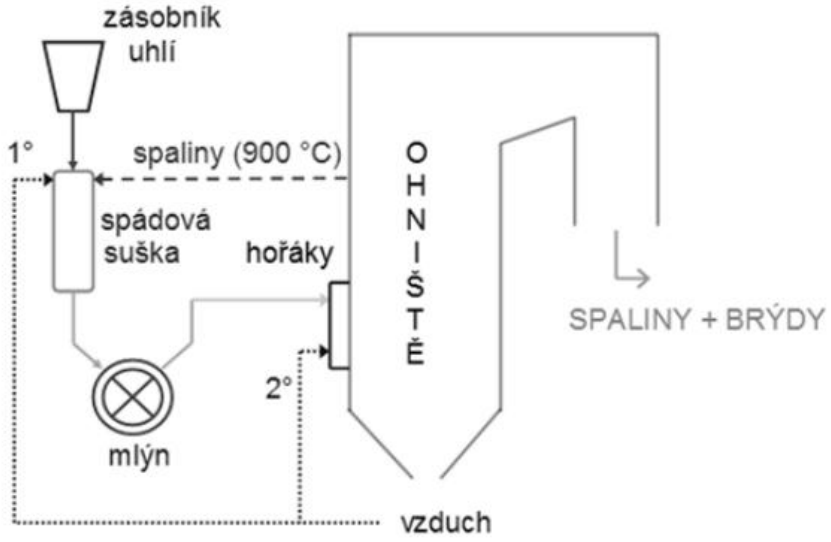
Typ mlecího okruhu	Palivo	Sušící prostředí	Teplota t [°C]
Mlýnicové topení	černé uhlí		130
	hnědé uhlí		100
Ventilátorový mlýn	hnědé uhlí, lignit	spaliny	160
Tlukadlový mlýn	hnědé, černé uhlí, lignit	vzduch	90
Zásobník prášku	černé uhlí	vzduch	120
	hnědé uhlí	vzduch	70

Nejrozšířenější způsob realizace je uzavřený mlecí okruh s přímým foukáním prášku do hořáku a je dnes nejpoužívanější při spalování hnědého a černého uhlí v granulačních ohništích. Nejjednodušší způsob je vertikální uspořádání, jedna suška – jeden mlýn – jeden hořák, který zajišťuje rovnoměrné spalování a symetrické zatížení spalovací komory. Počet mlýnů může být vyšší a zpravidla je stejný s počtem hořáků, který se volí podle výkonu zařízení. [16]

Pro dodržení provozní spolehlivosti je potřeba, aby počet mlecích okruhů byl volen s určitou rezervou, která závisí na typu mlecího okruhu a způsobu manipulace s práškem. U mlecích okruhů s přímým foukáním se zpravidla přidává jeden mlecí okruh jako rezervní tak, aby výkon kotle na 90% jmenovitého výkonu byl zajištěn

pomocí (n-1) mlecích okruhů. Při maximálním výkonu mohou být zapnuty všechny mlecí okruhy, včetně rezervního.[16]

Důležitým parametrem mlecího okruhu se sušením je stupeň vysušení paliva. Běžně se doporučuje vysušení na 8% až 12% zbytkové vlhkosti v palivu, která zhruba odpovídá hydroskopické vlhkosti paliva. V praxi je možné dosáhnout ale výrazně nižší hodnoty, až 2%. To zhruba odpovídá obsahu vody chemicky vázané. V tomto případě je palivo přesušené a projeví se zhoršeným vzněcováním, což může mít za následek vyšší nedopal. [16]



Obr. 5 Schéma mlecího okruhu s metodou sušením horkými spalinami[17]

Doba trvání sušení paliva je zpravidla krátká, řádově několik sekund. Sušení je proto velmi intenzivní, zejména pro paliva s vysokým obsahem vody. Pro tyto případy se používají k sušení horké spaliny z kotle. U paliv s nižším obsahem vody je postačující sušit za pomoci horkého vzduchu. Teplota za mlýnem však musí být menší z bezpečnostních důvodů a je regulována změnou průtoku sušícího média nebo přívodem temperovaného vzduchu.[16]

5. Srovnání spalovacích vlastností uhlí

V této kapitule budou porovnány spalovací vlastnosti z uvedených ložisek. Pro porovnání byly vybrány nejdůležitější spalovací vlastnosti: výhřevnost, množství spalovacího vzduchu pro 1 kg paliva, množství vzniklých spalin z 1 kg paliva, účinnost kotle a množství spáleného paliva. Výpočet bude proveden pro dvě varianty - menší roštový kotel, kde je uvažováno s využitím tříděného uhlí, a velké práškový kotel, kde je uvažováno s použitím průmyslové směsi.

5.1. Výpočet spalovacích vlastností

Pro výpočet spalovacích vlastností je potřeba znát elementární složení daného uhlí (zejména hořlaviny) a také obsah vody W^r a popel v sušině A^d a spalné teplo hořlaviny Q_S^{daf}.

Pro porovnání výsledků spalovacích vlastností, bude porovnána výhřevnost Q_i^r, minimální objem suchého vzduchu potřebný ke spálení 1 kg paliva $O_{VSmi\,n}$, objem vlhkých spalin vzniklých dokonalým spálením 1 kg paliva s minimálním množství vzduchu O_{SVmin} a účinnost kotle η.

Následující výpočet je počítán pro Sokolovské uhlí druh kostka 2. Zbylé uhlí bylo vypočítáno obdobně ale nebylo již rozepsáno.

Pro výpočet byli zadány vedoucím práce následující parametry:

Ztráta mechanickým nedopalem $Z_c = 0{,}0115$

Ztráta chemickým nedopalem $Z_{co} = 0{,}0008$

Ztráta sáláním a vedením tepla do okolí $Z_{sv} = 0{,}012$ - roštový kotel

Ztráta sáláním a vedením tepla do okolí $Z_{sv} = 0{,}006$ - práškový kotel

Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků $Z_f = 0{,}004$

Na základě literatury [16] byly zvoleny následující parametry výpočtu:

Součinitel přebytku vzduchu α_k = 1,45 - roštový kotel

Součinitel přebytku vzduchu α_k = 1,20 - práškový kotel

Teplota spalin = 180°C - roštový kotel

Teplota spalin = 150°C - práškový kotel

Tepelný výkon kotle = 1 MW

5.1.1. Výpočet pro Sokolovské uhlí druh kostka 2

$W^r = 0{,}405[-]$

$A^d = 0{,}15\,[-]$

$Q_s{}^{daf} = 31\,500\ kJ \cdot kg^{-1}$

$C^{daf} = 0{,}7431\ [-]$

$H^{daf} = 0{,}0584\ [-]$

$N^{daf} = 0{,}0103\ [-]$

$O^{daf} = 0{,}1821\ [-]$

$S^{daf} = 0{,}0061\ [-]$

Pro zadávání tuhých paliv jsou definovány různé stavy, výpočty jsou tři nejdůležitější

- Stav bez popela - označení *daf*(dry – ashfree)
- Bezvodý stav – označení d (dry)
- Původní stav – označení r (real)

5.1.2. Přepočet paliva a výpočet výhřevnosti

Pro výpočet reálného stavu popela je potřeba přepočítat pomocí obsahu vody: [16]

$A^r = A^d \cdot (1 - W^r) = 0{,}15(1 - 0{,}405) = \ 0{,}08925$

Elementární složení hořlaviny v původním stavu

$C^r = C^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) = 0{,}7431 \cdot (\ 1 - 0{,}405 - 0{,}08925) = 0{,}3758\ [-]$

$H^r = H^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) = 0{,}0584 \cdot (\ 1 - 0{,}405 - 0{,}08925) = 0{,}0295[-]$

$N^r = N^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) = 0{,}0103 \cdot (\ 1 - 0{,}405 - 00{,}8925) = 0{,}0052\ [-]$

$O^r = O^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) = 0{,}1821 \cdot (\ 1 - 0{,}405 - 0{,}08925) = 0{,}0921[-]$

$S^r = S^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) = 0{,}0061 \cdot (\ 1 - 0{,}405 - 0{,}08925) = 0{,}0031[-]$

Nyní lze provést kontrolní výpočet, zda je celkové složení rovno 1 [16]

$$\sum : = C^r + H^r + N^r\ + O^r\ + S^r\ + A^r\ +\ W^{\,r} = 1$$

Výpočet spalného tepla paliva [16]

$Q_s^r = Q_s^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) = 31\,500 \cdot (\ 1 - 0{,}405 - 0{,}08925) = 15931{,}1\ kJ \cdot kg^{-1}$

Pro výpočet výhřevnosti paliva lze použít následující vztah [16]

$Q_i^r = Q_s^r - 2453 \cdot (W^r + 9 \cdot \mathrm{H}^r) = 18\,120(0{,}405 + 9 \cdot 0{,}0295) =$

$= 14\,285{,}6\ kJ \cdot kg^{-1}$

5.1.3. Stechiometrické výpočty

Minimální objem kyslíku pro spálení 1 kg paliva: [16]

$$\mathrm{O}_{\mathrm{O2min}} = 22{,}39 \cdot \left(\frac{C^r}{12{,}01} + \frac{H^r}{4{,}032} + \frac{S^r}{32{,}06} + \frac{O^r}{32}\right) =$$

$$= \ 22{,}39 \cdot \left(\frac{0{,}3758}{12{,}01} + \frac{0{,}0295}{4{,}032} + \frac{0{,}0031}{32{,}06} + \frac{0{,}0921}{32}\right) = 0{,}931\ Nm^3 \cdot kg^{-1}$$

Minimální objem suchého vzduchu pro spálení 1 kg paliva:

$$O_{VSmin} = \frac{O_{O2min}}{0,21} = \frac{0,931}{0,21} = 4,434\ Nm^3 \cdot kg^{-1}$$

Minimální objem vlhkého vzduchu pro spálení 1 kg paliva [16]

$$O_{VVmin} = O_{VSmin} \cdot x_v = 4,434 \cdot 1,016 = 4,505\ Nm^3 \cdot kg^{-1}$$

kde x_v je součinitel respektující zvětšení objemu suchého vzduchu v důsledku vlhkosti

Objemy složek suchých paliv: [16]

$$O_{CO2} = \frac{22,27}{12,01} \cdot C_r + 0,0003 \cdot O_{VSmin} = \frac{22,27}{12,01} \cdot 0,3758 + 0,0003 \cdot 4,434 =$$

$$= 0,698\ Nm^3 \cdot kg^{-1}$$

$$O_{SO2} = \frac{21,89}{32,06} \cdot S_r = \frac{21,89}{32,06} \cdot 00031 = 0,0021\ Nm^3 \cdot kg^{-1}$$

$$O_{N2} = \frac{22,4}{28,013} \cdot N_r + 0,0003 \cdot O_{VSmin} = \frac{22,4}{28,013} \cdot 0,0052 + 0,0003 \cdot 4,434$$

$$= 3,465\ Nm^3 \cdot kg^{-1}$$

$$O_{Ar} = 0,0092 \cdot O_{VSmin} = 0092 \cdot 4,434 = 0,0408\ Nm^3 \cdot kg^{-1}$$

Objem suchých spalin vzniklých dokonalým spálením 1 kg paliva s minimálním množstvím vzduchu

$$O_{SSmin} = O_{CO2} + O_{SO2} + O_{N2} + O_{Ar} = 0,698 + 0,0021 + 3,465 + 0,0359$$

$$= 4,206\ Nm^3 \cdot kg^{-1}$$

Objem vodní páry ve spalinách: [16]

$$O_{H2Os} = \frac{44,81}{4,032} \cdot H_r + \frac{22,41}{18,015} \cdot W_r + (x_v - 1) \cdot O_{VSmin} =$$

$$= \frac{44,81}{4,032} \cdot 0,0295 + \frac{22,41}{18,015} \cdot 0,405 + (1,016 - 1) \cdot 4,434 = 0,881\ Nm^3 \cdot kg^{-1}$$

Objem vlhkých spalin vzniklých dokonalým spálením 1 kg paliva s minimálním množství vzduchu:

$$O_{SVmin} = O_{SSmin} + O_{H2Os} = 4,206 + 0,881 = 5,087\ Nm^3 \cdot kg^{-1}$$

5.1.4. Tepelné ztráty kotle

Obvykle je potřeba při návrhu spalovacího kotle uvažovat pět druhů ztrát.[16]

- Ztráta mechanickým nedopalem Z_c
- Ztráta chemickým nedopalem Z_{co}
- Ztráta sáláním a vedením tepla do okolí Z_{sv}
- Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků Z_f
- Komínová ztráta kotle Z_k

Pro roštový kotel jsou zvoleny tyto ztráty

$Z_c = 0{,}0115$

$Z_{co} = 0{,}0008$

$Z_f = 0{,}004$

$Z_{sv} = 0{,}012$

Pro práškový kotel jsou ztráty téměř totožné, až na ztrátu Z_{sv} která je menší a byla zvolena 0,006.

Výpočet komínové ztráty se určí pomocí entalpie spalin $I_S^{t,a}$, při teplotě a přebytku vzduchu kotlem. [16]

$$Z_k = \frac{(1 - Z_c)(I_S^{t,a} - \alpha_k \cdot I_{stvz})}{Q_i}$$

kde α_k je součinitel přebytku vzduchu, který pro případ roštového kotle byla určen 1,45. Pro kotel práškový je součinitel přebytku vzduchu určen 1,2. I_{stvz} je rovna entalpii přisávaného vzduchu I_{Vf}. Pro výpočet entalpie I_{Sk} byl použit následující vztah [16]

$$I_S^{t,a} = I_{Smin}^t + (\alpha - 1) \cdot I_{Vmin}^t$$

kde pro výpočet I_{Smin}^t a I_{Vmin}^t platí následující rovnice a α je součinitel přebytku vzduchu [16]

$$I_{Smin}^t = O_{CO_2} \cdot I_{CO_2}^t + O_{SO_2} \cdot I_{SO_2}^t + O_{N_2} \cdot I_{N_2}^t + O_{Ar} \cdot I_{Ar}^t + O_{H_2O} \cdot I_{H_2O}^t + \alpha_{ú} \cdot A^r \cdot I_{pop}^t$$

$$I_{Vmin}^t = O_{VSmin} \cdot I_{VS}^t + O_{H_2O} \cdot I_{H_2O}^t$$

pro určení jednotlivých I_x^t byla použita tabulka měrné entalpie složek spalin v závislosti na teplotě. Jelikož průběh těchto složek je téměř lineární byly tyto hodnoty určeny pomocí lineární regrese. $\alpha_{ú}$ představuje poměrný úlet popílku z ohniště, vztažený k celkovému obsahu popela A^r. Následující hodnoty jsou napočítany pro tento konkrétní přiklad tzn. kotel roštový, kde byly určeny teploty spalin 180°C. Pro kotel práškový byla určena teplota spalin 150°C. [16]

$I_{CO_2}^t = 320{,}00\ kJ \cdot kg^{-1}$

$I_{SO_2}^t = 353{,}52\ kJ \cdot kg^{-1}$

$I_{N_2}^t = 233{,}82\ kJ \cdot kg^{-1}$

$I_{Ar}^t = 167{,}41\ kJ \cdot kg^{-1}$

$I_{H_2O}^t = 273{,}72\ kJ \cdot kg^{-1}$

$I_{pop}^t = 239{,}42\ kJ \cdot kg^{-1}$

$I_{VS}^t = 239{,}94\ kJ \cdot kg^{-1}$

$I_S^{t,a}$ = 1880,23 $kJ \cdot kg^{-1}$

$I_{stvz} = 124{,}20\ kJ \cdot kg^{-1}$

Výpočet komínové ztráty [16]

$$Z_k = \frac{(1 - Z_c)(I_{sk} - \alpha_k \cdot I_{stvz})}{Q_i} = \frac{(1 - 0{,}0115) \cdot (1880{,}23 - 1{,}45 \cdot 124{,}2)}{14285{,}6}$$

$$= 0{,}11764$$

Celková účinnost kotle pak vychází ze vztahu [16]

$$\eta = 1 - Z_c - Z_{CO} - Z_{Sv} - Z_f - Z_k = 0{,}8540$$

Účinnost spalovacího kotle pro spalování hnědého uhlí druhu kostka2 je rovna 85,40%.

5.1.5. Výpočet množství paliva

Skutečné množství paliva přivedené do kotle se určí podle vztahu [16]

$$M_{pal} = \frac{Q_v}{Q_i \cdot \eta} = \frac{1000}{(14114{,}9 + 114{,}8) \cdot 0{,}854} = 0{,}0813\ kg \cdot s^{-1}$$

kde Q_v je celkový tepelný výkon kotle.

5.2. Srovnání spalovacích vlastností

Obdobný výpočet byl proveden i pro další druhy uhlí (jejich složení je specifikováno v příloze), kdy se pouze změnilo vstupní složení paliva a byly použity zadané parametry odpovídající roštovému nebo práškovému kotli. Výsledky výpočtu pro roštové kotle jsou uvedeny v následující tabulce.

tab č. 23: Přehled vypočítaných spalovacích vlastností pro druh kostka2 v práškovém kotli

název dolu	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]	O_{VSmin} [Nm^3kg^{-1}]	O_{SVmin} [Nm^3kg^{-1}]	Účinnost η [-]	Množství paliva [kg/s]
Jiří	14 286	4,43	5,09	85,4%	0,082
Bílina	17 513	5,37	5,91	86,5%	0,066
ČSA	19 696	5,82	6,37	88,9%	0,057

Z vypočítaných hodnot lze zjistit, že uhlí z dolu ČSA má nejvyšší účinnost a také výhřevnost. Minimální objem suchého vzduchu potřebný pro spálení je nejnižší z dolu Jiří taktéž jako objem vlhkých spalin. Z hodnot lze také vyčíst, že s rostoucí výhřevností a účinností je potřeba více vzduchu k dokonalému spálení. Taktéž objem vlhkých spalin je nejvyšší u uhlí s nejvyšší výhřevností. Nejmenší množství paliva pro stejný výkon kotle bylo dosáhnuto z dolu ČSA, z kterého oproti dolu Jiří je potřeba až o čtvrtinu méně paliva.

tab č. 24: Přehled vypočítaných spalovacích vlastností pro druh průmyslová směs 2 v roštovém kotli

název dolu	Q_i - Výhřevnost [MJ/kg]	O_{VSmin} [Nm^3kg^{-1}]	O_{SVmin} [Nm^3kg^{-1}]	Účinnost η [-]	Množství paliva [kg/s]
Jiří	11 065	3,68	4,23	89,4%	0,101
Bílina	14 066	4,42	4,88	90,1%	0,079
Nástup - Tušimice	11 070	3,59	4,12	89,6%	0,100
ČSA	14 353	4,18	4,66	90,6%	0,077
Vršany	11 410	3,77	4,25	89,6%	0,097

Největší výhřevnost hnědého uhlí druhu průmyslová směs 2 pochází z dolu ČSA. Toto hnědé uhlí by také mělo nejvyšší účinnost v roštovém kotli. Nejnižší objem vlhkých spalin a objemu vzduchu potřebný ke spálení 1 kg paliva pochází z dolu Nástup - Tušimice.

Největší množství dodávaného paliva za sekundu by pocházel z dolu Jiří, naopak nejnižší množství spáleného paliva by opět pocházelo z dolu ČSA.

6. Závěr

V první části bylo popsáno, jak vzniká uhlí, popsány jednotlivé fyzikální a chemické procesy, které mají za důsledek vznik fosilních paliv a zejména uhlí. Také bylo vysvětleno jaký je rozdíl mezi jednotlivými druhy a typy uhlí a jak se liší jejich chemické složení, které je dáno tzv. stupněm prouhelněním. Dále bylo zjištěno, že uhlí v ČR se používá zejména k výrobě elektřiny, která tvoří nejvyšší podíl výroby ze všech odvětví. Také je stále používané v komunální sféře k vytápění domácností.

Další část se věnuje jednotlivým ložiskům uhlí na území ČR. Bylo zjištěno, že v ČR se těží pouze uhlí hnědé a černé. Hnědé uhlí nejvíce v severozápadní části, zejména na Mostecku a Sokolovsku, kde působí 3 těžební společnosti.V této oblasti se nachází několik typů uhlí. Uhlí, které má nejlepší chemické a energetické vlastnosti, pochází z lomu ČSA, který vlastní skupina Czech coal. Toto hnědé uhlí se vyznačuje nejvyšší výhřevností.

Černé uhlí je u nás těženo pouze firmou OKD a.s. v oblasti Ostravska. Toto uhlí se vyznačuje nízkým obsahem síry a jedná se o uhlí s nejvyšší výhřevností z uhlí těžených na území ČR

Třetí část je věnována přípravě uhlí před dalším využitím, zejména přípravě ke spalování. Bylo zjištěno, že pro spalování ve fluidním kotli je potřeba rozdrtit dané uhlí na požadované rozměry, aby docházelo k dokonalému spálení. Také je potřeba dané palivo vysušit, to se dá zajistit pomocí sušícího média, které může být přivedeno pomocí větráku nebo ze spalin kotle. Ideální vysušení se pohybuje okolo 8% až 12% obsahu vody pro ideální spálení paliva, menší obsah je již nežádoucí.

V poslední části se práce věnuje výpočtu spalovacích vlastností uhlí a následní srovnání jednotlivých vypočítaných veličin. Výpočet byl proveden pro dva druhy hnědého uhlí, pro kostku2 a pro práškovou směs 2. Kostka2 je často používána v domácnostech, a proto byla použita pro srovnání v roštovém kotli. Pro průmyslovou směs 2 byl výpočet aplikován na práškový kotel, který je používán zejména ve velkých továrnách a elektrárnách. Z výsledků je patrné, že druh kostka2 je nejlepší pro spalovaní z lomu ČSA, účinnost kotle je rovna 88,93%, naopak nejhorší uhlí pochází z lomu Jiří. Pro druh průmyslová směs 2 je nejlepší uhlí také z lomu ČSA, v tomto případě je účinnost práškového kotle 90,56%.

Rozdíly mezi jednotlivými palivy v účinnosti nejsou tak veliké, jelikož se mezi jednotlivými doly liší maximálně o 3%. Naproti tomu se výhřevnost liší až o 5,5 MJ/kg.

Také s vyšší výhřevností roste objem vzduchu, který je potřebný ke spálení 1 kg paliva. Dodávané množství paliva potřebné k 1 MW tepelného výkonu kotle se výrazně liší mezi jednotlivými doly. Nejmenší množství paliva by bylo potřeba z dolu ČSA, pro druh kostka 2 by bylo potřeba dodávat 0,057 kg/s paliva pro dosažení požadovaného výkonu. Naopak při použití paliva z dolu Jiří by bylo dodávané množství rovno 0,082 kg/s. S menším množství paliva nevzniká takové logistiky spojené např. s dopravou nebo uskladňováním a tím je také palivo výhodnější.

Další důležitý parametr uhlí je jeho obsah síry, síra má negativní vliv na ekologii. Obsah síry v uhlí těžených v ČR se pohybuje v rozmezích 0,5% až 1,5%. Uhlí s nejnižším obsahem síry je černé uhlí z Ostravské oblasti. Naopak uhlí s nejvyšším obsah síry se těží z oblasti Sokolovska.

Uhlí na území ČR pomalu dochází a také některá ložiska jsou chráněna zákony. V posledních letech je tendence toto těžení omezit a zaměřit se na jiné zdroje energie, zejména ty obnovitelné a méně škodící životnímu prostředí. Přes všechny tyto skutečnosti je uhlí v současnosti hlavní energetickou surovinou, která vyrábí elektrickou elektřinu.

7. Seznam použité literatury

[1] DOPITA. *Ložiska fosilních paliv*. Praha: SNTL, 1985.

[2] LEPORELO. *Rašelinění.* Dostupné z: *https://leporelo.info/raselineni.*

[3] JIŘÍ HORÁK. *Spalování tuhých paliv z lokálních topeništích.* Dostupné z: *https://leporelo.info/raselineni* http://energetika.tzb-info.cz/8618-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-1. TU Ostrava, 2012.

[4] ČSN ISO 1928. *Stanovení spalného tepla a výpočet výhřevnosti D*ostupné z: https://fbiweb.vsb.cz/materialy/NM/pdf/spalene_teplo.pdf. ČSN, 2010.

[5] STARÝ. *Surovinové zdroje české republiky.* Dostupné z: http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/surovinove-zdroje-ceske-republiky-2016_m.pdf. Česká geologická služba, 2016.

[6] OKD a.s. *Kde působí OKD.* Dostupné z: http://www.okd.cz/cs/o-nas/kde-pusobi-okd/dul-karvina, 2012.

[7] OKD a.s. *Katalog uhlí.* Dostupné z: http://www.okd.cz/files_static/nwr_uhli_cs_2014.pdf. OKD a.s., 2014.

[8] Severočeské doly a.s. *Katalog hnědého uhlí.* Dostupné z: http://prodej-uhli.uhloterm.cz/files/letak-severocecke-doly.pdf. Severočeské doly a.s, 2008.

[9] Czech coal. *Katalog mosteckého uhlí.* Dostupné z: http://northtrade.cz/wp-content/uploads/Katalog_MHU_2012.pdf . Czech coal, 2012.

[10] Czech coal. *Představení skupiny.* Dostupné z: http://www.czechcoal.cz/cz/spolecnost/index.html. Czech coal, 2017.

[11] Sokolovská uhelná. *Katalog sokolovského hnědého uhlí a briket na rok 2009*. Dostupné z: https://www.suas.cz/images/dokumenty/142030152149809045aec37_1001625671497f08d8993a2_katalog_SUAS_09.pdf. Sokolovská uhelná, 2009.

[12] BLAŽEK J., RÁBL V:. *Základy zpracování a využití ropy*. VŠCHT Praha, 2006. ISBN 80-7080-619-2

[13] Čisté nebe. *Topíme dřevem, tak nešpiníme vzduch.* Dostupné z: http://www.cistenebe.cz/nase-projekty/hlidka-barona-prasila/403-mytus-c-2-topime-drevem-tak-nespinime-vzduch. Ostrava, 2015.

[14] VSB. *Využití uhlí.* Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyuziti_uhli.html#literatura.

[15] Elektrina. *Výroba elektřiny v ČR*. Dostupné z: http://www.elektrina.cz/vyroba-elektriny-v-cr-nejvic-energie-stale-ziskavame-z-uhelnych-elektraren. 2014.
[16] DLOUHÝ T. *Výpočty kotlů a spalinových výměníků*. ČVUT v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-03757-7
[17] POLACH P. *Parní kotle*. Dostupné z: http://slideplayer.cz/slide/6816422/. 2011.

Seznam příloh

Příloha 1: Elementární rozbor hořlaviny společnosti Sokolovská uhelná a.s.

Příloha 2: Elementární rozbor hořlaviny společnosti Czech Coal

Příloha 3: Elementární rozbor hořlaviny společnosti Severočeské doly a.s.

Příloha 4: Elementární rozbor hořlaviny společnosti Severočeské doly a.s. pro důl Nástup-Tušimice

Příloha 1: Elementární rozbor hořlaviny společnosti Sokolovská uhelná a.s.

klíč třídnosti	druh	zrnění mm	průměrné jakostní znaky									
			W_t^r	A^d	Q_i^r	C^r	f_{em}	S_t^d	$S_{m\,ust.}^r$	Q_s^{daf}	Q_s^r	V^{daf}
			%	%	MJ/kg	%	t_{CO2}/TJ	%	g/MJ	MJ/kg	GJ/t	%
13E	kostka 2	40-80	40,5	15,0	14,50	41,5	102,1	0,90	0,37	31,5	16,74	51,5
16E	kostka 2 + ořech 1	22-80	40,5	15,0	14,25	41,4	102,0	0,95	0,40	31,3	16,62	51,5
21E	ořech 1	22-40	40,5	16,0	14,00	41,4	102,0	1,00	0,43	31,1	16,57	51,5
22E	ořech 2	12-22	39,5	17,0	14,00	41,0	102,4	1,00	0,43	31,0	16,40	51,5
31E	drobné 1	0-40	38,0	19,0	14,00	40,6	102,0	1,05	0,47	30,9	15,99	51,5
32	drobné 2	0-40	38,0	21,0	13,25	34,4	101,4	1,30	0,63	30,8	13,99	53,0
35E	hruboprach 1	0-12	39,0	19,0	13,75	40,0	103,0	1,05	0,47	30,8	15,98	51,5
51	průmyslová směs 1	0-40	36,5	30,0	11,75	31,8	103,3	1,35	0,72	30,1	13,21	53,5
52	průmyslová směs 2	0-40	36,0	33,0	11,25	31,6	102,9	1,40	0,80	29,6	12,70	56,0
53	průmyslová směs 3	0-40	35,0	36,5	10,75	30,3	103,2	1,45	0,88	29,4	12,10	57,5

nakl.místo - druh	ELEMENTÁRNÍ ROZBOR HOŘLAVINY (v % hm. v hořlavině)				
	H^{daf}	C^{daf}	S^{daf}	N^{daf}	O^{daf}
110-13E	5,84	74,31	0,61	1,03	18,21
110-16E	5,84	74,13	0,57	1,04	18,42
110-21E	5,80	74,17	0,60	1,02	18,41
110-22E	5,77	74,15	0,56	1,02	18,50
110-31E	5,78	74,30	0,58	1,01	18,33
110-32	6,04	72,57	1,28	0,84	19,27
110-35E	5,71	74,14	0,56	1,00	18,59
110-51	6,03	72,31	1,10	0,84	19,72
110-52	6,18	70,28	1,04	0,64	21,86
110-53	5,98	72,62	1,43	0,80	19,17
610-31E	5,80	73,66	0,71	1,00	18,83
610-32E	5,86	73,10	0,98	0,91	19,15
610-33E	5,93	72,96	1,15	0,88	19,08
610-41E	5,74	74,12	0,55	1,00	18,59
610-43E	5,72	74,79	0,91	0,85	17,73
610-51	6,14	72,77	1,21	0,84	19,05
610-52	5,96	71,69	1,50	0,81	20,04
610-53	6,45	70,29	1,15	0,74	21,37
620-31E	5,76	72,71	0,57	1,06	19,90
620-32E	5,79	72,57	0,62	1,06	19,96
620-33E	5,80	72,06	0,69	1,02	20,43
620-41E	5,79	72,87	0,59	1,09	19,66
620-43E	5,78	72,64	0,62	1,06	19,90
620-51E	5,83	71,70	0,71	1,02	20,74
620-52E	5,86	71,87	0,78	0,87	20,62
620-53	5,89	71,46	0,87	0,87	20,91
620-66	5,88	71,18	1,45	0,85	20,64
630-31E	5,89	73,00	0,61	1,06	19,44
630-35E	5,96	73,71	0,54	1,06	18,73
640-21E	5,62	74,34	0,47	1,11	18,46
650-49	5,67	73,42	0,73	1,03	19,15

Zdroj: Sokolovská uhelná. *Katalog sokolovského hnědého uhlí a briket na rok 2009*. Dostupné z: https://www.suas.cz/images/dokumenty/142030152149809045aec37_1001625671497f08d8993a2_katalog_SUAS_09.pdf. Sokolovská uhelná, 2009.

Příloha 2: Elementární rozbor hořlaviny společnosti Czech Coal

Elementární analýza hořlaviny (obsah v %)				
Druh uhlí	C^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	O^{daf}
tříděné (kostky, ořechy)	73,00	6,30	1,00	19,70
hruboprach 1	72,00	6,20	1,10	20,70
hruboprach 2	69,00	6,00	1,10	23,90
průmyslové, topná směs <16 MJ/kg	70,00	6,20	1,10	22,70
průmyslové, topná směs >16 MJ/kg	73,00	6,20	1,10	19,70

Zdroj: Czech coal. *Katalog mosteckého uhlí.* Dostupné z: http://northtrade.cz/wp-content/uploads/Katalog_MHU_2012.pdf . Czech coal, 2012.

Příloha 3: Elementární rozbor hořlaviny společnosti Severočeské doly a.s. pro důl Bílina

druh paliva	C^{daf} hm. %	H^{daf} hm. %	N^{daf} hm. %	O^{daf} hm. %	$(CO_2)^a$ hm. %
d	70,99	5,41	0,87	22,63	0,1
hp	70,78	5,47	0,88	22,77	0,1
ps1	70,29	5,55	0,90	23,16	0,1
ps2	68,50	5,62	0,84	24,94	0,1
ps3	67,74	5,73	0,92	25,51	0,1
ps4	66,48	5,80	0,91	26,71	0,1

druh paliva	C^{daf} hm. %	H^{daf} hm. %	N^{daf} hm. %	O^{daf} hm. %	$CO_2{}^a$ hm. %
ko2	71,44	5,47	0,89	22,10	0,1
o1	71,41	5,45	0,89	22,15	0,1
o2	71,30	5,50	0,89	22,21	0,1

Zdroj: Severočeské doly a.s. *Katalog hnědého uhlí.* Dostupné z: http://prodej-uhli.uhloterm.cz/files/letak-severocecke-doly.pdf. Severočeské doly a.s, 2008.

Příloha 4: Elementární rozbor hořlaviny společnosti Severočeské doly a.s. pro důl Nástup-Tušimice

druh paliva	S_p hm. %	S_o hm. %	$S_{so'}$ hm. %	S_t hm. %
ps2	1,56	0,87	0,02	2,45

Zdroj: Severočeské doly a.s. *Katalog hnědého uhlí.* Dostupné z: http://prodej-uhli.uhloterm.cz/files/letak-severocecke-doly.pdf. Severočeské doly a.s, 2008.