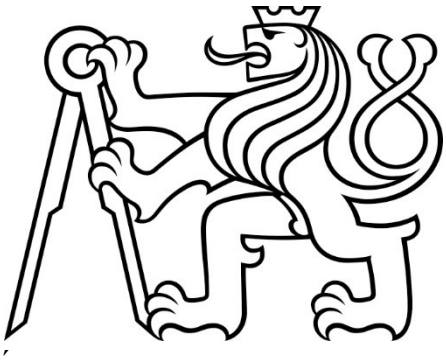
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA
STROJNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

LUKÁŠ
KOPŘIVA

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kopřiva** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **501331**

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:

Rozbor provedení přestavby teplárny v Příbrami z uhlí na biomasu

Název bakalářské práce anglicky:

Analysis of Příram heating plant conversion from coal to biomass

Pokyny pro vypracování:

Popište stav teplárny před přestavbou a v souvislostech také motivace pro přestavbu. Dále popište stav po přestavbě a následně definujte rozdíly. Popište situaci teplárny v kontextu roku 2022. V kontaktu s provozovatelem identifikujte jednotlivé úspěchy a neúspěchy přestavby a analyzujte, jakým problémům provoz po přestavbě čelí a z důvodu kterých příčin. Popište mechanismy, které způsobují problémy. Práce bude také obsahovat výpočet účinnosti teplárny přímou metodou, která bude stanovena na základě dat o vstupech a výstupech. Další cíle práce jsou: seznámení se základní terminologií v odvětví parních tepláren, stručná syntéza o rozdílných prvcích parní teplárny na uhlí a parní teplárny na dřevní štěpku.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Funda, Ph.D. BFS Energo a.s.

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

Datum zadání bakalářské práce: **17.04.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **02.06.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2024**

Ing. Zdeněk Funda, Ph.D.	prof. Ing. Michal Kolovratník, CSc.	doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
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

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

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval zcela samostatně pod vedením pana Ing. Zdeňka Fundy, Ph.D. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, byly citovány v seznamu použité literatury.

V Praze dne …… …….

Lukáš Kopřiva

Anotační list

Jméno autora:	Lukáš Kopřiva
Název BP:	Rozbor provedení přestavby teplárny v Příbrami z uhlí na biomasu
Anglický název:	Analysis of a conversion of a heating plant in Příbram from coal to biomass
Akademický rok:	2023
Ústav:	Ústav energetiky
Vedoucí BP:	Ing. Zdeněk Funda, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran: Počet obrázků: 18 Počet tabulek: 1 Počet grafů: 2
Klíčová slova:	biomasa, dřevní štěpka, přestavba uhelné teplárny, teplárna spalující biomasu, rozbor, analýza
Keywords:	biomass, woodchips, conversion of a coal-fired heating plant, heating plant burning woodchips, analysis
Anotace:	Tato práce se zabývá rozborem přestavby uhelné teplárny z důvodu změny palivové základny a vyhledávání rozdílů v jednotlivých částech teplárny. Případné problémy v dílčích částech teplárny analyzuje, hledá příčiny anebo vhodná řešení. To vše na základě informací od provozovatele. Zároveň se snaží o nalezení motivací, které vlastníka k přestavbě vedly. Výsledky jsou určené pro profese zabývající se projektováním tepláren jako souhrn provozních zkušeností.
Abstrakt:	This bachelor thesis deals with analysis of a conversion of a coal-fired heating plant due to change of the fuel base and searching for differences in individual parts of the heating plant. Problems, that occured during the operation, are analysed, and this work also tries to to find the causes and solutions for them. All based on information obtained from the operator. On the beginning there are shown some of the possible reasons, that the owner of the heating plant could have for the conversion. Results of the bacheĺor thesis are designed for workers designing projects, as a summary of operating experiences.

Poděkování

Tato práce by nevznikla bez laskavosti, trpělivosti a velmi naučné pomoci mého vedoucího Zdeňka Fundy, který se snažil nejen vyhovět mým požadavkům co se týče zadání, ale dokázal mne také vzdělat nejen v oboru energetiky a teplárenství, ale také v samotném přístupu k řešení problémů. Za to vše, a také za propojení s BFS energo a Energo Příbram, bych mu rád tímto poděkoval. Vřelé díky patří také Marku Šípovi a Petru Čížkovi za pomoc se získáváním dat, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Za finální, rychlou a stručnou ekonomicko-technickou korekturu děkuji také Petru Kubovému. Děkuji také přítelkyni a rodině za podporu, trpělivost a příjemné prostředí, s nímž se tato práce psala mnohem snáze.

Obsah

Úvod 9
1 Teplárna Příbram před přestavbou 10
1.1 Historie 10
1.2 Charakteristika uhelné teplárny 10
2 Pravděpodobné motivace přestavby 12
2.1 Emisní povolenky a výhled Evropské unie 12
2.2 Cena elektřiny, její původ a vliv na ekonomiku energetických zdrojů 13
2.3 Energie pro město Příbram 14
2.4 Palivo – dřevní štěpka oproti hnědému uhlí 15
2.5 Shrnutí motivace 15
2.6 Zasazení do kontextu roku 2022 16
3 Teplárna po přestavbě 17
3.1 Charakteristika teplárny na biomasu 17
3.2 Stavební úpravy – budovy 20
3.3 Vlastnosti paliva (dřevní štěpky) a jejich důsledky na provoz 21
3.3.1 Složení paliva a cizí příměsi 21
3.3.2 Obsah vody a jeho důsledky 22
3.3.3 Proměnlivá výhřevnost paliva 22
3.3.4 Hoření dřevní štěpky oproti hnědému uhlí 23
3.3.5 Porovnání sypného úhlu hnědého uhlí a dřevní štěpky 23
3.3.6 Porovnání sypného úhlu popílku ze dřevní štěpky a z hnědého uhlí 23
3.3.7 Porovnání charakteristické teploty popelovin dřevní štěpky a uhlí... 24
3.3.8 Doprava dřevní štěpky a její soudržnost 24
3.4 Vnější palivové hospodářství 24
3.4.1 Kamionová doprava paliva do skladu a příjem paliva 25
3.4.2 Skládka paliva 26
3.4.3 Příjem paliva a míchání – nakladač, multibin 27
3.4.4 Třídění paliva 28
3.4.5 Pásové dopravníky a přesypy 29
3.5 Vnitřní palivové hospodářství 30
3.5.1 Skluz procházející upraveným uhelným zásobníkem 30

3.5.2 Dopravník paliva do provozního zásobníku na dřevní štěpku 31
3.5.3 Provozní zásobník paliva a vzduchový pohazovač 31
3.6 Funkční celky odstraňování tuhých zbytků po hoření dřevní štěpky 34
3.6.1 Doprava odpadu z roštu ze svodky kotle 35
3.6.2 Odstraňování oxidů dusíku – NOxOUT 37
3.6.3 Elektrostatický odlučovač - EO 37
3.6.4 Doprava popílku z elektrostatického odlučovače 37
3.6.5 Spalinový ventilátor a komín 38
3.7 Funkční celky parního kotle 39
3.7.1 Spalovací zařízení 40
3.7.2 Parní generátor 42
3.7.3 Příslušenství 44
3.7.4 Armatura 44
3.8 Parní hospodářství a parovody 44
3.8.1 Parní turbína 37,6 MW_e a TG1 44
3.8.2 Parní turbína (točivá redukce) 4,385 MW_e a TG2 45
3.8.3 Kondenzátor a chladící věže 45
3.9 Chemická úpravna vody a vodní hospodářství 46
3.10 Ostatní (mimo jiné regulace výkonu kotle) 46
4 Syntéza 47
4.1 Dosahované výkonové parametry kotle 47
4.2 Prvky využité z uhelné koncepce a jejich případné nedostatky 48
4.2.1 Využití vnějšího palivového hospodářství 48
4.2.2 Využití vnitřního palivového hospodářství 48
4.2.3 Využití prvků odstraňujících zbytky po hoření dřevní štěpky 48
4.2.4 Využití funkčních celků parního kotle 49
4.2.5 Využití parního hospodářství a parovodů 50
4.2.6 Využití chemické úpravny vody a vodního hospodářství 50
4.2.7 Využití ostatního příslušenství (mimo jiné automatické regulace dodávek paliva do kotle) 50
4.2.8 Prvky dodávky přestavby a jejich případné nedostatky 51
5 Energetická bilance teplárny 53
Závěr 55

Seznam použitých zkratek a symbolů

CZT	–	Centrální zásobování teplem
EKO	–	Ekonomizér (ohřívák vody)
LTO	–	Lehké topné oleje
LUVO	–	Ohřívák spalovacího vzduchu
EEX	–	European Energy Exchange
EO	–	Elektrostatický odlučovač
HV	–	Horká voda
HVS	–	Hlavní výměníková stanice
K	–	Kotel
KVET	–	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
MaR	–	Měření a regulace
OZE	–	Obnovitelný zdroj energie
PXE	–	Power Exchange Central Europe
RCHS	–	Redukční a chladící stanice
RS	–	Redukční stanice
ST	–	Středotlaký rozdělovač
TG	–	Turbogenerátor
TZL	–	Tuhé znečišťující látky
VT	–	Vysokotlaký rozdělovač
ZO	–	Základní ohřívák

Seznam obrázků

Obrázek 1: Situační plán teplárny (upraveno) [1] 19
Obrázek 2: Letecký snímek z roku 2008 20
Obrázek 3: Letecký snímek z roku 2022 20
Obrázek 4: Sypný úhel ϕ – schéma [26] 23
Obrázek 5: Porovnání vnitřního palivového hospodářství před a po přestavbě formou diagramu 25
Obrázek 6: Multibin: 1-příjem paliva od nakladače, 2-výdej promíchané dřevní štěpky na pásový dopravník [32] 28
Obrázek 7: Hvězdicový třídič 29
Obrázek 8: Schéma první verze provozního zásobníku dřevní štěpky 1 (podávací šneky jsou vzhledem k rozhrnovacím šnekům umístěny příčně 32
Obrázek 9: Vnitřek původního provozního zásobníku dřevní štěpky (dva vyhrnovací šneky a pod nimi tři podávací šneky do pneumatického pohazovače do kotle) 32
Obrázek 10: Vnitřek nového provozního zásobníku dřevní štěpky (rozdružovací hvězdice a pod nimi tři podávací šneky do pneumatického pohazovače do kotle) 33
Obrázek 11: Původní šnekový podavač provozního zásobníku dřevní štěpky je velmi podobný tomu novému 33
Obrázek 12: Dispozice přestavby: 1-bývalý uhelný zásobník paliva s nově instalovaným skluzem, 2-dopravník paliva, 3-provozní zásobník paliva, 4-napojení zavodňovací komory, 5-hranice přestavby kotle, 6-rošt kotle (upraveno) [33] 35
Obrázek 13: Stávající mokrý vynašeč 36
Obrázek 14: Řetěz stávajícího mokrého vynašeče 36
Obrázek 15: Ukázka mokrého vynašeče s abrazi vzdornou výstelkou [34] 37
Obrázek 16: Nové LUVO dle návrhu pro uhelnou koncepci 41
Obrázek 17: Vnitřek kotle a napojení membránové stěny 43
Obrázek 18 Energetická bilance kotle [38] 54

Úvod

Politika Evropské unie, které je Česká republika členem, se v poslední více než dekádě ubírá směrem ekologizace energetiky a snaží se více klást důraz na obnovitelné zdroje energie. EU se fosilní paliva snaží omezit nejen proto, že jsou příčinou skleníkových plynů a ekologické zátěže pro přírodu, ale také z důvodu blížícího se data vyčerpání jejich ložisek. K dosažení svého cíle uvádí v platnost zákony a normy, případně motivuje provozovatele pomocí dotací, daňovými úlevami apod., které nutí provozovatele energetických zdrojů investovat do ekologizace svých výroben, což však pro některé energetické zdroje může znamenat konec jejich existence z důvodu vysokých investic a ekonomicky ztrátového provozu. Tento tlak samozřejmě také způsobuje zrychlení technologického pokroku, díky kterému je dosahováno u stávajících zařízení vyšší účinnosti a nižších dopadů na přírodní prostředí.

Příbramská teplárna je právě jedním ze zdrojů, kde se technologicky i provozně zaostávající zdroj, který byl provozován v rámci nejdelšího konkursního řízení v ČR, pokusili noví vlastníci oživit právě přechodem z fosilních paliv na palivo z obnovitelných zdrojů, v tomto případě přechodem na dřevní štěpku.

Přestavba této teplárny není ojedinělý krok. Stejnou přeměnou procházejí teplárny po celém světě již řadu let a to díky podobným vlastnostem uhlí a dřevní štěpky. I přes tuto podobnost však dřevní štěpka vykazuje odlišnosti, kvůli kterým je nutné zásadně změnit, přidat, či odebrat různé prvky teplárny. Vzhledem k požadavkům snížit cenu vstupní investice však mohou být některé tyto odlišnosti zanedbány, a to zapříčiní nefunkčnost prvků přestavby. Je tedy vhodné provést rozbor přestavby a tyto prvky definovat a pracovat na zabránění podobným nedostatkům při přípravě dalších projektů. Právě touto problematikou se bude tato práce zabývat.

1 Teplárna Příbram před přestavbou

Příbramská teplárna byla již od počátku koncipována jako hlavní centrální zdroj topné a teplé vody a páry pro město Příbram. Tomu je tak i dnes, po téměř třiceti letech od výstavby. Za tuto dobu prošla konkurzem, mnoha stavebními úpravami, opravami a v neposlední řadě také velmi významnou přestavbou ze zdroje uhelného na zdroj spalující dřevní štěpku.

Příbramská teplárna je v současnosti jediným provozuschopným centrálním zdrojem tepla a páry pro Příbram. Síť horkovodů a parovodů (téměř 2km) v celkovém součtu o délce přesahující 19 kilometrů (délka včetně odboček) zásobuje teplem kolem deseti tisíc domácností, dva průmyslové objekty, školy, zdravotnické zařízení, obchodní centra, obchody a jiné. Elektřina vyrobená teplárnou je z části spotřebovávána pro samotný provoz a přebytky elektřiny dodává teplárna do elektrizační soustavy. Parovod využívají dnes pouze průmyslové objekty a celý areál nemocnice.

1.1 Historie

Projekt výstavby sahá až do 80 let. Územní rozhodnutí o výstavbě CZT Příbram je vydáno roku 1984 a roku 1986 je vydáno povolení stavební [1]. V roce 1993 vzniká Příbramská teplárenská a.s., která zahajuje svou činnost v listopadu a z počátku funguje jako CZT výtopna se třemi kotli o parním výkonu 50t/h. Až později je zahájena projekce pro KVET, dokončená v září 1996 stavbou turbogenerátoru o výkonu 40MW a linky 110kV pro síť STE a.s. Odsíření je dokončeno v červnu 1997. O rok později je na teplárnu vyhlášen konkurz, ale i přes řadu soudních sporů o vlastnictví různých částí CZT mezi městem a teplárnou [2]. zajišťuje teplárna dodávky tepla v podstatě nepřetržitě. Vše začalo u nepovedené privatizace, jejíž důsledky řešili právníci 19 let [3]. [4]

V roce 2019 kupuje příbramskou teplárnu od konkurzního správce nový vlastník společnost Mincom CZ, který zároveň od města Příbram pořizuje i celou síť produktovodů a rozbíhá se projekt přestavby dvou uhelných kotlů na biomasu. Ještě v průběhu roku 2019, ale vyšlo najevo, že Mincom CZ není schopen celý projekt dotáhnout a projekt převzali noví vlastníci, kteří ho dotáhli do konce již pod značkou Energo Příbram s.r.o., celý provoz byl stabilizován a zdroje jsou provozovány doposud.

1.2 Charakteristika uhelné teplárny

Některé údaje, dále uváděné v textu, jsou platné i pro současný stav teplárny. Na rozdíl poukazuje minulý čas. Tyto rozdíly jsou podrobněji popsány v dalších kapitolách.

Teplárna je pro Příbram centrálním zdrojem energie a je zapojená sběrnicově. Výrobní blok je formálně rozdělený na kotelnu, mezistrojovnu a strojovnu, přičemž jednotlivé části jsou stavebně propojeny do jedné budovy. V kotelně byly instalovány 3 kotle ČKD Dukla, označené K1, K2 a K3 od severu k jihu. Jednalo se o granulační kotle na hnědé uhlí, membránové, jednobubnové, s přirozenou cirkulací, každý o výkonu 50t/h přehřáté páry o tlaku 3,85MPa, teplotě 445°C (nominální parametry páry) a teplotě napájecí vody 105°C. Na 2. podlaží mezistrojovny se nachází vysokotlaký rozdělovač

páry (VTR) 3,85MPa, na který je napojena kondenzační parní turbína (označená TG1) o výkonu 37,6MW_e s generátorem, s jedním regulovaným odběrem páry o tlaku 1,2MPa a teplotě páry 250°C za zástřikem. Turbogenerátor TG1 se nachází na 1., resp. 2 podlaží severní části strojovny. Pára z meziodběru TG1 je přivedena do středotlakého rozdělovače páry STR2, který je propojený se středotlakými rozdělovači páry STR1 a STR3. Středotlaké parní rozdělovače jsou na 2. podlaží mezistrojovny. Na výstupní parovod každého z kotlů je napojena vždy jedna redukční a chladící stanice označená podle značení příslušných kotlů RCHS1, RCHS2 a RCHS3. Redukovaná pára z RCHS1 až 3 je přivedena do středotlakých rozdělovačů STR1 až 3, které se nacházejí na 1. podlaží mezistrojovny. Před zástřikem meziodběru TG1 je vyvedena pára do točivé redukce (označené TG2), kterou tvoří soustrojí protitlaké turbíny a generátoru o svorkovém výkonu 4,385MW_e. Pára z protitlaku TG2 je vedena do základních ohříváků označených ZO1, ZO2 a ZO3 hlavní výměníkové stanice (HVS). Admisní pára do TG2 mohla být variantně přivedena z STR1. Na rozvod středotlaké páry jsou napojeny rovněž dvě redukční stanice RS1 ZO a RS2 ZO, které redukují páru do základních ohříváků ZO1, ZO2 a ZO3 hlavní výměníkové stanice. Redukční stanice jsou umístěny na 1. podlaží mezistrojovny. Hlavní výměníková stanice slouží k ohřevu vody v horkovodu. Je situována v jižní části strojovny a zabírá dvě podlaží. Ze středotlakého rozdělovače páry STR1 a STR3 je vyvedený vnější parovod pro zásobování odběratelů páry napojených na CZT. Vyvedení výkonu generátoru TG1 je provedeno přes blokový transformátor 50MVA nadzemním stožárovým vedením 110kV do sítě ČEZ Distribuce. Výkon TG2 je vyvedený do rozvodny 6,3 kV pro vlastní spotřebu CZT s možnými přetoky do sítě 110 kV. Každý kotel K1 až K3 je vybavený jedním samostatným elektro odlučovačem popílku se třemi sekcemi. Spaliny z elektro odlučovačů byly společným kouřovodem vedeny do odsíření a z něho do komína.[1]

2 Pravděpodobné motivace přestavby

Z dnešního úhlu pohledu (zpracování práce probíhá na začátku roku 2023) se přestavba jeví jako samozřejmý a správný krok. V kontextu roku 2019, před provedením této investice, nebyla situace tolik zřejmá. Podkapitoly níže se snaží o shrnutí důvodů, které směřovaly k provedení investice. Skutečné motivace, které vedly k přestavbě teplárny, nejsou přesně známy.

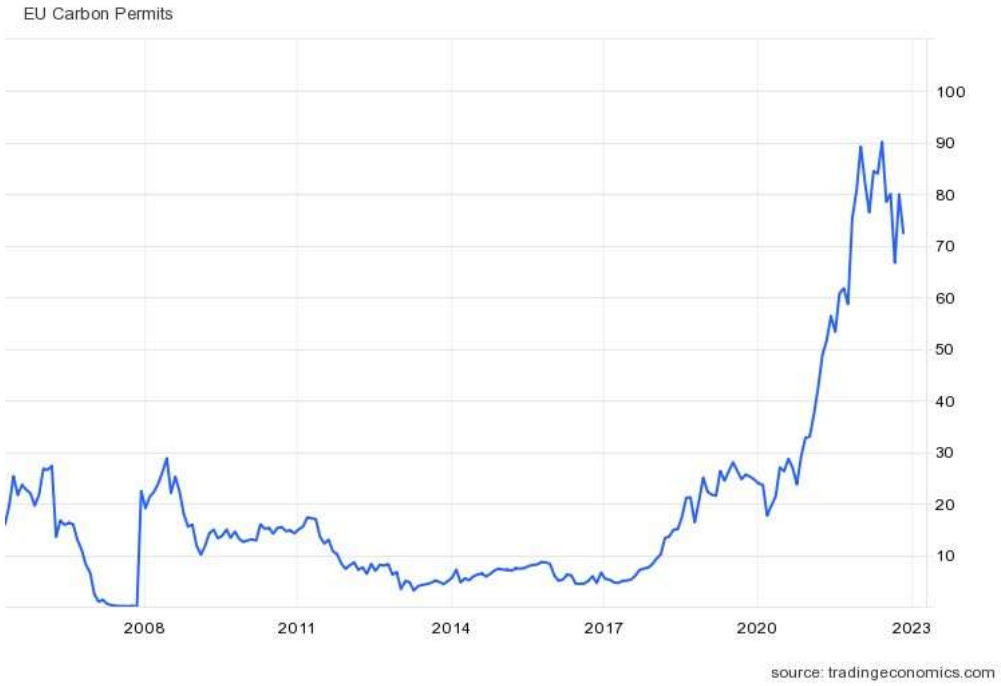
2.1 Emisní povolenky a výhled Evropské unie

Emisní povolenky jsou na trhu s energiemi již od roku 2005. Jejich funkci, dnes již známou, však začaly správně plnit až od roku 2018. Systém EU ETS (European Union Emissions Trading Scheme), v minulosti často označován za nefungující, byl rozdělen do několika fází, které specifikují různé dané emisní produkty a tržní sektory.

- Fáze 1 - roky 2005-2007 - žádné cíle snížení emisí, počáteční pilotní systém
- Fáze 2 - roky 2008-2012 - cíl 8% snížení oproti roku 2005
- Fáze 3 - roky 2013-2020 - cíl 22% snížení oproti roku 2005
- Fáze 4 - roky 2021-2030 - cíl 43% snížení oproti roku 2005

Z grafu níže lze vidět na svislé ose cenu emisní povolenky v eurech za tunu CO_2 a na ose horizontální čas. Na cenu povolenek měly vliv také světové ekonomicko-hospodářské vlivy. Například pokles ceny, respektive její stagnaci v letech 2013 až 2018 způsobil přebytek emisních povolenek v oběhu. To zapříčinilo, že na současnou a budoucí cenu emisních povolenek nebyl brán příliš velký zřetel, jelikož cena tepla ani elektřiny kvůli nim příliš nerostla [5].[6]

Graf 1 Vývoj cen povolenek od roku 2005 [7]



Ke zvyšování ceny emisních povolenek dochází mimo jiné avizovaným cíleným snižováním jejich počtu od roku 2013, kdy se každým rokem z původního objemu 2,5 miliardy povolenek odeberou necelá 2%. Nárůst ceny lze na grafu spatřit už v polovině roku 2017, kdy jejich cena začíná násobně růst, poté od roku 2019 až do první poloviny roku 2020 vykazuje velké výkyvy. Pokles v roce 2020 je zapříčiněn pandemií Covid-19 a s ní spojeným prudkým poklesem ekonomické aktivity, což se odrazilo ve snížení ceny emisní povolenky.[5, 6]

2.2 Cena elektřiny, její původ a vliv na ekonomiku energetických zdrojů

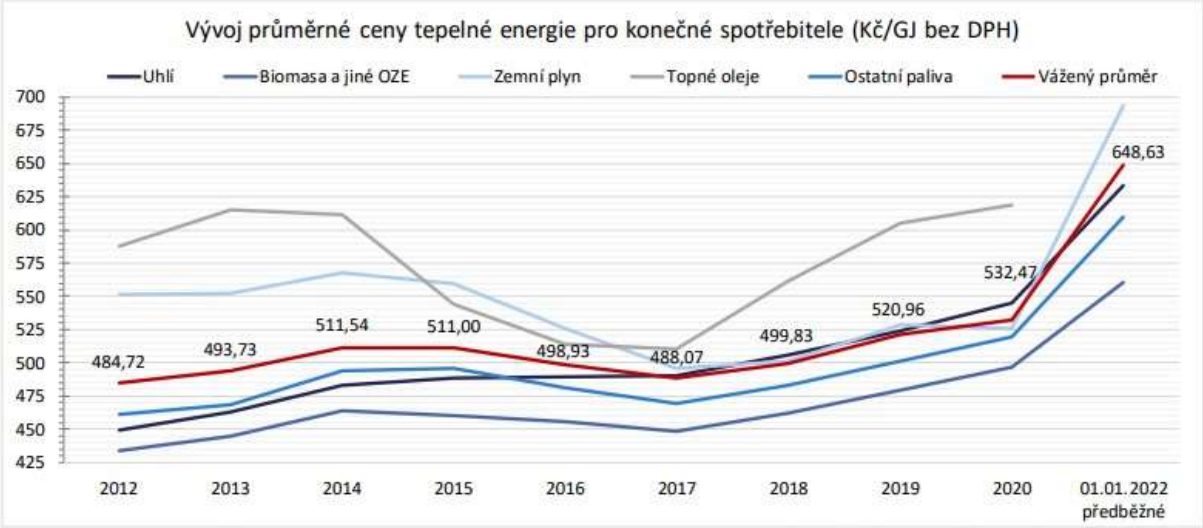
Uhelné zdroje v teplárenství do roku 2014 neměly díky nízkým cenám uhlí a dostatečně vysokým cenám energií velkou konkurenci. Jejich konkurenceschopnost se ale především u produkce elektřiny začala snižovat. S rokem 2014 přichází mírný pokles prodejních cen elektřiny a následně její cena více méně stagnuje, což ve výdělečnosti uhelných zdrojů hraje významnou roli – teplárně Příbram se tedy nevyplácí provozovat turbínu a proto je po většinu provozních hodin mimo provoz a teplárna dodává pouze teplo. Cena elektřiny klesá z několika důvodů.

Nízkou cenu uhlí způsobily zejména USA přechodem z uhlí na vlastní ložiska břidlicového plynu, čímž se markantně snížila poptávka po uhlí a také jeho cena. Vzhledem k tomu, že české ceny energií jsou nastavovány dle české burzy s energiemi PXE, která ale udává téměř stejné hodnoty jako německá burza EEX, která v tehdejší době určovala ceny elektřiny dle závěrných elektráren - uhelných, šla cena elektrické energie dolů [8]. Roli ve snížení ceny elektrické energie hrálo také Německo, které masivní podporou OZE pomocí dotací podpořilo jejich výstavbu, čímž vznikl další přebytek emisních povolenek, protože část elektrické energie vyráběná fosilními zdroji

byla nahrazena bezemisními zdroji. Zároveň vznikla další kapacita levné energie (jelikož výkupní cena je taktéž dotována) a tato levná energie dále konkurovala fosilním palivům. Podobná situace nastala také v Česku díky programu Nová zelená úsporám, kdy nárůst finanční podpory "zelené" energie a následně dotace její výkupní ceny rapidně snižoval konkurenceschopnost výroben na fosilní paliva. Dalším problémem, se kterým se ale potýkaly spíše starší uhelné zdroje, byly zvyšující se nároky na snižování emisí škodlivých látek (TZL, SO, NOx, SOx). Cena elektrické energie z uhelných zdrojů pro udržení životaschopnosti musela být vyšší, jinak hrozilo, že provoz bude ztrátový - což u spousty zdrojů nakonec nastalo.[9]

Z těchto faktů vyplývá, že uhelné teplárny a elektrárny, které byly stanoveny na trhu jako závěrné, byly nejméně výdělečné oproti ostatním zdrojům a pro některé to dokonce mohlo znamenat, že provoz bude ztrátový, což umocňoval také fakt, že byl očekáván vzestup cen povolenek.

Graf 2: Vývoj průměrné ceny tepelné energie pro konečné spotřebitele mezi lety 2012-2020 (Kč/GJ bez DPH) [10]



Zdroj: Energetický regulační úřad

Existovaly další dva velmi významné faktory, dle některých názorů dokonce nejvíce klíčové, které snižovaly cenovou konkurenceschopnost uhelných zdrojů (především těch starších, respektive neúspornějších) oproti zdrojům plynovým.

Prvním byla tehdejší relativně nízká cena plynu a druhým faktorem bylo menší množství produkovaných emisí při produkci jednotky elektrické energie ve zdrojích spalujících zemní plyn. Oba tyto faktory se odrazily v nižších provozních nákladech plynových zdrojů. Intenzivnější výstavbu plynových zdrojů vyrábějících levnou energii také zapříčinila nízká cena vztažená na instalovanou jednotku elektrického výkonu a rychlost výstavby plynového zdroje.

2.3 Energie pro město Příbram

Z výše uvedených motivací vyplývá, že na požadavek trhu který očekává nízké ceny elektřiny a tepla musí teplárna reagovat.

Ve městě Příbram se nachází další dva větší zdroje tepla, avšak ani jeden z nich není aktuálně provozovatelný jako zdroj pro CZT. Jedním z nich je výtopna Zdaboř o možném tepelném výkonu 59MW [11], která je také ve vlastnictví teplárny, ale již léta není provozuschopná. Dále nemocnice pro případ výpadku disponuje záložním zdrojem na LTO, které ale nepatří k ekologickým palivům [12].

Pro odběratele je důležité zajištění předvídatelných a spolehlivých dodávek tepla. V případě výpadku centrálního zdroje by bylo dotyčných 10 000 domácností bez tepla. Důležitá je také rychlost přestavby, kdy případně nebude k dispozici záložní zdroj.

2.4 Palivo – dřevní štěpka oproti hnědému uhlí

Při opomenutí politického faktoru, který klade důraz na odstranění fosilních paliv (přičemž na uhelné zdroje je kladen největší důraz) byla při volbě palivové základny důležitá především relativně nízká cena a dobrá dostupnost dřevní štěpky. Od roku 2016 totiž dochází v ČR a Evropě ke kůrovcovým kalamitám, které právě v roce 2019 vrcholí zhruba desetinásobným nárůstem množství vytěženého smrkového kůrovcového dříví oproti roku 2014, přičemž tento vytěžený objem je více méně konstantní až do roku 2021.

2.5 Shrnutí motivace

Z podkapitol výše vyplývá několik zásadních motivací pro provedení přestavby v čase, kdy o ní bylo rozhodováno.

- přestavba z uhelného zdroje na zdroj na dřevní štěpku je technologicky zvládnutelná
- dřevní štěpka je obnovitelný zdroj a přechod reálně zlepší ovzduší v okolí teplárny
- Dřevní štěpka se zdá být levná a dobře dostupná
- odběratelé budou mít o odběr tepla z CZT zájem i v budoucnu, z důvodů níže:
    - nedostatek finančních zdrojů na vybudování vlastního zdroje tepla (kotelny)
    - eliminace komplikací spojených s uváděním vlastního zdroje tepla do provozu
    - spolehlivost dodávek tepla z CZT
- možnost provádět přestavbu krok po kroku bez nutnosti teplárnu zcela odstavit umožňuje dodávky energií i během přestavby
- převzetím části technologií z uhelné koncepce teplárny lze docílit významného snížení nákladů a není třeba ani výrazná rekvalifikace personálu
- politický a sociální tlak na výstavbu a podporu OZE nastiňuje špatnou cenovou konkurenceschopnost zdrojů na uhlí v dalších letech a hrozí, že provoz bude ztrátový, což u některých dalších tepláren a elektráren již nastalo
- cena emisních povolenek roste a pravděpodobně bude růst i nadále, což bude výrobu ve zdrojích na fosilní paliva prodražovat

2.6 Zasazení do kontextu roku 2022

Výraznou změnu v ekonomické výkonnosti teplárny na biomasu zapříčinil mimo jiné vpád Ruska na území Ukrajiny a zahájení vojenského konfliktu a také energetickou politikou Německa Energiwende. Po začátku uplatňování sankcí západními zeměmi došlo ke zdražování zemního plynu, zejména toho ruského, který pokrývá zásobu velké části energií států Evropy (pro rok 2020 závislost na ruském plynu 41,1% a ruském uhlí 19,3% [13]). Každý stát sice v jiné míře, avšak vzhledem k tomu že (ne)dostatek plynu, či přímo cena plynu, ovlivňuje cenu na evropském trhu, staly se plynové elektrárny dříve stavěné pro nízké pořizovací náklady a nízkou cenu plynu z důvodu zdražení paliva provozně velmi drahými. Dalšími konkurenty jsou teplárny a výtopny na uhlí. Cena jimi vyráběných energií však roste z důvodu vysoké ceny povolenek. Pro příbramskou teplárnu, s prozatím relativně nízkými cenami dřevní štěpky, je ekonomická situace tedy velmi příznivá, což pociťuje nejen provozovatel, ale také odběratelé tepla.

V období let 2020 a 2021 bylo také známo, že spousta ze zákazníků přemýšlela o přestupu na vlastní zdroje tepla – budování či obnovu vlastních kotelen. Díky následným vysokým cenám plynu v kombinaci s rostoucími cenami projektových a stavebních prací však tento zájem upadá a spíše roste počet žadatelů o opětovné připojení k CZT.

3 Teplárna po přestavbě

Přestavba kotlů K2 a K3, včetně nezbytné změny dalších prvků, probíhala během roku 2020, kdy dodávky tepla a páry zajišťoval jediný uhelný kotel K1, který zůstal bez zálohy. Na tomto kotli byla během roku 2019 provedena velká rekonstrukce [1], aby byla snížena pravděpodobnost poruchy během přestavby zbylých dvou kotlů. Tento kotel následně zůstal bez jakýchkoli větších úprav. V roce 2021 byl zahájen provoz na dřevní štěpku a výroba páry probíhala již jen v přestavěných kotlích K2 a K3, přičemž uhelný kotel K1 byl odstaven.

3.1 Charakteristika teplárny na biomasu

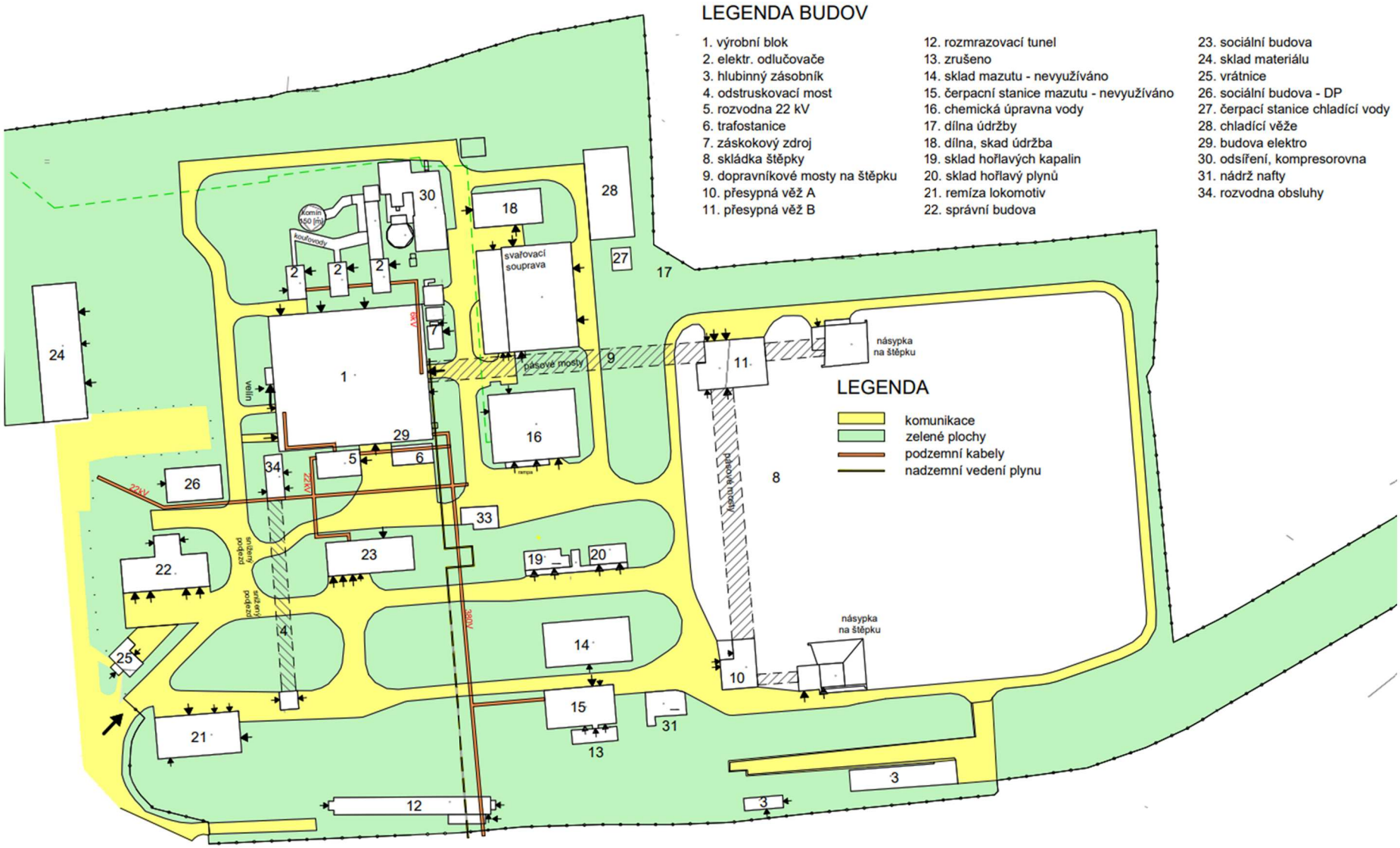
Přestavěné kotle K2 a K3 by měly být konstruovány na štítkové parametry původních uhelných kotlů. Kotel je opět s přirozenou cirkulací kotlové vody. Spalování probíhá částečně ve vznosu na protiběžném spalovacím roštu a kotel je konstruovaný na dřevní štěpku o výhřevnosti 9 MJ/kg, což zhruba odpovídá předchozí konstrukci na uhlí. O schopnosti zásobení turbín přehřátou parou více v kapitole 3.8.

Tabulka níže () obsahuje základní prvky teplárny a porovnává je. Pokud se v tabulce vyskytuje prvek se stejným názvem, jedná se o prvek beze změny. Prvky se stejným názvem, avšak označené symbolem * značí, že nejsou totožné – byly buď předělány celé, nebo na nich byly prováděny úpravy. Řádky označené symbolem = symbolizují zcela nezměněnou konstrukci.

Následující podkapitoly rozebírají jednotlivé části teplárny z pohledu přestavby a věnují se vždy výhradně jednomu přestavěnému kotli, přičemž pro druhý přestavěný kotel jsou prvky přestavby totožné.

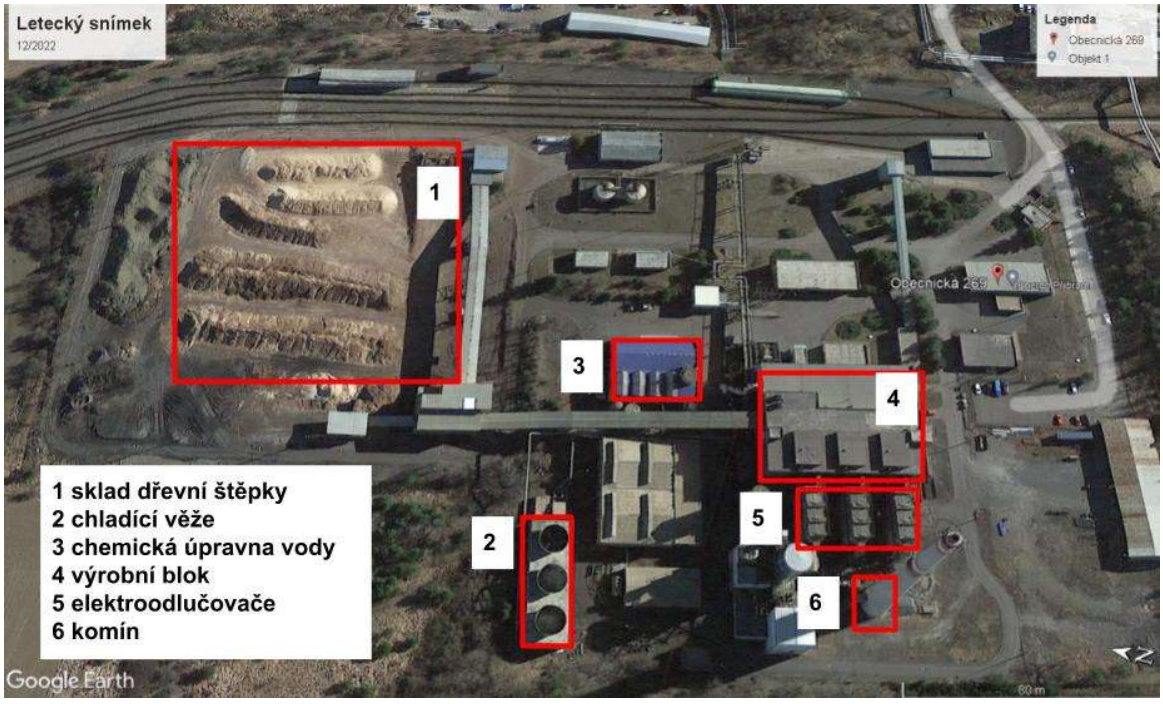
Tabulka 1 Porovnání částí teplárny na hnědé uhlí a na dřevní štěpku

Před přestavbou (uhlí)	Po přestavbě (dřevní štěpka)
Vnější palivové hospodářství	
Železnice, výsypka železničního vozu, hlubinné úložiště, nebo na vyhrnovací vozy, pásový dopravník a elektromagnety, do budovy teplárny nebo rukávem na nekryté prostranství (oproti původně plánované hale) případně kamionem na nekryté prostranství	kamiony, nekryté prostranství, nakladač, multibin, elektromagnet, třídič, pásové dopravníky
Vnitřní palivové hospodářství	
pásový dopravník, zásobník kotle, podavače, dopravník, sušící šachta, mlýn, třídič, hořáky	pásový dopravník, bývalý uhelný zásobník*, dopravník*, provozní zásobník na dřevní štěpku s vyhrnováním a podavačem, pneumatický pohazovač
Funkční celky parního kotle	
granulační jednobubnový kotel s přirozenou cirkulací, vzduchový ventilátor, práškové a zapalovací plynové hořáky, výparník (membránová stěna, sálavé šoty, buben, přehříváky, ohřívák vody (EKO), ohřívák vzduchu (LUVO), komín	spodní část cca do výšky 9m přestavěna (roštový jednobubnový kotel* s přirozenou cirkulací, doplnění membránové stěny*, ...), ohřívák vzduchu, ventilátory spalovacího vzduchu, EKO, přehříváky, buben, sálavé šoty, ... podrobněji popsáno v kapitole 3.7
Funkční celky odstraňování zbytků tuhých paliv	
EO, doprava popílku, kouřový ventilátor, komín; klínovitá výsypka granulačního ohniště, svodka, mokrý vynašeč, pásový dopravník, odstruskovací věž	NOxOUT (z důvodu zpřísnění emisních limitů), EO*, doprava popílku*, kouřový ventilátor, komín; šneky pod roštem, svodka*, mokrý vynašeč*, pásový dopravník, odstruskovací věž
Parní hospodářství	
parovody, turbína, generátor, točivá redukce, generátor, kondenzátor a chladící věž, příslušenství	=
Chemická úpravna vody a vodní hospodářství	
chladící čerpadla, odplyňovač, napájecí nádrž, elektro napáječky, veškeré potrubí, čerpací stanice chladící vody, jímka, čerpadla, chemická úpravna vody	=
Ostatní	
rozvodna 6,3kV, rozvodna 22kV, rozvodna 0.4kV, blokový transformátor, tepelný velín	změny pouze v tepelném velínu – změna řídícího systému a některé MaR



Obrázek 1: Situační plán teplárny (upraveno) [1]

Obrázek 2: Letecký snímek z roku 2008



Obrázek 3: Letecký snímek z roku 2022

3.2 Stavební úpravy – budovy

Výše je zobrazen situační plán, vzniklý úpravou požárního plánu získaného z [1].

Jak je patrné z dalších snímků (Obrázek 2 a Obrázek 3) níže, tak při porovnání se situačním plánem teplárny je zřejmé, že došlo pouze k minimálním vnějším úpravám budov. Z důvodů blíže rozebraných v podkapitole 3.4.3, byla pro umístění multibinu

zbourána budova vedle přesypné věže A (Obrázek 1 odkaz 10) a dále byla přidána násypka na štěpku vedle přesypné věže B (Obrázek 1 odkaz 11).

3.3 Vlastnosti paliva (dřevní štěpky) a jejich důsledky na provoz

Právě z důvodu rozdílnosti paliv byla nutná náhrada, či výměna největšího množství prvků a zároveň rozdíly ve vlastnostech paliv následně zapříčiňovaly největší množství problémů. Je tedy vhodné se na tyto problémy podívat podrobněji.

3.3.1 Složení paliva a cizí příměsi

Díky nízkému obsahu síry (max 0,05%) není potřebné odsíření spalin, což znamená značné zjednodušení a zlevnění procesu (není nutné kupovat aditiva, ukládat produkt odsíření a spotřebovávat elektřinu a tlakový vzduch). Další výhodou je nízký obsah popelovin (kolem 1%)[14]. Hnědé uhlí disponuje vyšším obsahem síry (rozdíl v řádech procent) i vyšším obsahem popelovin (rozdíl v jednotkách, případně řádech procent) - vždy v závislosti na lokalitě těžby.

Množství prchavé hořlaviny V^{daf}[%] je u dřeva mnohem vyšší, dosahuje kolem 82%, zatímco pro tříděné hnědé uhlí zhruba 54% [15]. To zapříčiňuje jinou polohu ohnisek hoření a jiné vlastnosti plamene, takže jsou kladeny jiné požadavky na geometrii spalovací komory u kotlů spalujících biomasu oproti kotlům spalujícím uhlí. Dvě ohniska hoření jsou sice typická jak pro biomasu tak hnědé uhlí, avšak vyšší obsah prchavé hořlaviny v případě biomasy znamená pro biomasu vyšší ohniště s delší zadní klenbou, které bývá seškrcené, aby délka plamene byla dostatečná a bylo zaručeno dobré promíchávání prchavé hořlaviny se spalovacím vzduchem [16]. S přibývajícím obsahem prchavé hořlaviny v palivu totiž roste podíl hořlavých složek paliva v prostoru spalovací komory, takže roste podíl uvolněného tepla v prostoru spalovací komory oproti roštu, což pro roštová ohniště znamená vyšší potřebu sekundárního (a terciálního) vzduchu na úkor vzduchu primárního.[17]

Z důvodu vysokého podílu prchavé hořlaviny je tedy nutné volit polohu a množství přiváděného spalovacího vzduchu pečlivě (primárního, pohazovacího, sekundárního i terciálního). Po uvolnění prchavé hořlaviny (200 až 500°C) nastává hoření neodplyněného zbytku, přičemž uvolněná prchavá hořlavina částečně vyhořívá v oblasti nad roštem a její zbytek spolu se spalinami postupuje do pásma nižších teplot. Hořící prchavá hořlavina ve formě uhlovodíků (plamen) se však při styku s (výhřevnou) plochou chladnější než 450°C rozloží a vzniká amorfní uhlík s vyšší zápalnou teplotou (kolem 1300°C [15]), takže nevyhoří a ukládá se na (výhřevných) plochách v podobě sazí, které zabraňují prostupu tepla a celkově komplikují provoz kotle.[16, 18]

Palivo obsahuje, byť ve velmi malém množství, cizí příměsi (převážně horniny a stopově také odpad), které se do paliva dostávají již při nakládání u dodavatele. Prodejním parametrem, který je dodavatel nejjednodušeji schopen ovlivnit je hmotnost, což je, kromě faktu že třídit dřevní štěpku je velice nákladné, další z důvodů, proč prodejci nemají důvod palivo třídit a cizí příměsi odstraňovat. K posouzení kvality paliva dochází

na základě odběru vzorků, které mohou být nereprezentativní. Navíc vymáhání kvality přijímané štěpky je pro dodavatele složité. Kamení, které se dostane do palivového hospodářství, následně na rošt a poté do mokrého vynašeče a na pás způsobuje nadměrné opotřebení jednotlivých součástí a provozní problémy (zasekávání mezi roštnicemi, velké zpečence kamení + škvára/struska jsou odstranitelné pouze při odstávce a ubírají funkční plochu roštu a zabraňují dobrému promíchávání paliva na roštu).

3.3.2 Obsah vody a jeho důsledky

S rostoucím podílem obsahu vody se zvyšuje nutnost dodávat palivu teplo pro jeho vznícení, jelikož je nutné nejprve odpařit vodu obsaženou v palivu. Vzniklá pára zvětšuje objem spalin a množství tepla odvedeného komínem. Při vlhkosti 50% může palivo disponovat dokonce poloviční hodnotou výhřevnosti, kterou je možné využít, což v konečném důsledku znamená výrazné snížení výkonu kotle při stejném přítoku paliva (při vlhkosti 50% je nutnost zvýšit tok paliva pro zachování výkonu).[14]

Vysoká vlhkost paliva navíc může znamenat, že vysoká vlhkost spalin překročí mez rosného bodu a kondenzovaná voda z odpadních par bude způsobovat korozi teplosměnných ploch na konci kotle, ale hlavně v elektro odlučovačích TZL a spalinovodech [19].

3.3.3 Proměnlivá výhřevnost paliva

Výhřevnost je v případě dřevní štěpky, a zvláště při skladování na volném prostranství velmi nestálým parametrem. Výhřevnost paliva ovlivňuje řada faktorů: obsah vody, obsah popelovin, homogenita (typu dřevin, granulometrie, atd), podíl cizích příměsí, apod., které mohou být ovlivněny různými vnějšími vlivy: ročním obdobím, počasím, dodavatelem, dobou uskladnění, a podobně. Proměnlivost obsahu vody ve dřevní štěpce znamená, že při vyšší vlhkosti paliva dochází ke snížení tepelného výkonu při stejném hmotnostním toku paliva do kotle. V zimním období, kdy je nejvyšší poptávka po energiích, může hodnota výhřevnosti kolísat od 7 MJ/kg do 9 MJ/kg, zatímco během léta například od 9 MJ/kg do 14 MJ/kg (data získaná ze zkušenosti provozovatele). V provozech se tato situace, kdy je potřeba navýšit výkon, sice řeší zvětšením hmotnostního toku paliva do kotle, jenže v některých (extrémních) případech toto řešení naráží na schopnosti spalinového ventilátoru, který nemusí být dimenzován na dopravu vzniklého objemu spalin. To může zapříčinit akumulaci, či dokonce přetlak spalin ve spalovací komoře a únik spalin do kotelny.

Rostoucí obsah vody v palivu společně se snižováním teploty spalovacího vzduchu před jeho předehřevem a tím pádem nižší teplota ohřátého vzduchu (oba jevy zvláště časté v zimních měsících) má za důsledek, že větší část plochy roštu je využita na vysoušení paliva. Z toho vyplývá, že poměr účinné plochy k celkové ploše roštu bude s rostoucím podílem vody v palivu klesat (čím vyšší obsah vody v palivu tím je při návrhu nutné volit nižší hodnotu měrného tepelného výkonu roštu q_r [kW/m^2] [16]). Tento problém se pro použití roštu jakožto ohniště dá řešit předsoušením paliva, či použitím pohazovače paliva umožňujícím sušení a přípravu paliva pro spalování v letu [16]. Pro dřevní štěpku znamená speciální předsoušení paliva velké komplikace (energetické, zástavbové,

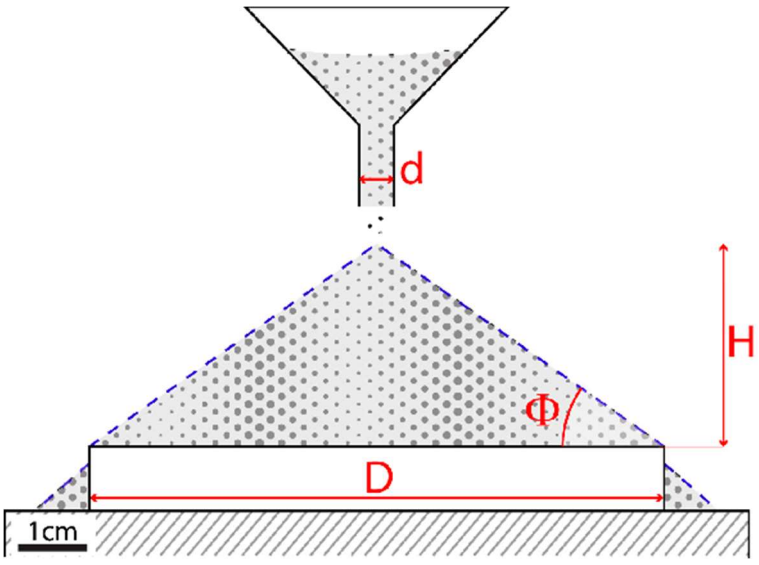
požární) a zvýšení investičních nákladů. Benefit je ve formě snadnější regulace výkonu díky lepší homogenitě výhřevnosti paliva. V tomto případě není předsoušení paliva před vstupem do kotle využito.

3.3.4 Hoření dřevní štěpky oproti hnědému uhlí

Na hoření má vliv i vyšší obsah vody - zhoršený průběh hoření způsobuje zvýšený obsah CO a uhlovodíkových sloučenin ve spalinách [18]. Díky znalosti množství CO za kotlem však může obsluha (nebo algoritmus) regulovat řídící vstupy výkonu kotle a tím usměrňovat hoření paliva. Biomasa obecně má oproti klasickým palivům mnohem vyšší podíl prchavé hořlaviny [18] a teplo je oproti uhlí vydáváno jinými mechanismy. Z toho vyplývá nutnost jiné distribuce vzduchů oproti hoření uhlí – o tomto pojednává podkapitola 3.7.3. Oproti hnědému uhlí se dřevní štěpka vyznačuje také již zmíněným větším objemem spalin, který je zapříčiněn z velké části vlhkostí paliva.

3.3.5 Porovnání sypného úhlu hnědého uhlí a dřevní štěpky

Sypný úhel je velmi důležitým parametrem pro návrh skluzů, sil, dopravníků a jiných, které jsou určeny pro sypký materiál. Sypný úhel je znázorněn na obrázku níže. Pro dřevní štěpku v setřeseném stavu (vysoká objemová hmotnost) může sypný úhel dosahovat až 60° [20], zatímco pro hnědé uhlí dosahuje hodnoty kolem 30° [21]. Hnědé uhlí tedy vykazuje snazší sypkost. Velikost sypného úhlu závisí na velikosti kusů sypkého materiálu [21].



Obrázek 4: Sypný úhel ϕ – schéma [22]

3.3.6 Porovnání sypného úhlu popílku ze dřevní štěpky a z hnědého uhlí

Jak již bylo zmíněno výše, velikost sypného úhlu je důležitým parametrem pro návrh skluzů, sil, dopravníků, a podobně. Sypný úhel dřevěného popílku dosahuje hodnoty okolo 50°± 1° , zatímco [23] sypný úhel popílku z uhlí dosahuje hodnoty 30° [24], pro obě paliva v závislosti na velikosti zrn (čím větší zrna, tím vyšší sypný úhel).

Sypný úhel však závisí v tomto případě nejen na velikosti zrn popílku, ale také na jeho vlhkosti, a na dalších parametrech. Vyšší vlhkost zpravidla sypný úhel zvyšuje [25].

3.3.7 Porovnání charakteristické teploty popelovin dřevní štěpky a uhlí

Mezi charakteristické teploty popelovin patří [26]:

- teplota měknutí – okraje zkušebního tělíska tvaru válce či krychle jsou při této teplotě zaobleny bez změny výšky, v případě zkušebního tělesa ve tvaru kužele je výška shodná s šířkou základny
- teplota tání – tělísko vytvoří přibližně polokouli, kdy výška je přibližně polovina základny
- teplota tečení – výška tělíska je přibližně třetina výšky při teplotě tání

Pro popílek ze dřevní štěpky platí teplota měknutí 1225°C, teplota tání 1280°C a teplota tečení 1320°C. Tyto teploty jsou zhruba o 200 až 400°C nižší, než které platí pro uhelný popílek.[15]

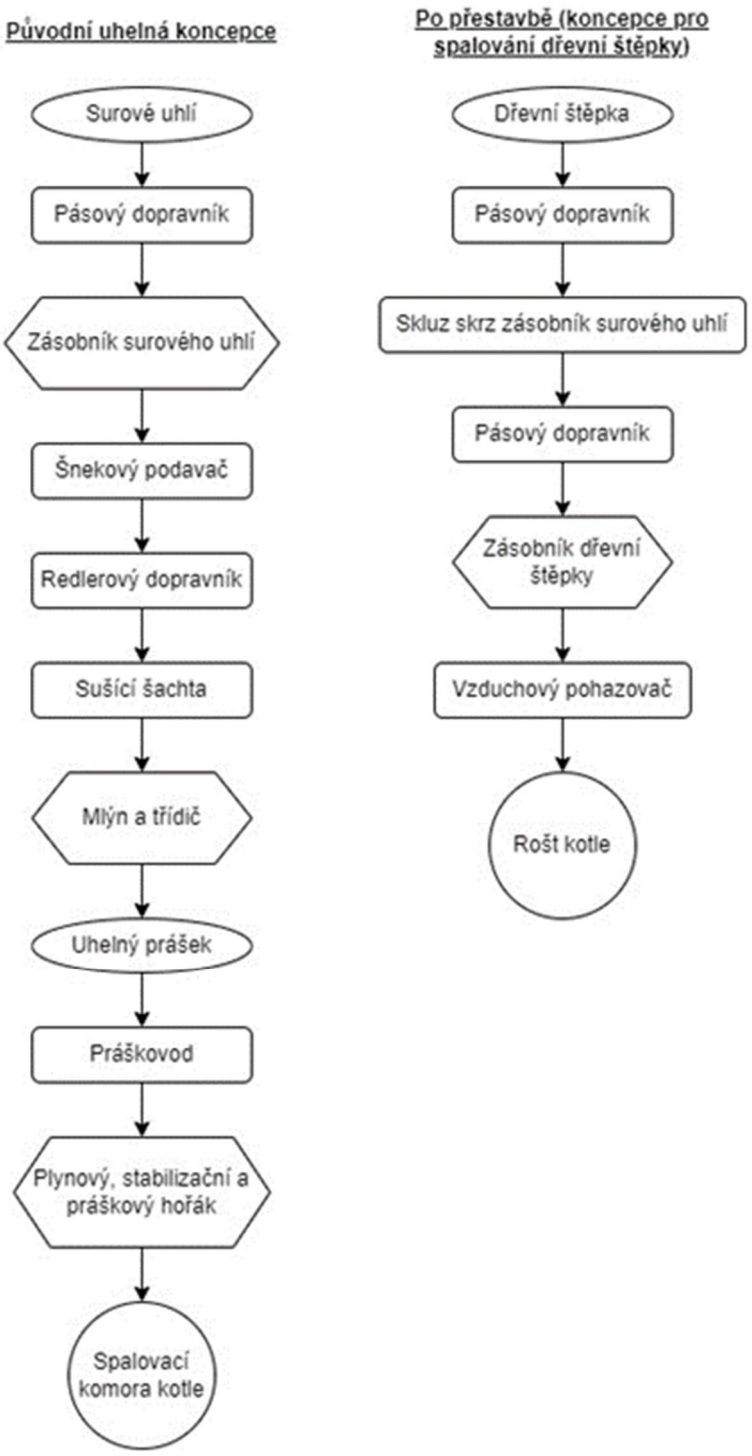
S klesajícími charakteristickými teplotami popelovin roste tendence ke spékání popelovin a usazování na výhřevných plochách. Negativní vliv mají tyto popeloviny především na roštu, kde dochází k zanášení a spékání, čímž jsou ucpávány přístupové cesty pro primární vzduch a také pro promísení paliva vlivem přesuvu roštnic.[26]

3.3.8 Doprava dřevní štěpky a její soudržnost

Během dopravy do skladu (na volné prostranství) dochází vlivem vibrací k setřesení materiálu, čímž se nejen snižuje sypná hmotnost o 10-15%, ale především se štěpka může stát soudržným materiálem. Sypný úhel může totiž dosahovat 60°a více. Tím mohou vzniknout problémy při vyprazdňování nákladních vozů a velmi kritické je toto chování při automatickém podávání štěpky. Je tedy nutné, aby byla geometrie přesypů, skluzů atd. navrhována s takovými úhly bočních stěn nebo dna a takovými podávacími mechanismy, které zabrání vytváření klenby a obecně temování paliva, jinak hrozí ucpání dopravních cest a ztráta schopnosti dodávat palivo do kotle.[20]

3.4 Vnější palivové hospodářství

Palivové hospodářství obecně dosáhlo z důvodu změny palivové základny velikých změn. Podrobněji viz diagram níže.



Obrázek 5: Porovnání vnitřního palivového hospodářství před a po přestavbě formou diagramu

3.4.1 Kamionová doprava paliva do skladu a příjem paliva

Palivo se vozí velkoprostorovými nákladními vozy se sklopnou korbou, nebo návěsy s automatickým vyprazdňováním technologií walkingfloor – tento typ je nejčastější. Těchto kamionů přijíždí denně zhruba 30, záleží na aktuální situaci a potřebách teplárny, přičemž vzhledem k příjezdům pouze přes den není potřeba noční směna. Snaha o příjezd kamionů přes den je také z důvodu splnění limitů hluku.

V první fázi po přestavbě bylo množství paliva stanovováno vážením nákladního vozu při příjezdu a při odjezdu, přičemž během vykládky byly odebrány vzorky paliva pro stanovení potřebných specifikací paliva (celkový obsah vody, obsah vody v analytickém vzorku, obsah sušiny v analytickém vzorku při 105 °C, obsah popela v původním a bezvodém vzorku, spalné teplo v původním a bezvodém vzorku, vodík v původním vzorku a výhřevnost). Ze stanovené hodnoty výhřevnosti paliva v MJ/kg byla dále stanovena tepelná energie celé dodávky (kamionu) v GJ. Cena dodávky paliva byla následně stanovena dle daného kontraktu s dodavatelem v Kč.[27]

V současnosti však pro zjednodušení celého procesu je zavedeno jiné měření a od výše zmíněné úplné kalorimetrie se úplně upustilo. Nyní se výhřevnost dopočítává z odebraných vzorků pouze pomocí zjištěného obsahu vody. Obsah popela je kontrolován namátkově.

Původně plánovaná doprava po železnici byla zavrhnuta z důvodů: komplikace s logistikou, vzhledem k různým dodavatelům štěpky, různorodosti jejich dojezdových vzdáleností a nutnosti soustřeďovat štěpku a nakládat do předem připraveného vlaku. Dalším důvodem byly během testů získané zkušenosti s obtížností vykládky dřevní štěpky z železničních vozů. Zasekávání štěpky v železničních vozech bylo způsobeno setřesením materiálu a zvětšením sypné hmotnosti.

3.4.2 Skládka paliva

Oproti původnímu návrhu vybudovat zhruba 60 metrů dlouhou halu, kde bude jeřáb s polypovým drapákem sbírat palivo a automatizovaně ho přesouvat do multibinu [12], zůstalo skladování paliva z části stejné jako u uhlí - štěpka je volně ložená na prostranství venkovní skládky. Geneze byla následující. Jakmile bylo rozhodnuto, že nebude vystavěna hala s polypovým drapákem z důvodu vysokých investičních nákladů, bylo rozhodnuto o využití stávajících podzemních příjmových košů na uhlí. Krátce na to však vyšlo najevo, že toto řešení není optimální (viz níže) a během provozu byl tedy vystavěn multibin společně se šnekovými podavači ke třídiči a následně podávací šnek, který dávkuje dřevní štěpku na oba pásové dopravníky zároveň.

Narozdíl od skladování uhlí tedy není využíván ani jeden z hlubinných zásobníků, jelikož dřevní štěpka má jiný sypný úhel oproti hnědému uhlí (viz podkapitola 3.3), což způsobuje, že dřevní štěpka při využití neupravených skluzů, výsypek a podavačů určených pro dopravu uhlí vytváří klenby a úprava by znamenala příliš velkou investici. Předpoklad využití příjmového koše na uhlí byl také mylný, jelikož palivo se v tomto příjmovém koši zasekávalo.

Z těchto důvodů je využívána venkovní nezastřešená plocha, přičemž skladovací plocha je menší, než byla k dispozici pro uhlí, z těchto důvodů: nevyužití podzemních zásobníků, nutnost udržet přehled o místě uskladnění jednotlivých dodávkách kvůli hrozící biodegradabilitě paliva při dlouhodobějším skladování. Obvykle je sice palivo spotřebováno během jednotek dnů, avšak to právě díky uchování přehledu o místě uskladnění paliva a fungujícímu skladovému hospodářství, což je za cenu zmenšení plochy skládky z důvodu nutnosti udržovat průjezdové uličky pro nakladač mezi

jednotlivými místy uskladněné štěpky. Při naplnění maximální kapacity skládky paliva kvalitní štěpkou (3500 až 4000 tun) je k dispozici palivo na zhruba 5 dní provozu obou kotlů při spotřebě obou kotlů dohromady zhruba 600 až 650 tun paliva denně (opět kvalitní palivo, jinak je spotřeba paliva přes 700 tun), přičemž při obvyklém provozu je udržován stav naplnění skladu na zhruba 3 dny provozu (oproti hnědému uhlí téměř řádově kratší doba).

Nedostatkem varianty skladování na volné ploše jsou kromě přítomnosti povětrnostních vlivů a srážek, také vlastnosti podkladu skládky. Podklad skládky byl při přestavbě změněn tak, aby umožňoval lepší odvod vody, a to pomocí drenážního systému. Drenážní systém byl proveden s ohledem na požadavek nízké vstupní investice – nutno podotknout, že drenážní systém byl proveden proti podzemní vodě, nikoli na odvod vody povrchové. Podloží skládky paliva bylo během přestavby tvořeno s cílem usnadnit tvorbu základů pro krytou halu ještě ve fázi, kdy bylo uvažováno o její výstavbě – během přestavby byla dovezena navážka a povrch byl následně zhutněn. Tato zhutněná navážka měla umožnit nevystavovat základy haly do velké hloubky. Poté, co z výstavby haly sešlo, bylo nutné podloží skládky znovu upravit. Základ drenážního systému byl proveden klasickým způsobem a obsahoval drenážní rýhy s odvodňovacími hadicemi vysypané hrubým štěrkem, na který byla položena vrstva středně hrubého štěrku, a tato vrstva byla zakryta vrstvou jemného štěrku. Finální povrch tvoří jemná štěpka s pilinami, která byla poté uválcována.

Při nakládání paliva radlicí nakladače však obsluha poměrně často nabírá společně se štěpkou také štěrkovou drenáž, jelikož uválcovaná vrstva dřevní štěpky na povrchu není příliš vysoká a zároveň pro obsluhu není jednoduché odhadnout, v jaké hloubce se tato vrstva nachází. Tím dochází k dopravě horniny do multibinu a následně do kotle. Dle zkušeností provozovatele se také na skládce po dešti objevují kaluže, jelikož zhutněná štěpka s pilinami nejsou schopny vodu vždy propustit. Řešení podkladu skládky drenážním systémem je velmi ojedinělé a je evidentní, že není příliš vhodné. Obvyklé řešení zahrnuje betonovou plochu.

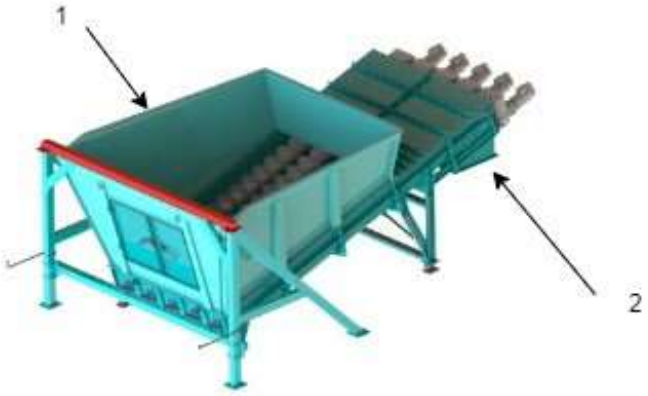
Ze skládky paliva je dřevní štěpka nepřetržitě dopravována pomocí nakladačů do multibinu.

3.4.3 Příjem paliva a míchání – nakladač, multibin

Původní návrh počítal s využitím původních příjmových košů na uhlí a následné dopravy na pás, přičemž primárně bude využíván příjmový koš u přesypné věže A. Téměř ihned po začátku provozu však docházelo k ucpávání tohoto koše, a proto byla funkce koše u věže A nahrazen multibinem – speciálním strojem pro příjem sypkého materiálu (viz Obrázek 6), pro který bylo nutné vytvořit také nájezdovou rampu pro snazší příjezd nakladačů. Příjmový koš však mohl zůstat zachován.

Multibin slouží pro příjem paliva z radlice nakladače, ze které obsluha nakladače sype palivo do jehlanové násypky. Pod otevřeným dnem násypky se nachází soustava šneků, která plní funkci podavače a zároveň míchadla. Tento šnekový dopravník dále dopravuje dřevní štěpku na pásový dopravník, kde palivo vjíždí do budovy přesypné věže

A (viz odkaz 10 Obrázek 1), následně projíždí pod elektromagnetem a poté padá volným pádem do rozměrového hvězdicového třídiče. Rychlost soustavy šneků na dně multibinu je ovládána požadavkem na přísun paliva z provozních zásobníků kotlů.

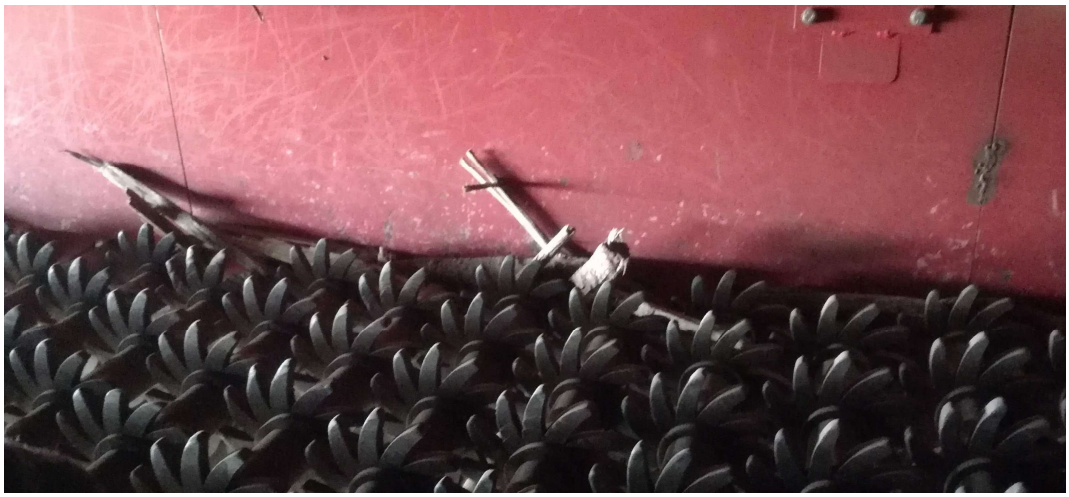


Obrázek 6: Multibin: 1-příjem paliva od nakladače, 2-výdej promíchané dřevní štěpky na pásový dopravník [28]

Multibin stojí na místě budovy, která sousedila s věží A, do které je palivo dopravováno a kde se nachází třídič (viz Obrázek 1, případně z porovnání leteckých pohledů Obrázek 2 a Obrázek 3).

3.4.4 Třídění paliva

Hlavní třídění paliva se nachází ve věži A. Třídění dřevní štěpky je prováděno elektromagnetem (využit z původní dopravy uhlí), který se nachází nad pásovým dopravníkem a zachytává magnetické příměsi a hvězdicovým třídičem (viz obrázek níže). Na hvězdicový třídič shora dopadá dřevní štěpka, která buď propadává skrz (pokud vyhovuje daným rozměrům), nebo je rotačním pohybem hvězdic posouvána do skluzu, kudy je vedena do kontejneru (převážně pro dlouhé kusy - "mikádo" - delší tenké kusy, typické pro suché kůrovcové palivo z drcených kmenů – kusy, které štěpkovač nedokáže zpracovat). Původně namontované plastové hvězdice však vzhledem k obsahu tvrdých příměsí v palivu (horniny apod) vykazovaly malou únosnost a docházelo k jejich rychlému opotřebení a lomu. Plastové hvězdice proto byly vyměněny za ocelové – ty dosahují lepší houževnatosti a zároveň v případě kontaktu s kamenem způsobují hlasitý zvuk, na který reaguje obsluha. Setrvávajícím nedostatkem třídičky je neschopnost třídit palivo zcela, respektive že některé delší a tenké kusy třídičem projdou a následně provazbí, čímž vytváří kompaktní celek, čímž zabraňují sypkosti paliva v dalších fázích přepravy. V palivu se nachází také provázky, které namotáním na hřídel třídiče (hřídel, na kterém jsou osazeny hvězdice) zužují prostor pro průchod toho paliva, které dosahuje správných rozměrů. Pro odstranění těchto provázků je kvůli bezpečnosti práce nutné třídič zastavit, čímž se krátkodobě přeruší dodávka paliva do zásobníků před kotlem. V krátkém intervalu však tato odstávka není kritická, jelikož zásobník před kotlem je obvykle vybaven zásobou paliva na více než 10 minut a snímačem hladiny paliva.



Obrázek 7: Hvězdicový třídič

Z třídiče dopadá palivo do násypky, ze které se palivo přímo sype do rozdělovacích šneků, které dávkují palivo na pásové dopravníky.

Další možnost (záložního) zásobování se nachází ve věži B, která funguje jako záložní při výpadku (poruše) dopravy ve věži A. Zde je pro příjem paliva mnohem jednodušší mechanismus - z důvodu vysoké počáteční investice nebyl instalován multibin ani třídič - nakladač palivo sype do původního hlubinného příjmového koše - násypky kterou palivo pomocí skluzu propadává k rozdělovacím šnekům a odkud je dopravováno přímo na dopravníkový pás, na kterém palivo projíždí pod elektromagnetem - použitým z uhelné dopravy. Jak již však bylo zmíněno, v příjmovém koši dochází často k váznutí paliva, a proto není možno tuto trasu používat jako hlavní pro zásobování kotlů palivem.

Z principu těchto technologií třídění je jasné, že nedokážou zabránit průchodu nekovových příměsí (nejčastěji sklo, hliník) o dostatečně malých rozměrech.

3.4.5 Pásové dopravníky a přesypy

Palivo je dopravováno pomocí dvou paralelních pásových dopravníků, které jsou beze změny převzaté z dopravy uhlí a plně zvládají svou funkci. V určitých situacích by pro dodávky paliva byl dostačující pouze jeden pásový dopravník, avšak vzhledem k různým rizikovým faktorům (riziko poruchy a doba prodlení před nájezdem druhého pásu – odstavení dopravy paliva do zásobníku kotle, riziko únavového poškození pásu častým rozběhem, riziko přeplnění pásu – vysypávání a kolize, atd.) jsou trvale používány obě dopravní trasy. Dopravníky nejsou vybaveny frekvenčními měniči na pohonech, a tedy není možné snižovat otáčky podle potřeby. Dopravníky jsou tedy provozovány se svou nominální rychlostí.

Při chodu dopravníku se vzhledem k malým částicím v palivu zvyšuje podíl prachových částic v pracovního prostředí. Nejvíce se situace zhoršuje na přesypech. Tomu by bylo možné zabránit utěsněním prostoru přesypů, či odsáváním. Obě tyto řešení se však obvykle nepoužívají z důvodu nutnosti dodržet požární směrnice při nízké investici. Utěsnění prostoru je rizikové pro případ vzniku požáru, zatímco odsávání je

složité z důvodu následného nakládání s prachovými částicemi. Zvýšená prašnost je tedy řešena intenzivnějším úklidem pomocí průmyslových vysavačů.

Dopravníky nedisponují frekvenčními měniči, a tak jsou stále provozovány na svůj nominální výkon. Použitím frekvenčních měničů by bylo možné uspořit elektrickou energii.

3.5 Vnitřní palivové hospodářství

Výčet prvků, které byly upraveny, odstraněny, nebo namontovány [29]:

- odstr. práškové hořáky včetně aparatury (zachován vzduchovod včetně terciálních vzduchů do kotle)
- odstr. plynové zapalovací a stabilizační hořáky včetně potrubí přívodu zemního plynu u kotle
- odstr. obratové elektro mlýny a třídiče včetně aparatury a práškovodů
- odstr. sušící šachty
- odstr. redlerové dopravníky uhlí do sušících šachet
- odstr. šnekový podavač z jednoho zásobníku paliva
- odstr. spodní díl zásobníku paliva na uhlí a úprava zásobníku na uhlí
- mont. potřebné ocelové konstrukce
- mont. skluzy paliva od shozu obou dopravníků skrz stávající zásobník paliva
- mont. pásový dopravník paliva od skluzu do provozního zásobníku paliva
- mont. provozní zásobník kotle a vzduchové pohazovače, vše včetně aparatury
- mont. potřebných řídících, kontrolních a měřících prvků

Na obrázku dispozice přestavby (Obrázek 12) níže jsou očíslovány hlavní celky kotelny, kterých se týkala přestavba, přičemž na tomto obrázku není zobrazeno nakládání se škvárou (mokrý vynašeč a dopravník) kterých se přestavba také týkala.

3.5.1 Skluz procházející upraveným uhelným zásobníkem

Z původních dvou uhelných zásobníků je využit pouze jeden, přičemž druhý zásobník zůstal bez úprav. Do zásobníku jsou svedeny oba dopravníkové pásy a palivo zásobníkem prochází (nezadržuje palivo, respektive neplní funkci zásobníku, ale pouze skluzu) dále na dopravníkový pás. Při přestavbě byl odstraněn šnekový podavač uhlí (včetně aparatury) zespod zásobníku uhlí a spodní díl zásobníku uhlí, který byl upraven pro umístění nového dopravníku na dřevní štěpku (ponechány boční stěny z důvodu omezení prašnosti), který prochází samotným zásobníkem (viz Obrázek 12). Z toho důvodu byly upraveny spodní stěny zásobníku.

Nyní tedy ze shozu dopravníkových pásů palivo prochází bývalým uhelným zásobníkem, do kterého byl při přestavbě instalován skluz paliva. Tímto skluzem palivo padá přímo na pásový dopravník paliva, který dále palivo dopravuje do provozního zásobníku před kotlem. Svodka o rozměrech 400mmx400mm, však v případě nekvalitního paliva nedostačuje – v případě přítomnosti "mikáda", a provazbení paliva nastávají situace, kdy se tento skluz ucpe, čímž se přeruší dodávka paliva do provozního

zásobníku a je nutné přivolat obsluhu, která toto zařízení musí zprůchodnit. Tato situace však nastává zcela výjimečně a skluz jinak funguje bezproblémově.

3.5.2 Dopravník paliva do provozního zásobníku na dřevní štěpku

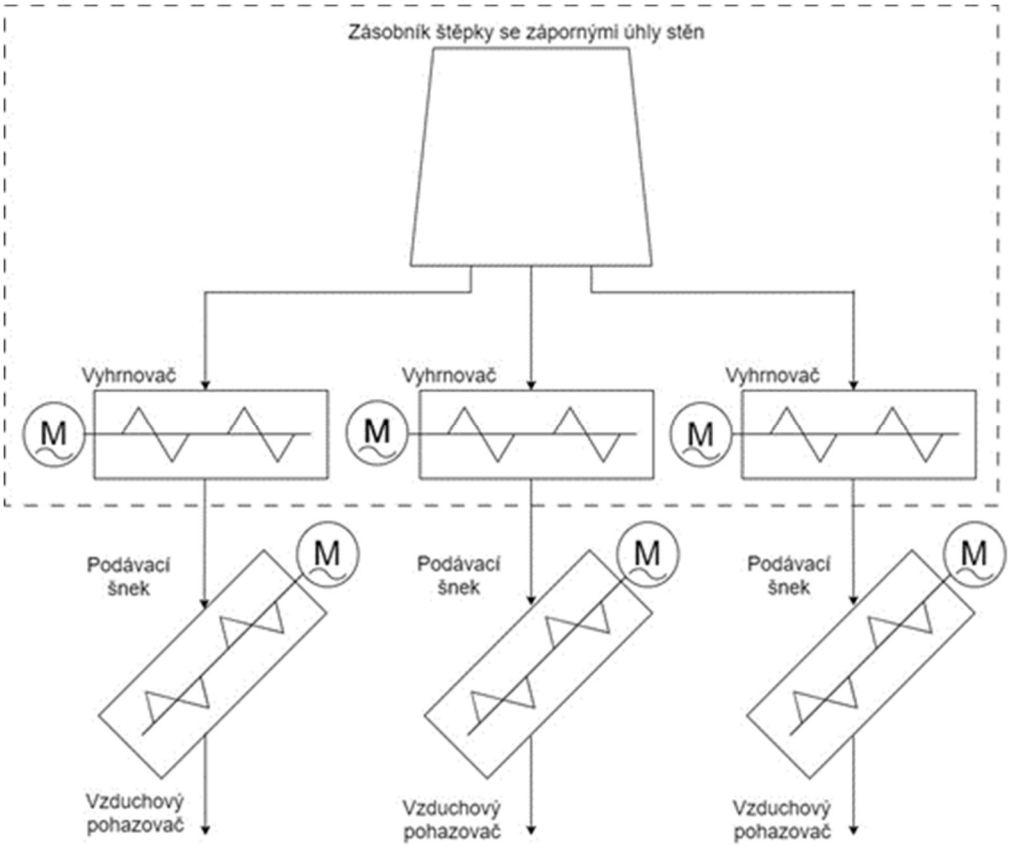
Tento dopravník se zarážkami je situován zhruba 2 metry nad původním redlerovým dopravníkem, jelikož násypný otvor do zásobníku dřevní štěpky, který je umístěn na horní stěně zásobníku, je situován vysoko. Původní redlerový dopravník na uhlí byl odstraněn spolu se sušící šachtou a veškerou aparaturou.

Dále byl odstraněn redlerový dopravník uhlí do sušící šachty spolu se sušící šachtou, mlýny a šachtami pro dopravu popílku, hořáky a dalším příslušenstvím. Tento dopravník funguje bezproblémově, až na vznikající prašnost – vzniklý prach je však pravidelně odstraňován pomocí průmyslových vysavačů.

3.5.3 Provozní zásobník paliva a vzduchový pohazovač

Vynášení paliva ze zásobníku pomocí šneků patří k hlavním regulátorům výkonu kotle. Z tohoto důvodu musí splňovat několik kritérií, které umožní plynulou a přesnou regulaci výkonu kotle. Mezi důležité vlastnosti patří: přesné odměřování paliva, krátká reakční prodleva a rychlá přestavitelnost - resp. malá časová konstanta i dopravní zpoždění a pokud možno lineární statická charakteristika [16]. Tyto podavače transportují palivo do vzduchového pohazovače.

Zásobník prošel po určité době užívání úpravou, která reagovala na jeho nedostatky – zasekávání paliva a klenbování. První jeho varianta (viz Obrázek 8 a Obrázek 9) využívala pro dopravu paliva tří vyhrnovacích a tří podávacích šneků. Vyhrnovače, se kterými přišlo palivo do styku nejdříve, měly za úkol palivo vyhrnout do šneků podávacích, které byly umístěné přímo pod vyhrnovači. Osy hřídelí vyhrnovačů a podávacích šneků na sebe byly kolmé, přičemž osa podávacích šneků směřuje směrem ke vzduchovému pohazovači, zatímco osa vyhrnovačů je v rovině odsazené od podstavy zásobníku a směřuje kolmo na podávací šneky. Při tomto systému však docházelo k několika problémům v podobě hrnutí paliva proti stěně a následnému zasekávání (palivo se temovalo, zvyšovalo sypnou hmotnost a byla obtížnější jeho doprava), což vyústilo v zasekávání šneků, respektive motorů. K tomuto docházelo především při velkém zaplnění zásobníku nad vyhrnovacími šneky. Výška zásobníkové nádoby činí zhruba 3,5 metru, avšak při hladině paliva v zásobníku okolo 0,6 metru vyhrnovače nebyly schopny plnit svou funkci a docházelo k jejich samovolnému zastavení. Utemované palivo bylo tedy nutné ručně odstranit, což ale znamenalo výpadek dodávky paliva do kotle a následný výpadek dodávek páry, respektive tepla a případně elektřiny. Provoz s nízkou hladinou v zásobníku však způsoboval přisávání falešného vzduchu do kotle a okamžitou ztrátu výkonu kotle při sebemenších problémech v dopravě paliva do zásobníků kotlů.



Obrázek 8: Schéma první verze provozního zásobníku dřevní štěpky 1 (podávací šneky jsou vzhledem k rozhrnovacím šnekům umístěny příčně

Obrázek 9: Vnitřek původního provozního zásobníku dřevní štěpky (dva vyhrnovací šneky a pod nimi tři podávací šneky do pneumatického pohazovače do kotle)

Při druhé přestavbě byly tři vyhrnovače a podávací šneky nahrazeny dvěma rozdružovacími hvězdicemi (viz. Obrázek 10) ve tvaru podobném srpu, jejichž osa rotace je kolmá na podstavec zásobníku. Vzhledem k tomu, že tato hvězdice netlačí palivo proti stěnám, tak nedochází ke vzepření paliva a zaseknutí rotoru. Hvězdice palivo nadzvedává a zároveň posouvá nad nové podávací šneky (pod rozdružovacími hvězdicemi - Obrázek 10, jejich výstup k pohazovačům - Obrázek 11), na které palivo následně padá, čímž zároveň zamezuje zhutnění paliva, které v předchozím případě vedlo k zaseknutí podávacích šneků. Díky této výměně je nyní možné naplnit zásobník do výšky přes 1,5 metru i při nekvalitním palivu ("mikádo", nehomogenní palivo s cizími příměsemi a tím pádem větší sypnou hmotností). Při standardním palivu je možné držet zásobník zaplněný na maximální úroveň.

Obrázek 10: Vnitřek nového provozního zásobníku dřevní štěpky (rozdružovací hvězdice a pod nimi tři podávací šneky do pneumatického pohazovače do kotle)

Obrázek 11: Původní šnekový podavač provozního zásobníku dřevní štěpky je velmi podobný tomu novému

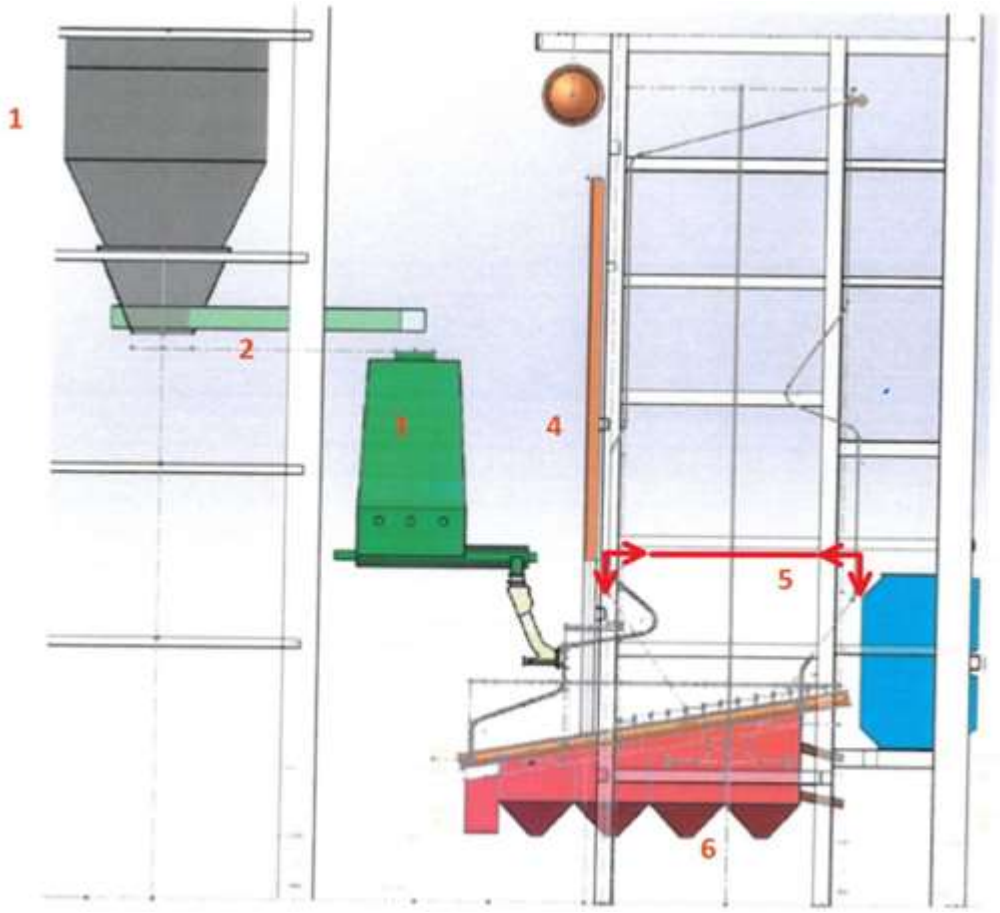
Vzduchové pohazovače paliva zůstaly od přestavby beze změny. Oproti předsoušení paliva byly zvoleny právě z důvodu vysoké vstupní investice. Instalovány jsou na každý kotel celkem tři, pro každý podávací šnek jeden. Pohazovač dopravuje palivo až na konec roštu (k zadní stěně kotle), jelikož během letu je palivo částečně vysoušeno a malé částice paliva mohou během letu (ve vznosu) hořet. Pro instalaci pohazovače bylo nutné propojení pohazovacího stlačeného vzduchu o provozním přetlaku cca 1,4kPa. Řízení je zajištěno pomocí dálkově ovládané regulační klapky a odběr vzduchu je realizován z výtlaku vzduchového ventilátoru.

Nyní zásobník i vzduchový pohazovač fungují bezproblémově.

3.6 Funkční celky odstraňování tuhých zbytků po hoření dřevní štěpky

Výčet prvků, které byly upraveny, odstraněny, nebo namontovány [29]:

- odstr. nosníků vnitřního rámu výsypky odškvárování pro instalaci spalovacího roštu
- odstr. výsypek, mokrého vynašeče a redlerů souvisejících s uhlím – mokrý vynašeč a redler odstraněn pouze na straně blíže ke strojovně
- mont. výsypné a dopravníkové části škváry a strusky do mokrého vynašeče, která je součástí kotle
- mont. mokrý vynašeč komplet (vana, čerpadla, redler, atd.)



Obrázek 12: Dispozice přestavby: 1-bývalý uhelný zásobník paliva s nově instalovaným skluzem, 2-dopravník paliva, 3-provozní zásobník paliva, 4-napojení zavodňovací komory, 5-hranice přestavby kotle, 6-rošt kotle (upraveno) [29]

3.6.1 Doprava odpadu z roštu ze svodky kotle

Z obrázku dispozice přestavby (Obrázek 12) je patrné, že celá spodní část kotle byla přestavěna – stejně tak i dopravníky odpadu z roštu do mokrého vynašeče a samotný mokrý vynašeč, které však na obrázku zobrazeny nejsou. Z původních dvou mokrých vynašečů však bylo dostačující odstranit pouze jeden, a to díky konstrukci roštového kotle – uhelný mokrý vynašeč, který je blíže k zadní stěně kotle, se nachází v nevyužitém prostoru, a tak nebylo nutné jej demontovat. Nyní je odpad z roštu dopravován do vany mokrého vynašeče skrze výsypku přímo (vzduchová zóna roštu 1 a 2, číslováno zprava, Obrázek 12), anebo je dopravován do vany vynašeče pomocí šnekových dopravníků (vzduchová zóna roštu 3 a 4). Odtud je pomocí redlerového dopravníku vynášen na pásový dopravník. Odtud odpad z roštu skrze několik pásových dopravníků dále putuje to odstruskovací věže, kde je vysypáván do kontejneru. Díky růstu cen hnojiv a certifikaci, která dle zákonných norem klasifikuje škváru a popílek jako hnojivo, je odpad předáván zemědělcům. V případě přebytků je odvážen na skládku, kde je likvidován dle zákonných norem.

Mokrý vynašeč plní dvě základní funkce: vlhčení odpadu z roštu, který může ještě dohořívat je potenciálně nebezpečný z důvodu požárních rizik - zvlhčením se odpad rozpadne na malé kusy a umožní jejich ochlazení a zvlhčení; utěsnění kotle (škvárové

jímky) jelikož kotel je podtlakový, a voda plní funkci vodního uzávěru - jinak by docházelo k nasávání falešného vzduchu do kotle a ovlivnění průběhu spalování [16]. V kapitole o složení paliva je zmíněno, že minoritní část paliva mohou tvořit také cizí příměsi – nejčastěji kamení a zemina, jejíž nejhorší složkou z hlediska vlivu na opotřebení součástí teplárny je písek. Tyto cizí příměsi působí především abrazivně a opotřebovávají následující součásti – skluzy, svodky, redlery, (šnekové) dopravníky a jiné. Mokrý vynašeč obvykle tedy bývá konstruován i pro dopravu těžších kusů pro případ, že by se na roštu vytvořil spečený kus větších rozměrů. Zásadní je však v konstrukci mokrého vynašeče obvykle čedičová výstelka, která je využita pro dopravu odpadu z důvodu, že snižuje abrazivní opotřebení ocelových součástí. Mokrý vynašeč instalovaný během přestavby však čedičovou, či jinou abrazi vzdornou výstelku neobsahuje. Na obrázcích níže je možné porovnat obvyklý redler s abrazi vzdornou výstelkou (Obrázek 15) a redler instalovaný (bez výstelky) - Obrázek 13. Na obrázcích je také možné porovnat robustnost obou provedení.

Obrázek 13: Stávající mokrý vynašeč

Obrázek 14: Řetěz stávajícího mokrého vynašeče

Obrázek 15: Ukázka mokrého vynašeče s abrazi vzdornou výstelkou [30]

Pásový dopravník odpadu z roštu v podkotlí zůstal beze změny, podobně jako odstruskovací věž. Oba tyto celky fungují bezproblémově.

3.6.2 Odstraňování oxidů dusíku – NOxOUT

Emisní limity pro NO_x 600mg/m^3 dané integrovaným povolením vydaným při výstavbě teplárny [1], nenutily teplárnu se speciálně zabývat emisemi dusíku - vzhledem k blížícímu se zpřísnění emisních limitů však bylo rozhodnuto o instalaci prvků pro snížení emisí oxidů dusíku. Emise NO_x jsou nyní snižovány vstřikováním močoviny - systém NOxOUT [31].

3.6.3 Elektrostatický odlučovač – EO

Samotná konstrukce elektro odlučovače se nezměnila. Každý kotel je vybaven vlastním EO, které nemají možnost napojení na jiný kotel. Každý EO disponuje třemi elektro odlučovacími komorami uspořádanými z pohledu spalin za sebou, ale kontinuální doprava, zmíněná v odstavci níže, byla provedena pouze v prvních dvou komorách, jelikož třetí elektro odlučovací komora odstraňuje takové množství popílku, že je dostačující při odstávce kotle manuálně popílek z výsypky vysypat. Elektro odlučovač jako takový (bez uvažování dopravy odloučeného popílku) splňuje funkci více méně dle očekávání a splňuje provozní požadavky v případě funkčního odvodu popílku.

V současnosti je doprava popílku z EO přestavována, viz odstavec níže. Počítá se s odstraněním popílku z EO pomocí mechanického oklepu do výsypky z elektro odlučovače, odkud již popílek dopravuje rotační podavač směrem do mokrého vynašeče (viz podkapitola 3.6.4).

3.6.4 Doprava popílku z elektrostatického odlučovače

Původně plánované odstraňování popílku z násypky pod elektro odlučovačem bylo uvažováno způsobem stejným jako pro uhlí: po oklepu z elektrod do elektrodových komor (sekcí) a turniketovými vynašeči do provozního zásobníku pod EO (o patro níže)[1] následně příjezd vozu s korbou pod výsypku provozního zásobníku elektro

odlučovače, otevření výsypky, vysypání popílku z výsypky pod EO do zásobníkové vany a dále volným pádem do korby vozu, uzavření výsypky a odjezd vozu. Toto bylo navrhování s ohledem na zkušenost, že popílek ze spalování uhlí pod EO je v dostačujících mezích tekutý.

Tento předpoklad byl však mylný z důvodu jiného sypného úhlu popílku ze spalování biomasy (viz kapitola 3.3). Využití jehlanových výsypek, které byly původně instalovány na uhelný popílek, zamezovaly výsypu popílku z dřevní štěpky, jelikož sypný úhel popílku z biomasy je mnohem vyšší (hůře se sype) a je nutné navrhovat výsypky se skoro kolmým, nebo dokonce negativním úhlem sklonu stěn. Jelikož však použité výsypky (z uhelné koncepce) nedisponovaly dostatečným úhlem sklonu stěn, popílek ve výsypce klenboval a zasekával se. Při delší prodlevě navíc hrozilo zatuhnutí popílku a zhoršení jeho tekutosti. Bylo tedy nutné dopravu popílku přestavět. Následovalo provizorní řešení a následná oprava, obě řešení ze změnou dopravy z jednorázového vysypávání na kontinuální, aby došlo k zamezení zatuhnutí popílku ve výsypkách.

Provizorní řešení obsahovalo přidání šnekového dopravníku, který dopravoval popílek skrze svody do kontejneru, do kterého padal volným pádem a ze kterého se odstraňoval jednorázově – toto je aktuální stav v době dokončování práce. V kontejneru je nutné popílek dále namočit kvůli nedopalu, kvůli kterému vzniká požární riziko při následném skladování popílku. Při dopadu popílku do kontejneru se však popílek víří, a navíc odvoz kontejneru vyžaduje zvláštní obsluhu.

Oprava, která je aktuálně realizována, se vyznačuje přidáním další možné cesty popílku, dopravou pneupohazovačem do mokrého vynašeče strusky přímo pod kotel, kde se napojí na cestu odpadu z roštu a kde popílek společně s odpadem z roštu bude putovat do struskovací věže. Mezi cestou do mokrého vynašeče a cestou do kontejneru bude možné dálkově přepínat pomocí klapky, která se již nachází na konci šneku pod elektro odlučovačem. Tyto dvě cesty budou existovat pro případ poruchy hlavní cesty (do mokrého vynašeče). Tímto opatřením odpadne nutnost obsluhy kontejneru a nutnost namočení popílku – popílek projde mokrým vynašečem.

Rozebírat abrazivní účinky popílku není téma této práce, vzhledem k tomu, že tyto účinky jsou podobné také pro uhelný popílek. Za zmínku stojí, že opotřebení potrubí od ostrohranných zrn popílku (i škváry) při pneumatické dopravě je značné a záleží na použitých materiálech dopravních cest - jejich životnosti při tloušťce stěny 4 až 5mm může být i 12 měsíců a dá se prodloužit například litinovým, nebo čedičovým vyložením [16].

3.6.5 Spalinový ventilátor a komín

Pro spalinový ventilátor a komín byl přijat předpoklad, že jejich vlastnosti jsou pro použití pro dřevní štěpku dostačující. Vzhledem k vyššímu objemu spalin při spalování dřevní štěpky oproti hnědému uhlí však spalinový ventilátor při větším objemu biomasy není optimální, jelikož neplní vždy funkci spolehlivě udržovat ve stanoveném rozmezí hodnotu podtlaku spalin na konci spalovací komory, ale dosahuje nižšího podtlaku. U spalinového ventilátoru se jedná ještě o přijatelnou funkci.

Komín splňuje funkci dle předpokladů i přes to, že byl dimenzován na palivo s nižším obsahem vody.

3.7 Funkční celky parního kotle

Soustava kotlů je zapojená sběrnicově – to umožňuje plynulé provozování kotlů a jejich vzájemnou záměnu bez vlivu na provoz TG, z čehož plyne lepší využití pro teplárenský provoz. Kotel je koncipován jako vodotrubný, bubnový, středotlaký s přirozeným oběhem parní směsi, na straně spalin podtlakový, dvou tahový, s protiběžným roštem (rozdíl oproti předchozí uhelné koncepci - ohniště bylo granulační a spodní část přecházela klínovitě do odstruskovacího otvoru [1]) a přirozeným oběhem parovodní směsi. Po přestavbě je kotel určen pro spalování pouze dřevní biomasy, bez jakýchkoli příměsí.

Spalovací komora je na zadní i přední stěně v místech nad bývalými hořáky seškrcena (zúžena). Membránovou stěnou výparníku je ohraničena pouze spalovací komora, zatímco druhý (zadní) tah je tvořen nechlazenou stěnou z plechů.

Výčet prvků, které byly upraveny, odstraněny, nebo namontovány [29]:

- odstranění, resp. zkrácení zavodňovacích trubek, zkrácení/zaříznutí čelní membránové stěny, zkrácení/zaříznutí bočních membránových stěn (zhruba viz značka na obrázku
- 3.12)
- odstr. oplechování a izolace v rozsahu přestavby
- odstr. plošin a ocelových konstrukcí v rozsahu nutném pro provedení přestavby
- montáž spalovacího roštu a potřebných ocelových konstrukcí
- mont. čelní membránové stěny spalovací komory s otvory pro zaústění 3 ks pohazovačů paliva do spalovacího prostoru kotle na rošt, přičemž čelní stěna navazuje na stávající upravenou/zaříznutou čelní stěnu a čelní stěna je zároveň tvarována tak, aby umožnila 8x přívod sekundárního spalovacího vzduchu do pásma hoření pohazovaného paliva a prchavé hořlaviny
- mont. zadní membránové stěny, která navazuje na stávající upravenou/zaříznutou zadní stěnu
- mont. spodního komorového rámu připojeného na doplněnou čelní a zadní stěnu a na zaříznuté boční stěny
- mont. zavodňovacího potrubí komorového rámu
- mont. nové membránové stěny na bocích čela kotle doplňující stávající boční stěny
- mont. primárních vzduchovodů pod rošt kotle rozdělených do 4 řízených vzduchových pásem pomocí dálkově ovládaných regulačních klapek
- mont. sekundárních vzduchů + vzduchovody na doplněnou část čelní stěny včetně dálkově ovládané regulační klapky
- mont. terciálních vzduchů zhruba 4m pod předchozí terciální vzduchy, z každé strany 2ks (celkově 8ks)

- mont. vyzdívky a izolace včetně oplátování kotle v rozsahu prováděných úprav

Orientační hranice přestavby komory kotle (membránových stěn apod.) je zobrazena na odkazem číslo 5 - Obrázek 12.

3.7.1 Spalovací zařízení

Roštové ohniště

Rošt je tvořen jako protiběžný přesuvný [29] (pohybuje se od zadní stěny spalovací komory k přední [17]) a je ustaven na vlastní nosné konstrukci. Jeho pohon je tvořen hydraulickým posuvem a je možné nastavovat prodlevu mezi posunem jednotlivých sekcí roštu.

Případ příbramské teplárny je specifický tím, že palivo pohazované na rošt obsahuje kamení, které se následně zasekává mezi roštnice a způsobuje provozní problémy. Zároveň zpečence utvořené kamením a škvárou/struskou, které dosahují takových rozměrů, že je nelze odstranit automatizovaně, je nutné odstranit manuálně při odstávce. Tyto situace však nezabraňují provozu.

Ohřívák spalovacího vzduchu – LUVO

Ohřívák spalovacího vzduchu, skládající se ze dvou částí (LUVO1 a LUVO2), byl z důvodu mnoha netěsností způsobených korozí během přestavby celý vyměněn na základě původního návrhu pro uhelný zdroj. Více viz Příloha 1 Původní kotel KTK 9800–869 s legendou. Jelikož však trubky ohříváku vzduchu trpí i nyní netěsnostmi (z důvodu koroze), ohřívák nefunguje dle očekávání a navíc je na straně spalin obtížně čistitelný. Koroze trubek může souviset s tím, že vzduch do spalinového ohříváku je nasáván přímo z kotelny, anebo z venkovního prostředí (dle nastavení obsluhy) a může být například v zimních obdobích příliš studený. Technicky vhodnější by byla instalace parního výměníku (ohříváku – kaloriferu) pro předehřev vzduchu před LUVO, aby nedocházelo ke kondenzaci vodních par na studeném konci (na straně spalin), která tuto korozi způsobuje. Technicky vzato se pomocí deskového výměníku zvýší teplota vzduchu tak, aby se teplota nacházela nad hodnotou teploty rosného bodu (což by při úvaze konstantního tlaku ve vzduchovodu mělo být dostačující). Detailní posouzení této problematiky není předmětem této práce.

Obrázek 16: Nové LUVO dle návrhu pro uhelnou koncepci

Pomocná zařízení

Provozní zásobník paliva a pohazovač paliva – viz výše (podkapitola Provozní zásobník paliva a vzduchový pohazovač). Kotel je dále opatřen novými vzduchovody studeného a horkého vzduchu, které jsou napojeny na předchozí vzduchovody. Pohon studeného vzduchu je původní - ventilátor, který je schopen přepínat mezi sáním venkovního vzduchu anebo vzduchu z kotelny [1].

Spalovací vzduchy

Umístění spalovacích vzduchů se oproti původní uhelné koncepci změnilo zásadně. To z důvodu obsahu prchavé hořlaviny, který je pro biomasu vyšší a rozdílným principům uvolňování tepla. Vzhledem ke dlouhému plameni, který tvoří hořící biomasa, musí být většina spalovacího vzduchu přivedena nad vrstvu paliva - v případě nedostatku vzduchu totiž dochází ke zvýšení produkce CO a uhlovodíků [15]. O spalování biomasy podrobněji pojednává kapitola 3.3. 3.3Při přestavbě byl vybudován nový rozvod primárního a sekundárního vzduchu a dále byl doplněn další terciální vzduch.

Primární vzduchovod je zaveden klasicky pod rošt kotle, kde je rozdělen do 4 vzduchových zón. To umožňuje příznivější rozložení teplot, lepší prohoření popela a snížení emisí [32]. Nový sekundární vzduch, ovládaný klapkami, je přiveden na čelní stěnu do spodní části ohbí nad vzduchový pohazovač, viz Obrázek 12. Původní terciální vzduch je přiveden zhruba ve výšce 13 m, což je zhruba o 4 až 5 metrů výše, než kde dodavatel prováděl přestavbu. Tyto vzduchy se nachází zhruba na spodní hraně sálavého přehříváku, který se nachází na boku spalovací komory (viz příloha). Doplněním dalších dvou trysek terciálu na každou stěnu tedy celkový počet terciálních vzduchů na každé stěně činí 5 kusů, přičemž nově instalované vzduchy jsou zhruba 4 až 5 metrů pod těmi původními. Tyto terciální vzduchy mají za úkol snížit objem CO za kotlem vytvořením CO_2 namísto oxidu uhelnatého. Tento cíl však nesplňují dostatečně dle požadavků. Spalovací komora byla totiž dimenzována na spalování uhlí, a tak rozložení teplotního

pole není ideální (při spalování uhlí byly měřeny pyrometrem hodnoty kolem 1100 °C, zatímco v současnosti stejný pyrometr měří hodnoty 800 až 900 °C). To zhoršuje také fakt, že ohniska hoření se nachází příliš nízko – z důvodu, že se nachází příliš nízko rošt. V případě původních, výše položených vzduchů, tedy vzhledem k jejich poloze není kinetická energie vzduchu dostatečná, aby dopravila vzduch do pásma hoření, což způsobuje ochlazování spalovací komory. Z toho vyplývá, že při použití terciálních vzduchů tedy dochází k ochlazení spalovací komory a snížení účinnosti (dle provozovatele májí podobný efekt oba terciální vzduchy, jak nové – níže lokalizované, tak původní – výše položené), výměnou za nepříliš velké snížení objemu CO za spalovací komorou. Z těchto důvodů jsou terciální spalovací vzduchy v současnosti nevyužívané.

Recirkulace spalin

Kotel nedisponoval recirkulací spalin před přestavbou a nebyla doplněna ani během přestavby. Její doplnění by pomohlo snížit emise NO_X, které ale v současné době nejsou kritické.

3.7.2 Parní generátor

Z pohledu cesty spalin:

- spalovací komora (1. tah směrem vzhůru)
  - výparník, sálavé šoty, sálavý přehřívák
- zadní tah (2. tah směrem dolů)
  - konvekční přehřívák, EKO1, LUVO1 (u kotle K2 a K3 odstraněno), EKO2, LUVO2

Ohřívák a ekonomizér

Ekonomizéru se přestavba netýkala. Instalovány jsou dva svazky v zadním tahu kotle a jsou uloženy v nosné pásovině [1]. Již od výstavby teplárny jsou trubky ekonomizéru z pohledu proudu spalin vůči sobě přesazené (pro lepší kontakt s proudícími spalinami) a umístěné kolmo k proudu spalin, přičemž nejsou instalovány žádné parní ofukovače.

Pro spalování dřevní štěpky dochází ke snadnému zanášení kontaktních ploch ekonomizéru, čímž se snižuje jejich účinnost, a navíc zanesená plocha tvoří další překážku při průchodu spalin tahem, což ještě více snižuje schopnost spalinového ventilátoru udržet podtlak ve spalovací komoře. Pro přesazené trubky navíc není snadné instalovat účinný parní ofukovač, jelikož prostupu ofukovací páry překáží přesazení umístěné trubky, a tak musí být trubky ofukovány častěji a není dosahováno očištění celého svazku.

Čištění ekonomizéru při přesazené konfiguraci trubek, prováděné zpravidla při jednoroční odstávce kotlů, je také pro obsluhu náročnější než při konfiguraci trubek za sebou. Dle provozovatele by bylo vhodnější trubky ekonomizéru umístit za sebou, což by sice znamenalo snížení účinnosti kotle, nebo nutnost ekonomizér zvětšit, ale menší zanášení teplosměnných ploch a snazší (dokonalejší) čištění trubkových svazků. Je však

nutné podotknout, že umístění trubek za sebou znamená také zvětšení celého ekonomizéru, což by znamenalo velmi značné konstrukční úpravy. V tomto případě však byl k dispozici prostor po již dříve odstraněném stupni ohříváku vzduchu, který byl odstraněn ještě před přestavbou z důvodu tlakových ztrát.

Výparník

Výparník zaznamenal při přestavbě výraznou změnu, a to především z důvodu změny ohniště z uhelného granulačního ohniště na roštové ohniště pro spalování dřevní štěpky. Výparník je stále tvořen membránovou stěnou spalovací komory – ta však byla během přestavby upravena, respektive doplněna pro instalaci přesuvného roštu. Místo napojení je zřejmé viz Obrázek 17 (nové části nesou červený nátěr). Tato membránová stěna disponuje větší plochou, vzhledem k vyššímu střednímu měrnému tepelnému zatížení roštu. Součástí přestavby byly také vstupní a výstupní zavodňovací komory a jejich potrubí, respektive napojení na potrubí z uhelné koncepce a dále část potrubí převáděcího. Potrubí, které bylo ponecháno bez přestavby, splňuje svůj účel a výparník funguje bez problémů.

Obrázek 17: Vnitřek kotle a napojení membránové stěny

Buben kotle

Buben kotle zůstal při přestavbě beze změn. Jedná se o buben s vestavbami a cyklonem pro získání lepší čistoty páry [1]. Buben kotle funguje bez problémů.

Přehříváky

Instalovány jsou dva přehříváky, oba nepřestavěny. Sálavý ve spalovací komoře a konvekční ve druhém tahu [1]. Vzhledem k přesazenému uspořádání trubek přehříváků a absenci parních ofukovačů platí pro přehříváky stejný problém se zanášením výhřevných ploch, který je zmíněn v části pro ekonomizér (viz 393.7) - zanášení a obtížné čištění během odstávky. Provozovatel má také ohledně řešení tohoto problému stejný názor, avšak pro případ přehříváků by přidal parní ofukovače, které by samozřejmě musely být v činnosti častěji než při uspořádání trubek za sebou. Pro zvětšení výhřevné plochy je instalován ve spalovací komoře blíže k přední stěně kotle ještě deskový sálavý přehřívák.

Poloha přehříváku je dalším faktorem ovlivňujícím jejich výkon. Přehřívák je pravděpodobně od tepelných ohnisek příliš vysoko a přehřívák je tedy ohříván převážně studenějšími spalinami (přestože biomasa hoří delším plamenem tak tepelné ohnisko je od přehříváků stále poměrně nízko) – toto tvrzení však není podpořeno výpočty a je to pouhá hypotéza. Velká vzdálenost od tepelného ohniska také způsobuje zvýšené množství nánosů z důvodu zvýšené koncentrace popela (snazší zanášení) a jelikož ve větší vzdálenosti od ohniska je nižší teplota (viz kapitola 3.7.3 Umístění spalovacích vzduchů). O spalování biomasy pojednává konec podkapitoly 3.3.

Všechny tyto faktory vedou k nižšímu výkonu přehříváků – pro zástřik je potřeba zhruba desetkrát až patnáctkrát menší množství demineralizované vody (200 kg/hod) a hodnot páry.

Regulace teploty páry zůstala původní – střikem demineralizovanou napájecí vodou mezi první a druhý přehřívák.

3.7.3 Příslušenství

Do kategorie příslušenství spadá nosná konstrukce kotle, vyzdívka kotle a izolace, galerie a schody, vnitřní potrubí, odluhovací a odkalovací a další drobné potrubí, spalinový ventilátor a komín (obojí řešeno výše) [16]. Vše z tohoto příslušenství bylo upraveno/nahrazeno v rozsahu úprav – mimo komín (nevyžadoval úpravy). Nutno podotknout, že při přestavbě je nutné uvažovat možnost různých spojení – například izolace použitá při přestavbě disponuje sice podobnými parametry, avšak její tloušťka je díky novějším technologiím mnohem menší.

3.7.4 Armatura

Jemná armatura

Při přestavbě byla instalována všechna potřebná armatura dle zákonné normy. K jemné armatuře patří: zavírací a odkalovací ventily, vodoznaky, manometry, teploměry, atd. [16]

Hrubá armatura

Hrubá armatura kotle je součástí nově instalovaných membránových stěn kotle (výparníku). Skládá se z průlezů pro údržbu na rošt a kukátek ve stěnách spalovací komory.

3.8 Parní hospodářství a parovody

Přestavba do parního hospodářství a parovodů vůbec nezasáhla a zároveň tyto celky fungují bezproblémově.

3.8.1 Parní turbína 37,6 MW_e a TG1

Tohoto ústrojí se přestavba netýkala. Pro další rozbor je však vhodné uvést zapojení turbíny, resp. TG1.

Turbína je kondenzační s regulovaným odběrem (meziodběrem), o elektrickém výkonu (při kondenzačním provozu) 37,6MW_e, maximální hltnost 150$t_{páry}$/h, maximální odběrové množství 120$t_{páry}$/h, minimální hltnost 25$t_{páry}$/h, tlak vstupní admisní páry 3,75MPa a teplota 444°C. Turbína je zapojena na vysokotlaké parní straně na rozdělovač admisní páry 3,75MPa a 445°C. Po expanzi v regulačním a dalších pěti stupních turbíny je možné část protékající páry odebrat jako odběrovou páru s regulovaným tlakem. Odtud je pára vedena do středotlakého rozdělovače páry 1MPa, 250 °C a zbytek páry je veden do další stupně turbíny do kondenzátoru. Tam pára kondenzuje na povrchu trubek s chladící vodou. Kondenzát se shromažďuje ve sběrači kondenzátu a přečerpáván jedním ze dvojice kondenzátních čerpadel do kondenzátní nádrže. [1]

Při porovnání výroby páry od kotlů již před přestavbou (3 kotle, každý o štítkových výkonech 50$t_{páry}$/h které jsou ale ve velká většině případů provozovány při nižších výkonech) a úvaze o nutnosti dodávat teplo a páru do CZT, vychází najevo, že turbína byla již pro původní uhelnou koncepci značně předimenzovaná, natož pro použití současné, kdy jsou v provozu pouze dva kotle a jsou sjednány kontrakty na dodávky páry.

Tento celek teplárny funguje bezproblémově, avšak v provozu není příliš často. Vlastní spotřeba elektrárny je totiž většinou zásobena točivou redukcí TG2.

3.8.2 Parní turbína (točivá redukce) 4,385 MW_e a TG2

Turbína je protitlaká a slouží pro redukci vysokých parametrů odběrové páry z TG1 při současné výrobě elektrické energie pro vlastní spotřebu. Tlak admisní páry 1,2MPa a emisní páry 0,035-0,235MPa. Minimální teplota admisní páry činí 255°C a teplota maximální 333°C Maximální průtok admisní páry činí 58 $t_{páry}$/h, zatímco minimální průtok 12 $t_{páry}$/h . Redukovaná emisní pára je vhodná do základních ohříváků výměníkové stanice oběhové topné vody horkovodu, nebo pro vlastní spotřebu pro ohřev doplňovací vody kotlů. [1]

Tento celek teplárny funguje bezproblémově.

3.8.3 Kondenzátor a chladící věže

Kondenzátoru, chladících věží a chladícího okruhu se přestavba také netýkala. Jsou využívány beze změn i přes změnu palivové základny.

Chladící věže jsou typ s ventilátorem. Chladící systém je tvořen z voštinových bloků, nad kterými je z rozvodu oteplené vody v tlakových rourách voda rozstřikována tryskami a chlazena. Ventilátory jsou vybaveny možnosti volby dvou rychlostí kvůli možné změně klimatických podmínek. [1]

Tento celek teplárny funguje bezproblémově.

Příslušenství jako jsou redukční a chladící stanice a rozdělovače páry zůstaly také beze změn, jsou využívány stejným způsobem a nevykazují žádné problémy.

3.9 Chemická úpravna vody a vodní hospodářství

Přestavba se chemické úpravy vody a vodního hospodářství nedotkla, je používána totožně jako před změnou palivové základny a nevykazuje žádné nedostatky způsobené změnou palivové základny.

3.10 Ostatní (mimo jiné regulace výkonu kotle)

Do této sekce patří rozvody elektřiny, rozvodny, transformátory atd., čehož se přestavba netýkala, vše je užíváno dle předchozího účelu a nevykazuje nedostatky. Tato sekce však mimo jiné zahrnuje také tepelný velín, který zaznamenal změny v úpravě stávajícího řídícího systému, respektive měření a regulace (MaR). Součástí dodávky byly také logiky dodaných celků.

MaR se týkala téměř všech prvků přestavby. U kotle je regulace možná buď automaticky, nebo ručně. Kotel je řízen výkonovou regulací a součástí dodávky byla regulace hydrauliky roštu, podávání paliva (dávkování do pneumatických pohazovačů), odškvárování a ovládání spalovacího vzduchu (primární a sekundární).[33]

Jak již bylo zmíněno výše, regulace dodávaného množství dřevní štěpky šneky multibinu bylo dodělváno během provozu, a co se týče pásových dopravníků, ty nedisponují frekvenčními měniči, a tak jsou provozovány stále na nominální výkon.

Automatické řízení výkonu kotle pracuje na základě měřené koncentrace CO za kotlem a teploty ve spalovací komoře. Dodavatel obstaral kromě další regulace také automatickou regulaci přívodu vzduchu do kotle (sekundárního a primárního), avšak řízení přívodu paliva do kotle, které je základním parametrem, od kterého je odvislé množství dodávaného vzduchu, převzal z uhelné koncepce, což se v první fázi zkoušek a v provozu ukázalo jako nepoužitelné. Provozovatel byl tedy nucen převzít výkonové režimní křivky z jiného kotle spalující dřevní štěpku, které následně upravil pro zdejší použití a které obstojně fungují v rozmezí ve výkonu až 25$t_{páry}$/h až 35$t_{páry}$/h (v závislosti na vlhkosti dřevní štěpky), následné výkonové pásmo až do 40$t_{páry}$/h je nespolehlivé a od výkonu 40$t_{páry}$/h je nutný zásah topiče, který ovládá kotel dle vlastních zkušeností.

Během provozu tedy bylo zjištěno, že převzít části řídícího systému kotle nedokáže zaručit optimální funkci kotle a bez specializovaného zásahu není možné uvést řídící systém do stavu, kdy vykazuje optimální vlastnosti potřebné pro řízení výkonu kotle. V podobných výrobnách, ať už v jiných zemích anebo na našem území, funguje řízení kotle při optimalizaci řídícího systému dle očekávání, což v případě příbramské teplárny není možné říct.

4 Syntéza

Z poznatků obsažených v kapitolách výše lze vyvodit doporučení, díky kterým by bylo možné zamezit pochybením při projektování a následné přestavbě obdobných zdrojů, ale zároveň aby byly maximálně využity původní prvky. Shrnutí prvků přestavby oproti uhelné koncepci je možné porovnat v tabulce na začátku kapitoly 3. Tato kapitola se zabývá stručným shrnutím této problematiky tak, aby byla užitečná pro návrh podobného projektu a obsahovala problematiky a její důsledky.

Přestavba jako taková se vyznačuje tím, že pro snížení velké části investice je nejvhodnější využít co nejvíce prvků původní koncepce. Největšího množství podobných prvků před přestavbou a po přestavbě je možné docílit požadavkem na stejné nebo nižší výkonové parametry hlavních zařízení (v tomto případě jednoznačně kotle, což znamená požadavek na stejné nebo nižší štítkové parametry kotle). Během přestavby je také velmi výhodné opravit/vyměnit celky, které nejsou provozuschopné, anebo se blíží konec jejich životnosti (pro tuto přestavbu např LUVO) a využít příležitosti k jejich redesignu na nové podmínky, jelikož je tím využito odstávky teplárny a již probíhajících stavebních úprav. Nejvíce však toto počínání ovlivňují dané zástavbové rozměry – čím více je vyžadováno bourání nějakého celku, tím se zvětšuje celková investice do přestavby a zároveň tím přibývají další komplikace.

Z kapitoly 3 také vyplývá, že nedostatečný rozbor či dokonce zanedbání odlišností vlastností paliva (uhlí oproti dřevní štěpce) a tuhých zbytků po spalování při návrhu přestavby může zapříčinit nejen nutnost dalších investic do oprav zařízení, která jsou z důvodu odlišnosti paliv poruchová, a ne zcela funkční, ale může také zapříčinit finanční ztráty z důvodu výpadků dodávek tepla, či elektřiny. Tento problém je pro teplárnu velmi zásadní, jelikož na spolehlivosti dodávek energií závisí reputace samotné teplárny a tím pádem také její budoucnost. V této roli může dodavateli pomoci využití odzkoušených zařízení v podobných teplárnách.

4.1 Dosahované výkonové parametry kotle

Rozdíly v provozování teplárny spalující dřevní štěpku oproti uhlí nejsou zanedbatelné i přes velké podobnosti spalování. Při provozu kotlů K2 a K3 je dosahováno nižších parních výkonů, než před přestavbou. Při spalování uhlí bylo běžně dosahováno hodnot tlaku páry 3,5MPa a teploty 400°C, přičemž zástřik v parním potrubí běžně dosahoval hodnoty 2000kg/h až 3000kg/h (nominální hodnoty páry dle původních požadavků 445°C a 3,85MPa). S dřevní štěpkou je dosahováno parametrů nižších – medián hodnot za měsíc únor činí 3,27MPa a 439°C, zástřik činí 200kg/h. To vše pravděpodobně z mnoha různých důvodů, které jsou podrobněji popsány v kapitole 3, anebo zjednodušeně zde:

- Spalovací komora není rozměrově dimenzována přímo pro spalování dřevní štěpky
- nevhodné uspořádání trubek přehříváků a tím zanášení
- příliš malé přehříváky

- vysoká vlhkost paliva
- přestavba neobsahovala výstavbu recirkulace spalin

4.2 Prvky využité z uhelné koncepce a jejich případné nedostatky

4.2.1 Využití vnějšího palivového hospodářství

Využití příjmových košů na uhlí bylo z důvodu, že se palivo v příjmovém koši štosovalo, vyměněno za multibin (specializovaný stroj pro příjem dřevní štěpky).

Využití pásových dopravníků a budov k nim patřících nevykazuje problémy, stejně jako **budovy a mosty**, ve kterých jsou dopravníky ukryty. Ty totiž umožnily ukrytí třídiče a podavačů, aniž by bylo nutné drasticky měnit zástavbové rozměry budov, nebo rozměry instalovaných strojů. Oproti původnímu použití u uhlí, kde byl pro dopravu do kotle využit pouze jeden dopravník, je však nutné vzhledem k nižší sypné hmotnosti paliva, nižší výhřevnosti paliva a požadavku na stejný výkon kotle, využít oba pásové dopravníky. To vše lze i přes fakt, že dřevní štěpka dosahuje jiných hodnot sypného úhlu než hnědé uhlí, viz podkapitola 3.3. Pro období s nižším výkonem by bylo vhodné instalovat řízení rychlosti pásů (např. frekvenčními měniči) a tím realizovat úsporu elektrické energie.

Vzhledem k tomu, že v palivu se může vyskytovat kamení, které se na roštu vlivem vysokých teplot spojí ve větší celek (jako pojivo funguje struska/škvára), je evidentní, že dochází k většímu opotřebení pásu – zejména na přesypech.

4.2.2 Využití vnitřního palivového hospodářství

Z vnitřního palivového hospodářství byl využit z původní uhelné koncepce pouze jeden uhelný zásobník z původních dvou, a to pro vytvoření skluzu paliva (nikoli pro použití jako zásobníku dřevní štěpky) a některé nosné plošiny. Dále bylo možné využít části vzduchovodů a terciální vzduch do kotle. Všechny ostatní prvky, včetně otvorů do kotle, nebylo možné využít z důvodu změny ohniště (instalace roštu).

Úprava uhelného zásobníku pro skluz paliva byla velmi výhodná, a to vzhledem k velké vzdálenosti mezi shozem z dopravníku paliva a provozním zásobníkem paliva. V opačném případě by totiž bylo nutné tvořit skluz paliva nově a bývalý zásobník odstranit, anebo protáhnout / zkrátit pásový dopravník, případně vytvořit otvor v podlaze pro průchod nového skluzu. Uhelný zásobník jakožto skluz plní funkci dle původního očekávání, pouze při nadměrném štosování paliva se může zaseknout a je nutný zásah obsluhy. To je sice ojedinělé, avšak tento problém souvisí se sypným úhlem, který je pro návrh dopravníků, skluzů apod. velmi důležitý (viz podkapitola 3.3) a pravděpodobně bylo vhodné ho uvažovat vyšší.

4.2.3 Využití prvků odstraňujících zbytky po hoření dřevní štěpky

Z původní dopravy odpadu z roštu byly využity pásové dopravníky a odstruskovací věž, včetně kontejnerů. Všechny tyto celky jsou využívány dle předpokladů a splňují všechny požadavky. Následuje využití elektrostatického odlučovače a následné dopravy

popílku, což je popsáno níže. Je nutné mít na paměti, že sypný úhel popílku dřevní štěpky dosahuje vyšších hodnot než u hnědého uhlí, viz 3.3.

Využití elektrostatického odlučovače, respektive všech jeho 3 sekcí, je přesně dle předpokladů a elektro odlučovač splňuje veškeré požadavky. Vzhledem k množství popílku dokonce poslední (třetí) sekce elektro odlučovače sbírá tak málo TZL, že nebylo nutné ho doplnit kontinuální dopravou popílku a výsypka je vyprazdňována jednorázově při odstávkách kotle. Pouze tedy výsypka odlučovače pro první dvě sekce nesplňovala svůj účel – viz níže.

Doprava popílku od elektrostatického odlučovače – přestavba byla provedena na základě předpokladu, že dopravu odstraněného uhelného popílku a popílku ze dřevní štěpky je možné provést pomocí stejných zařízení. Vzhledem k rozdílnému sypnému úhlu popílku, který zapříčiňuje klenbování popílku, však docházelo k jeho zasekávání. Tuto problematiku popisuje podrobněji kapitola 3.3. Pro dopravu popílku ze dřevní štěpky je tedy nutné ověřit správný sklon stěn výsypek, či jiných stykových ploch dopravních cest, jelikož sypný úhel popílku z biomasy je mnohem vyšší (hůře se sype) a je tedy nutné navrhovat výsypky se skoro kolmým, či dokonce negativním úhlem sklonu. Vzhledem k možnosti zatuhnutí popílku vzhledem k nižším charakteristickým teplotám (viz 3.3) je více než vhodné upřednostnit kontinuální dopravu popílku z biomasy, aby bylo zabráněno zastavení pohybu popílku – vlivem tuhnutí by hrozilo spojení částic popílku ve větší celek, který může ucpat otvor výsypky.

Využití spalinového ventilátoru a komínu

Vzhledem k vyššímu objemu spalin po hoření dřevní štěpky, pokud je spalované množství velké, je nutné upravit také spalinový ventilátor – tento krok však přestavba neobsahovala. Z tohoto důvodu nelze udržet při požadavku na vyšší výkon kotle správný podtlak na konci spalovací komory. V tomto případě však není tento problém nijak drastický. Ponechání komínu nemá negativní důsledky vůbec.

4.2.4 Využití funkčních celků parního kotle

Vzhledem k podobnosti kotlů a požadavku na stejné štítkové parametry je využita většina prvků z uhelné koncepce. Jedná se o:

- buben
- přehříváky (jeden sálavý, jeden konvekční)
- ekonomizér (EKO)
- LUVO (mohlo zůstat zachováno, v tomto případě bylo měněno pouze z důvodu opravy)
- horní část (zhruba tři čtvrtiny) výparníku (membránové stěny musely být zaříznuty a následně doplněny z důvodu instalace roštu)
- zavodňovací potrubí (v okolí muselo být kvůli instalaci roštu upraveno)
- zavodňovací komora – horní část (spodní musela být upravena)
- vzduchovody (opět je bylo nutné doplnit v rozsahu instalace roštu)
- ventilátory spalovacího vzduchu

- tahy
- izolace kotle mimo rozsah přestavby zůstala také původní
- části galerie a schodů které prostorem nebránily přestavbě

Největší stavební a konstrukční úpravy se tedy odehrávaly v blízkosti roštu, jelikož se jednalo o změnu ohniště kotle, což kladlo požadavky na úpravu spodní části kotle (Obrázek 12). Podrobněji v podkapitole 3.7.

Přehříváky a jejich funkce je ovlivněna především odlišnými vlastnostmi dřevní štěpky (viz 3.3) a hnědého uhlí, tvarem spalovací komory. Dalšími vlivy jsou:

- přesazené uspořádání konvekčního přehříváku znamená větší míru zanášení a obtížné čištění ploch přehříváku
- nejsou instalovány parní ofukovače a jejich dodatečná instalace by ani nebyla tak efektivní (při přesazeném uspořádání je nutné častější ofukování) jako pro uspořádání za sebou (viz podkapitola 3.7)
- řídící systém není optimalizován pro dané použití (převzetí řízení podávání paliva z uhelné koncepce není vhodné řešení, (viz 3.10)

Ekonomizér, viz podkapitola 3.7, disponuje trubkami uspořádanými přesazeně, namísto uspořádání za sebou, což ústí ve znečišťování trubek a horšímu přenosu tepla. Změna by však znamenala další investici a také zvýšené nároky na prostor. Bylo by také vhodné ekonomizér zvětšit – v tomto případě by to bylo jednoduché, vzhledem k tomu, že první část ekonomizéru byla odstraněna již řadu let před přestavbou, čímž vznikl ve druhém tahu volný prostor. Polohu vyměněného a odstraněného ekonomizéru lze vidět na výkresu původního kotle v příloze Příloha 1 Původní kotel. Změnit uspořádání trubek z přesazeného na za sebou by mělo být možné i přes zvýšení ekonomizéru. Ekonomizér sice nemá výrazný vliv na výkon kotle, avšak ovlivňuje celkovou účinnost, jelikož není schopen tolik snížit teplotu spalin.

Využití armatury bylo možné v případě té jemné, přičemž hrubá armatura obsahující kukátka a průlezy do spalovací komory byla vytvořena během přestavby nově.

4.2.5 Využití parního hospodářství a parovodů

Přestavba do parního hospodářství a parovodů vůbec nezasáhla. Vzhledem k nižším výkonům kotle a nízké ceně elektřiny (přelom roku 2022 a 2023) oproti vysoké ceně dřevní štěpky není ekonomické provozovat turbínu TG1. Turbína TG2 je provozována a dodává elektřinu pro spotřebu teplárny. Kondenzátor s chladícími věžemi měněn ani upravován nebyl a splňuje veškeré předpoklady.

4.2.6 Využití chemické úpravny vody a vodního hospodářství

Tato sekce zůstala též bez úpravy a splňuje předpoklady.

4.2.7 Využití ostatního příslušenství (mimo jiné automatické regulace dodávek paliva do kotle)

Do této sekce spadají rozvody elektřiny, transformátory atd., které splňují dané předpoklady – mimo velín, kde bylo nutné upravit řídící systém. Dodavatel původně

dodal řízení ovládání přívodu spalovacích vzduchů, avšak dodávku paliva pro zjednodušení převzal z uhelné koncepce, čímž však absolutně zanedbal rozdílnosti obou paliv (dřevěného uhlí a dřevní štěpky). Úprava řídícího systému byla tedy nutná a byla provedena úpravou režimních křivek převzatých z plzeňské teplárny. Úpravu zajistil provozovatel teplárny. Více viz podkapitola 3.10.

4.2.8 Prvky dodávky přestavby a jejich případné nedostatky

Skládka paliva

Projekt původně plánoval vystavit sklad paliva v podobě zastřešené haly s automatizovanou dopravou štěpky na pásový dopravník. Vzhledem k faktorům popsaných v podkapitole 3.4.2 však došlo ke změně ze skladování v hale na skladování na volné ploše i přes to, že byly zahájeny stavební práce pro přípravu základů haly (navážka a zhutnění podkladu). Následná drenáž proti podzemní vodě a neobvyklý povrch skládky paliva tvořený zhutněnými pilinami, se oproti klasickému řešení ve formě betonových podlah ukázal v odvodu vody jako horší, viz důvody v kapitole 3.4.2.

Multibin a doprava do třídiče paliva

Toto zařízení bylo vybudováno v reakci na nefunkčnost hlubinného koše na příjem biomasy převzatého z uhelné koncepce a nefungující dopravy uhlí při přepravě dřevní štěpky. Multibin (zařízení pro příjem, míchání, odměření množství štěpky a její dopravu) funguje bezproblémově a je postaven přímo vedle věže A, ve které se nachází třídič dřevní štěpky a počátek pásové dopravy. Doprava do třídiče paliva je prováděna pásovým dopravníkem.

Třídič paliva

Během provozu po provedené přestavbě musel být upraven třídič dřevní štěpky, respektive musely být vyměněny jeho plastové hvězdice. Z důvodů popsaných v podkapitole 3.4.4, byla pro materiál hvězdic použita ocel namísto nedostačujícího plastu, který vykazoval špatné vlastnosti (především houževnatost a pevnost vůči nárazu cizích příměsí, zejména kusů hornin).

Provozní zásobník dřevní štěpky

Tento zásobník se zápornými úhly stěn, rozdružovacími a podávacími šneky, bylo nutné během provozu upravit, vzhledem k zasekávání původních vyhrnovačů (byly nahrazeny právě rozdružovacími šneky) a šneků, což ústilo v nesplnění požadavků na kontinuální dopravu paliva, viz podkapitola 3.5.3. Tělo zásobníku vyhovovalo požadavkům, avšak rozhrnovací a podávací šneky nevyhovovaly požadavkům, jelikož docházelo ke štosování a zmačkáváni dřevní štěpky, což znamenalo zastavení dopravy paliva do kotle. Následně tedy muselo dojít k náhradě rozhrnovacích šneků za rozdružovací hvězdice (viz Obrázek 10) a také podávacích šneků, jelikož původně instalované podávací šneky nebyly vhodné pro rozdružovací hvězdice. Obě tyto zařízení musely být instalovány včetně veškeré aparatury (motory, atd).

Pneumatický pohazovač dřevní štěpky

Instalovaný pneumatický pohazovač a všechno příslušenství funguje dle očekávání, viz podkapitola 3.5.3.

Odstraňování tuhých zbytků z kotle – mokrý vynašeč

Při instalaci bylo možné jeden původní mokrý vynašeč ponechat, a to díky rozměrům a uspořádání roštu. Instalovaný mokrý vynašeč (instalovaný v místech původního druhého mokrého vynašeče) je z důvodu delší životnosti výhodnější volit s abrazi vzdornou výstelkou (nejčastěji čedičovou) a řetězy redleru dimenzovat na přenos vyšší hmotnosti pro případ, že by se do mokrého vynašeče dostal těžší kus (např kusy horniny spečené roztaveným popílkem). Stávající mokrý vynašeč žádnou abrazi vzdornou výstelku nemá, a tudíž je nasnadě, že vynašeč bude mít kratší životnost.

Roštové ohniště a spalovací vzduchy

Fungování roštu ovlivňuje kamení na roštu se zasekává mezi roštnice a způsobují s ním provozní problémy – rošt se může zasekávat. Tímto zasekáváním také dochází k opotřebení roštu. Vlivem promíchání kamení se struskou/škvárou dochází také v některých případech k utvoření rozměrnějších zpečenců, které po zchladnutí mohou dosahovat průměru talíře o hmotnosti několika kilogramů. Takovéto kusy není poté možné odstranit z roštu jinak než manuálně při odstávce. Tyto problémy však nijak výrazně nezabraňují provozu.

Doplnění parního generátoru, výparníku – membránové stěny

Jednalo se o upravení membránové stěny pouze ve spodní části kotle v okolí roštu, vzduchů a napájecího potrubí. Doplněná membránová stěna obsahuje také hrubou armaturu – průlezy na rošt pro údržbu, kukátka ve stěnách spalovací komory. Tento celek funguje bez problému

Řídící systém, měření a regulace (MaR)

Měření zdá se funguje bez problémů. Co se týče regulace kotle – dodávka obsahovala manuální regulaci a automatickou regulaci množství dodávaného spalovacího vzduchu a rychlosti přesuvu roštu. U podávání paliva dodávka obsahovala pouze manuální regulaci, přičemž automatický regulace byla napasována na regulaci z původního dávkování uhlí. To byl zcela chybný závěr, již vzhledem k odlišným vlastnostem dřevní štěpky oproti hnědému uhlí a také kvůli způsobu dávkování paliva do kotle (práškové hořáky oproti vzduchovému pohazovači) a spalovacímu zařízení (granulační ohniště oproti roštu). Regulace přiváděného paliva byla během provozu opravena nahrazením režimních křivek z obdobné teplárny spalující dřevní štěpku. Díky tomuto opatření automatická regulace kotle funguje, byť v omezeném rozsahu výkonu – od zhruba 75 % nominálního výkonu výše je již nutný zásah topiče. Více viz *Využití ostatního příslušenství (mimo jiné automatické regulace dodávek paliva do kotle)* výše.

5 Energetická bilance teplárny

Řízení teplárny je závislé na tom, jaké množství které energie je požadováno na jejím výstupu (elektrická a tepelná energie, respektive pára). Od toho se odvíjí právě množství potřebné biomasy, kterou musí příslušná odpovědná osoba zajistit. Spotřeba paliva je nejvíce závislá od výkonu kotle, výhřevnosti paliva a účinnosti kotle. Všechny tyto parametry nejsou konstantní a v průběhu roku se mění. Metodiky výpočtu účinnosti kotle jsou dvě – přímá metoda a nepřímá metoda. Přímá metoda, použitá v této práci, se vyznačuje jednoduchostí a nižší přesností a je založená na principu porovnání vstupní energie a výstupní energie [34]. Metoda nepřímá, pro kotle s vyšším výkonem používaná hojněji, je složitější, ale přesnější a je založená na principu zjištění ztrát v kotli [34].

Referenční účinnost je určována k datu 12.1.2022, jelikož tento den byl nejtypičtější, co se výroby i spotřeby energií týče (neprobíhala odstávka atp.). Hodnoty potřebné pro vlastní výpočet jsou odečteny z dat o energetické bilanci, kterou poskytl provozovatel teplárny. Tyto data jsou odečítány pro výše zmíněné referenční datum a všechny hodnoty jsou uvedeny pro bilanční časový úsek 24h. Obecný vztah pro výpočet referenční účinnosti, kde $E[MW]$ je využitá užitečná energie a $E_P[MWh]$ je přivedené teplo vypadá následovně:

$$\eta_{ref} = \frac{E}{E_P} * 100\ [\%] \tag{5.1}$$

Přivedené teplo závisí na výhřevnosti dřevní štěpky $q_v[GJ/t]$ a jejím množství $m[t]$. Ve vztahu je přímo zahrnut přepočet joule [GJ] na jednotku [MWh].

$$E_P = q_v * m : 3{,}6 = 9{,}26 * 698 : 3{,}6 = 1797\ MWh \tag{5.2}$$

Výpočet tepla (energie) odvedeného je složitější. V případě kondenzační teplárny s meziodběrem se skládá ze čtyř položek – elektrické energie z TG1 $E_{el1}[MWh_e]$ (měřeno na svorkách), elektrické energie z TG2 $E_{el2}[MWh_e]$ (měřeno na svorkách), tepla páry $Q_S[GJ]$ a tepla horké vody $Q_{HV}[GJ]$, teplo páry i teplo HV je měřeno na vstupu co CZT. Ve výpočtu je opět zahrnut převod příslušných jednotek:

$$E = (Q_{HV} + Q_S)/3{,}6 + E_{el1} + E_{el2} = 0{,}278 * (1875 + 538) + 158 + 26{,}2 = 855\ MWh \tag{5.3}$$

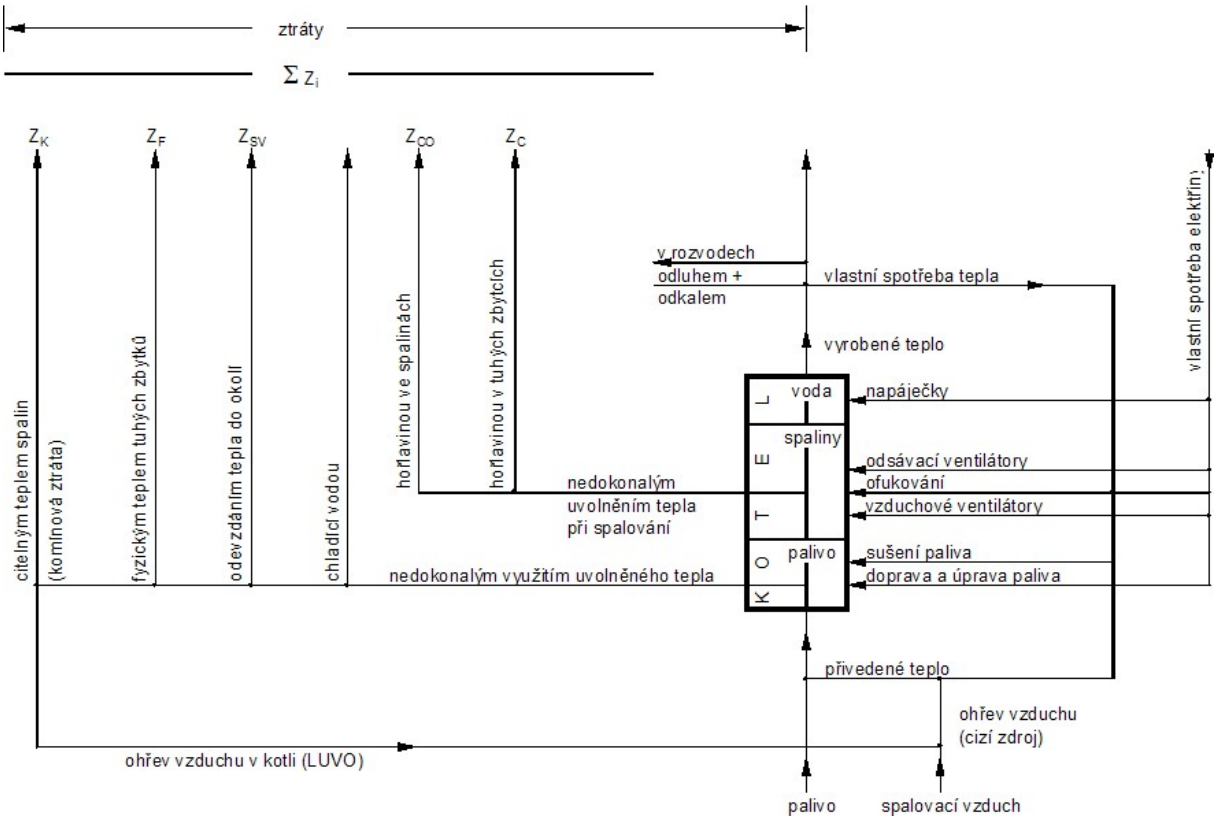
Po dosazení do vztahu (5.1):

$$\eta_{ref} = \frac{Q}{Q_P} * 100 = \frac{855}{1797} * 100 = 47{,}6\ \% \tag{5.4}$$

Ze schématu níže (Obrázek 18) lze vyvodit, které vnější vlivy účinnost snižují, respektive ovlivňují. Speciálně v případě této kondenzační teplárny existují dva faktory, nejvíce ovlivňující účinnost:

- ztráta uvolněním latentního tepla kondenzací v kondenzačních věžích

- ztráta citelným teplem spalin (komínová ztráta)



Obrázek 18 Energetická bilance kotle [34]

Účinnost samotného kotle se dá očekávat mnohem vyšší, zhruba 85% až 90% a také lze konstatovat, že s rostoucí výrobou kondenzační elektrické energie bude účinnost teplárny klesat.

Závěr

Tato práce se snaží o co nejkonstruktivnější rozbor, případně kritiku provedené přestavby. Toho je docilováno prostřednictvím třetí kapitoly, zatímco první kapitola obsahuje základní informace o teplárně a majetkové poměry a druhá kapitola shrnuje možné motivace směřující k přestavbě teplárny. Čtvrtá a poslední kapitola následně shrnuje poznatky vhodné pro technickou praxi.

Ze druhé kapitoly vyplývá, že politický směr, ale také názor společnosti a následně trh nutí energetické producenty budovat ekologičtější a zároveň ekonomičtější zdroje a tím zaručuje prosazení nových technologií. Jsou zde popsány hlavní faktory odůvodňující změnu palivové základny a shrnuje, že uhelné zdroje jako takové jsou již pravděpodobně za zenitem a lze očekávat jejich postupné nahrazování jinými zdroji energií.

Třetí a současně čtvrtá kapitola ukazuje, že pro projektovou činnost je nutné důkladně znát souvislosti a rozdílnosti, kvůli kterým je přestavba prováděna. Téměř všechny nedostatky, které byly po přestavbě anebo během přestavby objeveny, značily nepříliš důkladný rozbor dané problematiky. Pověření ověřených dodavatelů, kteří upřednostňují ozkoušené technologie, je v tomto případě klíčová.

Obecně lze definovat konstrukční důvody přestavby pomocí rozdílností parametrů paliva a odpadu, které nutí změnit konstrukci tak, aby dané konstrukční celky byly provozuschopné. Pro tento případ parní teplárny, kdy se jedná o změnu palivové základny z hnědého uhlí na dřevní štěpku, je nutné brát ohled na tyto elementární rozdíly: menší sypná hmotnost a větší tendence k setřásání (zhutňování), vyšší prašnost prostředí, přítomnost cizích částic v palivu (horniny apod), (proměnlivá) vlhkost a proměnlivá výhřevnost paliva, jiný mechanismus hoření (vyšší plamen, jiná poloha tepelného ohniska a tedy jiné teplotní pole, atd.), nižší charakteristické teploty popílku a zanášení výhřevných ploch, koroze způsobená vyšší vlhkostí paliva, jiné složení paliva respektive popílku (hrozba různých druhů koroze a opotřebení kontaktních ploch po cestě paliva, ale také odpadu), sypný úhel dřevní štěpky oproti hnědému uhlí, sypný úhel popílku, větší a proměnlivější objem spalin a mechanismy nakládání s odpadem.

Účinnost teplárny stanovená přímou metodou v kapitole 5 dosáhla hodnoty 47,6%. Tato hodnota je ovlivněna odstraněním jednoho z ohříváků vzduchu a poměrem výroby kondenzačně vyráběné elektřiny a tepla.

Z mého úhlu pohledu byla většina nedostatků této přestavby odhadnutelná, pokud by ve fázi přípravy projektu byla provedena řádná analýza a porovnání s fungujícími prvky podobných tepláren. Je však zřejmé, že z důvodu utajení know-how poskytují jednotliví dodavatelé podrobnosti pouze velmi zřídka, a tak nalezení rozdílných prvků není jednoduché. K tomu se také přidává fakt, že prvků, které přestavba ovlivňuje, je celá řada. Nedostatečná analýza problému byla dle mého názoru klíčovým negativním faktorem. Ta totiž vyústila v nezbytné výměny některých zařízení a v důsledku znamenala nutnost vynaložení dalších finančních prostředků. Jedním z těchto unáhlených rozhodnutí bylo rozhodnutí o stavbě haly s automatizovaným podavačem paliva, přičemž toto rozhodnutí bylo změněno až po stavbě základů haly.

Zdroje

[1] ČÍŽEK, Petr et al. *Technická zpráva: Technologie výroby a distribuce tepla a elektrické energie Příbramské teplárenské a.s. [nepublikováno]*. Příbram: Příbramská teplárenská a.s., 2019.

[2] VAŘEKA, Jindřich. Byla tu, není tu... *Příbramsko.eu* [online]. Mgr. Jaroslav Hodrment [vid. 2022-11-17]. Dostupné z: https://www.pribramsko.eu/jindrich-vareka-byla-tu-neni-tu-7938?ID=7938

[3] BŘEŇ, Stanislav D. Kahan, zpravodaj města Příbram [online]. 2019, (28), 17. Dostupné z: https://kahan.pribram.eu/vydani/kahan-02-2019.pdf

[4] Historie Energo Příbram. *Energo Příbram* [online]. [vid. 2022-11-17]. Dostupné z: https://www.energopribram.cz/index.php/o-spolecnosti/historie

[5] STROUHAL, Jan. Emisní povolenky pro začátečníky. Jak fungují a proč jejich cena roste? *Forbes* [online]. 16. prosinec 2021 [vid. 2022-11-19]. Dostupné z: https://forbes.cz/emisni-povolenky-pro-zacatecniky-jak-funguji-a-proc-jejich-cena-roste/

[6] PROTIVÍNSKÝ, Tomáš. Jak fungují evropské emisní povolenky? *Fakta o klimatu* [online]. 13. červen 2021 [vid. 2022-11-19]. Dostupné z: https://faktaoklimatu.cz/explainery/emisni-povolenky-ets

[7] EU Carbon Permits - 2022 Data - 2005-2021 Historical - 2023 Forecast - Price - Quote. *Trading Economics* [online]. [vid. 2022-11-19]. Dostupné z: https://tradingeconomics.com/commodity/carbon

[8] CINERT, Vojtěch. Cena elektřiny v Německu klesá šestý den v řadě, jaké jsou pro to důvody? *Fio banka, a.s.* [online]. 8. prosinec 2015 [vid. 2022-11-19]. Dostupné z: https://www.fio.cz/zpravodajstvi/zpravy-z-burzy/172014-cena-elektriny-v-nemecku-klesa-sesty-den-v-rade-jake-jsou-pro-to-duvody

[9] *NOVÁK, Martin. Ceny elektřiny hned tak neporostou* [online]. Investiční fórum: Investiční web. 10. červen 2014 [vid. 2022-11-19]. ČEZ. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=wfGmplBlaFw

[10] BUFKA, Aleš, Miroslav MODLÍK a Jana VEVERKOVÁ. *Zpráva o vývoji energetiky v oblasti tepla za rok 2020* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, oddělení analýz a datové podpory. nedatováno. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/statistika-a-evidence-cerpacich-a-dobijecich-stanic/2022/10/Zprava-o-vyvoji-energetiky-v-oblasti-tepla-za-rok-2020.pdf

[11] Informace o provozovně Příbramská teplárenská a.s. - Výtopna Zdaboř. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 30. červenec 2022 [vid. 2022-12-20]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/plants/CZ020/735510121_CZ.html

[12] REDAKCE PRIBRAM.CZ. V příbramské teplárně se přestavují kotle na dřevní štěpku. *pribram.cz* [online]. 2. září 2019 [vid. 2022-11-17]. Dostupné z: https://www.pribram.cz/clanek/v-pribramske-teplarne-se-prestavuji-kotle-na-drevni-stepku/14333/

[13] EU energy mix and import dependency. *Eurostat, Statistics Explained* [online]. 4. květen 2022 [vid. 2022-11-21]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_imports_from_Russia_-_statistics&oldid=556977#EU_energy_dependency_on_Russia

[14] ČEZ. Výklad - Biomasa a její energetický potenciál. *Svět energie - vzdělávací portál ČEZ* [online]. [vid. 2022-12-11]. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/spalovani-biomasy/vyklad

[15] HRDLIČKA, Jan. Biomasa a uhlí v kotlích malých výkonů. *TZB-info* [online]. 28. červenec 2014 [vid. 2022-12-30]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11527-biomasa-a-uhli-v-kotlich-malych-vykonu

[16] HRDLIČKA, Jan. *Konstrukce základních prvků tepelných elektráren*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, Katedra technologie ochrany prostředí, 1997. ISBN 80-7080-297-9.

[17] SZABÓ, Gergely. *Parní kotel na biomasu* [online]. B.m., 2014. bakalářská práce. VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Dostupné z: doi:10.13140/2.1.2788.0002

[18] KUBÍČEK, Jiří. Vlastnosti biopaliv ve vztahu k jejich spalování a zplyňování. In: *Energie z biomasy - seminář* [online]. B.m.: VUT v Brně, 2003, s. 41–47. Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2003/05_Kubicek.pdf

[19] POLACH, Vladislav. *Parní kotle* [online]. B.m.: ZČU v Plzni. Dostupné z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/01_Stavba-a-provoz-stroju_1-3/1_IUT/005_Parn-kotle---Polach---P0.pdf

[20] MICHÁLEK, Milan a Patrik (vedoucí práce) BURG. *Studium technologií zpracování biologicky degradabilních odpadů z trvalých porostů pro energetické účely* [online]. Brno, 2015. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta. Dostupné z: https://theses.cz/id/kscilr/

[21] Angle of Repose - Tipping or dumping angles for common materials like ashes, sand, earth, shingles and more. *The Engineering ToolBox* [online]. [vid. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/dumping-angles-d_1531.html

[22] MONTANARI, Domenico, Andrea AGOSTINI, Marco BONINI, Giacomo CORTI a Chiara Del VENTISETTE. The Use of Empirical Methods for Testing Granular Materials in Analogue Modelling. *Materials* [online]. 2017, **10**(6), 635 [vid. 2023-04-22]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma10060635

[23] LANZERSTORFER, Christof. Chemical composition and physical properties of filter fly ashes from eight grate-fired biomass combustion plants. *Journal of Environmental Sciences* [online]. 2015, **30**, 191–197 [vid. 2023-04-17]. ISSN 1001-0742. Dostupné z: doi:10.1016/j.jes.2014.08.021

[24] TRIVEDI, Ashutosh a V. SUD. Grain characteristics and engineering properties of coal ash. *Granular Matter* [online]. 2002, **4**, 93–101. Dostupné z: doi:10.1007/s10035-002-0114-6

[25] BOROWSKI, Gabriel a Małgorzata OZGA. Comparison of the processing conditions and the properties of granules made from fly ash of lignite and coal. *Waste Management* [online]. 2020, **104**, 192–197 [vid. 2023-04-17]. ISSN 0956-053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2020.01.024

[26] MOSKALÍK, Jiří a Marek BALÁŠ. Tavení popele z biomasy. In: *Energie z biomasy IX - odborný seminář* [online]. B.m.: VUT v Brně, 2006, s. 6. Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2008/13%20-%20Moskalik.pdf

[27] *Vstupní analýza: implementace specifických úprav zákaznického informačního systému Energo HELIOS Orange pro řešení Procesu příjmu na sklad štěpky pro společnost Energo Příbram, s.r.o [interní materiál]. Verze 1.1*. B.m.: PC HELP Třebíč

[28] Multibin - univerzální příjmový zásobník sypkých hmot. *Schenck Process s.r.o.* [online]. 2022 [vid. 2023-02-15]. Dostupné z: https://www.schenckprocess.cz/multibin/

[29] KŘÍŽ, [Ing.]. *Technická specifikace: Rekonstrukce kotle TP Příbram, TS/19/069103 [nepublikováno]*. B.m.: Ekol Brno, 2019.

[30] *KNE PREMIUM – Submerged Scraper Conveyors – Micontec GmbH* [online]. [vid. 2023-03-04]. Dostupné z: https://micontec.de/en/products/submerged-scraper-conveyors/

[31] KUČERA, Jan a David [vedoucí práce] JECHA. *Technologie odstranění oxidů dusíku (NOx) ze spalin pro velká spalovací zařízení | Digitální knihovna VUT v Brně* [online]. Brno, 2020 [vid. 2023-04-17]. diplomová práce. VUT Brno. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/191655

[32] YIN, Chungen, Lasse A. ROSENDAHL a Søren K. KÆR. Grate-firing of biomass for heat and power production. *Progress in Energy and Combustion Science* [online]. 2008, **34**(6), 725–754 [vid. 2023-04-17]. ISSN 0360-1285. Dostupné z: doi:10.1016/j.pecs.2008.05.002

[33] JELÍNEK, Jiří. *Logiky kotle - návrh: EA-6247-T02 R0 [nepublikováno]*. B.m.: EKOL Brno, 2019.

[34] Stanovení účinnosti kotlů. *TZB-info* [online]. 21. duben 2014 [vid. 2023-04-19]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11107-stanoveni-ucinnosti-kotlu

Seznam příloh

1 Původní kotel KTK 9800–869 s legendou