



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

EKONOMIE A EKOLOGIE VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY

ECONOMY AND ECOLOGY OF BIOMASS UTILIZATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Plíšek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Petr Plíšek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Ekonomie a ekologie využívání biomasy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat oblastí užití biomasy pro energetické využití. Práce bude zaměřena na dopady využívání biomasy z pohledu životního prostředí a z pohledu ekonomického. Konkrétní technický návrh bude zaměřen na kondenzační výměník spalin odcházejících z biomasového kotle.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte přehledovým způsobem problematiku environmentálních dopadů energetického využívání biomasy s detailním uvedením konkrétních případů.
2. Zpracujte přehledovým způsobem přímé i nepřímé ekonomické aspekty energetického využívání biomasy.
3. Pro zvolený kotel spalující biomasu proveďte návrh kondenzačního spalínového výměníku.
4. Pro řešený případ kondenzačního výměníku stanovte: a) závislosti výkonu spalínového výměníku na vlhkosti paliva, b) celkové účinnosti kotle s kondenzačním výměníkem v závislosti na teplotě vychlazení spalin.

Seznam literatury:

GOJKOVIC, Živan. 2014. Production, Characterization and Utilization of the Biomass from Various Sources.

ŠPINAR, Marek. 2013. Ekonomické aspekty stavby a provozu tepelné elektrárny na biomasu.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou ekonomicko-ekologických souvislostí využívání biomasy. První část je zaměřena na popis podstaty a způsobu využívání biomasy. Další část práce je zaměřena na ekonomické aspekty v souvislosti s biomasou. Nezbytností při zpracovávání určitého zdroje energie je i jeho ekologická problematika, ta je obsahem třetí kapitoly. Poslední část práce se věnuje návrhu kondenzačního výměníku a jeho výkonu vzhledem k vlhkosti paliva a výkonu kotle s kondenzačním výměníkem v závislosti na teplotě vychlazení spalin.

KLÍČOVÁ SLOVA

Biomasa, ekonomie, ekologie, bioplyn, dřevní štěrka, orná půda, kondenzace, výměník, vlhkost, účinnost

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with an economic and environmental contexts of biomass utilization. The first part focuses on the description of the nature and manner of use of biomass. Another part is focused on economic aspects related to biomass. A necessity in the processing a particular energy source is its ecological problems, that is the third chapter. The last part is devoted to the design condensing heat exchanger and its output relative to the fuel wetness content, and boiler output with a condensing exchanger depending on the combustion products cooling temperature.

KEY WORDS

Biomass, economy, ecology, biogas, woodchips, fertile ground, condensation, heat exchanger, humidity, efficiency

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PLÍŠEK, P. *Ekonomie a ekologie využívání biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 65 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Pospíšila, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Petr Plíšek

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za konzultace a odborné vedení této bakalářské práce a čas, který vedení práce věnoval. Dále bych rád poděkoval všem učitelům a blízkým, kteří mi jakýmkoli způsobem během studia pomohli.

OBSAH

Úvod	12
1 Termín biomasa	13
1.1 Rozdělení	13
1.2 Způsoby využívání.....	14
1.3 Dynamický rozvoj v posledních letech.....	14
2 Ekonomické aspekty využívání biomasy	15
2.1 Ekonomika využívání biomasy z orné půdy	15
2.1.1 Bioplynové stanice	15
2.1.2 Rychlerostoucí dřeviny	16
2.1.3 Sláma.....	17
2.2 Ekonomika využívání biomasy z lesní půdy	19
2.2.1 Lesní štěpka a palivové dřevo	19
2.2.2 Pelety.....	22
2.3 Ekonomické dopady špatného vývoje počasí na využívání biomasy	23
2.3.1 Bioplynové stanice	23
2.3.2 Teplárny	24
3 Ekologické aspekty využívání biomasy	25
2.1 Využívání biomasy ve vztahu k lesnímu ekosystému	27
2.1 Využívání biomasy ve vztahu k orné půdě.....	28
2.2 Spalování biomasy.....	29
2.3 Ekologická problematika přepravy	30
2.4 Zpracování komunálního bioodpadu	31
4 Návrh kondenzačního výměníku	33
4.1 Výpočet množství vzduchu.....	34
4.2 Výpočet množství spalín.....	35
4.3 Výpočet kondenzace a rosného bodu.....	36
4.4 Výpočet výkonu kondenzačního výměníku.....	39
4.5 Výpočet konstrukce kondenzačního výměníku	41
5 Výkon kondenzačního výměníku v závislosti na vlhkosti paliva	45
6 Celková účinnost kotle s kondenzačním výměníkem v závislosti na teplotě vychlazení spalín.....	52
Závěr.....	57
Použité informační zdroje.....	58
Seznam obrázků.....	62
Seznam tabulek.....	62

Seznam použitých zkratk	63
Seznam použitých symbolů	64

ÚVOD

K současné civilizaci neodmyslitelně patří intenzivní využívání energie. Velký podíl z celkové spotřeby energie zastává elektroenergetika. Jednou z nejušlechtilějších forem je energie elektrická, která má ale stále velkou slabinu v omezené možnosti její akumulace a uchovávání. Elektroenergetika je spjata s růstem kvality života a životní úrovně obyvatelstva planety, umožnila též rozvoj průmyslu a dalších odvětví. Výsledkem byla průmyslová revoluce, která využívala ve velkém rozsahu fosilní paliva, zvláště uhlí. Tento trend přilnutí k fosilním palivům stále trvá, fosilní paliva jsou brána jako primární zdroj energie, i když je zvyšující se snaha o stále větší využívání obnovitelných zdrojů energie. Biomasou, která je základní součástí těchto zdrojů, se bude zabývat tato práce. V současnosti existuje snaha o umenšení podílu fosilních paliv a jejich postupné nahrazení. Tuto snahu je třeba podporovat. Důvodem by mohly být jak etické, tak i ekologické a ekonomické skutečnosti. Tato práce se primárně zaměřuje na biomasu, která se považuje za ekologický zdroj energie a její dostupnost je značná. V současné době ale vidím rezervy v efektivnosti využívání tohoto zdroje energie. [1]

Na naší planetě je k pěstování biomasy možno využít rozsáhlé výměry obhospodařovatelné půdy. To samo o sobě je velká výhoda při využívání biomasy. Jsou zde ale i jistá rizika, respektive etické otázky. Je možné využívat značně velký podíl půdy k produkci suroviny pro výrobu energie, pokud obyvatelé rozvíjejících se zemí trpí nedostatkem potravin? Na tuto otázku musíme nalézt rozumnou míru řešení. Cesta zcela určitě vede ke zvyšování efektivity využívání půdy a správném hospodaření. Jsou zde ale další problémy. Postupně, se zvyšujícím se počtem obyvatel světa, je stále více hospodářsky využitelné půdy zastavováno městskou výstavbou.

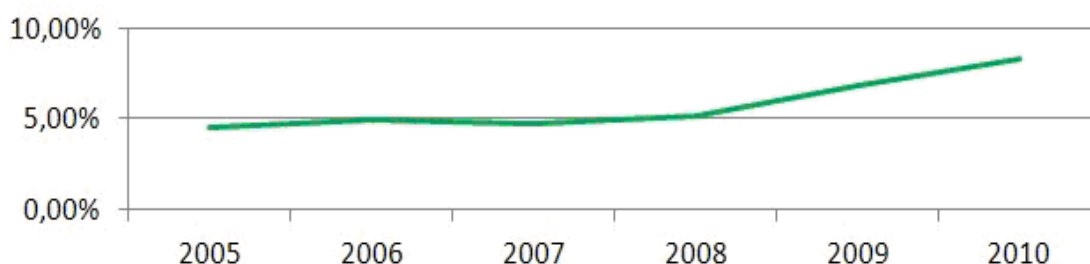
Najdou se také otázky ekologického charakteru. Jako například míra ekologické zátěže pro přírodu při využívání biomasy jako zdroje energie. Velké dohady vyvolává doprava biomasy ke zdroji spotřeby. Doprava sama o sobě je v dnešním světě problém. Při dopravě biomasy je v drtivé většině případů přepravované množství relativně malé vzhledem k jednotce vyrobené energie z přepravovaného množství suroviny.

1 TERMÍN BIOMASA

Biomasu tvoří látky organického původu, kam spadají těla živých organismů: rostlin, bakterií, sinic, hub a také živočichů. Pod biomasu jinými slovy spadají rozložitelné části produktů biologického původu, jako odpady ze zemědělství, lesnictví i souvisejících průmyslových odvětví. Příkladem jsou komunální odpady. Jako biopaliva se posléze označuje rostlinná biomasa využívaná pro účely energetického zpracování, tato paliva vznikla cíleným pěstováním biomasy. Zdrojem biomasy je fotosyntéza, z toho důvodu je biomasa označována jako obnovitelný zdroj energie. [1,2,3,]

Biomasa, která je nejčastěji spojována s energetickým odvětvím, je dřevo, dřevní odpad, sláma, technické trávy, siláž, senáž, seno a jiné produkty zemědělského a lesnického odvětví včetně exkrementů užitkových zvířat. [3,4]

Biomasa se ve značné míře podílí na produkci takzvané zelené energie. Tak se označuje energie získaná z obnovitelných zdrojů energie. Jejich podíl na produkci bude i do budoucna stále významnější. Trend je možné pozorovat z následujícího grafu.



Obr. 1 Podíl OZE na hrubé domácí spotřebě elektřiny [5]

1.1 ROZDĚLENÍ

Biomasa se rozděluje podle obsahu vlhkosti na "suchou" (např. dřevo, slámu, dřevní štěpku, seno) a "mokrou" (keřda - pevné a tekuté výkaly hospodářských zvířat) a také kuchyňské odpady z restaurací apod. [3,4]

Dalším způsobem dělení biomasy může být dělení dle odvětví výroby. Nejzákladnější rozdělení je na dvě skupiny: zemědělská biomasa (vedlejší i záměrně pěstované produkty zemědělské výroby a energetické plodiny vypěstované na orné půdě) a biomasa získaná z lesnického sektoru (zbytkové materiály ze dřevozpracujících závodů a materiál vypěstovaný v lesnictví). [3,4]

Do zemědělské biomasy je zahrnut v zásadě bylinný materiál ze zemědělské výroby, zahrad, zbytky z průmyslového zpracování (výroba cukru nebo přímo samotné hlízy, sladový květ z pivovarnictví, dále siláže, senáže, sena). [3,4]

Dřevní biomasa pochází z lesnické výroby. Nejedná se vždy pouze o dříví, tzv. hroubí. Dále je to velmi často klest (tzv. nehroubí). Klest jsou větve, případně kůra, listy z těžby dřeva v lesnictví nebo ořezu větví při údržbě zeleně. [3,4]

1.2 ZPŮSOBY VYUŽÍVÁNÍ

Způsoby využívání biomasy jsou velice různorodé.

Nejběžnějším způsobem je získávání tepla spalováním dřevního paliva. I v současné době je to stěžejní způsob využívání biomasy. Biomasa je spalována přímo nebo jsou ke spalování použity plynné a kapalné produkty jejího zpracování. [5,6]

Způsobů výroby tepla a také elektřiny je daleko více. Je důležité zvolit vhodnou technologii pro konkrétní podmínky. Výběr vhodné technologie závisí na její dostupnosti, ceně, spolehlivosti, efektivitě, ekologičnosti a dalších parametrech. Technologie využívání biomasy jsou častokrát ve stádiu vývoje a testování. Co se týče technologie spalování, ta je do značné míry vypracovaná a pro investující subjekty představuje malé riziko. Při spalování biomasy obecně vzniká tepelná energie, která je využita pro vytápění, technologické procesy a častokrát pro výrobu elektrické energie. Spalování je ve většině případů možné napřímo. Je tolerována určitá vlhkost paliva. Pokud navíc do spalovacího procesu zařadíme kondenzační výměník, jako bude spočítáno v další části práce, můžeme s výhodou využít kondenzační teplo. Složení biomasy není často homogenní, z toho důvodu je nutné nastavit a odzkoušet vhodné parametry spalovacího procesu. Je nutno mít pod neustálou kontrolou emise oxidu uhelnatého, tuhých látek, oxidů dusíku a organických látek. [5,6]

1.3 DYNAMICKÝ ROZVOJ V POSLEDNÍCH LETECH

V poslední době se využívání biomasy stále více začíná uplatňovat. Zavádění energetického využívání biomasy se zdá být v současné době perspektivní. Ze všech druhů obnovitelné energie má biomasa největší potenciál rozšíření. Z dosavadního monitoringu vývoje situace, jak je sledována např. Evropským sdružením pro biomasu, je možný podíl biomasy k zbývajícím zdrojům obnovitelné energie zvýšit až na 75 %. [7]

Biomasu lze zpracovávat rozličnými způsoby. Možností a způsobů využití neustále přibývá a pravděpodobný vývoj nebude jiný ani v budoucnosti. Ze všech přírodních zdrojů energie, biomasa poskytuje největší prostor k zdokonalování technologie a s tím souvisí potřeba součinnosti s výzkumem.

2 EKONOMICKÉ ASPEKTY VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY

Ekonomické aspekty jsou pravděpodobně nejpodstatnější součástí při posuzování jednotlivých způsobů využití biomasy v praktických podmínkách. Jednotlivé způsoby využívání se v tomto ohledu značně odlišují. Značná část odvětví zpracovávající biomasu pracuje se surovinou, která je do značné míry závislá na počasí. To je důvod, díky kterému je ekonomika odlišná i v jednom jediném odvětví, v závislosti na měnícím se ročním období i jednotlivých ročnících.

2.1 EKONOMIKA VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY Z ORNÉ PŮDY

Orná půda je z pohledu počasí nejvíce riziková výrobní oblast. Při výpočtech a odhadech předpokládané výroby suroviny se nedá jednoznačně předpokládat, kolik hmoty z jednotky plochy skutečně získáme. Teoreticky získané hodnoty se od těch skutečných mohou lišit až o stovky procent. Jako nejvýraznější příklad poslouží kukuřice pěstovaná na siláž pro výrobu bioplynu v bioplynové stanici. Pokud je vhodné počasí, lze běžně získat 60 t silážní hmoty. Pokud je ale nevhodný ročník, zvláště pak nízký srážkový úhrn, lze při stejné intenzitě pěstování získat stěží 20 t. V tomto směru nejvíce problematické oblasti jsou území ležící v trvalém srážkovém stínu. Nízkým srážkovým úhrnem trpí hlavně jižní Morava a oblast východně od Krušných hor. Další nejzásadnější okolnosti, které výrobu biomasy ovlivňují, jsou ceny umělých hnojiv a ceny vstupů obecně, jako například pohonné hmoty, pesticidy, cena osiva a sadby. Další faktor ovlivňující toto odvětví obecně je těžko předvídatelný vývoj podpory obnovitelných zdrojů ze strany státu a EU.

2.1.1 BIOPLYNOVÉ STANICE

Rozvoj bioplynových stanic je v posledních letech vcelku překotný. Důvodem je dotační politika EU i ekonomika provozu. Investoři, kteří chtějí vložit finanční prostředky do obnovitelných zdrojů energie, se velmi často rozhodují pro BPS. Důvodem je garantovaná cena elektrické energie. Bioplynové stanice volí častokrát jako náhradu za fotovoltaické systémy, u kterých podpora státu klesá. Využívání vlhkých procesů k výrobě elektrické energie a potažmo tepla z produkovaného bioplynu je Českou republikou stanoveno jako programová priorita. Podpora bioplynových stanic oproti fotovoltaice má následující výhody. Výroba v BPS probíhá kontinuálně, proto znamená nižší zátěž pro přenosovou síť. Na výstavbu je možné získat dotaci z Evropských strukturálních fondů. Cena elektrické energie je státem též garantovaná. Díky dobré ekonomice provozu bioplynových stanic a závazku vyrábět část elektrické energie z obnovitelných zdrojů je pravděpodobné, že podpora ze strany státu bude pokračovat i v budoucnu. Může být ale snížena.[8]

Náklady na výstavbu bioplynové stanice střední velikosti provozované v zemědělství, založené na metodě mokré fermentace činí zhruba 100.000,- Kč na 1 kW instalovaného elektrického výkonu. [9]

Velikost bioplynové stanice závisí z největší míry na množství materiálu, které je schopen daný subjekt vypěstovat. Je tedy přímo úměrná velikosti obhospodařované plochy. Adekvátní velikost bioplynové stanice pro podnik obhospodařující tisíc hektarů půdy je zhruba 630 kW/hod, pro subjekt s obhospodařovanými dvěma tisíci hektary je vhodná velikost alespoň 1000 kW/hod. Pro představu BPS o výkonu 630 kW potřebuje pro provoz zhruba 9500 tun materiálu. K tomu je nutné využití zhruba 230 hektarů zemědělské půdy průměrné kvality. Při instalaci bioplynové stanice výkonu 995 kW je potřebné zajistit 16 tisíc tun materiálu. K tomu je nutná výměra okolo 360 hektarů. Při zamýšlení stavby nové BPS je vhodné mít na paměti

klesání nákladů v případě stavby stanice vyšších výkonů. Při stavbě BPS s výkonem 530 kW stojí instalace 1 kW 105 tisíc Kč, při 830 kW klesne částka na 85 tis. Kč/kW a u BPS s výkonem 1160 kW se podaří snížit náklady na jednotku instalovaného výkonu o 25% a více, což činí 75 tisíc korun na 1 kW. Díky garantovaným tržbám za elektřinu je stavba bioplynové stanice investujícími subjekty brána jako nízkoriziková investice. Podstatným prvkem zvyšujícím ekonomiku provozu je již předem zajištěný odbyt tepelné energie, vznikající při procesu. [10]

Teplo z procesu je využitelné například pro sušení komodit (zemědělské komodity sklizené při vyšší vlhkosti než je vlhkost vhodná ke skladování, výrobu krmných směsí) vlastníka BPS. Další možnost využití je vytápění domů a objektů. Většina bioplynových stanic vytápí zároveň budovy náležející k areálu BPS. Velmi často veřejné objekty, případně i rodinné domy v obci či městě přináležící ke stanici. Často je o tento typ vytápění zájem, neboť je ekonomicky výhodnější než konvenční způsoby vytápění.

Pokud je teplo využito pro sušení komodit je tato energie využita na zhruba 25 procent, při použití k vytápění 40 procent. Nejvhodnějším způsobem využití této tepelné energie je na výrobu elektřiny. V tomto případě je využití až 90 procent. K tomuto účelu se používají termogenerátory, které jsou schopny u kogenerační jednotky s výkonem 995 kW vyrobit 192 kW z tepla, zvyšuje se tak celý výkon zařízení na 1187 kW. [10]

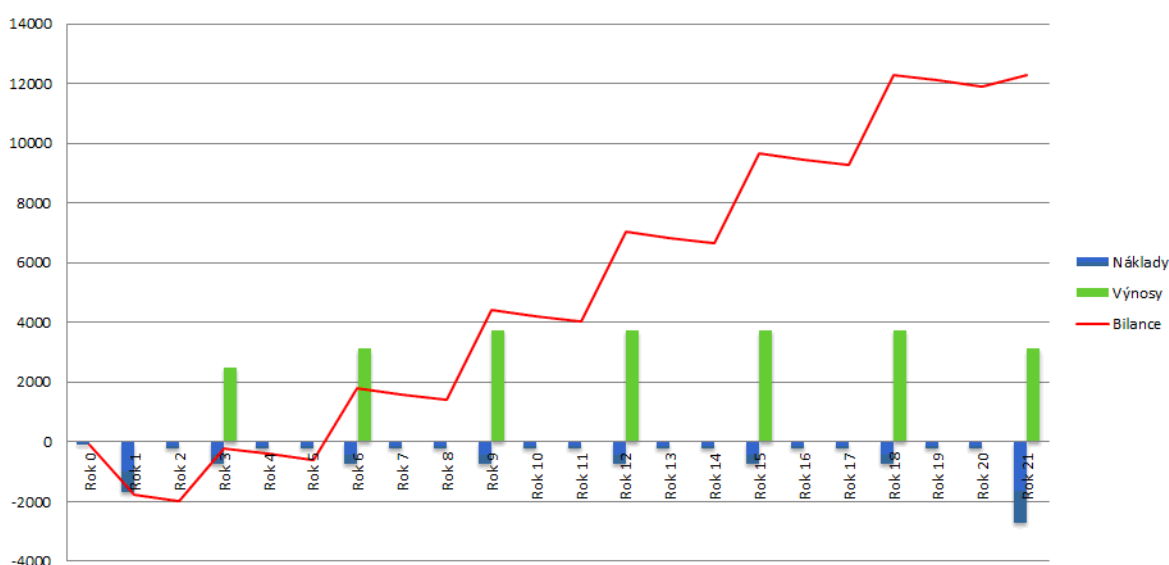
Odhad investičních nákladů na bioplynovou stanici o výkonu 500 kW/hod: [11]

Stavební část	13 mil. Kč
Kogenerace	11 mil. Kč
Technologie	34 mil. Kč
Celkem	58 mil. Kč

Do ekonomické kalkulace je ještě nutné započítat u majitelů BPS, kteří provozují zároveň zemědělskou činnost, možnost žádat o vrácení části spotřební daně z pohonných hmot. Konkrétně je to 40 % u motorové nafty a 60 % u tzv. bionafty.

2.1.2 RYCHLEROSTOUCÍ DŘEVINY

Dlouhodobou investicí je pěstování rychlerostoucích dřevin. Návratnost se kalkuluje po druhé, potažmo třetí sklizni. Čím trvalejší plantáž se podaří založit, tím je to z hlediska ekonomiky vhodnější, neboť náklady na další sklizně jsou již nízké. Důležitá je ovšem míra hmotové výnosnosti plantáže, která postupně klesá. V této práci bych chtěl nastínit jen základní faktory, kterými se řídí ekonomické rozhodování. Pro tento případ budeme uvažovat, že zemědělská půda je majetkem provozovatele. Štěpku uvažujeme při sklizňové vlhkosti 55 %. V kalkulaci nezapočítáváme náklady na dopravu technického vybavení a řízků k výsadbě na danou lokalitu. Důvodem je proměnná vzdálenost. Z totožných příčin není započítán odvoz štěpky. Pěstování RRD na zemědělské půdě považuje EU za součást zemědělské činnosti a stejně jako u jiných plodin je na ni vázána dotační podpora (např. SAPS). Ceny v grafu na následujícím obrázku uvažujeme v eurech bez DPH. V grafu je ekonomická rozvaha při správně založené a ošetřované plantáži na kvalitnější půdě. [12]



Obr. 2 Náklady, výnosy plantáže [12]

Z obr. 2 je vidět, že ziskovost může být až na úrovni 600 €/ha, počítáme s inflací a růstem cen. To je důvod, proč je možné zařadit rychlerostoucí dřeviny po bok ostatních ekonomických plodin. Pěstování RRD je odvětvím investování do zemědělské půdy. Zvláště pak, pokud daný subjekt obhospodařuje větší výměrů půdy nehodící se k pěstování jiných plodin. [12]

K pěstování rychlerostoucích dřevin na zemědělské půdě je možné použít dotačních titulů EU pro roky 2014 – 2020. Rychlerostoucí dřeviny jsou součástí opatření „greening“ [12]

Při zakládání plantáže se neuvažují prakticky jiné náklady než náklady, které je nutné vynaložit k založení plantáže. Finanční prostředky jsou vynaloženy jednorázově na počátku období životnosti pěstebního cyklu. Toto založení je finančně nákladné, nicméně v dalších obmětích se již neopakuje. Životnost celého pěstebního cyklu uvažujeme zhruba 25 roků. Na 1 ha je vysázeno okolo 10 000 řízků. Množství je závislé na kvalitě lokality (její úrodnosti). Cena řízku u vrby je 3,2 Kč a u topolů 5 Kč. Používají se klony J-105 a J-104. Při započítání výše zmíněného je náklad na založení, ošetřování, sklizeň a další úkony spojené s pěstováním 1 ha plantáže okolo 100 000 Kč. Tyto náklady se podílí v největší míře na konečné ceně paliva a představují okolo 53 % výdajů. Zbylé náklady jsou vynakládány opakovaně při dalších sklizních. [13]

2.1.3 SLÁMA

Co se týče slámy, objevují se mnohé názory, že je pomocí ní možné nahradit jakékoliv fosilní palivo. Sláma má ale svá specifika. Výhodou jejího využívání je momentálně nízká cena, která je nižší než u ostatní biomasy. Trh se do současné chvíle orientoval v největší míře na dřevní štěpku, u té také dochází k růstu cen. Kvalitu získané tepelné energie je možno považovat jako plnohodnotnou k ostatním druhům paliv. Parametry jsou vhodné jak pro vytápění, tak pro výrobu technologické páry. Sláma má jednu hlavní výhodu a tou je její dostupnost. Její dostupnost s ohledem na pokles živočišné výroby je ve všech zemědělských

regionech a její produkce je plánovatelná. Negativem je nutnost úpravy spalovacího procesu a tedy nemožnost jednoduchého přechodu na slámu, například ze spalování uhlí. Spalování probíhá bezodpadově. Směs škváry a popílku, která vznikne po spalování, je možné použít jako minerální hnojivo. Sláma v současnosti stále ještě není běžně využívaným palivem. Hlavním důvodem jsou pravděpodobně její velké objemy a rychlá degradace. Nutná je také komunikace s dodavatelem, aby byla udržena kvalita její dodávky. [14]

Příklad ekonomické rozvahy vytápění obilní slámou:

Spalovací zařízení: kotel Tracant Fabri Kolín typu TFS-420 je navržen pro spalování slámy a dřevní štěpky, případně pro obě paliva zároveň v celoročním provozu. Kotel je provozován ŠS VÚ bramborářského v Pacově a má výkon 420 kW. Výtopna spaluje obilní a řepkovou slámu a má vybudované skladovací prostory, ke kterým posloužila bývalá uhelná kotelná. Provoz začal v lednu 1996 a probíhá jen v topné sezóně. Vytápěno je 500 m² skleníků, dále administrativní budovy a je tímto způsobem připravována teplá užitková voda.

Popis kotle:

Teplovodní kotel Tractant Fabri typu TFS-420, palivem je sláma do obsahu vlhkosti 30% (vztažené k sušině). Systém funguje jako teplovodní, oběhová voda funguje v režimu 100/70°C. Kotel je horizontálního provedení s válcovým profilem. Zařízení je velkoprostorový plamencožárotrubnatý kotel, který obsahuje dva tahy žárových trubek a podtlakové topeniště. Spalovací zařízení se skládá ze šnekového dopravníku, kterým vstupuje sláma do kotle, keramické vyzdívky plamence, hrablového roštu s pneumatickým pohonem, šnekového vyhrnovače popela, ventilátoru primárního vzduchu a spalínového ventilátoru. Regulace kotle je řešena automaticky, kotel je zásobován a zároveň regulován množstvím slámy, která je posunována do spalovacího procesu. Balíky jsou ukládány na podavač vedoucí do kotle. Měření spotřebovaného tepla není instalováno a proto jsou uváděné údaje vypočteny. Následující údaje o provozu jsem převzal z [14].

Množství vyrobeného tepla z roční spotřeby slámy: 300 t/rok při výhřevnosti 15 GJ/t a účinnosti 80%.

Výroba tepla: (Qt za rok)= spotřeba tepla x výhřevnost x účinnost

Qt za rok= 300 x 15 x 0,8= 3600 GJ/rok

Technické údaje zařízení:

Množství balíků nutných pro provoz jedné topné sezóny: 1500

Hmotnost balíku: 200 kg

Cena tepla: 30 Kč/GJ

Cena tepla z hnědého uhlí před rekonstrukcí: 150 Kč/GJ

Ekonomické údaje:

Finanční náklady rekonstrukce: 1,2 mil. Kč

stavební náklady 50%, tedy 0,6 mil. Kč

Náklady na výrobu tepla ze slámy: 108 000 Kč/rok

Náklady na výrobu tepla z hnědého uhlí: 540 000 Kč/rok

Úspora: 432 000 Kč/rok

Návratnost investice: 2,8 roku

Financování projektu proběhlo z vlastních zdrojů.

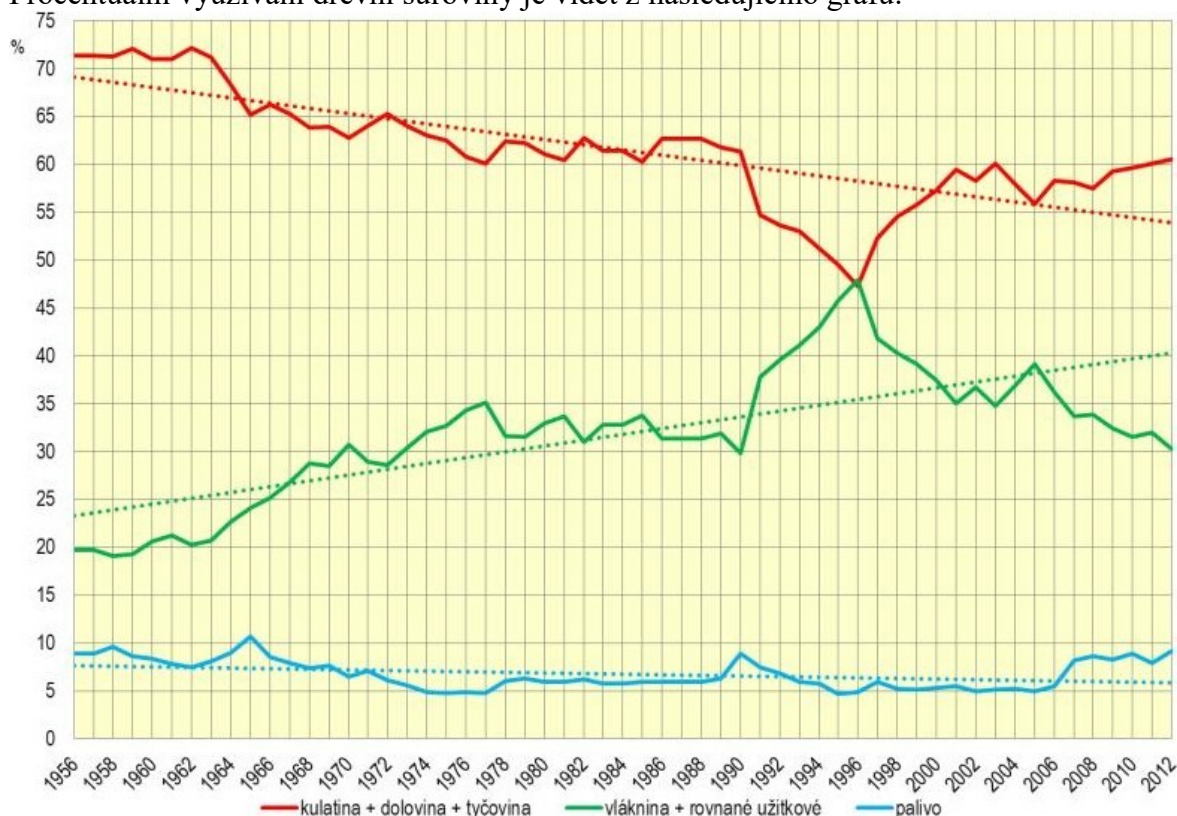
2.2 EKONOMIKA VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY Z LESNÍ PŮDY

Lesní půda je přirozeně zdrojem biomasy. Již od počátku lidstva byly lesní porosty využívány k získávání energie. Část produkce dřevní hmoty byla využita pro stavební účely a zbylá část pro získání tepelné energie. V současné době biomasa produkovaná na lesní půdě nabývá ještě více na významu. Jiný trend nelze očekávat ani v budoucnosti.

2.2.1 LESNÍ ŠTĚPKA A PALIVOVÉ DŘEVO

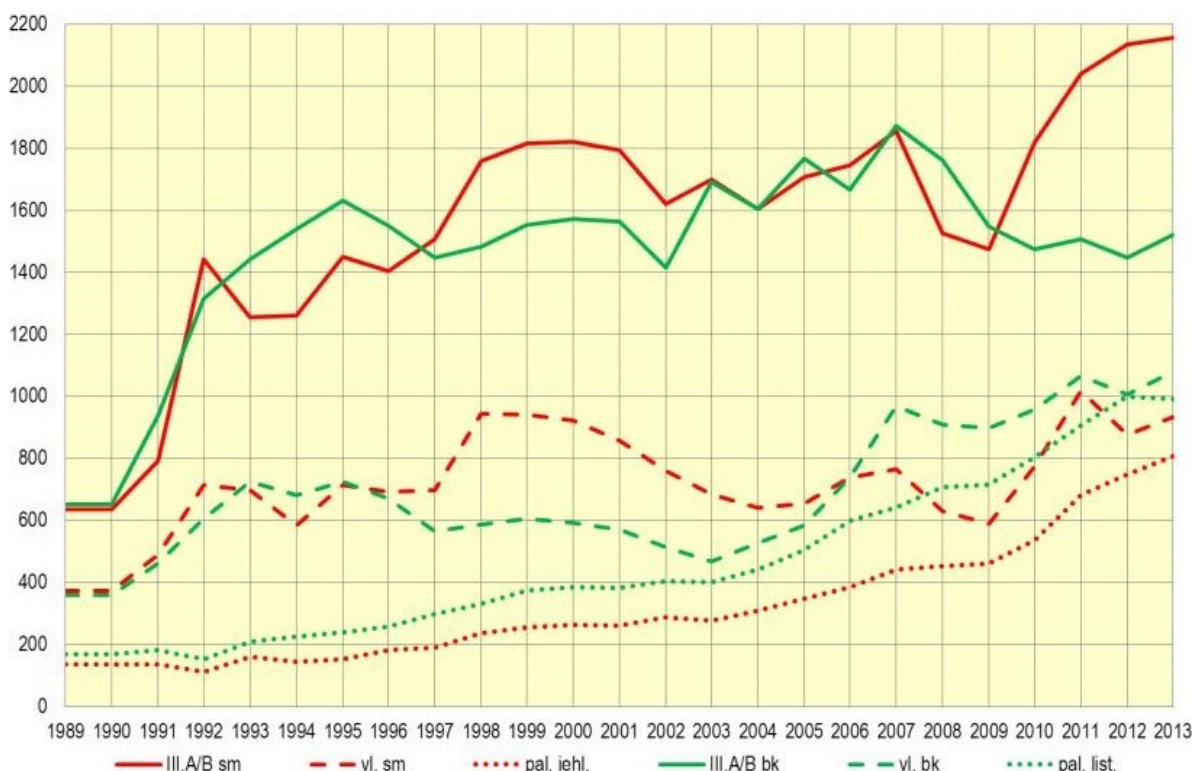
Využívání dřevního materiálu do značné míry ovlivňuje vlhkost obsažená v palivu. Výhřevnost měkkého dřeva můžeme uvažovat 19,122 až 21,099 MJ.kg⁻¹, u tvrdého dřeva 18,396 až 20,091 MJ.kg⁻¹). Pro spalovací proces je také důležitý vzájemný poměr celulózy a ligninu. Výhřevnost ligninu je 25,5 MJ.kg⁻¹ a celulózy 18,8 MJ.kg⁻¹. Výhřevnost pryskyřice je vyšší než dřeva, proto je z hlediska spalovacího procesu vhodná. To je důvodem větší výhřevnosti jehličí, kůry a pryskyřičného dřeva oproti odkorněnému dřevu. Nicméně rozdíl mezi například štěpkou získávanou z dřevin bez asimilačních orgánů a s nimi je nevýznamný. Trend vývoje poptávky po dřevní hmotě je dán drobným poklesem poptávky po kulatině a vzrůstem poptávky po vlákninových sortimentech. U palivového dřeva došlo k rychlému růstu poptávky od roku 2006 a nyní se jeho využívání pohybuje na srovnatelné úrovni jako v polovině minulého století. [16,17]

Procentuální využívání dřevní suroviny je vidět z následujícího grafu:



Obr. 3 Procentuální využití dřevní suroviny v letech 1956-2012 [17]

Z grafu na obr. 4 si je možné povšimnout vývoje cen dříví:



Obr. 4 Vývoj cen jednotlivých dřevních sortimentů v letech 1989- 2013 [17]

Ceny paliva rostou vytrvale a mnohokrát konkurují užitkovým sortimentům. Ke skokovému nárůstu došlo po roce 1990 a v dalším období docházelo k vyrovnávání inflace.[17]

Dřevo jako palivo je náročné na energii dodávanou pro jeho vysušení na požadovanou vlhkost. Z toho důvodu je vhodné, aby byla vlhkost nízká, díky praktickým zkušenostem to ovšem nelze tvrdit vždy. V provozu byla stanovena vhodná vlhkost pro spalování 30-35 %. Pokud má dřevní hmota nižší vlhkost, dochází k explozivnímu charakteru hoření a nezanedbatelná energie uniká prostřednictvím spalin do ovzduší. Vlhkost mezi 50-60% není vhodná a účinnost je již značně nízká. To stejné platí při vlhkosti větší než 60 % a zde navíc může docházet i ke zhasínání plamene. [16]

Zásadním faktorem, který má vliv na spalovací proces je obsah popeloviny ve spalovaném dřevě. Hmotnostní procento popela se u dřevních materiálů pohybuje v rozmezí 0,6-1,6 %. Tato hodnota není ve srovnání s ostatními pevnými palivy nikterak vysoká a znamená 3-5kg popela na 1 m³ hmoty. Škvára se tvoří nejvíce při spalování kořenů a pařezů, které obsahují minerální příměsi. Příměsi se ovšem do materiálu mohou dostat i během procesu a potom dochází ke škvárování i v tomto případě. Podobný problém může nastat i při použití dřeva z demolic. Popel je vhodným hnojivem, neboť má následující zastoupení živin: P 2,5 %, K 7 %, Ca 21 %, Mg 3 %. Při rozvaze použít popel jako hnojivo je dobré počítat s využíváním rozborů na obsah těžkých kovů. Je možné jejich ukládání ve dřevě. Toto může hrozit zvláště v lokalitách se zvýšeným výskytem těchto rizikových kovů. [16,17]

Nevýhodou využívání dřevního materiálu je jeho náročnost na skladovací prostory. To je viditelné zvláště u štěpky. To může být jeden z hlavních problémů přechodu ze spalování

kapalných a plyných paliv. Pokud budeme porovnávat dřevní materiál s hnědým uhlím, je zde zhruba trojnásobný požadavek na prostor, u černého uhlí je to až osminásobek. Kompenzace tohoto problému je možná pravidelným zásobováním, které je ale náročné na logistiku a organizaci. Další možností je zásobování vhodnými sortimenty a jejich štěpkování až v areálu jejich využívání. Obě varianty jsou vhodné, neboť při dlouhodobějším skladování dochází k degradaci nadrceného materiálu a jeho znehodnocování. Tento proces má za následek snižování objemu a zvyšování vlhkosti. Štěpka by měla být využita do 15 dnů od jejího vzniku po hraniční dobu tří měsíců. Při dlouhodobějším uložení štěrky je vhodné při osobní manipulaci užití respiračních zařízení. Důvodem jsou plísně a houby, které jsou v hmotě obsaženy. Vedle štěrky je vhodné využívat polenové dřevo. Tento způsob vytápění je častý v menších topeništích. Výrobci zařízení, v kterých je spalování kusového dřeva provozováno, neustále zdokonalují svoji technologii a tím dochází ke zlepšení ekonomiky. Úspory je vhodné hledat zejména v použitých výměnících tepla a typu izolace. Zmíněné výměníky je možné použít pro predehřev primárního a sekundárního vzduchu. Možností je využití i pro teplovzdušné vytápění, které je často použito u krbů a krbových kamen. Palivové dřevo zaznamenává vlnu zájmu, částečně i díky renesanci kachlových kamen. Dalším častým materiálem po štěpce a kusovém dříví je dřevní odpad. Dřevní odpad je velmi často spalován jako přídavné palivo v technologii spalování štěrky. V tomto případě stabilitu hoření zajišťuje štěrka a dřevní odpad je přidáván jednotlivě. U nižších výkonů je vhodný pro tento typ spalování podsvětý rošt. Štěpky dopravujeme pod rošt a skrze něj jsou posouvány vzhůru. Tam dochází k dohořívání. Výkon v tomto typu spalování je závislý na množství štěrky, které je závislé na rychlosti otáčení šnekového dopravníku. Bezpečnostní odstavení procesu je regulováno teplotním čidlem, které může rozhodnout o zaplavení dopravníku vodou a zastavení spalování. Problém tohoto typu přivádění paliva je citlivost na homogenitu materiálu a absenci rozměrných předmětů. [16,17]

V těchto několika řádcích bych se ještě vyjádřil k ekonomice štěpkování. V praxi se často setkáme se způsobem štěpkování pomocí mobilních strojů přímo na místě těžby s následnou dopravou na místo využití. Tento způsob se považuje za nejvhodnější z důvodu větší skladnosti štěrky oproti klestu. Provoz to častokrát vnímá jinak. Zásadním nedostatkem výše zmíněného postupu je mnohonásobné přejíždění stroje při sbírání klestu po lese. Tím dochází k velkým prodlevám, které nemusí být častokrát vynahrazeny ani větší skladností štěrky, která má hodnotu asi 200 kg/m^3 . Pokud bychom hutnili klest v dopravním prostředku hydraulickou rukou a ten byl následně převážen na místo určení, můžeme počítat s hustotou asi 160 kg/m^3 . Štěpkování pomocí štěpkovačů na automobilových podvozcích je levnější zhruba o 20 % oproti jiným variantám. I toto hraje ve prospěch přípravě štěpek až na místě určení. V praxi se vyskytuje také kombinace obou způsobů. Klest je vyvezen vyvázeckými soupravami na odvozní místo v lese a odtud je odvážen již ve formě štěpek do spalovny. Štěpkování u zpevněné plochy je každopádně univerzálnější než v terénu.[16]

Stav využívání energetické dřevní štěrky v České republice je následující. Roční produkce se pohybuje na hodnotě 1 900 000 tun lesní štěrky. Spáleno je 1 800 000 tun této dřevní hmoty. K tomu je nutno započítat 220 000 tun odpadu z papírenského průmyslu. Trh s dřevní štěpkou začal být stabilní od roku 2005 a po roce 2009 byla zaznamenána další zvýšená poptávka. V současné době dochází již k profitu vlastníka lesa, který dostává zaplacenou smlouvenou částku za určité množství klestu. V historii bylo ovšem velmi časté, že samotný úklid paseky po těžbě byl finančně nákladný. Klest byl totiž snášen na hromady a častokrát pálen a bylo nutno pozemek před výsadbou takto zajistit. Nyní se situace obrátila ve prospěch vlastníka. [17]

Příklad zpeněžení klestu:

do r. 2007 úklid klestu –40 až –50 Kč

2007-2009 úklid klestu zdarma zpracovatelem, hmota zdarma 0 Kč/m³ klestu

2010-2011 úklid klestu samozřejmostí, platba za materiál +10 Kč/m³ klestu

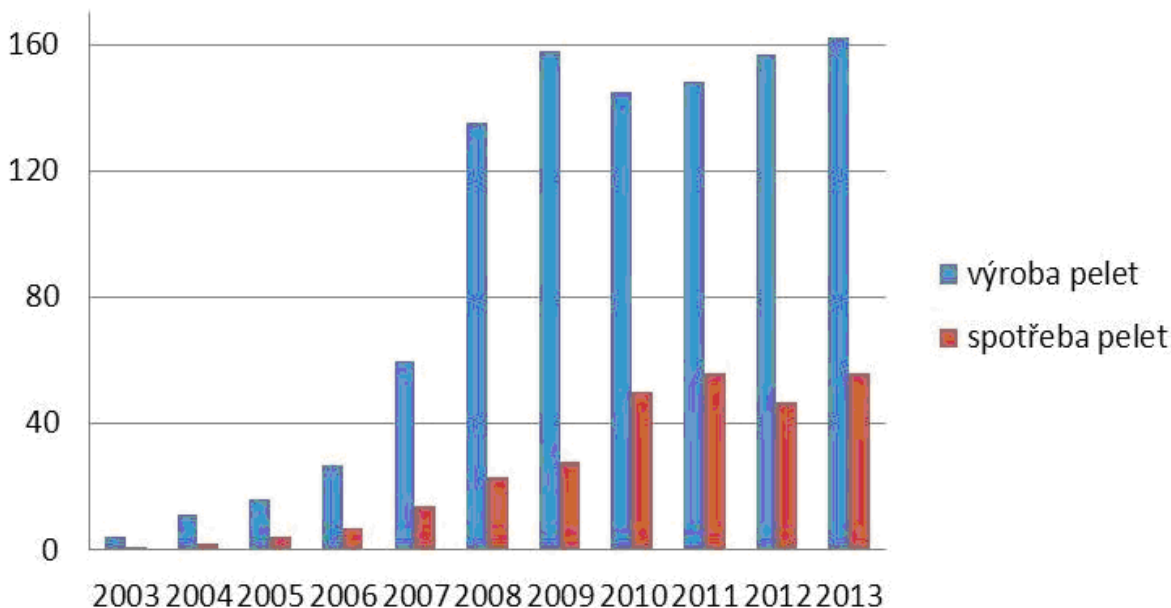
2011-2012 vysoká poptávka, výběrová řízení u LČR, cena +30 až 40 Kč/m³ klestu

od r. 2013 podpora státu klesá, ceny klestu se stabilizují, vyšší nároky vlastníků na úklid [17]

Z odpadu, u kterého stát vyžadoval jeho úklid při nákladech 70 Kč/m³, se stal pro vlastníka lesa ekonomický materiál s výnosem 30 Kč/m³. Dochází postupně k investičnímu a technickému vybavení jak společností zabývajících se přípravou štěpky, tak provozovatelů energetických zařízení, zvláště tepláren. Od roku 2013 došlo k zásadnímu omezení podpory spalování biomasy s uhlím od Energetického regulačního úřadu. Teplárny v průběhu tohoto roku zjišťovaly, jak se jich tato okolnost dotkne finančně. Následně docházelo k redukci zájmu o materiál a vyjednávání nižších cen. Skokové omezení podpory, popřípadě její zavedení na počátku, do značné míry vyvolalo nestabilitu trhu. Co se týče přínosu a negativ pro lesní ekosystém, negativa budou popsána v kapitole ekologických aspektů. Přínosem je zvýšená čistota a vzhlednost lesů a lepší finanční zabezpečení vlastníků lesa. Ti mohou následně výnos používat ve prospěch pozemků.[16,17]

2.2.2 PELETY

Pelety jsou na opačné straně procesu zpracování dřeva. Vznikají druhotnou úpravou pilin, které jsou odpadem dřevozpracujícího průmyslu. Je několik jakostí pelet, o dané kategorii je ve většině případů rozhodnuto už před vznikem pelety. Pilina bez kůry je materiálem pro peletu jakosti A1, ta znamená nejvyšší jakost. Pilina s kůrou je použita pro jakost A2, popř. B. Pro vyhodnocení reálných možností trhu s peletami je nutné udělat si představu o těžbě dřeva. V ČR je vytěženo 15 mil. m³/ rok dřeva. Na export je expedováno 5 mil. m³. Hrubý roční přírůst je 20 mil. m³. Plocha lesní půdy, díky podpoře zalesňování zemědělské půdy, roste o 2000 ha/ rok. Při zpracování kulatiny na řezivo je jeho výtěžnost 50–60 %, zbylých 40-50% tvoří piliny, kůra, případně štěpka. Při uvažování ročního pořezu 1 mil. m³, je možné vyrobit cca 80 000 tun pelet. Výkonné pily ve světě jsou schopné produkovat objemy pelet odpovídající 500 000 tunám pelet ročně. Ekonomiku je možné počítat z ceny pelet, která se u pelet A1 pohybovala na hodnotě 200 eur/t, v současnosti může být mírně vyšší. A2 okolo 160 eur/t. Uvedené ceny jsou bez DPH a s uvažováním dopravy. Kvalitu A2 je možné na našem území zajistit z východních států. Oproti tomu, drtivá většina pelet, které se na našem území vyrobí v kvalitě A1, jde na vývoz. Poptávka je u našich západních sousedů. [16,17]



Obr. 5 Výroba a spotřeba pelet v ČR v tisících tunách, mezi léty 2003- 2013[17]

Velmi dobrou ekonomiku mají pelety pro středně velké zařízení, kdy lze při srovnatelném komfortu zajistit úsporu na 1 GJ více než 50 % oproti použití zemního plynu či elektřiny. Cena pelet pro větší odběry: 270 Kč/GJ, plyn 600 Kč/GJ. Kotelny jsou téměř vždy automatické. Doprava je zajišťována pomocí nákladních automobilů s cisternami. Cena u těchto dodávek je levná a operativní. V nedávné době vzniklo 6 nových peletáren, které navýšily českou výrobu o 120 tis. tun pelet ročně. Peletárny vyrábí pelety kvality A1. Roční instalace automatizovaných kotlů na pelety v ČR se pohybuje okolo 2000 kusů. Zásahu na tomto stavu mají i rozšířené dotační tituly. Automatické kotle na pelety často nahrazují kotle na uhelná paliva, díky většímu uživatelskému komfortu. [17]

2.3 EKONOMICKÉ DOPADY ŠPATNÉHO VÝVOJE POČASÍ NA VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY

Pokud se zamýšlíme nad využíváním biomasy, většinou nekalkulujeme s extrémními výkyvy počasí. Nicméně se občas vyskytují sezóny s extrémním průběhem počasí. Tyto občasné se vyskytující roční extrémy musíme do našich ekonomických úvah také obsáhnout. Zaměříme se na dvě oblasti.

2.3.1 BIOPLYNOVÉ STANICE

Co se týče bioplynových stanic, ty nejvíce ovlivňuje špatná vegetační sezóna. Ta má přímý vliv na množství vyprodukovaného substrátu. Největší problém nastává v hlavní plodině pěstované pro BPS a tou je kukuřice. Pokud je ve vegetačním období malý srážkový úhrn, můžeme se dostat až na třetinovou úrodu oproti ročnímu průměru. S tímto faktem je nutné počítat při kalkulaci velikosti silážních žlabů, v kterých je substrát konzervován. Vždy je lépe skladovací kapacitu naddimenzovat a osít větší plochu, než by bylo teoreticky nutné k zajištění dostatku materiálu. Pro zajištění nepřetržitého chodu bioplynové stanice, je žádoucí mít rezervu v substrátu.

Druhým nejvýznamnějším faktorem je špatné počasí pro sklizeň. Pokud počasí nedovolí sklízet při ideálním obsahu sušiny sklizené plodiny, vždy dochází k ekonomickým ztrátám.

Další faktorem jsou podmáčené pozemky, které přináší větší náklady na pohonné hmoty, úklid veřejných komunikací, který je nařízen zákonem, a klesá výkon celé linky provádějící sklizeň.

Další negativní vliv je agrotechnický, který bychom zmiňovat nemuseli, nicméně má značný vliv na ekonomiku, tím je utužení půdy. Předcházení utužování půdy má v současné době stále větší význam, protože hmotnosti strojů pohybující se po pozemcích jsou stále vyšší. To sebou samozřejmě přináší snížení výnosu plodiny v dalších ročnících. Řešením je systém CTF, nebo-li trvale stanovené pojezdové dráhy po provozní ploše. Při tomto systému je využíván signál GPS. Tato technologie je velmi mladá a můžeme čekat její další rozšiřování. První podnik v Evropě využívající tuto technologii na celé obhospodařované ploše je Agrovation Kněžmost. Utužování půdy je do značné míry spojeno právě s nadbytkem vody v půdě při sklizni.

2.3.2 TEPLÁRNY

Další subjekt, kterého se s ohledem na ekonomiku využívání biomasy nejvíce dotýká špatný průběh počasí, je teplárna. V první řadě, pokud je deštivý průběh počasí, má tato skutečnost neblahý vliv na vlhkost štěpky, případně slámy a dalších surovin. Tím se zároveň snižuje výhřevnost. Velký problém činí již samotná doprava biomasy. Doprava ve většině případů probíhá po nezpevněných cestách. Ještě větší problém je v případě slámy. Je to z toho důvodu, že musí být slisována a pokud není dokonale suchá, dochází k zaplísnění a pozdější hnilobě balíků. Nejhorší situace byla v roce 2010 na Českomoravské vrchovině a jižní Moravě, kdy prakticky měsíc ležela sláma v rádcích po sklizni a díky neustálým srážkám ji nebylo možné slisovat. Z důvodu neměnícího se počasí byla nakonec lisována mokrá a její kvalita byla prakticky nepoužitelná. Pokud bude teplárna spoléhat pouze na jednu surovinu, mohou mít tyto situace fatální dopad na provoz celého zařízení. V praxi se nejvhodněji jeví kombinace slámy se štěpkou.

3 EKOLOGICKÉ ASPEKTY VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY

Zákon č. 458/2000 Sb. upravuje zdroje, které jsou potenciálně vhodné k energetickým účelům a trvale a samovolně se obnovují přírodními procesy. Tyto zdroje označujeme jako OZE a jsou to: větrná a vodní energie, solární tepelné systémy, fotovoltaické panely, geotermální energie, tepelná čerpadla, teplo ze surovin jinak nevyužitelných, z kompostů, teplo ze spalování bionafty. Je zde také zařazena majoritně energie z biomasy. [21]

Efektem využívání biomasy není pouze zisk energie, i když je to velmi důležité. Důvodem pro její využívání by měl být hlavně ekologický aspekt. Velký význam má zlepšení bilance skleníkových plynů v atmosféře, k čemuž biomasa přispívá. Situace se stále dostatečně nezlepšuje. Problémem je odlesňování velkých území a rozšiřování pouští. Těmto problémům by mohlo pomoci podpoření využívání biomasy. Jakýkoliv kryt povrchu země je žádoucí, neboť chrání půdu. Důležitým prvkem je také zvýšení spotřeby oxidu uhličitého. Nastává zde ovšem rozpor s etickými otázkami. Zda-li si můžeme dovolit využívat půdu k jiným účelům než je obživa obyvatelstva. Osobně bych dal přednost v první řadě zajištění dostatku potravin a biomasu využíval tak, aby nebyla v rozporu s výše zmíněným. S úbytkem vegetace nastává problém zvyšující se koncentrace CO_2 . Přitom skleníkové plyny do značné míry korelují s rozvojem energetiky. Biomasa je považována vzhledem k oxidu uhličitému jako neutrální zdroj energie, což není možné tvrdit o fosilních palivech. Z tohoto důvodu má vegetační pokryvnost na Zemi nezastupitelný význam. Při spalování se uvolní tolik oxidu uhličitého, kolik ho rostliny během růstu přijaly. Nedochází ke vzniku skleníkového efektu a tento udržitelný proces je pro nás výhodný. Jediným problémem mohou být oxidy dusíku. Ty vznikají největší měrou při spalování biomasy se vzdušným kyslíkem za působení vysokých teplot. Z tohoto důvodu je nutné zajistit účinné snižování jejich koncentrace ve spalínách. Při spalování vlhkého dřevěného materiálu může docházet k tzv. dehtování, kdy vzniká dehet. [18,19,22,32]

V celosvětovém úbytku vegetace a rozšiřování pouští je možné vidět paralelu s našimi uhelnými pánvemi, kde dochází k podobným procesům. Veškeré plochy, které potřebují zpětnou obnovu vegetačního krytu, mohou být prostorem pro biomasu. [18]

Základním nástrojem vzniku hmoty rostlinného původu je fotosyntéza. Uhlík se díky ní z atmosféry přesouvá do rostlinných těl a tento děj je velmi potřebný pro celý ekosystém. Pomocí fotosyntézy je vázána sluneční energie, voda a oxid uhličitý a vznikají organické látky. Tato reakce je základní podstatou dějů v přírodě. Rostlinná hmota takto zabudovává velké množství uhlíku, který se opětovně uvolňuje. Spalováním fosilních paliv člověk v současnosti téměř jednorázově vrací obrovské množství uhlíku. Je tedy nutné postarat se o jeho opětovné využití nejlépe vazbou do nové vegetace. [21]

Možností biomasy mohou být i biopaliva, vedle využívání odpadních materiálů. Všechny možnosti jsou cenné a diverzifikace obnovitelných zdrojů je žádoucí. Evropská unie přijala dokument nazvaný Bílá kniha, ve kterém je popsán závazek zvýšit podíl obnovitelné energie od roku 2013 až na 12 %. Intenzivní využívání biomasy má za následek ovlivnění skleníkového efektu, jak již bylo předesláno v úvodu. Tento problém byl řešen i na konferenci v Kyoto, v prosinci 1997. Zde byl závazek snížit množství skleníkových plynů do období let 2008 až 2012 o 8%. V roce 2015 následovaly dohody z Pařížské konference, kde se téměř všechny země světa zavázaly udržet oteplování pod 2°C . [18,20]

Biomasa má ekologický přínos, který je následující: Umožňuje zvýšenou recyklaci hmot a materiálů, což má příznivý vliv nejen na životní prostředí člověka. Pěstováním energetických rostlin na půdě nevhodné k produkci potravin přispívá k údržbě krajiny. Rekultivace původních dolů a lokalit po těžbě rozličných surovin může přispět k zvýšení počtu pracovních míst. Rekultivací dochází také k zlepšení ekologických ukazatelů v krajině. Využíváním lokálních zdrojů se docílí snížení ekologické zátěže při dopravě fosilních paliv ze vzdálených území. [18]



Obr. 6 Rekultivace krušnohorské výsypky [21]

Pro získání energie, kterou požadujeme, je vždy nutné vynaložit určitou energii. Pro to, aby mohla být možná naše existence na této planetě, je nutné, aby poměr získané energie k vložené energii byl větší než 1,0. Vhodná hodnota je 10, částečně vhodná 6. Obrázek č. 7, který následuje po tomto textu, může být vhodný pro základní představu o energetické výnosnosti jednotlivých plodin. Vliv má lokalita, způsob pěstování, klimatické podmínky a mnoho dalších. Je překvapivé, že jsou nejvýhodnější způsoby pěstování se značným podílem ruční práce. Tu je ale obtížné zahrnout do energetické bilance a nepanuje na tom shoda. [22]

Rostlina	Lokalita	EROEI	poznámka
Borovice	USA	16,3	mechanizovaná sklizeň, prořezávky
Borovice	USA	10,4	dtto, včetně dopravy 80 km
Kukuřice	USA	8,4	starověk, žďárové zemědělství, plně ruční pěstování, monokultura
Kukuřice	USA	4,1	středověk, s využitím tažné síly dobytka, monokultura
Kukuřice	USA	2,8	pokročilá mechanizace, hnojiva, postřiky, monokultura
Kukuřice	USA	4,8	pokročilá mechanizace, střídání plodin
Cukrová řepa	UK	14,5	
Obilí	UK	6,7	jen zrno
Kukuřice	UK	11,3	jen zrno
Tritikale	UK	14,1	celé rostliny
Pšenice ozimá	CZ	3,4	jen zrno
Pšenice ozimá	CZ	7,4	celé rostliny
Ječmen jarní	CZ	7,6	celé rostliny
Řepka	DE	7,0	bez podrobnosti
Řepka	CZ	6,7	celé rostliny
Čirok (súdánská tráva)	CZ	14,6	extenzivnější varianta
Čirok (súdánská tráva)	CZ	15,2	intenzivnější varianta
Chřastice rákosovitá	CZ	11,7	extenzivnější varianta
Chřastice rákosovitá	CZ	10,5	intenzivnější varianta

Obr. 7 Poměr získané energie k energii vložené pro různé druhy biomasy [22]

Avšak jedno je jisté, čím je dopravní vzdálenost větší, tím se rapidně snižuje daný koeficient EROEI (koeficient energetické využitelnosti). Při vzdálenosti 80 km je to již o jednu třetinu. V České republice se dopravuje materiál běžně i na větší vzdálenosti. [22]

3.1 VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY VE VZTAHU K LESNÍMU EKOSYSTÉMU

V současnosti ještě není tlak na to, aby byly zakládány lesy pouze k získávání energie, jako se to může postupem času stávat. Fosilních paliv je stále dobrá nabídka. Lidé by si ale měli vážit obnovitelnosti biomasy. Cena, která je placena za paliva neobnovitelná, jako například uhlí, zemní plyn, mazut, je stále dostatečně nízká, aby převážily výhody snadného využívání těchto paliv. Faktem, který hraje určitou roli v neprospěch zakládání lesů, je ten, že les roste desítky let. To je doba, kterou většina investorů nerada akceptuje. Lesy mají daleko více funkcí než je funkce produkční. Proto jejich podpora by měla být celospolečenská. V § 2 Zákona č.289/1995 Sb. o lesích je toto obšírně popsáno. Všechny funkce jsou pro nás lidi cenné. Ať už je to funkce produkční, estetická, ekologická. Les významně zadržuje vodu v krajině, tlumí sílu větru, udržuje určité klima. Biomasa produkovaná lesy je pro nás z tohoto důvodu velmi cenná a je pro nás potřebná. Tyto funkce mohou plnit lesy, které jsou zakládány moudře, ve vztahu k místním podmínkám. Problém, jak jsem nastínil v úvodu tohoto odstavce, je ale téměř žádný zisk v prvních desetiletích lesa. Založit les stojí úsilí, které přenesení užitek nejdříve za čtyřicet let při prvních probírkách. Do té doby se do něho pouze investuje, a pokud je dostatek jiných příležitostí k investicím, podnikatelské subjekty volí raději je. Les je velmi cenný i pro mnoho různých druhů živočichů a má pozitivní vliv na kvalitu půdy, na které roste. U faktoru úrodnosti půdy bych se ještě rád zastavil. S rostoucí cenou za vyprodukovanou biomasu bude stoupat kvalita a intenzita hospodaření. Nesmíme ale dopustit, aby z lesa byla odvážena veškerá hmota, která v něm vyrostla. Pro udržení kvality a úrodnosti půdy a udržení vyrovnané bilance organické hmoty je vhodné ponechávat k zetlení alespoň klest z probírek. V opačném případě může nastat případ, kdy paradoxně využívání biomasy

nebude přírodě prospěšné. Je vhodné, aby se lesní hospodaření, zvláště pak energetické lesy, rozšířilo do rekultivovaných oblastí. Do míst po těžbě nejrozličnějších surovin, obzvláště uhlí. V posledních desetiletích byly vyšlechtěny rychlerostoucí klony domácích i zahraničních dřevin. Díky tomu vznikají energetické plantáže těchto dřevin a je možné je využívat dříve než za běžných 40-80 roků. V porovnání s mnoha tuzemskými tradičními dřevinami jako olše a vrba není rychlost růstu o mnoho větší. Užitečná je však propracovaná metodika pěstování. [20]

Dřeviny vyšlechtěné pro vysokou a brzkou produkci jsou zvláště vhodné pro využívání v energetice. Pro stavitelství a truhlářskou výrobu cenné nejsou, neboť kvalita dřeva, kvůli rychlosti růstu, není vhodná pro tyto účely. Tyto dřeviny mohou být pěstovány rozličným způsobem, například v plantážích nebo pouze jako stromořadí a podobně. Hlavním důvodem je jejich výnosnost ve vztahu k ploše, na které rostou. Je třeba ale také ocenit jejich další funkce stejně jako u lesů nevyužívaných pro energetiku. Proto je z tohoto důvodu nemůžeme přehlížet. Zvláště nás může napadnout jejich vhodnost pro zmíněné rekultivace. Vzhledem k jejich rychlosti růstu jsou velmi vhodným nástrojem pro rychlou regeneraci přírody v těchto lokalitách. Po jejich uchycení bude docházet i k rychlejšímu rozšíření živočichů. [20]

3.2 VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY VE VZTAHU K ORNÉ PŮDĚ

V poslední době je u orné půdy situace podobná jako u lesů. Vývoj zde jde ještě rychlejším tempem. Vede se mnoho diskuzí o efektivnosti využívání zemědělské půdy k energetickým účelům a vhodnosti vůbec. Málokoho ale napadne, že ještě v nedávné historii byla téměř třetina výměry zemědělské půdy využita pro pěstování krmiva pro koně. Ti sloužili jako tažný prostředek v zemědělské výrobě. Největší spektrum biomasy je možné využívat v bioplynových stanicích, které zažívají velkou oblibu a rozvoj. V těchto zařízeních je možné využít biologický odpad, kde můžeme z 1 tuny této hmoty získat 340 kWh, z 1 tuny močůvky 60 kWh, z 1 tuny trávy 320 kWh elektrické energie. Za pozornost stojí rostlinná biomasa, neboť má jednu z málo doceněných vlastností a tou je produkce kyslíku. [20]

Z etických důvodů je vhodné k energetickým účelům využívat půdu nevhodnou k výrobě potravin. Zemědělská půda v marginálních oblastech je často jen udržována díky dotační podpoře. Díky tomu by ji bylo možné využít k produkci energie. Tak by přinášela užitek i společnosti a nebyla by pouze dotována. Velkou výhodou energetického využívání půdy zajisté je možnost pěstovat rostliny i na půdách kontaminovaných nebezpečnými a cizorodými látkami. Tyto půdy by nebylo možné využít pro produkci potravin. Tímto způsobem by docházelo k postupné rekultivaci a revitalizaci půd a v dlouhodobém horizontu by se mohly vrátit produkci potravin. S úbytkem zemědělské půdy, díky nové zástavbě a využívání k účelům energetiky, dojde zřejmě podobně jako v lesnictví ke zvýšení efektivity hospodaření. To už je možné v současnosti pozorovat. Stejně jako v lesnickém hospodaření je ale nutné mít na paměti úrodnost půdy, bilanci organické hmoty a celkový mikrobiální život půd. Pokud budeme v bioplynových stanicích zpracovávat siláž z celých rostlin a v dalším hospodářském roce odvezeme slámu ze sklizně do spalovny, nebude to zajisté vhodné. I takový způsob hospodaření je možné vidět a pak jsou na místě námitky, které na toto upozorňují. [23]

3.3 SPALOVÁNÍ BIOMASY

Na naší planetě je mnoho ekologických problémů, jako například skleníkový efekt, globální oteplování a klimatické změny. Přibývá, dle pozorování klimatologů, řada extrémních projevů počasí. Nejhorší scénáře vývoje klimatu počítají také s táním ledovců v Arktidě a s tím spojeným zaplavením části území přímořských a ostrovních států. Díky tomu by nastalo stěhování mnoha miliónů obyvatel těchto území. Problému může napomáhat zvyšující se koncentrace oxidu uhličitého po spalování fosilních paliv a také zvyšující se koncentrace dalších plynů (metanu, oxidu dusného, freonů). Ty v atmosféře zamezují návratu nahromaděného tepla ze zeměkoule zpět a následkem je oteplování. Fosilní paliva mají na tomto jevu velký podíl a je zde oprávněná snaha jejich náhrady obnovitelnými zdroji energie. Spalování fosilních paliv je možné úspěšně nahradit spalováním přírodního materiálu. Spalováním biomasy dochází k uvolnění takového množství oxidu uhličitého, kolik ho rostlina přijala v době svého růstu a z hlediska ekologických požadavků je využívání díky tomuto jevu velmi žádoucí. [23]

Další velkou výhodou využívání biomasy ke spalování je minimální obsah síry a tedy minimální emise oxidů síry. Co se týče ostatních škodlivin i zde je zastoupení vhodnější než u fosilních paliv. Velkou výhodou, která se netýká přímo ekologie, ale i přesto má vliv na dopravu, je v případě biomasy využívání materiálu vzniklého častokrát v místě spotřeby nebo v blízkém okolí. To má příznivý vliv na celou společnost. Pokud by se materiál dopravoval na velké vzdálenosti, tato výhoda by se vytratila. V neposlední řadě je dobré zmínit příznivé obsahy živin v popelu vzniklém spálením biomasy. Ten může být vhodným hnojivem v zemědělství. [23]



Obr. 8 Linka na spalování balíku lisované slámy [24]

Biomasa, jak bylo zmíněno výše, velmi často produkuje nízké hodnoty emisních plynů. Pokud je teplota plamene mezi 900 až 1100 °C a pokud je dostatečný přívod spalovacího vzduchu s přebytkem kyslíku, emise oxidu uhelnatého mohou být redukovány na minimum. Velmi vhodné je v tomto případě zařazení dostatečného dohořivacího prostoru. Emise oxidů síry jsou velmi nízké díky minimálnímu obsahu síry. Drobný problém může nastat při spalování slámy obilovin, které byly intenzivně hnojeny sírou. Pro emise oxidů dusíku je podstatné nepřekročit teplotu cca 1200 °C. NO_x jsou velmi často na poloviční hodnotě oproti fosilním palivům. Opět ale nastává situace se spalováním paliv s vysokým obsahem dusíku. V současném zemědělství je vedeno intenzivní hospodaření, a pokud dochází k vysokému hnojení minerálním dusíkem, může nastat také problém s emisemi. Příkladem může být seno z mladé trávy. Dusík se hromadí v nejmladších částech rostlin, případně zásobních orgánech. Právě zde může být problém s emisemi NO_x. Palivo hnojené umělými hnojivy může emitovat emise chlorovodíku. Náhrada uhlí biomasou je hodnocena velmi kladně snížením emisí těžkých kovů. Nečekaný problém může nastat při interpretaci výsledků měření polychlorovaných dibenzodioxinů a dibenzofuranů. Ve spalinách biomasy mohou být zjištěny hodnoty 40x a více vyšší než limity pro spalovny odpadů. Tento problém se stal dočasnou překážkou při výstavbě biotepláren v okrese Jeseník a zpomalil zájem o kotle pro rodinné domky. To byl výsledek prvních měření PCDD/F v České republice a odlišuje se od stovek obdobných měření ze zahraničí. Je vhodné se zmínit o těchto záležitostech, aby veřejnost, případně všichni kdo se danou problematikou zabývají, mohli dané výstupy z měření dohledat. Řada měření se zabývala porovnáním emisí biomasy s uhlím. Biomasa měla výsledky lepší. V odborném prostředí panuje názor ohledně snížení emisí oxidu uhličitého o 1000 megatun za rok. K tomu by došlo v případě rapidního navýšení podílu biomasy v energetickém sektoru. [23,25,26]

3.4 EKOLOGICKÁ PROBLEMATIKA PŘEPRAVY

Velkým problémem využívání různých zdrojů, nejedná se jen o zdroje energetické, je přeprava. Pokud není přepravován materiál, který má koncentrovanou energii jako pelety nebo brikety, je ekologická zátěž značná. Při plánování využívání biomasy je vždy důležité myslet na to, aby oblast výroby byla co nejbližší místu konečného zpracování. Pokud je dopravována např. kukuřice z pole sousedícího s bioplynovou stanicí nebo dřevní štěpka do blízké spalovny, ekologická zátěž je minimální. Často ale nastanou problémy s počasím a kukuřice je nakupována a dopravována nezřídka z místa vzdáleného 50 km, aby nebylo nutné BPS odstavit. Dlouhá vzdálenost dopravy s sebou samozřejmě nese i problémy ekonomické. Na ekologickou problematiku přepravy jsou navázána technická řešení, která se daný problém snaží mírnit. Zajímavé řešení se nachází ve velké Británii:

V Pollingtonu, poblíž Leedsu, došlo k výstavbě spalovny o velké kapacitě a ta dopomohla k úvahám o znovu zavedení místní technické památky. Správa vodních cest a kanálů ve Velké Británii má na starosti 2200 mil říčních koryt, které jsou vhodné ke splavování. V současné době jsou využívány pro rodinné vyjíždky a rybaření. V tomto zmíněném případě však došlo k serióznímu úsilí vrátit kanál, vedoucí poblíž spalovny, do provozu. [27]



Obr. 9 Umělý vodní kanál v Británii, poblíž města Conwy, využívaný ke splavování dřeva [27]

V období nejintenzivnějšího splavování řek v okolí Leedsu a kanálech Temže bylo tímto způsobem přepravováno 40 milionů tun zboží ročně. V době průmyslové revoluce došlo k velkému omezení tohoto způsobu dopravy. Spalování biomasy by mělo dopomoci k výrobě 15 % energie do roku 2020 z obnovitelných zdrojů energie. Největší zátěž pro životní prostředí však působí přeprava hmoty do areálu spalovny. Právě zde je prostor pro nové nápady ohledně splavňování řek. Zmíněné problematiky se ve Velké Británii ujala společnost Dalkia, která zkušebně začala provozovat kanál Aire a Calder v návaznosti na místní elektrárnu. Projekt se ujal, důvodem byla hlavně dobrá ekonomika, a tak se začalo uvažovat o spuštění kanálu pro spalovnu v Pollingtonu. Jejím cílem je dodávat teplo pro 60 000 domů, a proto bude třeba 360 000 tun topiva ročně. [27]

Na našem území je podobná technická památka, která ve své době snesla jen obtížné srovnání, a tou je Schwarzenberský kanál. Ten měl za úkol dopravovat dříví ze Šumavy až do Vídně. Dalším prostředkem splavování dřeva v Českých zemích byly vory. Jistě tyto způsoby dopravy jsou dnes zastaralé, ale mohly by nás ve vhodných lokalitách inspirovat k novým technickým řešením.

3.5 ZPRACOVÁNÍ KOMUNÁLNÍHO BIOODPADU

Bioodpad se dnes člení na dva druhy určené pro zpracování. Prvním je bioodpad, který je součástí komunálního odpadu a druhý typ tvoří odpady z rostlinné a živočišné výroby. Bioodpady jsou dnes nejčastěji likvidovány skládkováním nebo spalováním. Skládkování je nejméně vhodný způsob likvidace bioodpadu, neboť dochází ke ztrátě dnes tolik potřebné

organické hmoty. Tu by bylo velmi vhodné využít pro zemědělskou půdu. Problémem jsou také úniky škodlivých plynů ze skládek do životního prostředí. K únikům dochází díky biochemickým reakcím, které nejsou kontrolovány. Výsledkem jsou skleníkové plyny, zápach a častokrát znečištění vod organickými látkami. Biochemické reakce začínají probíhat ihned po uložení odpadů na skládce a tyto reakce by bylo možné daleko lépe využít. [28]

Takové využití pro bioodpad se naskytá v BPS. V ČR funguje dosud jen několik stanic. Tyto stanice využívají bioodpad, který se označuje jako biologicky rozložitelný, neboli BRO. V těchto BPS je možné zpracovat také komunální odpady. Potenciální produkce BRO je značná. Odhady mluví až o stovkách tisíc tun materiálu, který by se dal takto využívat. To, že se tak dosud neděje, přináší ekologické a také ekonomické ztráty. Do této kategorie odpadu je možné zahrnout trávy z údržby veřejné zeleně, kuchyňské odpady z restaurací a jídelen, separovaný biologický odpad, který byl součástí směšného odpadu. Dalších zdrojů se naskytá celá řada. [29]

Položka	Jednotka	ČOV komunální	ČOV průmyslové	BPS zemědělské	BPS odpady	Skládky	Celkem
Dostupný potenciál:							
produkce bioplynu	mil. m ³	69	7	485*	140*	69	780
produkce el. energie	GWh	89	7	753	218	100	1167
produkce tepla	TJ	870	110	2900	847	94	4821
počet zařízení	ks	110	27	365	125	60	687
Rok 2007 – skutečnost							
produkce bioplynu	mil. m ³	54,4	3,2	19,9	6,6	65,1	150,5
produkce el. energie	GWh	70,9	3,3	30,9	10,3	97,8	215,2
produkce tepla	TJ	695,6	53,5	119,8	39,9	92	1009,2
počet zařízení	ks	96	13	15	6	57	187
Rok 2009 (odhad)							
produkce bioplynu	mil. m ³	55,0	3,9	79,6	7,7	67,4	213,6
produkce el. energie	GWh	71,6	4,1	124,1	12,0	101,2	313
produkce tepla	TJ	702,7	65,8	454,0	46,5	95,2	1364,2
počet zařízení	ks	97	16	125	7	59	304

Obr. 10 Dostupný potenciál zemědělských a odpadových BPS [30]

Bioplynové stanice na zpracování průmyslového odpadu slouží pro ekologické zpracování a zneškodňování odpadů III. kategorie. Pod tuto kategorii můžeme zařadit odpady z jatek a živočišné výroby, dále odpady z potravinářského průmyslu a další. [31]

4 NÁVRH KONDENZAČNÍHO VÝMĚNÍKU

Pro návrh kondenzačního výměníku jsem zvolil kotel Gunmatic powerchip G50. Tento kotel jsem po delším rozvažování zvolil z důvodu většího množství potřebných údajů a dobré komunikaci s prodejcem. Údaje od prodejce a ze zdrojů [32],[33]: Maximální výkon kotle je 50 kW pro dřevní štěpku a maximální účinnost 94%, se spotřebou 12 kg/h štěpky při 25% vlhkosti. Průtok vody kotlem je 2500 l/h, teplotní difference 15 °C, provozní tlak max. 3 bary. Teplota vratné vody do kotle by měla být větší než 40 °C, ve výpočtech bude uvažována teplota 42 °C. Teplotu spalin z kotle budu uvažovat 120 °C. Jako palivo bude použita dřevní štěpka z jehličnatého dřeva (smrk). Pro výpočty množství vzduchu budu používat hodnoty pro jehličnaté dřevo, z důvodu dostupnějších dat.



Obr. 11 Kotel Gunmatic Powerchip G50[33]

4.1 VÝPOČET MNOŽSTVÍ VZDUCHU

V této kapitole jsem čerpal z literatury: [35],[36],[37],[38],[40]

Vlhkost štěpky pro výpočet budu uvažovat 25%.

Budu vycházet ze členění na tyto základní tři stavy dříví :

- 1) čerstvá dřevní hmota (50-60% vlhkosti)
- 2) dřevo na vzduchu (20-30%)
- 3) dřevo vyschlé (15 a méně % vlhkosti)

Výhřevnost paliv	MJ/kg
Dřevo surové – 50% vody	8,2
Dřevo suché – 25% vody	13,5
Dřevo bez vody	19,2 (přibližně spalné teplo)
Sláma suchá při sklizni	14,5 (16% vody)
Hnědé uhlí	12-15 (mostecké i 16)
Brikety hnědouhelné	do 20 (pojivo = dehet)
Černé uhlí	25 (antracit 30)
Koks	do 29
Topná nafta	42,9
LTO, TTO	40,9 (nutno předehřívat)
Zemní plyn - m ³	do 36

Tab. 1 Výhřevnost nejběžnějších paliv [36]

$$h + A^r + W^r = 100\%$$

$$74\% + 1\% + 25\% = 100\%$$

Prvkový obsah hořlaviny budu uvažovat: C=51 %, H=6,2%, O=42,2%, N=0,6%, S=0%=100%

Prvkový obsah 1 kg paliva: C^r=37,7%, H^r=4,6%, O^r=31,2%, N^r=0,4%

Určení minimálního množství suchého vzduchu $\dot{V}_{\text{VZD}}^S_{\text{min.}}$.

$$\dot{V}_{\text{VZD}}^S_{\text{min}} = \frac{22,39}{21} \cdot \left(\frac{C^r}{12,01} + \frac{H^r}{4,032} - \frac{O^r}{32} \right) = \frac{22,39}{21} \cdot \left(\frac{37,7}{12,01} + \frac{4,6}{4,032} - \frac{31,2}{32} \right) = 3,5236 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1}_{\text{pal}}$$

(4.1)

Minimální množství vlhkého vzduchu $\dot{V}_{VZD}^V$ min

$$\dot{V}_{VZD}^V \nu_{\min} = f \cdot \dot{V}_{VZD}^V s_{\min} = 1,04 \cdot 3,5236 = 3,6646 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}} \quad (4.2)$$

$f=1,04$ zohledňuje objem vodní páry ve vlhkém vzduchu podle [36]

Určení skutečného množství vlhkého vzduchu $\dot{V}_{VZD}^V$ s přebytkem vzduchu, zvoleno $\alpha=1,3$

$$\dot{V}_{VZD}^V = \alpha \cdot \dot{V}_{VZD}^V \nu_{\min} = 1,3 \cdot 3,6646 = 4,7640 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}} \quad (4.3)$$

4.2 VÝPOČET MNOŽSTVÍ SPALIN

V této kapitole jsem čerpal z literatury: [39],[40],[41],[38],[43],[44],[45]

Následujícím krokem je výpočet objemů jednotlivých složek vzniklých spálením štěpky s vypočítaným množstvím vzduchu. Objemový tok štěpky předpokládám $12 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$.

Celkové množství vlhkých spalin $\dot{V}_{SPAL}^V$ je dáno vztahem (4.4)

$$\begin{aligned} \dot{V}_{SPAL}^V &= \dot{V}_{SPAL}^S + \dot{V}_{H_2O} = 4,3233 + 1,0095 = 5,3328 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}} \\ \dot{V}_{SPAL}^V &= 5,3328 \cdot 12 = 63,9936 \text{ Nm}^3 \text{h}^{-1} \end{aligned} \quad (4.4)$$

$\dot{V}_{SPAL}^S$ = teoretické množství suchých spalin při $\alpha=1$ podle (4.5)

$\dot{V}_{H_2O}$ = množství vodní páry ve spalinách podle (4.11)

$$\dot{V}_{SPAL}^S = \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar} = 0,7051 + 3,5761 + 0,0421 = 4,3233 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}}$$

$$\dot{V}_{SPAL}^S = 4,3233 \cdot 12 = 41,8796 \text{ Nm}^3 \text{h}^{-1} \quad (4.5)$$

$$\dot{V}_{CO_2} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{C^r}{12} + 1,3 \cdot (0,0003 \cdot \dot{V}_{VZD}^V s_{\min}) = 0,7051 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}}$$

$$\dot{V}_{CO_2} = 0,7051 \cdot 12 = 8,4613 \text{ Nm}^3 \text{h}^{-1} \quad (4.6)$$

$$\dot{V}_{N_2} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{N^r}{28} + 1,3 \cdot (0,78 \cdot \dot{V}_{VZD}^V s_{\min}) = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{0,4}{28} + 1,3 \cdot (0,78 \cdot 3,5236) = 3,5761 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}}$$

$$\dot{V}_{N_2} = 3,5761 \cdot 12 = 42,9132 \text{ Nm}^3 \text{h}^{-1} \quad (4.7)$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \dot{V}_H + \dot{V}_W + \dot{V}_V = 0,5152 + 0,3111 + 0,1832 = 1,0095 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}}$$

$$\dot{V}_H = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{H^r}{4} = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{4,6}{4} = 0,5152 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}} \quad (4.8)$$

$$\dot{V}_W = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{W^r}{18} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{25}{18} = 0,3111 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}} \quad (4.9)$$

$$\dot{V}_V = \alpha \cdot (f - 1) \cdot \dot{V}_{\text{VZD}} s_{\text{min}} = 1,3 \cdot (1,04 - 1) \cdot 3,5236 = 0,1832 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}} \quad (4.10)$$

$$\dot{V}_{\text{H}_2\text{O}} = 1,0095 \cdot 12 = 12,114 \text{ Nm}^3 \text{h}^{-1} \quad (4.11)$$

$$\dot{V}_{\text{Ar}} = 1,3 \cdot (0,0092 \cdot \dot{V}_{\text{VZD}} s_{\text{min}}) = 1,3 \cdot (0,0092 \cdot 3,5236) = 0,0421 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}}$$

$$\dot{V}_{\text{Ar}} = 0,0421 \cdot 12 = 0,5057 \text{ Nm}^3 \text{h}^{-1} \quad (4.12)$$

Stanovení objemových částí tříatomových plynů r_{SP}

$$r_{\text{SP}} = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,1259 + 0,1926 = 0,3185 [-] \quad (4.13)$$

$$r_{\text{RO}_2} = \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2} + \dot{V}_{\text{SO}_2}}{\dot{V}_{\text{SPAL}}^V} = \frac{0,7037 + 0}{5,5902} = 0,1259 [-] \quad (4.14)$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\dot{V}_{\text{H}_2\text{O}}^r}{\dot{V}_{\text{SPAL}}^V} = \frac{2,444}{5,5902} = 0,288 [-] \quad (4.15)$$

$$\dot{V}_{\text{H}_2\text{O}}^r = \dot{V}_{\text{H}_2\text{O}} + (f - 1) \cdot (\alpha - 1) \cdot \dot{V}_{\text{SPAL}}^V = 1,0766 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{\text{pal}} \quad (4.16)$$

Stanovení koncentrace popílku ve spalinách μ

$$\mu = \frac{10A^r}{\dot{V}_{\text{SPAL}}^V} \cdot \frac{x_p}{100} = \frac{10 \cdot 1}{5,5614} \cdot \frac{80}{100} = 1,4385 \text{ gNm}^{-3}$$

x_p = procento popílku v úletu, zvoleno 0,8 podle

4.3 VÝPOČET KONDENZACE A ROSNÉHO BODU

V této kapitole jsem vycházel z literatury: [41], [42], [43]

Tato část výpočtu je směřována k určení výkonu, který odebereme spalinám a dodáme chladicímu médiumu.

$$\omega = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_{\text{SPAL}}^V} \quad (4.17)$$

$$p_p = \omega \cdot p_{\text{spal}} \quad (4.18)$$

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho \quad (4.19)$$

Při použití vztahů 4.17-4.19 pro výpočet objemového zlomku, parciálního tlaku a hmotnostního toku pro všechny čtyři zásadní složky spalín, získáme tabulku:

	CO ₂	N ₂	H ₂ O
Objemový zlomek ω [Nm ³ /Nm ³ spal]	0,1322	0,6706	0,1893
Tlak spalín p_{spal} [Pa]	92412		
Parciální tlaky p_p [Pa]	12216,8664	61971,4872	17493,5916
Hustota složek ρ [kg/Nm ³]	1,976	1,25	0,804
Objemový tok složek spalín $\dot{V}$ [Nm ³ /s]	0,002350	0,01192	0,003365
Hmotnostní tok složek spalín $\dot{m}$ [kg/s]	0,004645	0,0149	0,002705

Tab. 2 Parciální tlaky a hmotnostní toky složek spalín při 25% vlhkosti

Doplňkové údaje pro Ar:

Objemový zlomek Ar= 0,0079, Parciální tlak Ar= 730,0548Pa, Objemový tok Ar= 0,0001405 Nm³/s, hmotnostní tok Ar= 0,0002505 kg/s, Hustota Ar=1,783

Parciální tlaky odpovídají teplotě 120 °C

	CO ₂	N ₂	H ₂ O
Hmotnostní tok složek spalín $\dot{m}$ [kg/s]	0,004645	0,0149	0,002705
Hmotnostní tok vlh. spalín $\dot{m}_{\text{spal}}^v$ [kg/s]	0,02250		
Hmotnostní zlomek vlh. spalín w^v [kg/kg _{spal}]	0,2064	0,6622	0,1202
Hm. tok suchých spalín $\dot{m}_{\text{spal}}^s$ [kg/s]	0,01979		
Hm. zlomek such. spalín w^s [kg/kg _{spal}]	0,2347	0,7529	

Tab. 3 Hmotnostní toky a hmotnostní zlomky složek spalín při 25 % vlhkosti

Doplňkové údaje pro Ar:

Hmotnostní zlomek Ar ve vlhkých spalínách=0,0111 kg/kg_{spal}, hmotnostní zlomek Ar v suchých spalínách=0,01266 kg/kg_{spal}

Z předchozích výpočtů jsme zjistili dva důležité údaje o spalínách vstupujících do kondenzátoru, které nám poslouží pro následující výpočet a to: měrnou vlhkost vody a parciální tlak vodní páry ve spalínách. Obě hodnoty jsou při teplotě 120 °C. Nyní následuje výpočet tlaku nasycených par.

$$p_p'' = \exp\left(\frac{-0,58002206 \cdot 10^4}{(t_{spal_{in}} + 273,15)} + 1,3915 - 0,0486 \cdot (t_{spal_{in}} + 273,15) + 0,4176 \cdot 10^{-4} \cdot (t_{spal_{in}} + 273,15)^2 - 0,1445 \cdot 10^{-7} \cdot (t_{spal_{in}} + 273,15)^3 + 6,546 \cdot \ln(t_{spal_{in}} + 273,15)\right)$$

$$p_p'' = \exp\left(\frac{-0,58002206 \cdot 10^4}{(120 + 273,15)} + 1,3915 - 0,0486 \cdot (120 + 273,15) + 0,4176 \cdot 10^{-4} \cdot (120 + 273,15)^2 - 0,1445 \cdot 10^{-7} \cdot (120 + 273,15)^3 + 6,546 \cdot \ln(120 + 273,15)\right)$$

$$p_p'' = 198685 Pa$$

Z podílu sytých par a parciálního tlaku vodní páry vypočítáme relativní vlhkost spalín.

$$\varphi = \frac{p_p}{p_p''}$$

$$\varphi = \frac{17493,5916}{198685} = 0,0880 = 8,8\%$$

Určení teploty rosného bodu:

$$t_{ros} = \frac{4044,2}{23,58 - \ln(p_p)} - 235,6$$

$$t_{ros} = \frac{4044,2}{23,58 - \ln(17493,5916)} - 235,6 = 57,237^\circ C$$

Výpočet hmotnostních toků vodní páry:

$$t_{spal_{out}} = 50^{\circ}C$$

$$p_p = 12351 Pa$$

$$p_p = \omega_{H_2O} \cdot p_{spal} \Rightarrow \omega_{H_2O} = \frac{p_p}{p_{spal}}$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{p_p}{p_{spal}} = \frac{12351}{92412} = 0,13365$$

$$\dot{m}_{H_2O} = ?$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}; \omega_{H_2O} = \frac{\dot{V}_{H_2O}}{\dot{V}}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \dot{V} - (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2})$$

$$\omega_{H_2O} = 1 - \frac{\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}}{\dot{V}_{H_2O} + \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}}$$

$$\omega_{H_2O} \cdot (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}) + \omega_{H_2O} \cdot \dot{V}_{H_2O} = \dot{V}_{H_2O} + \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar} - \dot{V}_{CO_2} - \dot{V}_{N_2} - \dot{V}_{Ar}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\omega_{H_2O} \cdot (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar})}{(1 - \omega_{H_2O})} = \frac{0,13365 \cdot (0,002350 + 0,01192 + 0,0001405)}{(1 - 0,13365)} = 0,002223 \frac{Nm^3}{s}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \dot{V}_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} = 0,002223 \cdot 0,804 = 0,001787 \frac{kg}{s}$$

Rozdílem hmotnostního toku vodní páry na vstupu a výstupu dostaneme hmotnostní tok vody ve spalínách, která již není ve formě vodní páry.

$$\dot{m}_{zk} = \dot{m}_{H_2O(120^{\circ}C)} - \dot{m}_{H_2O(50^{\circ}C)} = (0,002705 - 0,001787) = 0,000918 kg \cdot s^{-1}$$

$$\eta_{zk} = \frac{\dot{m}_{zk}}{\dot{m}_{H_2O(120^{\circ}C)}} = \frac{0,000918}{0,002705} = 0,3393 \Rightarrow 33,94\%$$

Při teplotě spalín 50 °C zkondenzuje 33,94% vodní páry ve spalínách.

4.4 VÝPOČET VÝKONU KONDENZAČNÍHO VÝMĚNÍKU

V této kapitole jsem vycházel z literatury: [38], [41], [42], [43], [44]

Nyní je již zřejmé, jaké množství vody ve spalínách zkondenzuje a můžeme přikročit k výpočtu výkonu.

	CO2	N2	H2O
Objemový tok složek spalin $\dot{V}[\text{Nm}^3/\text{s}]$	0,002350	0,01192	0,002223
Objemový zlomek $\omega[\text{Nm}^3/\text{Nm}^3_{\text{spal}}]$	0,14127	0,71660	0,1336
Složková hustota spalin $[\text{kg}/\text{Nm}^3]$	1,976	1,25	0,804
Hustota spalin $[\text{kg}/\text{Nm}^3]$	1,2974		

Tab. 4 Hodnoty spalin na vstupu

Doplňkové údaje pro Ar: Objemový tok Ar= 0,0001405 Nm³/s, Objemový zlomek Ar=0,00845, Složková hustota Ar= 1,783 kg/Nm³

	CO2	N2	H2O
Hmotnostní tok $\dot{m}_{\text{spal}}^V[\text{kg}/\text{kg}_{\text{spal}}]$	0,004644	0,0149	0,001787
Hmotnostní zlomek spalin $\omega[\text{kg}/\text{kg}_{\text{spal}}]$	0,2152	0,6905	0,0828
Složková měrná tepelná kapacita $c_p[\text{kJ}/\text{kgK}]$	0,83769	1,0365	1,84
Měrná tepelná kapacita spalin $c_{p,\text{spal}}[\text{kJ}/\text{kgK}]$	1,054398		

Tab. 5 Hodnoty spalin na výstupu

Doplňkové údaje pro Ar: hmotnostní tok Ar=0,0002505 kg/kg_{spal}, Hmotnostní zlomek Ar=0,01161, Složková měrná tepelná kapacita Ar= 0,523 kJ/kgK

$$\dot{m}_{\text{spal}}^{\text{vstup}} = 0,02250 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}, c_{p_{\text{spal}}}^{\text{vstup}} = 1,11595 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, t_{\text{spal}}^{\text{vstup}} = 120^\circ\text{C}, w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vstup}} = 0,1202$$

$$\dot{m}_{\text{spal}}^{\text{výstup}} = 0,02158 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}, c_{p_{\text{spal}}}^{\text{výstup}} = 1,0426 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, t_{\text{spal}}^{\text{výstup}} = 50^\circ\text{C}, w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{výstup}} = 0,0828$$

$$l_v = 2257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\dot{i}_{\text{spal}}^{\text{vstup}} = c_{p_{\text{spal}}}^{\text{vstup}} \cdot t_{\text{spal}}^{\text{vstup}} + w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vstup}} \cdot l_v$$

$$\dot{i}_{\text{spal}}^{\text{vstup}} = 1,11595 \cdot 120 + 0,1202 \cdot 2257 = 405,2054 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\dot{i}_{\text{spal}}^{\text{výstup}} = c_{p_{\text{spal}}}^{\text{výstup}} \cdot t_{\text{spal}}^{\text{výstup}} + w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{výstup}} \cdot l_v$$

$$\dot{i}_{\text{spal}}^{\text{výstup}} = 1,0426 \cdot 50 + 0,0828 \cdot 2257 = 239,0096 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$P_k = \dot{m}_{\text{spal}}^{\text{vstup}} \cdot \dot{i}_{\text{spal}}^{\text{vstup}} - \dot{m}_{\text{spal}}^{\text{výstup}} \cdot \dot{i}_{\text{spal}}^{\text{výstup}}$$

$$P_{k,25\%} = 0,02250 \cdot 405,2054 - 0,02158 \cdot 239,0096 = 3,9593 \text{ kW}$$

4.5 VÝPOČET KONSTRUKCE KONDENZAČNÍHO VÝMĚNÍKU

V této kapitole jsem vycházel z [32],[33],[34],[38],[39],[40],[41],[42],[43],[44],[45]

Ve výpočtech budu počítat výměník pro vlhkost paliva 25%. Jedná se tedy o již částečně vyschlou štěpku. Pokud by bylo spalováno palivo o vyšší vlhkosti, instalovaný výměník by musel být dimenzován na tuto vlhkost. Kondenzační výměník budu uvažovat jako trubkový se segmentovými přepážkami. Pokud bych uvažoval výměník bez přepážek, prodloužila by se tím jeho výsledná délka.

Určení výstupní teploty chladicí vody:

$$P_k = 3,9593 \text{ kW}, t_v^{\text{vstup}} = 42^\circ\text{C}, \dot{m}_v = 0,6944 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}, c_{p_v} = 4,179 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, t_v^{\text{výstup}} = ?$$

$$P_k = \dot{m}_v \cdot c_{p_v} \cdot (t_v^{\text{výstup}} - t_v^{\text{vstup}})$$

$$t_v^{\text{výstup}} = t_v^{\text{vstup}} + \frac{P_k}{\dot{m}_v \cdot c_{p_v}} = 42 + \frac{3,9593}{0,6944 \cdot 4,179} = 43,364^\circ\text{C}$$

Voda vracející se ze systému se ohřeje o $1,364^\circ\text{C}$. Tato voda může jít dále do kotle, kde bude znovu ohřáta a bude pokračovat dále do topného okruhu. Teplo na ohřátí vody o tuto vypočítanou hodnotu nemusí již dodat kotel, ale je získáno z kondenzace vodní páry ve spalinách.

Stanovení středních teplot médií:

voda:

$$t_v^{\text{stř}} = \frac{t_v^{\text{vstup}} + t_v^{\text{výstup}}}{2} = \frac{42 + 43,364}{2} = 42,682^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_v = 0,6944 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

spaliny:

$$t_{sp}^{\text{stř}} = \frac{t_{sp}^{\text{vstup}} + t_{sp}^{\text{výstup}}}{2} = \frac{120 + 50}{2} = 85^\circ\text{C}$$

Rovnice pro přestup tepla:

$$P_v = \dot{m}_v \cdot c_{p_v, \text{stř}} \cdot (t_{12} - t_{11}) = \dot{m}_p \cdot (I_{sp}^{120} - I_{sp}^{50}) = k \cdot S \cdot \Delta t_{LN} = k \cdot O_{cel} \cdot L \cdot \Delta t_{LN} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L = \frac{P_v}{k \cdot O_{cel} \cdot \Delta t_{LN}} [m]$$

k - součinitel prostupu tepla [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

S - výhřevná plocha, ta je neznámá, ale později bude určen obvod žárových trubek a neznámá bude pouze délka trubek.

Δt_{LN} - střední logaritmický spád

Určení počtu trubek výměníku:

Stanovení proběhne z rovnice kontinuity, optimální rychlost spalin w_{sp}^{op} volím 9 ms^{-1} . Na výměník použiji typ trubek s vnějším průměrem 20 mm s tloušťkou stěny 2 mm.

$$V_{sp}^s = V_{sp}^v \cdot \frac{273,15 + t_{stř}}{273,15} = 0,0178 \cdot \frac{273,15 + 85}{273,15} = 0,0233 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$V_{sp}^{sk} = w_{sp}^{op} \cdot S_{cel}^{op} = w_{sp}^{op} \cdot z^{op} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow z^{op} = \frac{4 \cdot V_{sp}^s}{w_{sp}^{op} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,0233}{9 \cdot \pi \cdot 0,016^2} = 12,88$$

Zaokrouhluji na celé číslo, tedy 13 trubek. Dále následuje výpočet skutečné rychlosti spalin.

$$w_{sp}^s = \frac{V_{sp}^s}{S_{cel}^s} = \frac{V_{sp}^s}{z \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{0,0233}{13 \cdot \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4}} = 8,9135 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Nyní pokračujeme výpočtem celkového obvodu trubek.

$$O_{cel} = z \cdot O_1 = z \cdot \pi \cdot d = 13 \cdot \pi \cdot 0,016 = 0,65345 \text{ m}$$

Pro výměník budu uvažovat počet křížení větší jak 4, z toho důvodu se bude součitel ϕ blížit 1, proto budu počítat výměník jako protiproudý.

Střední logaritmický teplotní spád:

$$\Delta t_{LN} = \frac{\Delta t_H - \Delta t_s}{\ln \frac{\Delta t_H}{\Delta t_s}} = \frac{76,636 - 8}{\ln \frac{76,636}{8}} = 30,375^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_s = t_{sp}^{výstup} - t_v^{vstup} = 50 - 42 = 8^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_H = t_{sp}^{vstup} - t_v^{výstup} = 120 - 43,364 = 76,636^\circ \text{C}$$

Součinitel prostupu tepla:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_z}{\lambda_z} + \frac{\delta_M}{\lambda_M} + \frac{\delta_K}{\lambda_K} + \frac{1}{\alpha_2}} \left[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \right]$$

$$k = \frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \cdot \alpha_1} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Pro můj případ bude použito vzorce, neboť se jedná o kotel menšího výkonu:

$$k = \psi \cdot \alpha [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \Rightarrow \\ \Rightarrow k = 0,77 \cdot 464,324 = 357,529 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

ψ - součinitel tepelné vodivosti, volím 0,77

α - součinitel přestupu tepla, je počítán v následujícím výpočtu

Součinitel přestupu tepla:

Součinitel přestupu tepla je dán součtem přestupu tepla konvekcí a sáláním, v mém případě součinitel přestupu tepla sáláním zanedbávám z důvodu několikanásobně chladnějších spalin, než pro které by bylo nutné sálání uvažovat. Takové spaliny by byly o teplotě 500 °C.

$$\alpha = \xi \cdot \alpha_{konvekce} = 1 \cdot 464,324 = 464,324 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

ξ - součinitel využití, v mém případě použiji $\xi = 1$

$\alpha_{konvekce}$ - součinitel přestupu tepla konvekcí

Součinitel přestupu tepla konvekcí:

$$\alpha_{konvekce} = 0,023 \cdot \frac{\lambda_{sp}}{d} \cdot \left(\frac{w_{sp}^s \cdot d}{\nu_{sp}} \right)^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot c_t \cdot c_l \cdot c_m = \\ 0,023 \cdot \frac{0,03040}{0,0016} \cdot \left(\frac{8,9135 \cdot 0,016}{19,99 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,8} \cdot 0,723^{0,4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 464,324 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Význam a hodnoty veličin pro 85 °C: λ_{sp} - součinitel tepelné vodivosti spalin,

$$\lambda_{sp} = 0,03040 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

P_r - Prandtlovo číslo, $P_r = 0,723$

ν_{sp} - kinematická viskozita spalin, $\nu_{sp} = 19,99 \cdot 10^{-6} m^2 s^{-1}$

c_t – opravný koeficient ochlazování, uvažuji $c_t = 1$

c_l – opravný koeficient na poměrnou délku,

$$\frac{L}{d} < 50, \text{ volím } c_1=1$$

c_m – opravný koeficient u mezikruží, volím $c_m=1$

Určení velikosti výhřevné plochy:

$$P = k \cdot S \cdot \Delta t_{LN} = k \cdot O_{cel} \cdot L \cdot \Delta t_{LN} \Rightarrow L = \frac{P}{k \cdot O_{cel} \cdot \Delta t_{LN}} [m]$$

$$L = \frac{3959,3}{357,529 \cdot 0,65345 \cdot 30,375} = 0,557m$$

Délku zaokrouhluji a volím 0,56 m. Celková výhřevná plocha kondenzačního výměníku:

$$S^S = O_{cel} \cdot L = 0,65345 \cdot 0,56 = 0,3659 \text{ m}^2$$

Výkon kondenzačního výměníku, po zaokrouhlení jeho délky:

$$P = k \cdot S \cdot \Delta t_{LN} = 357,529 \cdot 0,3659 \cdot 30,375 = 3,974 \text{ kW}$$

Zaokrouhlením délky výměníku dojde i k drobné změně výstupní teploty spalín, ale pro výpočet účinnosti kotle tuto malou změnu zanedbám.

Segmentové přepážky:

Pro výměník navrhuji tloušťku stěny dle praxe 10 mm, mezeru mezi trubkami 15 mm a nejmenší mezeru mezi trubkami a stěnou výměníku 20 mm. Celkový průměr výměníku bude 21 cm. Vzdálenost mezi přepážkami se volí 0,4-0,6 z průměru výměníku, proto navrhuji 4 přepážky s rozestupem 112 mm, stejný rozestup bude mezi stěnou výměníku a krajovými přepážkami.

Shrnutí rozměrů výměníku

počet trubek: 13

délka výměníku: 56 cm

vnější průměr výměníku: 21 cm

počet segmentových přepážek: 4 s rozestupy 112 mm

průměry trubek: vnější průměr 20 mm, vnitřní 16 mm

tloušťka stěny výměníku: 10 mm

uspořádání trubek ve výměníku: čtvercové, 3 řady po 4 trubkách a 1 trubka ve 4. řadě

mezery mezi trubkami: 15 mm mezi trubkami a min. 20 mm mezi trubkami a stěnou výměníku.

5 VÝKON KONDENZAČNÍHO VÝMĚNÍKU V ZÁVISLOSTI NA VLHKOSTI PALIVA

V této kapitole jsem vycházel z [35], [36], [37], [38],[40],[41], [42], [43], [44]

Při vlhkosti dřevní štěrky 25% vyšel výkon kondenzačního výměníku 3,9593 kW.

Nyní přepočítám potřebné hodnoty a spočítám výkon výměníku pro palivo o vlhkosti 10% a 40%

10% vlhkosti:

$$h + A^r + W^r = 100\%$$

$$89\% + 1\% + 10\% = 100\%$$

Prvkový obsah hořlaviny budu uvažovat: C=51 %, H=6,2%, O=42,2%, N=0,6%, S=0%=100%

Prvkový obsah 1 kg paliva: C^r=45,39%, H^r=5,518%, O^r=37,56%, N^r=0,534%

$$\dot{V}_{\text{VZD}} s_{\min} = \frac{22,39}{21} \cdot \left(\frac{C^r}{12,01} + \frac{H^r}{4,032} - \frac{O^r}{32} \right) = \frac{22,39}{21} \cdot \left(\frac{45,39}{12,01} + \frac{5,518}{4,032} - \frac{37,56}{32} \right) = 4,237 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}_{\text{pal}}^{-1}$$

$$\dot{V}_{\text{SPAL}}^V = \dot{V}_{\text{SPAL}}^S + \dot{V}_{\text{H}_2\text{O}} = 5,1993 + 0,9627 = 6,162 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}_{\text{pal}}^{-1}$$

$$\dot{V}_{\text{SPAL}}^V = 5,2321 \cdot 12 = 62,785 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$\dot{V}_{\text{SPAL}}^S = \dot{V}_{\text{CO}_2} + \dot{V}_{\text{N}_2} + \dot{V}_{\text{Ar}} = 0,848 + 4,3006 + 0,0507 = 5,1993 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}_{\text{pal}}^{-1}$$

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{C^r}{12} + 1,3 \cdot (0,0003 \cdot \dot{V}_{\text{VZD}} s_{\min}) = 0,848 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}_{\text{pal}}^{-1}$$

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = 0,8483 \cdot 12 = 10,1800 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$\dot{V}_{\text{N}_2} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{N^r}{28} + 1,3 \cdot (0,78 \cdot \dot{V}_{\text{VZD}} s_{\min}) = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{0,534}{28} + 1,3 \cdot (0,78 \cdot 4,237) = 4,3006 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}_{\text{pal}}^{-1}$$

$$\dot{V}_{\text{N}_2} = 4,3006 \cdot 12 = 51,607 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$\dot{V}_{\text{H}_2\text{O}} = \dot{V}_H + \dot{V}_W + \dot{V}_V = 0,618 + 0,1244 + 0,2203 = 0,9627 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}_{\text{pal}}^{-1}$$

$$\dot{V}_H = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{H^r}{4} = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{5,518}{4} = 0,618 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}_{\text{pal}}^{-1}$$

$$\dot{V}_W = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{W^r}{4} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{10}{18} = 0,1244 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}_{\text{pal}}^{-1}$$

$$\dot{V}_V = \alpha \cdot (f - 1) \cdot \dot{V}_{VZD} s_{\min} = 1,3 \cdot (1,04 - 1) \cdot 4,237 = 0,2203 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ pal}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = 0,9627 \cdot 12 = 11,5526 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$\dot{V}_{Ar} = 1,3 \cdot (0,0092 \cdot \dot{V}_{VZD} s_{\min}) = 1,3 \cdot (0,0092 \cdot 4,237) = 0,0507 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ pal}$$

$$\dot{V}_{Ar} = 0,0507 \cdot 12 = 0,6081 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$$

	CO2	N2	H2O
Objemový zlomek ω [Nm ³ /Nm ³ spal]	0,1376	0,6979	0,1562
Tlak spalin p_{spal} [Pa]	92412		
Parciální tlaky p_p [Pa]	12715,89	64494,33	14434,75
Hustota složek ρ [kg/Nm ³]	1,976	1,25	0,804
Objemový tok složek spalin $\dot{V}$ [Nm ³ /s]	0,002828	0,01434	0,003209
Hmotnostní tok složek spalin $\dot{m}$ [kg/s]	0,005588	0,0179	0,00258

Tab. 6 Parciální tlaky a hmotnostní toky složek spalin při 10% vlhkosti

Objemový zlomek Ar= 0,008228, Parciální tlak Ar= 760,35Pa, Objemový tok Ar=0,0001689 Nm³/s, hmotnostní tok Ar= 0,0002922kg/s, hustota Ar= 1,783

	CO2	N2	H2O
Hmotnostní tok složek spalin $\dot{m}$ [kg/s]	0,005588	0,0179	0,00258
Hmotnostní tok vlh. spalin $\dot{m}_{\text{spal}}^v$ [kg/s]	0,02636		
Hmotnostní zlomek vlh. spalin w^v [kg/kg _{spal}]	0,2119	0,6791	0,0979
Hm. tok suchých spalin $\dot{m}_{\text{spal}}^s$ [kg/s]	0,02378		
Hm. zlomek such. spalin w^s [kg/kg _{spal}]	0,2349	0,7527	

Tab. 7 Hmotnostní toky a hmotnostní zlomky složek spalin při 10 % vlhkosti

Hmotnostní zlomek Ar ve vlhkých spalinách=0,01010 kg/kg_{spal}, hmotnostní zlomek Ar v suchých spalinách=0,01208 kg/kg_{spal}

$$t_{spal_{out}} = 50^{\circ}C$$

$$p_p = 12351 Pa$$

$$p_p = \omega_{H_2O} \cdot p_{spal} \Rightarrow \omega_{H_2O} = \frac{p_p}{p_{spal}}$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{p_p}{p_{spal}} = \frac{12351}{92412} = 0,13365$$

$$\dot{m}_{H_2O} = ?$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}; \omega_{H_2O} = \frac{\dot{V}_{H_2O}}{\dot{V}}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \dot{V} - (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2})$$

$$\omega_{H_2O} = 1 - \frac{\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}}{\dot{V}_{H_2O} + \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}}$$

$$\omega_{H_2O} \cdot (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}) + \omega_{H_2O} \cdot \dot{V}_{H_2O} = \dot{V}_{H_2O} + \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar} - \dot{V}_{CO_2} - \dot{V}_{N_2} - \dot{V}_{Ar}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\omega_{H_2O} \cdot (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar})}{(1 - \omega_{H_2O})} = \frac{0,13365 \cdot (0,002828 + 0,01434 + 0,0001689)}{(1 - 0,13365)} = 0,00267 \frac{Nm^3}{s}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \dot{V}_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} = 0,00267 \cdot 0,804 = 0,002147 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{zk} = \dot{m}_{H_2O(120^{\circ}C)} - \dot{m}_{H_2O(50^{\circ}C)} = (0,00258 - 0,002147) = 0,000433 kg \cdot s^{-1}$$

$$\eta_{zk} = \frac{\dot{m}_{zk}}{\dot{m}_{H_2O(120^{\circ}C)}} = \frac{0,000433}{0,00258} = 0,1678 \Rightarrow 16,78\%$$

$$\dot{m}_{spal}^{vstup} = 0,02636 kg \cdot s^{-1}, c_{p_{spal}}^{vstup} = 1,11595 kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, t_{spal}^{vstup} = 120^{\circ}C, w_{H_2O}^{vstup} = 0,0979$$

$$\dot{m}_{spal}^{vystup} = 0,02593 kg \cdot s^{-1}, c_{p_{spal}}^{vystup} = 1,0426 kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, t_{spal}^{vystup} = 50^{\circ}C, w_{H_2O}^{vystup} = 0,0840$$

$$l_v = 2257 kJ \cdot kg^{-1}$$

$$i_{spal}^{vstup} = c_{p_{spal}}^{vstup} \cdot t_{spal}^{vstup} + w_{H_2O}^{vstup} \cdot l_v$$

$$i_{spal}^{vstup} = 1,11595 \cdot 120 + 0,0979 \cdot 2257 = 354,8743 kJ \cdot kg^{-1}$$

$$i_{spal}^{výstup} = c_{p_{spal}}^{výstup} \cdot t_{spal}^{výstup} + w_{H_2O}^{výstup} \cdot l_v$$

$$i_{spal}^{výstup} = 1,0426 \cdot 50 + 0,084 \cdot 2257 = 241,718 kJ \cdot kg^{-1}$$

$$P_k = \dot{m}_{spal}^{vstup} \cdot i_{spal}^{vstup} - \dot{m}_{spal}^{výstup} \cdot i_{spal}^{výstup}$$

$$P_{k,10\%} = 0,02636 \cdot 354,8743 - 0,02593 \cdot 241,718 = 3,087 kW$$

40% vlhkosti:

$$h + A^r + W^r = 100\%$$

$$59\% + 1\% + 40\% = 100\%$$

Prvkový obsah hořlaviny budu uvažovat: C=51 %, H=6,2%, O=42,2%, N=0,6%, S=0%=100%

Prvkový obsah 1 kg paliva: C^r=30,09%, H^r=3,658%, O^r=24,89%, N^r=0,354%

$$\dot{V}_{VZD} S_{min} = \frac{22,39}{21} \cdot \left(\frac{C^r}{12,01} + \frac{H^r}{4,032} - \frac{O^r}{32} \right) = \frac{22,39}{21} \cdot \left(\frac{30,09}{12,01} + \frac{3,658}{4,032} - \frac{24,89}{32} \right) = 2,8092 Nm^3 \cdot kg_{pal}^{-1}$$

$$\dot{V}_{SPAL}^V = \dot{V}_{SPAL}^S + \dot{V}_{H_2O} = 3,448 + 1,0529 = 4,501 Nm^3 \cdot kg_{pal}^{-1}$$

$$\dot{V}_{SPAL}^V = 4,501 \cdot 12 = 54,012 Nm^3 h^{-1}$$

$$\dot{V}_{SPAL}^S = \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar} = 0,5628 + 2,8514 + 0,03359 = 3,448 Nm^3 \cdot kg_{pal}^{-1}$$

$$\dot{V}_{CO_2} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{C^r}{12} + 1,3 \cdot (0,0003 \cdot \dot{V}_{VZD} S_{min}) = 0,5628 Nm^3 \cdot kg_{pal}^{-1}$$

$$\dot{V}_{CO_2} = 0,5628 \cdot 12 = 6,7536 Nm^3 h^{-1}$$

$$\dot{V}_{N_2} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{N^r}{28} + 1,3 \cdot (0,78 \cdot \dot{V}_{VZD} S_{min}) = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{0,354}{28} + 1,3 \cdot (0,78 \cdot 2,8092) = 2,8514 Nm^3 \cdot kg_{pal}^{-1}$$

$$\dot{V}_{N_2} = 2,8514 \cdot 12 = 34,216 Nm^3 h^{-1}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \dot{V}_H + \dot{V}_W + \dot{V}_V = 0,4585 + 0,1244 + 0,1832 = 1,0529 Nm^3 \cdot kg_{pal}^{-1}$$

$$\dot{V}_H = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{H^r}{4} = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{3,658}{4} = 0,409 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}_{pal}^{-1}$$

$$\dot{V}_W = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{W^r}{4} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{40}{18} = 0,4978 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}_{pal}^{-1}$$

$$\dot{V}_V = \alpha \cdot (f - 1) \cdot \dot{V}_{VZD} s_{\min} = 1,3 \cdot (1,04 - 1) \cdot 2,8092 = 0,1461 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{pal}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = 1,0529 \cdot 12 = 12,635 \text{ Nm}^3 \text{h}^{-1}$$

$$\dot{V}_{Ar} = 1,3 \cdot (0,0092 \cdot \dot{V}_{VZD} s_{\min}) = 1,3 \cdot (0,0092 \cdot 2,8092) = 0,03359 \text{ Nm}^3 \text{kg}^{-1}_{pal}$$

$$\dot{V}_{Ar} = 0,03359 \cdot 12 = 0,403177 \text{ Nm}^3 \text{h}^{-1}$$

	CO2	N2	H2O
Objemový zlomek ω [Nm ³ /Nm ³ spal]	0,1250	0,6335	0,2339
Tlak spalin p_{spal} [Pa]	92412		
Parciální tlaky p_p [Pa]	11551,5	58543,00	21615,167
Hustota složek ρ [kg/Nm ³]	1,976	1,25	0,804
Objemový tok složek spalin $\dot{V}$ [Nm ³ /s]	0,001876	0,0095	0,003509
Hmotnostní tok složek spalin $\dot{m}$ [kg/s]	0,003707	0,01189	0,002822

Tab. 6 Parciální tlaky a hmotnostní toky složek spalin při 40% vlhkosti

Objemový zlomek Ar= 0,00746, Parciální tlak Ar= 689,39Pa, Objemový tok Ar=0,0001119 Nm³/s, hmotnostní tok Ar= 0,0001937kg/s, hustota Ar= 1,783

	CO2	N2	H2O
Hmotnostní tok složek spalin $\dot{m}$ [kg/s]	0,003707	0,01189	0,002822
Hmotnostní tok vlh. spalin $\dot{m}_{spal}^v$ [kg/s]	0,0186		
Hmotnostní zlomek vlh. spalin w^v [kg/kg _{spal}]	0,1993	0,6392	0,1517
Hm. tok suchých spalin $\dot{m}_{spal}^s$ [kg/s]	0,01579		
Hm. zlomek such. spalin w^s [kg/kg _{spal}]	0,2348	0,7530	

Tab. 7 Hmotnostní toky a hmotnostní zlomky složek spalin při 40 % vlhkosti

Hmotnostní zlomek Ar ve vlhkých spalinách=0,0104 kg/kg_{spal}, hmotnostní zlomek Ar v suchých spalinách=0,01208 kg/kg_{spal}

$$t_{spal_{out}} = 50^{\circ}C$$

$$p_p = 12351 Pa$$

$$p_p = \omega_{H_2O} \cdot p_{spal} \Rightarrow \omega_{H_2O} = \frac{p_p}{p_{spal}}$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{p_p}{p_{spal}} = \frac{12351}{92412} = 0,13365$$

$$\dot{m}_{H_2O} = ?$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}; \omega_{H_2O} = \frac{\dot{V}_{H_2O}}{\dot{V}}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \dot{V} - (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2})$$

$$\omega_{H_2O} = 1 - \frac{\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}}{\dot{V}_{H_2O} + \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}}$$

$$\omega_{H_2O} \cdot (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}) + \omega_{H_2O} \cdot \dot{V}_{H_2O} = \dot{V}_{H_2O} + \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar} - \dot{V}_{CO_2} - \dot{V}_{N_2} - \dot{V}_{Ar}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\omega_{H_2O} \cdot (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar})}{(1 - \omega_{H_2O})} = \frac{0,13365 \cdot (0,001876 + 0,0095 + 0,0001119)}{(1 - 0,13365)} = 0,0017733 \frac{Nm^3}{s}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \dot{V}_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} = 0,0017733 \cdot 0,804 = 0,001425 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{zk} = \dot{m}_{H_2O(120^{\circ}C)} - \dot{m}_{H_2O(50^{\circ}C)} = (0,002822 - 0,001425) = 0,001397 kg \cdot s^{-1}$$

$$\eta_{zk} = \frac{\dot{m}_{zk}}{\dot{m}_{H_2O(120^{\circ}C)}} = \frac{0,001397}{0,002822} = 0,4950 \Rightarrow 49,50\%$$

$$\dot{m}_{spal}^{vstup} = 0,0186 kg \cdot s^{-1}, c_{p_{spal}}^{vstup} = 1,11595 kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, t_{spal}^{vstup} = 120^{\circ}C, w_{H_2O}^{vstup} = 0,1517$$

$$\dot{m}_{spal}^{vystup} = 0,017203 kg \cdot s^{-1}, c_{p_{spal}}^{vystup} = 1,0426 kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, t_{spal}^{vystup} = 50^{\circ}C, w_{H_2O}^{vystup} = 0,0828$$

$$l_v = 2257 kJ \cdot kg^{-1}$$

$$i_{spal}^{vstup} = c_{p_{spal}}^{vstup} \cdot t_{spal}^{vstup} + w_{H_2O}^{vstup} \cdot l_v$$

$$i_{spal}^{vstup} = 1,11595 \cdot 120 + 0,1517 \cdot 2257 = 476,301 kJ \cdot kg^{-1}$$

$$i_{spal}^{výstup} = c_{p_{spal}}^{výstup} \cdot t_{spal}^{výstup} + w_{H_2O}^{výstup} \cdot l_v$$

$$i_{spal}^{výstup} = 1,0426 \cdot 50 + 0,0828 \cdot 2257 = 239,009 kJ \cdot kg^{-1}$$

$$P_k = \dot{m}_{spal}^{vstup} \cdot i_{spal}^{vstup} - \dot{m}_{spal}^{výstup} \cdot i_{spal}^{výstup}$$

$$P_{k,10\%} = 0,0186 \cdot 476,301 - 0,017203 \cdot 239,009 = 4,7475 kW$$



6 CELKOVÁ ÚČINNOST KOTLE S KONDENZAČNÍM VÝMĚNÍKEM V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ VYCHLAZENÍ SPALIN

V této kapitole jsem vycházel z emailové komunikace s prodejcem a z [35], [36], [37], [38], [40], [41], [42], [43], [44]

Nejdříve vypočítám účinnost kotle bez kondenzačního výměníku, posléze s výměníkem. Poté bude počítána účinnost při zchlazení spalin na 45 a 60 °C. Pokud bych počítal s hodnotami od prodejce, tedy hmotnostní tok paliva 12 kg/h, hmotnostní tok vody 2500 l/h nebo vyšší při teplotní diferencii 15 °C, tak bude vycházet účinnost 96,7% a vyšší. To je vyšší hodnota, než je maximální hodnota z technické dokumentace. To znamená, že mi prodejce sdělil špatné hodnoty, z toho důvodu budu počítat účinnost pro rozdíl teplot 14 °C.

Pro výpočet účinnosti kotle použiji vzorec: $\eta = \frac{\text{výkon}}{\text{přířko}} = \frac{P}{P_p} [-]$

Výkon kotle: $P = \dot{m}_v \cdot c_p \cdot \Delta T [W]$, příkon kotle: $P_p = \dot{m}_{pal} \cdot Q_i^r [W]$

$\dot{m}_v$ - hmotnostní tok vody kotlem [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

c_p - měrná tepelná kapacita vody [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

ΔT - teplotní rozdíl vody [K]

$\dot{m}_{pal}$ - hmotnostní průtok paliva [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

Q_i^r - výhřevnost paliva [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Účinnost kotle bez kondenzačního výměníku:

$$\eta = \frac{\dot{m}_v \cdot c_p \cdot \Delta T}{\dot{m}_{pal} \cdot Q_i^r} = \frac{2500 \cdot \frac{1}{3600} \cdot 4,179 \cdot 14}{12 \cdot \frac{1}{3600} \cdot 13500} = 0,9029 \Rightarrow 90,29\%$$

Nyní spočítáme účinnost kotle s kondenzačním výměníkem, pro teplotu spalin 50 °C. Tato teplota byla zvolena pro konstrukci výměníku. Účinnost lze spočítat přičtením výkonu kondenzačního výměníku, tedy 3,9593 kW nebo přičtením teploty 1,364 °C k teplotní diferencii. 1,364 °C je teplota, o kterou se ohřeje vratná voda před vstupem do kotle v kondenzačním výměníku.

$$\eta_{50^\circ\text{C}} = \frac{\dot{m}_v \cdot c_p \cdot \Delta T}{\dot{m}_{pal} \cdot Q_i^r} = \frac{2500 \cdot \frac{1}{3600} \cdot 4,179 \cdot 15,364}{12 \cdot \frac{1}{3600} \cdot 13500} = 0,99086 \Rightarrow 99,086\%$$

Účinnost vyšla o 8,79% vyšší než u kotle bez kondenzačního výměníku.

Nyní přepočítám potřebné údaje pro stanovení účinnosti pro vychlazení spalin na teplotu 45 a 55 °C.

$$t_{spal_{out}} = 45^{\circ}C$$

$$p_p = 9594 Pa$$

$$p_p = \omega_{H_2O} \cdot p_{spal} \Rightarrow \omega_{H_2O} = \frac{p_p}{p_{spal}}$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{p_p}{p_{spal}} = \frac{9594}{92412} = 0,1038$$

$$\dot{m}_{H_2O} = ?$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}; \omega_{H_2O} = \frac{\dot{V}_{H_2O}}{\dot{V}}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \dot{V} - (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2})$$

$$\omega_{H_2O} = 1 - \frac{\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}}{\dot{V}_{H_2O} + \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}}$$

$$\omega_{H_2O} \cdot (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}) + \omega_{H_2O} \cdot \dot{V}_{H_2O} = \dot{V}_{H_2O} + \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar} - \dot{V}_{CO_2} - \dot{V}_{N_2} - \dot{V}_{Ar}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\omega_{H_2O} \cdot (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar})}{(1 - \omega_{H_2O})} = \frac{0,1038 \cdot (0,002350 + 0,01192 + 0,0001405)}{(1 - 0,1038)} = 0,001669 \frac{Nm^3}{s}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \dot{V}_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} = 0,001669 \cdot 0,804 = 0,001342 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{zk} = \dot{m}_{H_2O(120^{\circ}C)} - \dot{m}_{H_2O(45^{\circ}C)} = (0,002705 - 0,001342) = 0,001363 kg \cdot s^{-1}$$

$$\eta_{zk} = \frac{\dot{m}_{zk}}{\dot{m}_{H_2O(120^{\circ}C)}} = \frac{0,001363}{0,002705} = 0,50388 \Rightarrow 50,39\%$$

Při teplotě spalin 45 °C zkondenzuje 50,39% vodní páry ve spalinách.

$$\dot{m}_{spal}^{vstup} = 0,02250 kg \cdot s^{-1}, c_{p_{spal}}^{vstup} = 1,11595 kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, t_{spal}^{vstup} = 120^{\circ}C, w_{H_2O}^{vstup} = 0,1202$$

$$\dot{m}_{spal}^{výstup} = 0,02328 kg \cdot s^{-1}, c_{p_{spal}}^{výstup} = 1,03045 kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, t_{spal}^{výstup} = 45^{\circ}C, w_{H_2O}^{výstup} = 0,06349$$

$$l_v = 2257 kJ \cdot kg^{-1}$$

$$i_{spal}^{vstup} = c_{p_{spal}}^{vstup} \cdot t_{spal}^{vstup} + w_{H_2O}^{vstup} \cdot l_v$$

$$i_{spal}^{vstup} = 1,11595 \cdot 120 + 0,1202 \cdot 2257 = 405,2054 kJ \cdot kg^{-1}$$

$$i_{spal}^{výstup} = c_{p_{spal}}^{výstup} \cdot t_{spal}^{výstup} + w_{H_2O}^{výstup} \cdot l_v$$

$$i_{spal}^{výstup} = 1,03045 \cdot 45 + 0,06349 \cdot 2257 = 189,667 kJ \cdot kg^{-1}$$

$$P_k = \dot{m}_{spal}^{vstup} \cdot i_{spal}^{vstup} - \dot{m}_{spal}^{výstup} \cdot i_{spal}^{výstup}$$

$$P_{k,45^\circ C} = 0,02250 \cdot 405,2054 - 0,02328 \cdot 189,667 = 4,7017 kW$$

$$P_k = \dot{m}_v \cdot c_{p_v} \cdot (t_v^{výstup} - t_v^{vstup})$$

$$t_v^{výstup} = t_v^{vstup} + \frac{P_k}{\dot{m}_v \cdot c_{p_v}} = 42 + \frac{4,7017}{0,6944 \cdot 4,179} = 43,62^\circ C$$

$$\eta_{45^\circ C} = \frac{\dot{m}_v \cdot c_p \cdot \Delta T}{\dot{m}_{pal} \cdot Q_i^r} = \frac{2500 \cdot \frac{1}{3600} \cdot 4,179 \cdot 15,62}{12 \cdot \frac{1}{3600} \cdot 13500} = 1,0073 \Rightarrow 100,73\%$$

$$t_{spal_{out}} = 55^{\circ}C$$

$$p_p = 15761 Pa$$

$$p_p = \omega_{H_2O} \cdot p_{spal} \Rightarrow \omega_{H_2O} = \frac{p_p}{p_{spal}}$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{p_p}{p_{spal}} = \frac{15761}{92412} = 0,17055$$

$$\dot{m}_{H_2O} = ?$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}; \omega_{H_2O} = \frac{\dot{V}_{H_2O}}{\dot{V}}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \dot{V} - (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2})$$

$$\omega_{H_2O} = 1 - \frac{\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}}{\dot{V}_{H_2O} + \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}}$$

$$\omega_{H_2O} \cdot (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar}) + \omega_{H_2O} \cdot \dot{V}_{H_2O} = \dot{V}_{H_2O} + \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar} - \dot{V}_{CO_2} - \dot{V}_{N_2} - \dot{V}_{Ar}$$

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\omega_{H_2O} \cdot (\dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{Ar})}{(1 - \omega_{H_2O})} = \frac{0,17055 \cdot (0,002350 + 0,01192 + 0,0001405)}{(1 - 0,17055)} = 0,002963 \frac{Nm^3}{s}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \dot{V}_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} = 0,002963 \cdot 0,804 = 0,002382 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{zk} = \dot{m}_{H_2O(120^{\circ}C)} - \dot{m}_{H_2O(55^{\circ}C)} = (0,002705 - 0,002382) = 0,000323 kg \cdot s^{-1}$$

$$\eta_{zk} = \frac{\dot{m}_{zk}}{\dot{m}_{H_2O(120^{\circ}C)}} = \frac{0,000323}{0,002705} = 0,1194 \Rightarrow 11,94\%$$

Při teplotě spalin 55 °C zkondenzuje 11,94% vodní páry ve spalinách.

$$\dot{m}_{spal}^{vstup} = 0,02250 kg \cdot s^{-1}, c_{pspal}^{vstup} = 1,11595 kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, t_{spal}^{vstup} = 120^{\circ}C, w_{H_2O}^{vstup} = 0,1202$$

$$\dot{m}_{spal}^{výstup} = 0,022177 kg \cdot s^{-1}, c_{pspal}^{výstup} = 1,06437 kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, t_{spal}^{výstup} = 55^{\circ}C, w_{H_2O}^{výstup} = 0,1074$$

$$l_v = 2257 kJ \cdot kg^{-1}$$

$$i_{spal}^{vstup} = c_{p_{spal}}^{vstup} \cdot t_{spal}^{vstup} + w_{H_2O}^{vstup} \cdot l_v$$

$$i_{spal}^{vstup} = 1,11595 \cdot 120 + 0,1202 \cdot 2257 = 405,2054 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$i_{spal}^{výstup} = c_{p_{spal}}^{výstup} \cdot t_{spal}^{výstup} + w_{H_2O}^{výstup} \cdot l_v$$

$$i_{spal}^{výstup} = 1,06437 \cdot 55 + 0,1074 \cdot 2257 = 300,9421 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

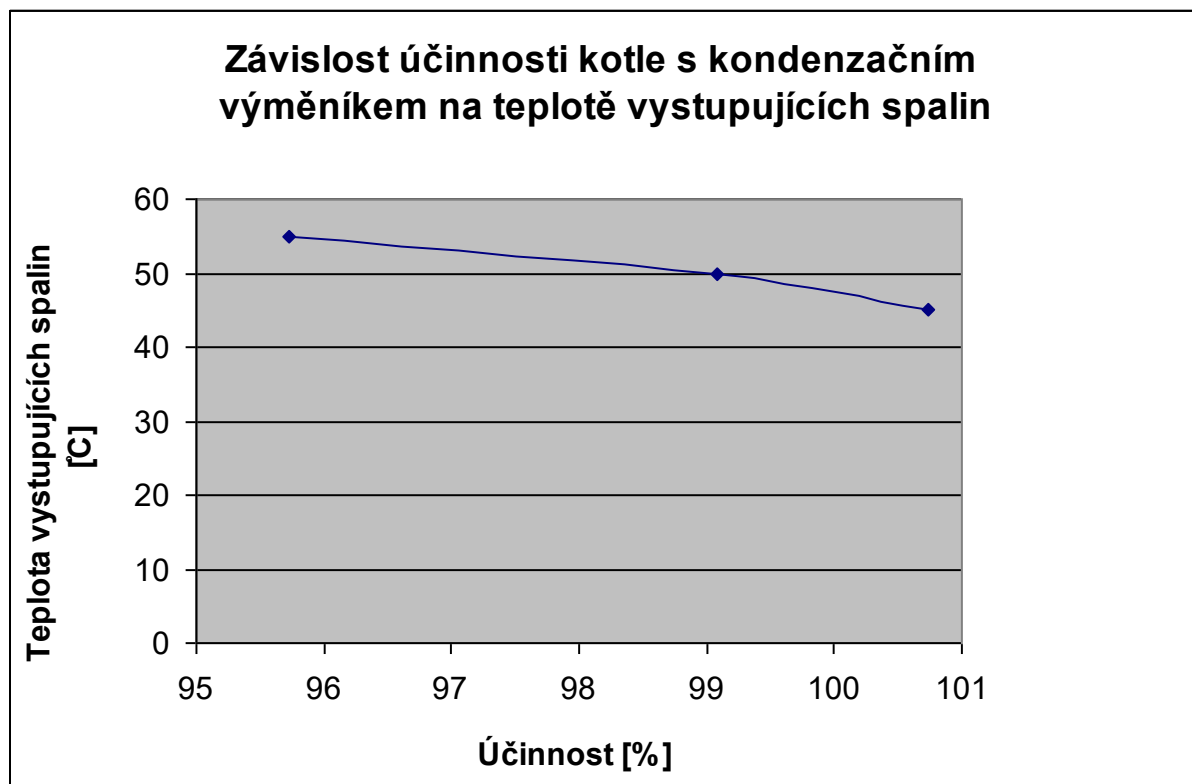
$$P_k = \dot{m}_{spal}^{vstup} \cdot i_{spal}^{vstup} - \dot{m}_{spal}^{výstup} \cdot i_{spal}^{výstup}$$

$$P_{k,55^\circ\text{C}} = 0,02250 \cdot 405,2054 - 0,022177 \cdot 300,9421 = 2,443 \text{ kW}$$

$$P_k = \dot{m}_v \cdot c_{p_v} \cdot (t_v^{výstup} - t_v^{vstup})$$

$$t_v^{výstup} = t_v^{vstup} + \frac{P_k}{\dot{m}_v \cdot c_{p_v}} = 42 + \frac{2,443}{0,6944 \cdot 4,179} = 42,8424^\circ\text{C}$$

$$\eta_{55^\circ\text{C}} = \frac{\dot{m}_v \cdot c_p \cdot \Delta T}{\dot{m}_{pal} \cdot Q_i^r} = \frac{2500 \cdot \frac{1}{3600} \cdot 4,179 \cdot 14,842}{12 \cdot \frac{1}{3600} \cdot 13500} = 0,9572 \Rightarrow 95,72\%$$



ZÁVĚR

S rostoucími nároky člověka na spotřebu energie a zároveň nutnost snižovat ekologickou zátěž, která je s přibývajícím lidskou činností stále větší, se stále více rozšiřuje využívání biomasy. Využívání biomasy má historii jako člověk sám, ale až posledních několik roků přineslo efektivní přístup k problému. Jistě je toto odvětví teprve v prvotních krůčcích. Jako lidstvo se můžeme těšit na to, jakým směrem bude toto odvětví pokračovat ve vývoji. Určitě to je správná cesta, kterou se vydat v další snaze o produkci energie i v kontextu ubývajících zásob fosilních paliv.

V biomase je možné spatřovat nekonečně velký zdroj energie, kterou nám poskytuje Země. Je to energie, která je ekologicky neutrální s velkými ekonomickými možnostmi dalšího rozvoje. Další práce na poli zpracování biomasy lze spatřovat v efektivnějším využívání zdrojů, vývoji dalších způsobů zpracování a produkce materiálu z ekologicky problematických oblastí. Takovou možností jsou například povrchové doly po těžbě hnědého uhlí. Velmi vhodné uplatnění v energetickém využití najde půda s nedostatečným zemědělským využíváním. Pokračující rozvoj lze očekávat v oblasti komunálních bioodpadů a kalů z čistících stanic odpadních vod. Jistě je nezbytně nutné zapojit všechny možnosti vědy do co možná největšího zefektivnění zařízení zpracovávajících biomasu. To je důležité z důvodu snížení cen energie produkované z tohoto obnovitelného zdroje. Tímto způsobem by bylo možné zvýšit poptávku a z velké části nahradit fosilní paliva, která budou v budoucnosti stále větším problémem. Těmito aspekty jsem se zabýval v prvních dvou částech práce.

V třetím bodě jsem měl za úkol navrhnout kondenzační výměník. Návrh rozměrů je v závěru čtvrté kapitoly. V závěrečné části práce jsem se snažil uvést příklad zvýšení efektivity při zapojení kondenzačního výměníku. Výkon a efektivita kondenzačního výměníku roste s větším obsahem vlhkosti v palivu a s vyšším vychlazením spalín. Výsledky ukazují grafy za danými kapitolami. Mimo kondenzační výměník jsou další rozmanité možnosti, jak zvýšit efektivitu využívání biomasy. Touto problematikou bych se rád zabýval i v navazujícím studiu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ŠPINAR, Marek. Ekonomické aspekty stavby a provozu tepelné elektrárny na biomasu. 2013. 47 l. Bakalářská práce. Vedoucí práce Petr Mastný.
- [2] GOJKOVIC, Živan. Production, Characterization and Utilization of the Biomass from Various Sources. 2014. 92 l. Dizertační práce. Vedoucí práce Ivana Márová.
- [3] Výroba energie z biomasy: Co je to biomasa. Alternativní zdroje energie [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.alternativni-zdroje.cz/vyroba-energie-biomasa.htm>
- [4] Biopalivo a biomasa: definice biomasy. ČESKÁ ASOCIACE PETROLEJÁŘSKÉHO PRŮMYSLU A OBCHODU. Ropa.cz [online]. 2012 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.ropa.cz/biopalivo-a-biomasa/>
- [5] Současná situace trhu s lesní energetickou štěpkou a prognóza vývoje v kontextu návrhu nové státní energetické koncepce České republiky. ŠAFAŘÍK, Dalibor. Biom.cz: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití [online]. 25.4.2012 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/soucasna-situace-trhu-s-lesni-energetickou-stepkou-a-prognoza-vyvoje-v-kontextu-navrhu-nove-statni-energeticke-koncepce>
- [6] Moderní využití biomasy: Technologické a logistické možnosti. ČESKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA. EFEKT: Energie efektivně [online]. 2008 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>
- [7] Informace o využívání biomasy. Skupina ČEZ: Výroba elektřiny [online]. 2017 [cit. 2017-05-1]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyrobaelektřiny/obnovitelne zdroje/biomasa/informace-o-vyuzivani-biomasy.html>
- [8] PETŘÍKOVÁ, Vlasta. Energetické využití biomasy a rekultivace. Biom.cz: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití [online]. 19.11.2001, 22.6.2002 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticke-vyuziti-biomasy-a-rekultivace>
- [9] Ekonomika. Enviton [online]. 2008 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/ekonomika/>
- [10] Ekonomika bioplynových stanic pro zpracování BRO. DVOŘÁČEK, Tomáš. Biom: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití [online]. 19.7.2010 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekonomika-bioplynovych-stanic-pro-zpracovani-bro>
- [11] Vědí, co potřebují bioplynové stanice. PŘIBÍK, Oldřich. Mechanizace zemědělství [online]. 19. 5. 2009 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/vedi-co-potrebuji-bioplynove-stanice/>
- [12] Bioplynové elektrárny. DOBROVOLNÁ, Petra. MSSCH [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://ekoskola.mssch.cz/DOBROVOLNA.doc>

- [13] Ekonomika plantáže RRD. Woodcapital [online]. 2013 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.woodcapital.cz/index.html>
- [14] Ekonomika při energetickém využití biomasy: Pěstování energetických plodin, RRD. Podpora lokálního vytápění biomasou [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/mikarrd.htm>
- [15] Sláma jako palivo. BFS Energo a.s. [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.bfs-energo.cz/cze/slama-jako-palivo.html>
- [16] VÝROBA, ZPRACOVÁNÍ A VYUŽITÍ BIOMASY. RARSM: Regionální agentura pro rozvoj střední Moravy [online]. Prof. Ing. Vladimír Šimanov, CSc. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: http://www.rarsm.cz/download/cd3/vyroba_zpracovani_vyuziti_biomasy.pdf
- [17] Moderní využití energie ze dřeva. STUPAVSKÝ, Vladimír. Tzbinfo: stavebnictví, úspory energií [online]. 5.5.2014 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/11169-moderni-vyuziti-energie-ze-dreva>
- [18] PETŘÍKOVÁ, Vlasta. Energetické využití biomasy a rekultivace. Biom.cz: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití [online]. 19.11.2001 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticke-vyuziti-biomasy-a-rekultivace>
- [19] Obnovitelné zdroje energie. Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/pages/OZE/biomasa.htm>
- [20] CELJAK, Ivo. Biomasa je nezbytná součást lidského života. Biom.cz: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití [online]. 22.12.2008 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>
- [21] Fotogalerie: Rekultivace X. etapy Podkrušnohorské výsypky. H-rekultivace [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.h-rekultivace.cz/fotogalerie.html>
- [22] MŮČKOVÁ, Milena. Biomasa – jaký způsob využití je ekologický?. CZECH RE AGENCY: Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie [online]. 2003-2009 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/biomasa/bm-energie>
- [23] VÁŇA, Jaroslav. Ekologická hlediska spalování biomasy. Biom.cz: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití [online]. 30.6.2003 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekologicka-hlediska-spalovani-biomasy>
- [24] Step TRUTNOV a.s. Areál. Step TRUTNOV [online]. 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://www.steptrutnov.cz/cz/kotelny-na-biomasu/step-trutnov-premises>
- [25] Biomass Energy. Urban Ecology Australia [online]. 2006 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.urbanecology.org.au/topics/biomassenergy.html>
- [26] JIROUŠ, František. Efektivní spalování paliv. Vyd. 1. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, c2013, 133 s. ISBN 978-80-260-5393-4.

- [27] K přepravě biomasy využijí v Leedsu říční kanály. Ekologické bydlení: Rodinný dům, nízkoenergetické bydlení, zelená úsporám [online]. 11. 1. 2012 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/energie/k-preprave-biomasy-vyuziji-v-leedsu-ricni-kanaly>
- [28] HLAVINKOVÁ, Pavlína a Vladimír ŠEVČÍK. Ekologické zpracování bioodpadů na minerální hnojivo a biopalivo technologií EKOBIOPROGRES?. Biom.cz: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití [online]. 19.11.2002 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekologicke-zpracovani-bioodpadu-na-mineralni-hnojivo-a-biopalivo-technologie-ekobioprogres>
- [29] DVOŘÁČEK, Tomáš. Bioplynové stanice na zpracování bioodpadů v České republice. Biom.cz: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití [online]. 11.3.2010 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-na-zpracovani-bioodpadu-v->
- [30] Bioplynové stanice na využití bioodpadů. VÁŇA, Jaroslav. Biom.cz: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití [online]. 10.5.2010 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-na-vyuziti-bioodpadu>
- [31] Bioplynové stanice – zajímavé řešení pro zpracování bioodpadu. Regionální odpadové centrum Pardubického kraje [online]. 7. 10. 2013 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.odpady.cz/index.php/projekt-op-vk-sp-1777499714/komunikace-zpsob-vyuiti-a-znekodnni-odpad/289-bioplynove-stanice--zajimave-eeeni-pro-zpracovani-bioodpadu>
- [32] Powerchip_CZ: Vytápění štěpkou. Kostelec nad Černými lesy.
- [33] Kotel Guntamatic POWERCHIP. Gunmatic: teplo s budoucností [online]. Kostelec nad Černými lesy, 2008 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://guntamatic.esel.cz/w/2301/kotel-guntamatic-powerchip-na-stepku-pelety-obili-20-30-40-50-kw>
- [34] SVOBODA, Karel a František KEPÁK. Energetika a životní prostředí. Vyd. 1., dotisk. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, 1998, [ca 240] s. ISBN 80-7044-214-x.
- [35] HAVLÍČEK, M. Řízení tepelných zdrojů se zaměřením na spalování biomasy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vítězslav Máša.
- [36] BEZDĚCH, J. Tabulky hmotnosti jehličnatého a listnatého dřeva. Bratislava Alfa. 1987
- [37] HORKÝ, L. Kotel na spalování biomasy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakultastrojního inženýrství, 2008. 81 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc
- [38] JANDAČKA, J.; MALCHO, M.; MIKULÍK, M. Technológie pre prípravu a energetické využitie biomasy. 1st ed. 2007. ISBN 80-7204-222-978-80-969595-3-2.
- [39] ON 070417 NÁVRH, Tepelný výpočet parních kotlů, 1-08-1984

[40] MAAR, T. Kotle na biomasu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš.

[41] Sojka Jiří., Kondenzační výměník za stacionárním motorem na zemní plyn, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014, 70 s., Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Pospíšil.

[42] VESELÝ, Stanislav. Spalovací komory, termodynamika a základy konstrukce. Brno: Galant Brno 2007. 237 s. ISBN 978-80-254-0418-8

[43] BUDAJ, Florián. Parní kotle, podklady pro tepelný výpočet. Brno: Nakladatelství VUT Brno 1992. 199 s.

[44] KADRNOŽKA, J.; OCHRANA, L. Teplárenství. 1st ed. 2001. Vydavatelství Akademické nakladatelství CERN, s.r.o. Brno ISBN 80-7204-222-X.

[45] LIBICH, V.; OCHRANA, L. Spalovací zařízení a výměníky tepla. 2nd ed. Brno : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1989. 245 s. ISBN 80-214-1078-7.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Podíl OZE na hrubé domácí spotřebě elektřiny [5]

Obr. 2 Náklady, výnosy plantáže, zdroj: [12]

Obr. 3 Procentuální využití dřevní suroviny v letech 1956-2012 [17]

Obr. 4 Vývoj cen jednotlivých dřevních sortimentů v letech 1989- 2013 [17]

Obr. 5 Výroba a spotřeba pelet v ČR v tisících tunách, mezi léty 2003- 2013 [17]

Obr. 6 Rekultivace krušnohorské výsypky [21]

Obr. 7 Poměr získané energie k energii vložené pro různé druhy biomasy [22]

Obr. 8 Linka na spalování balíku lisované slámy [24]

Obr. 9 Umělý vodní kanál v Británii, poblíž města Conwy, využívaný ke splavování dřeva [27]

Obr.10 Dostupný potenciál zemědělských a odpadových BPS [30]

Obr. 11 Kotel Gunmatic Powerchip G50 []

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Výchřevnost nejběžnějších paliv [34]

Tab. 2 Parciální tlaky a hmotnostní toky složek spalín při 25% vlhkosti

Tab. 3 Hmotnostní toky a hmotnostní zlomky složek spalín při 25 % vlhkosti

Tab. 4 Hodnoty spalín na vstupu

Tab. 5 Hodnoty spalín na výstupu

Tab. 6 Parciální tlaky a hmotnostní toky složek spalín při 10% vlhkosti

Tab. 7 Hmotnostní toky a hmotnostní zlomky složek spalín při 10 % vlhkosti

Tab. 8 Parciální tlaky a hmotnostní toky složek spalín při 40% vlhkosti

Tab. 9 Hmotnostní toky a hmotnostní zlomky složek spalín při 40 % vlhkosti

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

OZE	Obnovitelný zdroj energie
BPS	Bioplynová stanice
FVE	Fotovoltaická elektrárna
RRD	Rychle rostoucí dřeviny
sm	Smrk
bk	Buk
jehl	Jehličnaté dřevo
list	Listnaté dřevo
vl	Vláknina
pal	Palivo
r.v.	Relativní vlhkost
EU	Evropská unie
ČR	Česká republika
TTP	Trvalé travní porosty
NO _x	Oxidy dusíku
CO	Oxid uhelnatý
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj
PCDD	Polychlorované dibenzo-p-dioxiny
PCDF	Polychlorované dibenzofurany
TEQ	Toxický ekvivalent pro dioxiny
BRO	Bioologicky rozložitelné odpady
BRKO	Biologicky rozložitelné komunální odpady
Qt	[GJ/rok] Množství vyrobeného tepla za rok
t	Tuna
P	Fosfor
K	Draslík
Ca	Vápník
Mg	Hořčík
LČR	Lesy České Republiky
CTF	Contol Traffic Farming
CO ₂	Oxid uhličitý

EROEI	Energy Returned on Energy Invested
PCDD	Polychlorované dibenzodioxiny
PCDDF	Polychromované dibenzofurany
SAPS	Jednotná platba na plochu

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Význam
A^r	%	Hmotnostní podíl popela v palivu
C^r	%	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu
c	m	vzdálenost stěn trubek
c_{p_v}	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	měrná tepelná kapacita vody
d	m	vnitřní průměr trubek
H^r	%	hmotnostní podíl vodíku v palivu
h	m	vzdálenost mezi segmentovými přepážkami
i_{spal}^{vstup}	$kJ \cdot kg^{-1}$	entalpie vstupujících spalín
$i_{spal}^{výstup}$	$kJ \cdot kg^{-1}$	entalpie vystupujících spalín
k	$Wm^{-2}K^{-1}$	součinitel prostupu tepla
L	m	délka trubek
$\dot{m}_{H_2O}$	$\frac{kg}{s}$	hmotnostní průtok vody
$\dot{m}_{spal}^{vstup}$	$\frac{kg}{s}$	hmotnostní průtok spalín na vstupu
$\dot{m}_{spal}^{výstup}$	$\frac{kg}{s}$	hmotnostní průtok spalín na výstupu
$\dot{m}_{zk}$	$\frac{kg}{s}$	zkondenzovaná vodní pára
$\dot{m}_{pal}$	$\frac{kg}{s}$	hmotnostní průtok paliva
N^r	%	hmotnostní podíl dusíku v palivu

O_{cel}	m	celkový obvod trubek
P_v	W	výkon vody
P_k	W	výkon kondenzátoru
Δt_H	$^{\circ}C$	teplotní spád teplejší strany výměníku
Δt_s	$^{\circ}C$	teplotní spád teplejší strany výměníku
$\dot{V}_{N_2}$	$Nm^3 kg^{-1}_{pal}$	množství dusíku ve spalínách
$\dot{V}_{H_2O}$	$Nm^3 kg^{-1}_{pal}$	množství vody ve spalínách
$\dot{V}_{CO_2}$	$Nm^3 kg^{-1}_{pal}$	množství oxidu uhličitého ve spalínách
w_{sp}^s	$m \cdot s^{-1}$	skutečná rychlost spalin v trubkách
W^r	%	hmotnostní podíl vody v palivu
z^{op}	-	optimální počet trubek výměníku
z	-	skutečný počet trubek výměníku
α	-	součitel přebytku vzduchu
Q_t	J/rok	množství vyrobeného tepla za rok