

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Energetické využívání pevné biomasy ve vztahu ke
zdrojům na spalování uhlí**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lukáš KOJZAR**
Osobní číslo: **E17B0133P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Téma práce: **Energetické využívání pevné biomasy ve vztahu ke zdrojům na spalování uhlí**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování

1. Popište současný stav v energetickém využívání biomasy v ČR a v zahraničí.
2. Uveďte možnosti, způsoby, techniky a limity pro energetické využívání biomasy.
3. Zhodnoťte environmentální, energetické a ekonomické přínosy energetického využívání biomasy ve vztahu k fosilní energetice.
4. Vytvořte návrh pro efektivnější využití biomasy pro energetické účely.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Energie z biomasy, K. Murtinger, J. Beranovský, ERA 2006, ISBN: 80-7366-071-7

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Eduard Ščerba, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **11. června 2020**



L.S.

Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. října 2019

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce pojednává o možnostech využití tuhé biomasy ve vztahu k fosilní energetice. V první části je popsána biomasa jako taková, tedy její definice, druhy, podmínky vzniku a její možná úprava. Také je zde rozebráno, jaké možnosti se naskytují pro její efektivní spalování a výslednou úpravu spalin. Dále se zabývá přímým srovnáním energetických, environmentálních a ekonomických aspektů obou zmíněných paliv včetně stoupajícího zastoupení spalování biomasy na úkor uhlí v České republice a ve světě. V závěru je návrh pro možné zvýšení účinnosti spalování biomasy z více možných pohledů. Jeden z těchto pohledů je technické provedení zařízení a dále pak samotné palivo a jeho úpravy, popřípadě efektivní využití celého životního cyklu.

Klíčová slova

Biomasa, obnovitelné zdroje energie, fosilní paliva, energetická konverze, spalování, energie, kogenerace, teplárna, environmentální aspekty, čištění spalin, emise, uhlí

Abstract

The presented bachelor thesis deals with the possibilities of using solid biomass in relation to fossil energy. The first part describes the biomass as such, ie its definition, types, conditions of its origin and its possible adjustments. It also discusses what options are available for its efficient combustion and flue gas treatment. It also deals with a direct comparison of energy, environmental and economic aspects of both mentioned fuels, including the increasing share of biomass combustion at the expense of coal in the Czech Republic and in the world. In conclusion, there is a suggestion for a possible increase in the efficiency of biomass combustion from several possible perspectives. One of these perspectives is the technical design of the equipment, then the fuel itself and its adjustments and more efficient use of its life cycle.

Key word

Biomass, renewable energy sources, fossil fuels, energy conversion, combustion, energy, cogeneration, heating plant, environmental aspects, flue gas cleaning, emissions, coal

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 12.6.2020

Lukáš Kojzar

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval celé fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity, která mi předala vědomosti potřebné k vypracování této práce. Především bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Mgr. Eduardu Ščerbovi Ph.D. za odborné rady a konzultace potřebné pro vyhotovení této práce.

V neposlední řadě bych chtěl tímto poděkovat své rodině a přítelkyni, kteří mě podporovali po dobu mého studia a poskytli mi zázemí pro vyhotovení této práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 BIOMASA	11
1.1 DEFINICE BIOMASY	11
1.2 VZNIK A DRUHÝ BIOMASY	11
1.3 ENERGETIKA ČESKÉ REPUBLIKY	14
1.4 ČESKÁ REPUBLIKA A BIOMASA	16
1.5 BIOMASA VE SVĚTĚ	19
2 ZPRACOVÁNÍ A VYUŽITÍ BIOMASY	20
2.1 ZPRACOVÁNÍ BIOMASY.....	20
2.1.1 <i>Mechanická úprava</i>	21
2.1.2 <i>Termické procesy</i>	24
2.1.3 <i>Biochemické procesy</i>	26
2.2 VYUŽITÍ BIOMASY PRO ENERGETICKÉ ÚČELY	26
2.2.1 <i>Rozdělení kotlů:</i>	28
2.2.2 <i>Výroba elektrické energie</i>	30
2.2.3 <i>Kogenerace – spolu výroba tepla a elektřiny</i>	31
3 VLIV SPALOVÁNÍ BIOMASY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	32
3.1 ODLUČOVÁNÍ TUHÝCH ČÁSTÍ	34
3.2 ODLUČOVÁNÍ PLYNNÝCH PŘÍMĚSÍ ZE SPALIN	38
3.3 ZPŮSOBY NAKLÁDÁNÍ S TUHÝMI ZBYTKY	42
4 SROVNÁNÍ SPALOVÁNÍ BIOMASY VE VZTAHU K FOSILNÍM PALIVŮM	43
4.1 Z ENERGETICKÉHO HLEDISKA	43
4.2 Z ENVIROMENTÁLNÍHO HLEDISKA.....	44
4.3 Z EKONOMICKÉHO HLEDISKA	44
4.4 KONKRÉTNÍ PŘÍKLAD – PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ.....	45
5 NÁVRH PRO ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI PRO VYUŽITÍ BIOMASY	48
ZÁVĚR	51
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	53

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá energetickým zpracováním biomasy. V posledních letech je spalování biomasy často skloňováno jako možná budoucnost energetiky. Často je zmiňována jako jeden z pilířů přeměny energetického odvětví. Hovoří o ní ekologové, politici, novináři, energetici, různé aktivistické skupiny, a to jak v dobrém, tak i špatném světle. Evropská unie se staví do role průkopníka využití obnovitelných zdrojů namísto zdrojů konvenčních jako jsou uhlí, ropa nebo zemní plyn a chce toho dosáhnout značnou mírou pomocí spalování biomasy. Je tento názor správný nebo naopak mylný? Jedná se o efektivní způsob výroby tepla a elektrické energie? A inspiruje Evropa zbytek světa, aby se pokusil o něco podobného a bojoval tak proti klimatické krizi? Můžeme biomasu považovat za uhlíkově neutrální zdroj, jak se uvádí? Jedná se skutečně o ekologické řešení, které planetě a lidstvu prospěje, nebo je to spíše zbožné přání? Nezpůsobí tato konvergence případně více škod než užitku? Až dojde k vyčerpání fosilních zdrojů, ustojí to svět nebo se vrátí o několik desetiletí, ne-li století nazpátek?

V rámci této práce jsem se rozhodl pokusit se na některé z těchto otázek odpovědět. Chtěl bych rozebrat obecné vlastnosti biomasy, co to vlastně je a jak s ní můžeme zacházet. Zároveň bych chtěl zjistit, jaký potenciál skrývá a zda je možné ji vůbec srovnávat s uhlím. Pokud ano, pokusit se o porovnání. Podívám se také na úskalí spojené se spalováním biomasy.

V závěru práce bych rád navrhl možnosti, jak by se dala situace na poli OZE, přesněji na poli spalování pevné biomasy, zlepšit. Pokusím se zároveň uvést potřebná kritéria, za kterých by k tomuto zlepšení mohlo dojít.

Seznam symbolů a zkratek

BRKO - Biologicky rozložitelná složka komunálního odpadu

BRPO - Biologicky rozložitelná složka průmyslového odpadu

ERÚ – Energetický regulační úřad

ETC – „Emissions trading systém“ – Systém obchodu s emisemi

EU – Evropská unie

KVET – Kombinovaná výroba energie a tepla

LCA – „Life Cycle Assessment“ – Posuzování životního cyklu

NO_x – Oxidy dusíku

ORC - Organický Rankinův cyklus

OZE – Obnovitelné zdroje energie

SCR – Selektivní katalytická redukce

SEK – Státní energetická koncepce

SNCR – Selektivní nekatalytická redukce

1 Biomasa

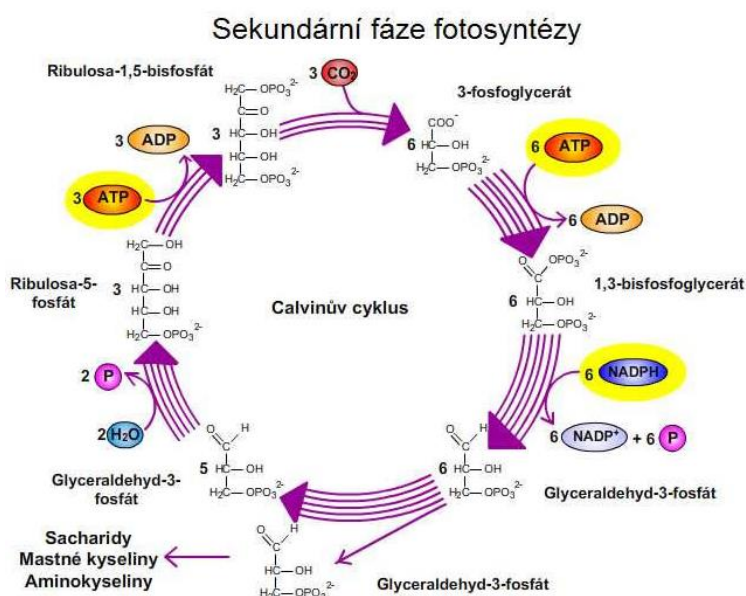
1.1 Definice biomasy

Biomasu můžeme označit jako veškerou biologicky rozložitelnou organickou hmotu živočišného a rostlinného původu. Dále se sem řadí například i houby, bakterie, popřípadě sinice. Člověk biomasu využíval jako první zdroj energie – dřevo na podpal. Dále může být biomasou nazývána pouze organická hmota vzniklá v daném geologickém období. Z tohoto důvodu nemůžeme za biomasu považovat ropu ani uhlí.

Veškerá biomasa má potencionální využití v energetice, a to právě proto, že se skládá primárně z uhlíku a vodíku – tedy prvků, které se za určitých podmínek oxidují a uvolňují přitom energii ve formě tepla.

1.2 Vznik a druhy biomasy

Jak již bylo zmíněno, biomasu můžeme energeticky využívat. Pro její vznik je potřebné sluneční záření. To slouží jako zdroj energie pro rostlinnou biomasu a její další energetickou přeměnu. Základním stavebním kamenem je tedy fotosyntéza, děj, který za působení sluneční energie spolu s chlorofylem přeměňuje vodu a vzdušný oxid uhličitý na kyslík a glycerinaldehyd (nejjednodušší sacharid). Z něj se následně pomocí různých dějů mohou vytvořit jiné organické látky – mastné kyseliny (základní prvky tuků), aminokyseliny (základní prvky bílkovin) a jiné složitější sacharidy. Látky vzniklé fotosyntézou slouží nadále jako zdroj potravy pro další živočichy, rostliny, houby a jiné mikroorganismy.



Z tohoto hlediska je možné brát biomasu jako jakýsi „akumulátor“ sluneční energie. Samotná přeměna má však velmi nízkou účinnost, udává se kolem 13 %, jelikož je využívána jen určitá část slunečního spektra, část se odráží. Z energetického hlediska je tato účinnost srovnatelná s běžným solárním panelem. Bohužel do tvorby zasahují i jiné vnější a vnitřní faktory. Bylo by velmi náročné dosáhnout ideálních podmínek, pro které by byla potřeba dalších minerálních látek, ideální osvětlení, zavlažování. Pro různé rostliny tyto podmínky nejsou vždy identické a i další zvyšování koncentrace oxidu uhličitého by po dosažení určité meze ztratilo vliv pro další růst biomasy. Zároveň je nutné dodat, že rostliny nerostou neustále. Některé rostou pouze v konkrétním období nebo denní době. Zachycená energie je také nutná pro samotný růst a přežití rostliny a je tím ztracena. Ve finále se pak dostáváme u nejlépe rostoucích rostlin na hodnotu účinnosti okolo 8 %, což je hodnota nižší než hodnota solárních panelů. Na druhou stranu tu máme ten rozdíl, že rostlina při růstu neprodukuje nadbytečný oxid uhličitý, naopak jeho hladinu redukuje a při svém finálním spálení se dostáváme na nulovou bilanci (kdežto výroba solárního panelu není uhlíkově neutrální). Dále rostliny pomáhají udržet koloběh vody, ochlazují okolí, zabraňují erozi půdy a produkují kyslík, což ani jedno solární panel neumí.

Důležitým faktorem pro cílené pěstování biomasy pro energetické využití je takzvaná **čistá primární produkce**. Tato veličina se označuje jako množství oxidu uhličitého, které jsou rostliny schopny vázat. Například pro představu hodnota čisté primární produkce pro deštný prales (nejvýkonnější společenství) je přibližně 2.2 kg/m² a tato hodnota odpovídá zachycení 11 kWh[43].

Tato akumulovaná energie může být tedy uvolněna spalováním a dnes se hojně užívá, ať už pro relaxační účely ve formě táboráku, zdroj tepla potřebný pro vytápění nebo vaření, až po energetické využití v elektrárnách a teplárnách.

Z biologického hlediska lze biomasu dělit na mnoho podskupin. Nejvíce za zmínku stojí například fytomasa (hmota rostlinných těl) anebo třeba dendromasa (hmota těl stromů). Právě s těmito podskupinami se dnes nejčastěji setkáváme při praktickém využití.

Pro využití biomasy pro energetické účely lze dělit biomasu na „suchou“ a „vlhkou“. Suchou je možné spalovat okamžitě, i když pro zvýšení účinnosti je vhodné ji předvysušit. Tím se sníží obsah vody a zvýší se výhřevnost. Také se sníží nutná teplota pro zažehnutí, ztráty kotle a palivo bude hořet rychleji. Vlhká se musí dále upravit, a to například pro výrobu bioplynu.

V posledních letech zejména v naší zemi roste trend pěstování biomasy pro energetické potřeby, přestože je to věc s krátkou tradicí. Pro tento účel slouží takzvané energetické plodiny. Takto nazýváme rostliny, které mají vysoký obsah sušiny, jsou poměrně nenáročné na externí dodávání živin ve formě hnojiva a zavlažování. Důležitá je i vysoká efektivita při přeměně oxidu uhličitého a v neposlední řadě pro finální spalování důležitý nízký obsah popeloviny a vysoká výhřevnost.

Tyto energetické plodiny můžeme dělit na 4 základní podskupiny: rychle rostoucí dřeviny, byliny, trávy a speciální typy. V našich podmínkách se u rychle rostoucích dřevin setkáváme primárně s topoly a vrbami, obě tyto dřeviny mají rády vlhké prostředí, proto se nejčastěji sází do povodí řek, kde mohou využít prostranství jinak nezastavitelných záplavových oblastí. Ve světě není výjimkou, že se můžeme setkat s pěstováním baobabů jako rychle rostoucích dřevin. Jako bylina pěstovaná pro energetické účely se u nás nejčastěji užívá například šťovík nebo různé druhy luštěnin. Vhodnou rostlinou je také konopí seté. Mezi výše zmíněné speciální rostliny je možno zařadit například olejnaté rostliny jako je řepka olejná.

Výhoda biomasy netkví pouze v rychlosti, jakou je možné palivo obnovovat oproti konvenčnímu uhlí. Není nutnost biomasu pouze pěstovat za tímto účelem, ale je zde možnost využití odpadní biomasy. Takto mohou sloužit například zbytky ze zemědělské výroby ve formě slámy, posklizňových zbytků kukuřice, dřevnatých zbytků z prořezávání sadů atd. Co se týče živočišné výroby, je zde relativně velké uplatnění spalování exkrementů a zbytků potravy. Velké potencionální využití skýtají také lesnické zbytky, ať již ořezané větve, kůra nebo pařezy. Velkou nevýhodou ale bývá možný vysoký obsah nespalitelných nečistot. Kromě těchto logických možností spalování odpadní biomasy je možnost využít biologicky rozložitelného průmyslového a komunálního odpadu (BRPO a BRKO). Z nich může najít uplatnění například papír, zbytky potravin, vodárenské kaly, odpady z jatek, pivovarnictví a jiných průmyslových odvětví.

Spalování odpadních materiálů není ale tak jednoduchá záležitost jako spalování biomasy k tomuto účelu určené, protože zde existují jiné legislativní požadavky.

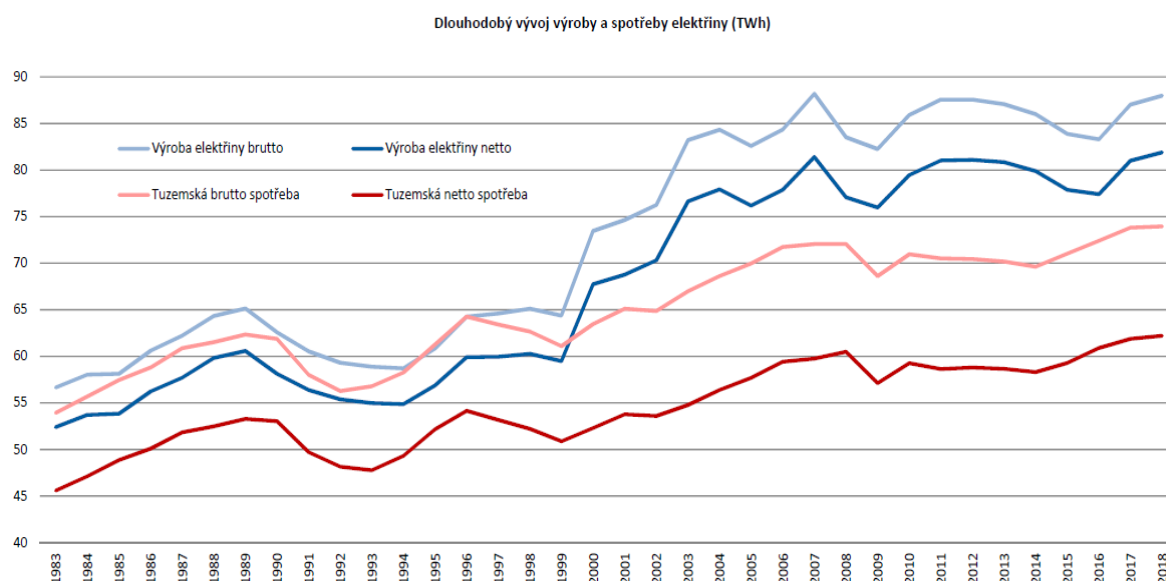
1.3 Energetika České republiky

Několik staletí nazpátek byla biomasa hlavním zdrojem energie. Změna nastala s příchodem průmyslové revoluce a s ní přišla i vyšší poptávka po energii. Hlavním zdrojem energie se stala tedy fosilní paliva. Vyšší a vyšší požadavky na výrobu energie přetrvaly až dodnes, kdy můžeme vidět na Obr. 2 stoupající trend výroby energie v ČR. Spalování fosilních paliv doprovází celá škála problémů, a to:

- Jedním z problémů fosilních paliv je jejich omezený počet a velice dlouhá doba obnovy. U uhlí se jedná řádově o několik desítek až stovek milionů let v závislosti na jeho typu.
- Dále jsou jejich ložiska rozetá napříč celým světem, což může negativně ovlivnit energetickou soběstačnost státu. Zároveň je nutné tento materiál přepravovat mnohdy na velké vzdálenosti, což ještě více zatěžuje Zemi emisemi skleníkových plynů.

Česká republika má poměrně velké zásoby hnědého uhlí, kde se v blízkosti dolů nacházejí elektrárny. Těžba je ale omezována limity, u kterých se v posledních letech přemýšlí o jejich překročení. Ropné zásoby jsou zde ovšem chudší a definitivně by nezvládly pokrýt potřeby státu.

- A v neposlední řadě hrají velkou negativní roli již zmíněné emise. Je sice pravda, že emise vznikají i při spalování biomasy, ale oxid uhličitý, který se uvolní, byl nashromážděn v průběhu růstu biomasy a tím pádem zůstane v ovzduší jeho srovnatelná hladina. Kdežto u uhlí byl uhlík také zachycen během růstu, to ale již před miliony let, tím pádem při spalování uhlí neustále roste koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře.



Obr. 2 – Vývoj výroby a spotřeby elektřiny

I přes neustálé inovace, zlepšování účinností a nové způsoby odstraňování nechtěných plynných a pevných příměsí ve spalinách se tedy nikdy nevyhneme omezenosti zásob fosilních paliv a nárůstu koncentrace CO₂ ve vzduchu. Alternativou spalování fosilních paliv jsou dnes nejčastěji solární panely, jaderné a vodní elektrárny nebo větrné turbíny. Všechny tyto 4 principy se vyznačují bezemisním provozem. Bohužel jako všemu se ani těmito způsoby nevyhnou problémy:

- Solární elektrárny kromě jiného jsou finančně nákladné pro zařízení, mají poměrně krátkou životnost a problematickou recyklovatelnost. Mohou způsobovat problémy již v takto často přetížené síti, jelikož jsou prakticky neregulovatelné. Kvůli nepravidelnému svitu světla mohou způsobit skoky v diagramu zatížení, nejvyšší výkon dodávají v době, kdy není tolik energie potřeba a ve špičce (když zapadne slunce) mají téměř nulový výkon. Také zabírají velkou plochu, která by mohla být užita jinak. Osobně u solárních panelů vidím uplatnění spíše jako lokální zdroj například na střechách obydlí nebo průmyslových budov.
- Větrné elektrárny se potýkají s podobnými potížemi jako zmíněné solární. Špatná regulovatelnost, specifické požadavky na umístění, kde jako vnitrozemní stát bez rozsáhlých vysokých hor nemáme příliš možností, aby jejich stavba byla výhodná. Případná výstavba větrných „farem“ by zabrala také velký prostor vzhledem k výkonu, který by mohla dodávat a značně tím poškodila naše přírodní dědictví.
- Vodní elektrárny se na druhou stranu zdají být vynikající alternativa. Vodní elektrárny mají také bezemisní provoz, ale i skvělou regulovatelnost. Právě pro špičkové zatížení se nejlépe hodí přečerpávací elektrárny, které vodu čerpají do vyšších míst, když je energie dostatek a nechají stékat zpět dolů v případě špičky. Česká republika má poměrně rozsáhlou říční síť. Většina významných toků má na svém průtoku postavené přehradu. Za zmínku stojí například Vltavská kaskáda, která se skládá hned z 9 vodních děl. Bohužel stavba přehradu je finančně velmi nákladná, v některých případech je nutné přesídlování obyvatelstva a tak dále. Zároveň českým řekám už téměř došla kapacita pro další přehradu.
- Jaderné elektrárny jsou skvělou alternativou pro pokrytí základní potřeby energie. Je zde také mnohem nižší spotřeba paliva, přesto toto palivo je neobnovitelné, a tak jeho zdroje jednou dojdou. Zároveň je výstavba takovéto elektrárny vysoce nákladná. A na konec jedním z nejdůležitějších aspektů využívání jaderné energie je otázka její bezpečnosti.

Tímto se tedy dostáváme k biomase. Tu sice musíme počítat jako emisní zdroj, ale jak už bylo vícekrát zmíněno, během svého růstu oxid uhličitý odstraňuje. U biomasy je nejdůležitější, aby byla využita v místě výskytu. Dlouhým převozem se akorát zbavíme výhody emisní neutrality. České republiky se tento problém potřeby dovozu biomasy prozatím netýká, naopak velkou část vyváží. S horší situací se setkáváme například ve Velké Británii, kde docházelo k poměrně rozsáhlému nahrazování uhelných elektráren za elektrárny fungujících na dřevní hmotu. Tu je potřeba dovážet z velkých vzdáleností, a to například až z Ruska nebo USA.

1.4 Česká republika a biomasa

Česká republika se rozkládá na území o velikosti 78 866 km², z toho 34 800 km² zabírá celková zemědělská plocha. Primárním účelem této plochy je potravinová soběstačnost země. Česká republika má dobrý potenciál pro dosažení tohoto cíle především díky své dobré geografické pozici. Proto nabízí zemědělská půda dostatek prostoru pro možné pěstování energeticky využitelné biomasy. V závislosti na míře chtěné potravinové soběstačnosti můžeme vidět potencionální plochu, kterou Česká republika může využít pro pěstování pro energetické účely (viz. Obr. 2). Připočteme-li ještě lesní půdu, oblast vhodná pro pěstování biomasy se ještě rozšíří.

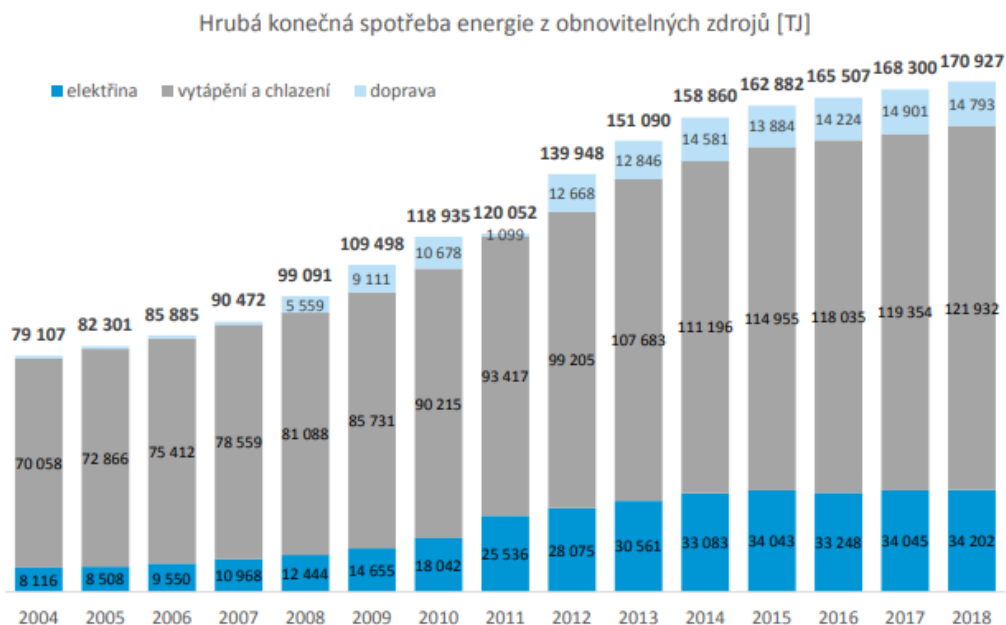
Tab. 1 – plocha disponibilní zemědělské půdy

Způsob využití půdy	Druh zemědělské půdy	Míra soběstačnosti (lineární pro všechny potravinářské komodity)		
		70%	100%	130%
		<i>plocha půdy (tis. ha)</i>		
Půda pro potravinovou soběstačnost	Orná půda	1401	1858	2390
	Trvalé travní porosty	19	114	822
Volná půda (využitelná pro OZE)	Orná půda	1147	680/(689)	169
	Volné trvalé travní porosty	913	440/(819)	99
Celkem zemědělská půda pro energetické využití		2060	1120/(1508)	268
Celkem zemědělská půda		3480	3480	3480

Česká republika jako země Evropské unie souhlasila s plněním závazného cíle pro podíl obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě pro rok 2020, a to ve výši 13 %. Toho dosáhla již v roce 2013. Jako další cíl si klade Evropská unie podíl 32 % do roku 2030. Ovšem je nutné podotknout, že k roku 2017 ještě nesplnila více než polovina členských zemí své stanovené cíle pro rok 2020. Jak rostou tyto požadavky, tak i podíl OZE u nás stále roste. V roce 2018 jsme dosahovali 15,15 %. Sama Česká republika si předsevzala, že do zmiňovaného roku 2030 dosáhne 22 %. Co se týče samotných OZE, tak z valné většiny převládá biomasa a z ní převážně pevná, a to ať již domácí nebo dovezená (viz. Tab. 3.)

Tab. 2 – vývoj podílu hrubé konečné spotřeby obnovitelné energie

	Na spotřebě elektřiny	Na spotřebě v dopravě	Na vytápění a chlazení	Celkem na konečné spotřebě energie SHARES 2017
2010	7,52 %	5,12 %	14,10 %	10,51 %
2011	10,61 %	1,18 %*	15,39 %	10,94 %
2012	11,67 %	6,15 %	16,25 %	12,82 %
2013	12,78 %	6,34 %	17,71 %	13,93 %
2014	13,89 %	6,90 %	19,53 %	15,08 %
2015	14,07 %	6,45 %	19,79 %	15,07 %
2016	13,61 %	6,43 %	19,89 %	14,93 %
2017	13,65 %	6,57 %	19,73 %	14,80 %
2018	13,71 %	6,52 %	20,65 %	15,15 %



Obr. 3 – Vývoj hrubé konečné spotřeby z obnovitelných zdrojů

Tab. 3. Celková energie z OZE pro rok 2018

	Energie z OZE celkem (GJ)	Podíl na energii z OZE (%)
Biomasa (mimo domácnosti)	45 976 471	24,00%
Biomasa (domácnosti)	78 824 788	41,15%
Vodní elektrárny	5 863 788	3,06%
Bioplyn	25 279 126	13,20%
Biologický rozl. část TKO	3 668 798	1,92%
Kapalná biopaliva	13 151 434	6,87%
Tepelná čerpadla	7 234 710	3,78%
Solární termální systémy	861 461	0,45%
Větrné elektrárny	2 193 588	1,15%
Fotovoltaické elektrárny	8 491 968	4,43%
Celkem	191 546 132	100,00 %

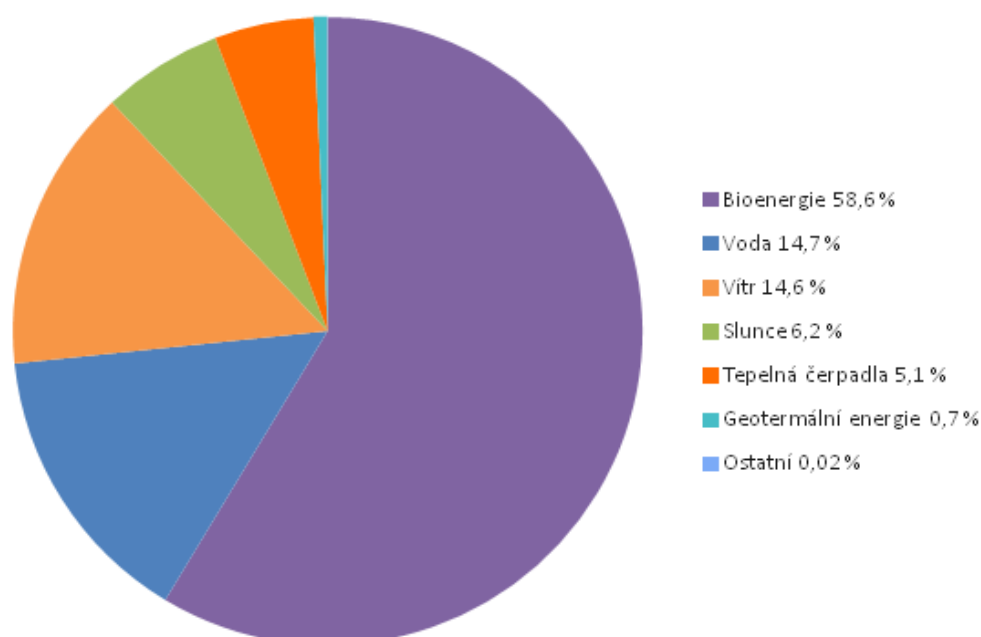
Samotné zvyšování podílu OZE na energetickém mixu ČR je součástí takzvané Státní energetické koncepce (SEK). Jejím cílem je „zajistit spolehlivou, bezpečnou a k životnímu prostředí šetrnou dodávku energie pro potřeby obyvatelstva a ekonomiky ČR, a to za konkurenceschopné a přijatelné ceny za standardních podmínek.“[7] Koncepce směřuje k roku 2040. Cílem koncepce je dosáhnout určitých vymezených hodnot. Měření těchto hodnot zároveň slouží jako indikativní ukazatele, ze kterých lze vyčístit potencionální vývoj. Mezi cíle patří například:

- Cesta k dekarbonizaci, konkrétně snížení emisí CO₂ do roku 2030 o 40 % oproti hodnotám z roku 1990
- Zvýšení výroby elektřiny z domácích zdrojů na minimálně 80 % (zde je počítáno i například s uhlím nebo jaderným palivem).
- Rozčlenit energetický koláč v určitém chtěném procentuálním zastoupením jednotlivých složek. Například zastoupení jaderného paliva by se mělo pohybovat v rozmezí mezi 25 a 33 procenty.
- S rostoucími požadavky na energii udržet soběstačnost a s ní optimální zatížení sítě (v rozsahu -5 až +15 % maximálního zatížení)
- Udržení stabilní ceny za elektřinu, jejíž nárůst by měl korespondovat s vývojem cen v okolních státech.

V rámci podpory obnovitelných zdrojů se připraví novela zákona číslo 165/2012 Sb., která by měla poskytnout nové možnosti státní podpory. Zároveň by měla pomoci i podpora z EU.

1.5 Biomasa ve světě

Jak už předchozí komentáře naznačovaly, Evropská unie se snaží protlačit politiku „čistého“ hospodářství. Tomu by měl pomoci přechod na OZE (a s tím i spojenou biomasu) namísto tradičních fosilních zdrojů. Podle dat dostupných z Eurostatu převažovala mezi všemi obnovitelnými zdroji právě biomasa, a to k roku 2017 (viz. Obr. 4). Podle odhadů budou ostatní zdroje spíše zvyšovat svoje procentuální zastoupení oproti biomase, to ale nemění nic na její důležitosti. Její výhoda oproti fotovoltaice a větrné energii je v její stálosti a regulovatelnosti. Tvoří tedy spolu s energií z vody základní stavební kámen této přeměny.



Obr. 4: Podíl jednotlivých obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě EU

Důležitým faktorem přeměny je také fakt, že biomasa je převážně domácí zdroj, což představuje nezávislost na dovození. Odhaduje se, že do EU se dováží asi jen 5% biomasy, a to převážně do zmíněné Británie nebo například do Dánska. Oproti tomu u fosilních paliv jsme na dovozu závislí z 78 %. Je ale možné namítat, že reálná kvantita se radikálně liší, jelikož OZE pokryjí zhruba pětinu energie. Otázkou tedy zůstává, jaké by byly nároky na dodávky biomasy v případě, že by OZE úplně nebo jen z většiny přebraly roli fosilních paliv. Je důležité si uvědomit, že členské země mají omezenou rozlohu a z ní je vyčleněná zemědělská půda. Jak už bylo zmíněno, jejím primárním úkolem je zajistit dostatek potravin pro své obyvatele. Teprve až je vyřešeno, kolik půdy je k tomu účelu dostačující, tak teprve pak se může vymezit část pro biomasu. A jak už bylo řečeno, ukládání sluneční energie

pomocí fotosyntézy má nízkou účinnost. Například jaderná elektrárna potřebuje pro výrobu stejného množství energie přibližně 3500 krát menší plochu než biomasa. Pro uhlí pak platí, že je potřeba 240krát menší plocha než u biomasy. Zajímavý poznatek učinila asociace Bioenergy Europe, která zastupuje výrobce energie z biomasy v celé Evropě, sektor uspořil zhruba 7% emisí skleníkových plynů v EU-28 (303 milionů tun CO₂), což představuje zhruba roční emise CO₂ Španělska[9].

Důležitým faktorem OZE je, právě jak samotný název napovídá, jejich obnovitelnost a s ní spojená udržitelnost. Proto se musí legislativa nastavit tak, aby nedocházelo k likvidaci například lesů. Zároveň je tu otázka udržení stability. Mnoho zemí EU včetně České republiky se v posledních letech potýká se suchem. To může představovat potencionální riziko pro zařízení spalující například fyto masu, jako je třeba sláma. Je tedy možné, že se některé roky neurodí a tato zařízení budou mít potíže.

Druhým důležitým faktorem je snížení emisí skleníkových plynů. Na to opět myslela legislativa. Podle ní by měla zařízení pro energetické nebo teplárenské účely snížit produkci skleníkových plynů oproti uhlí o 70%. To platí pouze pro zařízení uvedená do provozu po roce 2020. Tyto požadavky nejsou závazné, ale zařízení, která to nesplní, nedosáhnou na podporu ve formě dotace a zároveň nemohou být připočteny k OZE.

2 Zpracování a využití biomasy

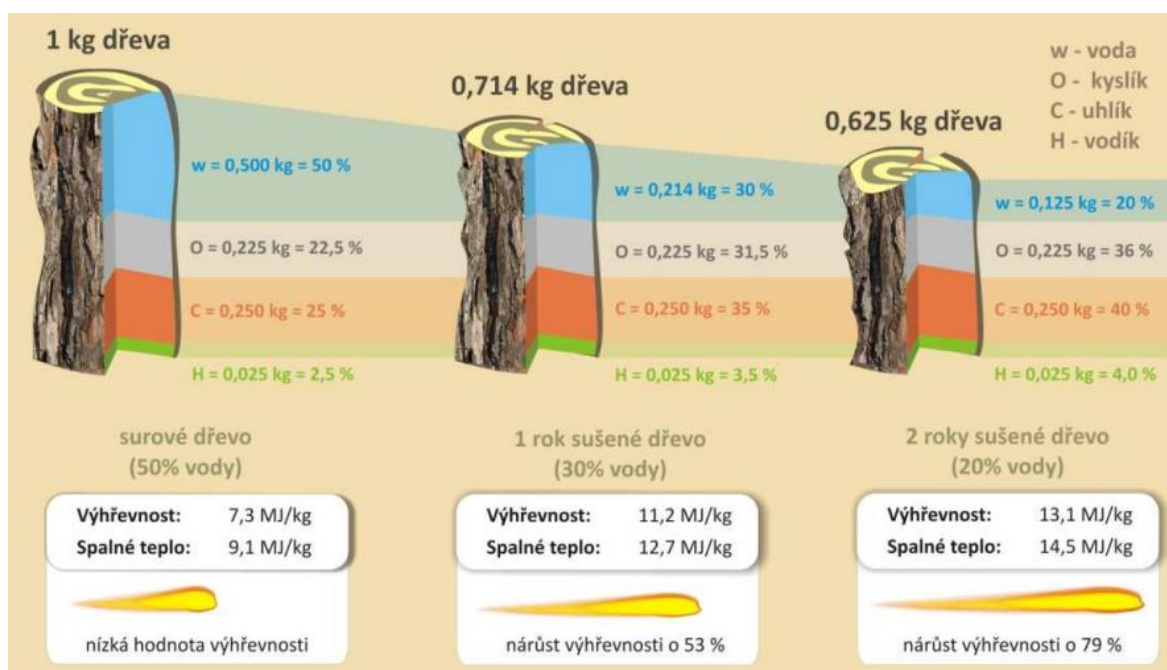
2.1 Zpracování biomasy

Hlavní způsob, jak získat energii z biomasy, je nám znám již přes více než milion let. Jedná se tedy o spalování. To využíval předchůdce člověka převážně pro tepelnou úpravu potravy, vytápění nebo případně jako zdroj světla. Čas se posunul, technologie postoupily, ale způsob energetické přeměny přetrvával. I dnes se pro získání energie jak elektrické, tak i tepelné využívá spalování. To je termochemický proces. Jedná se o rychle probíhající oxidaci, tedy reakci, kde se hořlavé prvky (například uhlík, vodík, síra) slučují s kyslíkem za vzniku tepla, oxidu uhličitého, vody a jiných sloučenin. Zastoupení jednotlivých produktů je pak otázkou chemického složení paliva.

Pro nás je důležitým faktorem zmíněné teplo. Z tohoto důvodu se pro jednotlivá paliva uvádí výhřevnost, tedy množství tepla uvolněného dokonalým spálením paliva při ochlazení spalin na výchozí teplotu za vzniku vody ve formě páry. Jedná se pouze o teoretickou veličinu, protože prakticky by pára změnila své skupenství na vodu. V tomto případě bychom hovořili o spalném teple.

Oproti minulosti je tady ale velký rozdíl, a to v účinnosti přeměny. Na nejvyšší účinnosti se dostáváme při výrobě tepla, a to až k hodnotám okolo 90 %. V případě výroby elektřiny se setkáváme se dvěma způsoby. První je takzvaný kogenerační a to znamená, že se vyrábí jak elektrická energie, tak i tepelná. Zde se účinnost pohybuje v rozmezí mezi 50 – 90 %. Druhý případ je tedy čistě výroba elektřiny. Tam už se účinnost dostává pod 50 %, spíše kolem 40 %.

Změna nastala jak v technologii přeměny, tak i v úpravě samotné biomasy. Obecně je možné říct, že se palivo skládá z hořlaviny, popeloviny a vody a například obsah vody hraje velkou roli. Ovlivňuje samotnou výhřevnost paliva, rychlost spalování i ztráty. Proto je efektivnější palivo před použitím nejprve vysušit. V neposlední řadě je nutné dodat, že i když většinu biomasy je možné přímo spálit, u některých druhů je jejich úprava nutná.



Obr. 5 – zobrazení závislosti doby sušení/obsahu vody na výhřevnosti dřeva

2.1.1 Mechanická úprava

Můžeme se setkat s řadou důvodů proč biomasu mechanicky upravit. V první řadě můžeme upravit tvar (například u dřeva), jednotlivé kusy budou téměř totožné, což nám umožní jednodušší zacházení při použití. Zároveň to poskytne možnost lepšího uskladnění nebo následné přepravu. Pokud máme k dispozici nesourodý materiál, jako například lesnický odpad ve formě ořezaných větví, pařezů, nebo třeba slámy, tak je možné tento materiál zhomogenizovat. Mezi tyto úpravy můžeme zařadit například stříhání, řezání, štěpkování, drcení, pakětování, briketování nebo peletování. Za mechanickou úpravu můžeme považovat také lisování oleje například z řepky.

Mechanická úprava dřevin:**- Stříhání:**

Tímto způsobem můžeme vytvořit například klasické palivové dřevo. Dřevo se tedy nastříhá na konkrétní požadovanou délku. Touto metodou se nejčastěji zpracovává dřevní odpad. Požadavkem je, že se musí jednat o tenké větve.

- Řezání:

Jedná se o podobný princip jako u stříhání. Jelikož se řeže, je možné používat dřevo většího průřezu.

- Štěpkování:

Štěpkování neboli sekání slouží pro úpravu různě velkých dřevin, větví, ba dokonce celých stromů. Jedná se tedy o proces, kdy vznikají beztrískové kusy dřeva za pomoci řezacích nožů. Dochází tedy k řezání ve směru vláken a zároveň napříč vlákny. Takto dostaneme výslednou štěpku o požadované délce a šířce.

- Drcení:

Drcení opět slouží k přeměně dřeva na menší kusy. Pro drcení jsou vhodné kusy, které by z řady důvodů nemohly být zpracovány štěpkováním. Důvody mohou být například malá velikost vstupních kusů, přílišná zanesenost nečistotami. Proto slouží k úpravě například netvárných křovin, pařezů apod.

- Paketování:

K paketování slouží paketače, jinak známé jako balíkovače nebo svazkovače. Tato zařízení slouží k homogenizaci materiálu. Odpady, především klestí, jsou lisované do svazků podobných svazkům slámy. Jejich výhoda oproti štěpkování je v nižší energetické náročnosti. Takto upravený materiál je možné rovnou spalovat ve speciálních kotlích nebo slouží pro lepší uskladnění před další možnou úpravou.

- Lisování:

Lisování nebo můžeme říci taky peletování a briketování slouží k úpravě biomasy k finálnímu spalování. Rozdíl mezi briketou a peletou je především v jejich tvaru, velikosti a způsobu použití. Pelety jsou drobné, granulovitého tvaru. Brikety bývají větší, různého tvaru (nejčastěji se ale setkáváme s válcovitými). Brikety je taky možné spalovat v různých zařízeních pro spalování dřeva, například v krbech, pelety jsou určeny primárně pro speciální kotle. Pelety se vyrábějí za vysokých teplot a tlaku, tím pádem nepotřebují žádná další aditivní pojiva a jiné látky.

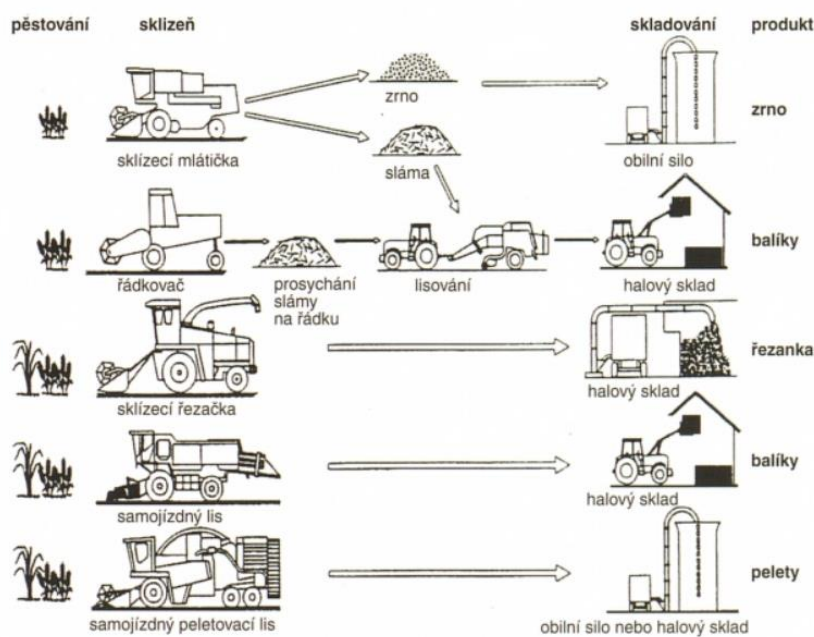
Je možné takto upravovat dřevní odpadní materiál, jako například piliny, dále taky různé rostlinné zbytky. Oboje má výhřevnost okolo 18MJ/kg, kdežto například u palivového dřeva s vlhkostí 20 % se výhřevnost pohybuje okolo 15 MJ/kg. Na druhou stranu toto lisování má určité nároky na přídavnou energii a pořizovací náklady jsou u těchto zařízení vysoké.



Obr. 6 - Bubnový štěpkovač Jensen JT 600

Mechanická úprava rostlinné biomasy:

Za mechanickou úpravu můžeme například u stéblin počítat samotnou sklizeň. Existují různé možnosti samotného sklizení, následné úpravy a skladování (viz. Obr. 7.)



Obr. 7 – Systémy sklizně a úpravy energeticky využitelných rostlin

- **Sběrací vozy a lisy:**

Oboje tyto zařízení slouží ke sběru energeticky využitelných obilovin, lnu, olejnin nebo i travin. Sběrací vozy jsou omezeny vzdáleností, pro kterou je tento způsob výhodný. Omezující je objem sklizené biomasy, jelikož v tomto případě dochází pouze k malému stlačení materiálu.

Lisy již více stlačují materiál a dělí se na typy podle tvaru, kterého chceme u produktu dosáhnout. Setkáváme se buď s levnějším válcovitým tvarem, který většinou využívají menší kotle, anebo dražší hranaté balíky, které jsou lepší pro přepravu, a proto jsou využívanější teplárnami a výtopnami. Oproti peletám a briketám je zde majoritní rozdíl ve velikosti, jelikož balíky dosahují hmotnosti přes 100 kg.

- **Briketování a peletování:**

Funguje podobně jako v případě dřevních pelet/briket s rozdílem, že výrobní linka je nákladnější, protože je zapotřebí zařízení, které bude nejprve slámu nebo jiné materiály rozebírat z balíků. V případě, že by se jednalo o nebalikovanou slámu, je zde zase problém s manipulací, přepravou a skladováním. Existují již ale i zařízení, které vytváří pelety nebo brikety již při sklizni. Problémem jsou vysoké pořizovací a provozní náklady. Tyto stroje umí například i předvysoušet materiál pomocí vzniklého odpadního tepla motorů.

2.1.2 Termické procesy

Termické procesy jsou velmi rozšířenou formou úpravy biomasy. Z externího hlediska se jedná o podobné reakce, avšak s rozdílným výsledkem. Obecně lze říci, že se jedná o suchou destilaci s nízkým nebo žádným přístupem kyslíku.

- **Karbonizace:**

Jedná se o jeden z nejstarších způsobů zušlechťovací úpravy biomasy a jejím výsledkem je dřevěné uhlí. Dříve se používala výroba pomocí tepelného rozkladu bez přístupu vzduchu. Tento proces byl ovšem neekonomický a zároveň neekologický. Dnes se využívá takzvané suché destilace v karbonizační peci a mlířích. Vedlejším produktem výroby je dehet, oxid uhelnatý a uhlíčitý, kyselina octová nebo například toxický formaldehyd a velká spousta jiných, již méně koncentrovaných látek, ze kterých je mnoho z nich toxických. Proto se musí dbát

na neprodyšnost těchto zařízení, protože v opačném případě hrozí jejich únik do ovzduší nebo do půdy.

Samotné dřevěné uhlí je tvrdý, pórovitý černý materiál, který je velice hořlavý. Jeho výhřevnost se pohybuje okolo 27 MJ/kg, což je téměř dvojnásobná hodnota výhřevnosti dřeva. Zároveň je nutné dodat, že na výrobu 1 tuny dřevěného uhlí je potřeba zhruba 10 tun dřeva.

Chemické složení se z malé části skládá ze síry a převážné části z uhlíku. Samotný obsah uhlíku je závislý na karbonizační teplotě, za které dřevěné uhlí vznikalo. Obsah se pak pohybuje od 80 % a dosahuje hodnot i vyšších než 90 %. Podobně je to i s tvrdostí, čím vyšší teplota, tím tvrdší výsledný produkt. Jeho zápalná teplota se pohybuje mezi 300–400 °C, avšak čerstvě vypálené uhlí je schopné snadného samovznícení, proto se před dalším zacházením nechá několik dní ležet na vzduchu a je kontrolována teplota.

Dřevěné uhlí nachází uplatnění například v běžných domácnostech pro potřeby grilování. V průmyslu se setkáváme s jeho využitím pro obohacování oceli uhlíkem nebo jako filtrační médium pro filtraci plynů a kapalin.

- **Pyrolýza:**

Zde se jedná o termický rozklad na nízkomolekulární sloučeniny, které jsou využívány k výrobě topných olejů. Tyto oleje pak disponují výhřevností okolo 16-20 MJ/kg. Výsledkem kromě topných olejů mohou být také sloučeniny, které se dají využít při syntézních výrobcích. Podle typu vstupních materiálů a požadovaných vlastností výsledného produktu je možné pyrolýzu provádět za použití atmosférického tlaku, podtlaku nebo přetlaku, zároveň i zvýšené nebo snížené teploty. Velikou výhodou je, že při použití katalytické pyrolýzy je možné využití komunálních odpadů jako je papír, plast nebo i pneumatiky.

- **Zplyňování**

Jedná se o proces přeměny biomasy termochemickou reakcí na plynné palivo. Jedná se o komplexní proces skládající se z řady reakcí. Mezi nejvýznamnější můžeme zařadit například sušení, redukci, oxidaci. Existuje více zařízení, ve kterých je možné tento děj provést a liší se svým principem, a to jsou fluidní zplynovač nebo plazmový zplynovač. Jako nejvhodnější materiál se jeví sláma nebo dřevo.

2.1.3 Biochemické procesy

Biochemické procesy slouží k přeměně vlhké biomasy, především tedy biomasy odpadní. Jejich výsledkem nemusí být pouze potencionální palivo, ale třeba také kvalitní hnojivo a jiné. Jedná se o fermentaci. Buď se může jednat o aerobní fermentaci, tedy za přístupu vzduchu, nebo anaerobní.

- **Aerobní fermentace:**

U aerobní fermentace dochází za pomoci mikroorganismů k postupnému rozkladu substrátu, což je doprovázeno vznikem tepla, které proces samo urychluje. Setkat se s ní můžeme například u kompostu, kde se jedná o delší proces. U průmyslové fermentace se doba trvání může pohybovat v jednotkách týdnů. Výsledek pak může sloužit jako výborné hnojivo.

- **Anaerobní fermentace:**

Zde může dojít k methanovému kvašení, popřípadě k alkoholovému kvašení. Methanové kvašení využívá jako vstup vlhkou biomasu (zvířecí mrvu, vodárenský odpad apod.). Narozdíl od aerobní fermentace se tento proces provádí ve vzduchotěsných nádobách. Zároveň dochází k významnějšímu úbytku pevné hmoty a samovolné uvolnění tepla je nižší. Výsledkem je bioplyn, který se převážně skládá z methanu.

U alkoholové fermentace se organická hmota fermentuje a následně destiluje na líh (ethanol). Ten je možné následně použít například jako ekologické palivo. Podmínkou je, že vstupní materiál musí obsahovat sacharid, například škrob.

2.2 Využití biomasy pro energetické účely

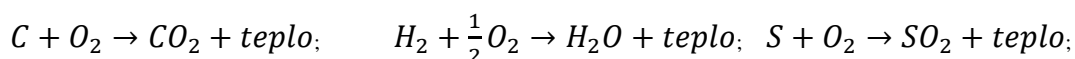
Obecně můžeme říct, že existuje široká škála principů, jak energeticky využít biomasu. Jelikož se tato práce zabývá srovnáním spalování pevné biomasy oproti uhlí, probereme zde pouze principy a možnosti spalování právě pevné biomasy.

Pro uvolnění uložené sluneční energie z biomasy se využívá spalování. To je, jak již bylo zmíněno, nejstarší známou formou výroby energie. Ne všechny metody a varianty jsou vhodné pro všechny typy materiálů. To, jaký způsob spalování zvolíme, záleží hned na několika faktorech. Majoritní roli hraje forma, popřípadě velikost a tvar paliva. Například pelety jsou vhodné například pro automatizované vytápění objektu, ale nejsou vhodné pro pohon strojů. Zároveň v dnešní době hraje velkou roli vliv na životní prostředí a z tohoto hlediska existuje opět více faktorů. Za prvé je důležitá dostupnost materiálu. Když budu spalovat uhlíkově neutrální biomasu, která bude dovezena ze vzdálenosti stovek, až tisíců

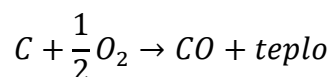
kilometrů, veškerý pozitivní efekt přijde vniveč. Za druhé, oxid uhličitý není jedinou emisí. Je sice pravda, že biomasa obsahuje minimum síry oproti uhlí, přesto se setkáváme s koncentrací i okolo 0,5 % například v seně. Dále se zde mohou vyskytovat stopová množství těžkých kovů, mohou vznikat aromatické uhlovodíky, dehtové látky a v neposlední řadě může vzniknout větší procento popílku. V případě, že by spalování nebylo dokonalé, může spolu s CO₂ vzniknout také toxický CO. Tento bod souvisí částečně i s bodem prvním, kdy je vhodnější jemnější palivo pro dostatečné prokysličení. Z těchto důvodů je důležité použití adekvátních odlučovačů, filtrů a podobně. Za další faktor můžeme považovat cenu paliva. Nelze vyrábět energii stylem, že palivo by bylo nákladnější než energie z něj vyrobená a není brán ohled na platy zaměstnanců, pořizovací náklady zařízení a následné náklady na údržbu.

Jak už bylo jednou řečeno, spalování je chemický děj, při kterém dochází ke slučování uvolněných hořlavých plynů s kyslíkem za uvolnění energie. K tomuto zmíněnému rozkladu dochází přibližně okolo 700 °C, přičemž by teploty při spalování neměly klesnout pod 600 °C, protože by se látky neprohřívaly dostatečně a vznikal by dým. Jako optimální se uvádí teploty hoření okolo 800–1000 °C. Dosahování vyšších teplot by již bylo kontraproduktivní z důvodu vzniku vysokoteplotních NO_x.

Při spalování je velmi důležitý správný obsah dodávaného kyslíku, aby hoření probíhalo co nejefektivněji a nejčistěji. Proto je potřeba znát také složení paliva. Známe-li jej, pak můžeme poměrně jednoduše dopočítat, kolik kyslíku bude potřeba. To lze vidět z následujících chemických rovnic:



Pomocí těchto vzorců zjistíme tedy potřebný kyslík. Ten se dodává ve formě vzduchu, kde je ho okolo 21 %. Proto by bylo potřeba dodávat skoro pětkrát větší objem, než je potřeba samotného kyslíku. V realitě je potřeba vzduchu ještě o něco více. To nám udává součinitel přebytku vzduchu, který říká, kolikrát víc reálného vzduchu je potřeba oproti teoretické hodnotě. Tato hodnota se mění v závislosti, jaké palivo používáme, jakou jeho formu, popřípadě v jakém typu kotle dochází ke spalování. Vyšší množství by nebylo potřeba leda v případě, že by palivo bylo dokonale drobné a vzduch byl perfektně rozložen po celém prostoru, kde dochází ke spalování, čehož prakticky nemůžeme dosáhnout. Zároveň je nutné dodat, že uvolněné teplo se liší u jednotlivých reakcí. Takže kdyby bylo kyslíku méně, než je potřeba, reakce uhlíku by se alespoň částečně změnila na tuto reakci:



Nejen, že by byl do ovzduší uvolňován toxický oxid uhelnatý namísto oxidu uhličitého, zároveň by se uvolnilo méně energie ve formě tepla, a tudíž by bylo spalování méně efektivní.

Spalování suché pevné biomasy dodnes patří k nerozšířenějšímu způsobu využití energie z biomasy. Při spalování biomasy je vhodné brát v zřetel proměnlivé vlastnosti biomasy a dávat pozor na průběh spalování a zároveň čištění spalin. Jelikož palivo bývá různorodé, je nutné se zabírat například možnými emisemi oxidu uhelnatého.

2.2.1 Rozdělení kotlů:

Ke spalování slouží převážně kotle a topeniště. Ty můžeme podle zákona č. 201/2012 Sb. dělit do 3 základních kategorií:

1. Stacionární zdroje nad 50 MW
2. Stacionární zdroje 0,3 – 50 MW
3. Stacionární zdroje méně než 300 kW

Tyto zdroje se pak dále dělí na menší podskupiny a zákon obsahuje jednotlivé požadavky pro tyto kategorie. Zároveň je možné kotle a topeniště dělit podle již zmíněného výkonu nebo typu paliva na:

- Dřevo zplyňující kotle

Jedná se o kotle nižšího výkonu (většinou v rozmezí 15–50 kW, maximálně do 100 kW). Tyto kotle se hodí pro vytápění například rodinných domů nebo menších objektů. Jedná se o kotel pro kusové dřevo. S tím přichází i nutnost dřevo postupně doplňovat. Zásobníky takovýchto kotlů vydrží přibližně 5 hodin bez přikládání. Přesná hodnota je samozřejmě dána velikostí zásobníku a kvalitou dřeva. Pomocí pyrolýzy dochází ke spalování plynu namísto čistě kusového dřeva. Uvolněný plyn je pomocí trysky přiváděn do samotné spalovací komory.



Obr. 8 – funkční schéma zplyňovacího kotle

- Automatická kamna a kotle

Slouží pro spalování pelet, popřípadě slámy. Zde se výkon může pohybovat v poměrně velkém rozmezí a to od 6 až například do 1000 kW. Palivo zde bývá dopravováno do kotle pomocí šnekových nebo jiných přepravníků. Pokud se kotel správně používá, jedná se o jeden z nejkologičtějších způsobů spalování pevné biomasy. Díky automatizaci je dopravník ovládán řídicí jednotkou a je dodáváno optimální množství paliva. Zároveň hořáky mívají velký rozsah možné regulace, a to i v rozmezí 20–100 % výkonu. Zásobník bývá dimenzován tak, aby se palivo mohlo doplňovat pouze jednou v rámci několika dní. V případě nutnosti lze pořídit ještě další externí zásobník. V závislosti na používaném druhu paliva je nutné také nastavit periodu vysypávání popela. V tomto je velká výhoda pelet oproti konvenčnímu uhlí, kde je obsah popeloviny okolo 0,5 % oproti 10 %, čímž se nutný interval rapidně prodlouží.



Obr. 9 – funkční schéma automatického kotle

Takto jsme mluvili o automatických kotlích, které se hodí pro vytápění domácností, podniků nebo i menších komplexů. Existují ale i **velké automatické kotle**. Zde se setkáváme i s výkonem okolo 10 MW. Tyto kotle pak mohou spalovat celou škálu materiálů od dřevní hmoty ve formě kusového dřeva, přes slámu, popřípadě i kůru. Existuje více způsobů provedení samotné konstrukce. Bývají teplovodní, horkovodní nebo i parní. Ty pak bývají doplněny parní turbínou, která slouží k výrobě elektřiny.

2.2.2 Výroba elektrické energie

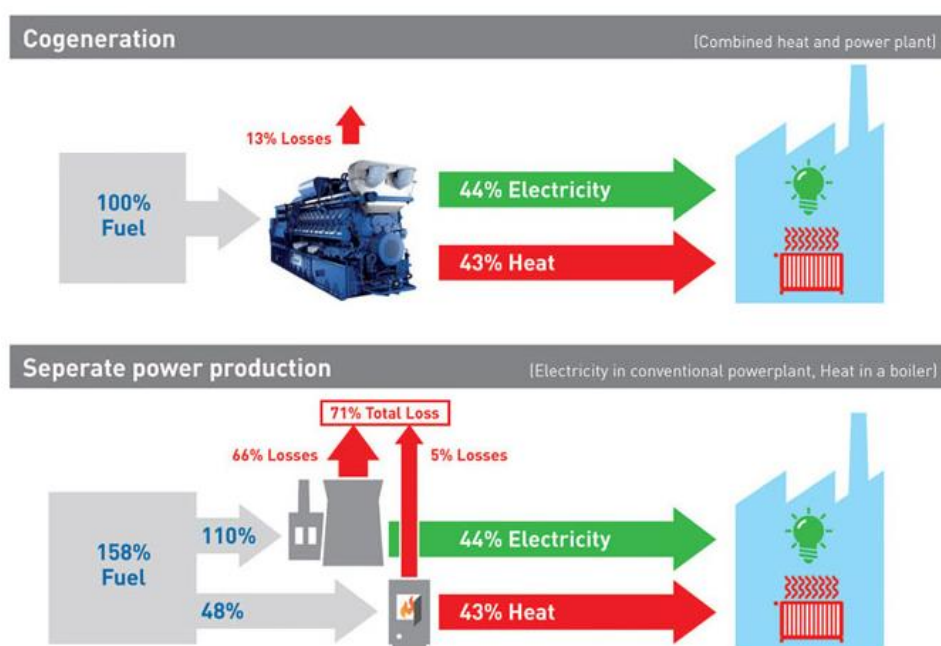
Biomasa je, co se výhřevnosti týče, podobný zdroj jako hnědé uhlí. Je zde ale komplikovanější způsob úpravy. Uhlí se drtí na jemný prášek, řádově o velikosti desítek až stovek mikrometrů, což umožní dobré promíchání se vzduchem při spalování, a tudíž i nižší potřebu vzduchu. U biomasy je obtížné dosáhnout podobných rozměrů, proto se nejčastěji pálí ve fluidních kotlích. Zároveň má biomasa nižší hustotu než uhlí, a tak pro výrobu stejného množství energie spotřebuje vyšší objem. Problémy způsobuje také pomalejší hoření, časově náročnější vysoušení a také nehomogenost biomasy. Ta může obsahovat různé hořlavé látky, které mohou mít různou teplotu zplynování. Proto spousta zařízení spaluje biomasu spolu s lignitem (mladé hnědé uhlí) nebo jiným méně kvalitním uhlím. To ale způsobuje vyšší produkci emisí. V případech, kdy funguje elektrárna pouze na biomasu, mívá nižší výkon, a to i o desítky procent. Samotná výroba elektrické energie není velice výhodná, jak už se zmínilo, účinnost se zde pohybuje okolo 40 %. Výhodnější je takzvaná kogenerace, tedy proces, při němž je zbylé teplo z výroby elektřiny využito pro vytápění například měst namísto prostého vypuštění do okolí.

V České republice existují velké elektrárny na biomasu, a to například elektrárna Poříčí nebo Hodonín. Oba tyto komplexy se v současné době věnují jak výrobě elektřiny, tak i výrobě tepla a dosahují poměrně vysokého výkonu, kde se v elektrárně Poříčí II vyskytují 3 bloky, každý o výkonu 55 MW. Elektrárna Hodonín má pak výkon 105 MW. Elektrárny na biomasu o takovém výkonu musí čelit důležitému problému a tím je nutnost paliva. Například elektrárna Hodonín má denní spotřebu biomasy mezi 1800 a 2200 tun na den. Zároveň je nutné, aby zdroj byl místní kvůli ekonomické (a emisní) výhodnosti, a to z okruhu 50 km.

2.2.3 Kogenerace – spolu výroba tepla a elektřiny

Kogenerace neboli kombinovaná výroba energie a tepla (KVET) je způsob, jak vyrábět elektrickou energii a zároveň i teplo v rámci jednoho zařízení. Tento způsob se jeví jako ekonomicky výhodný a zároveň i environmentálně šetrný. Je vhodné tento princip využít jako drobný zdroj ve formě mikrokogenerační jednotky, středně velkého zařízení (výtopny), tak i jako zdroj větší (teplárna). Rozvoj například menších zařízení by mohl pomoci decentralizaci zdrojů a tím snížit ztráty z rozvodových systému. Na druhou stranu je nutné podotknout, že menší zdroje nemívají finance na tak kvalitní ošetření spalin, jako zdroje větší.

Jelikož není teplo vzniklé při výrobě elektrické energie vypuštěno do okolí a je využito pro vytápění například měst, je účinnost takového zařízení mnohem vyšší. Jak už bylo zmíněno, pohybujeme se v hodnotách až okolo 90 %, narozdíl od samotné výroby elektřiny. Z toho plyne, že se využije vyšší procento energie z primárního paliva a tím pádem je ho potřeba méně, než kdyby docházelo k výrobě ve 2 oddělených zařízeních. Zároveň je zde výhoda, že z obecného hlediska lze využít téměř každý zdroj energie. Od fosilního uhlí nebo zemního plynu, přes biomasu v různých formách, až například po objevující se pokusy s palivovými články. Jako všechno na světě, nic není perfektní, vždy se vyskytují určitá negativa. Jedním z nich může být provázanost výroby elektrické energie pomocí kogenerace na odběru tepla, které je závislé na časovém období a počasí. Zároveň i výrobu elektrické energie je zapotřebí regulovat vzhledem k aktuálním potřebám sítě.



Obr. 10 – Efektivnost kogenerace oproti rozdělené výrobě

Přestože kogenerační technologie zažívají v posledních letech rozmach, byly známé už dříve, a to u tepláren. V současné době existuje tedy více technologických možností, jak uplatnit kogeneraci. Například využití parních turbín, plynových motorů atd. Čím dál více se také uplatňuje ORC, tedy organický Rankinův cyklus. Organický z toho důvodu, že provozním médiem není voda, ale organická látka, například olej o lepších vlastnostech.

3 Vliv spalování biomasy na životní prostředí

Jeden z faktorů mluvící ve prospěch přechodu z fosilních paliv na biomasu je, jak už bylo mnohokrát zmíněno, jeho teoretická uhlíková neutralita. Teoretická proto, že biomasa není spálena v místě růstu, je třeba ji nejprve nějakým způsobem sklídit, zpracovat a přepravit. Všechny tyto činnosti mají za následek růst emisí. Samozřejmě, i když tyto vedlejší emise zanedbáme, je tu otázka toku času. Například strom při svém růstu absorbuje vzdušný oxid uhličitý po dobu několika let, ne-li desetiletí. Všechno tento uhlík je pak jednorázově uvolněn spálením během několika vteřin. Když bychom uvážili mnohem širší časový horizont, například namísto desetiletí, miliony let, bylo by možné říct, že i uhlí je uhlíkově neutrální, protože veškerý uhlík byl pohlcen v době svého růstu a následně byl zakonzervován v hlubinách země. Zároveň není CO₂ jediným emisním plynem, jehož zvýšení koncentrace může mít dopad na životní prostředí. Také hraje velkou roli, o jaký konkrétní typ biomasy se jedná a jakým způsobem dochází k jeho spalování. Různé škodliviny podléhají různým podmínkám a faktorům pro jejich vznik a zároveň i pro jejich omezení.

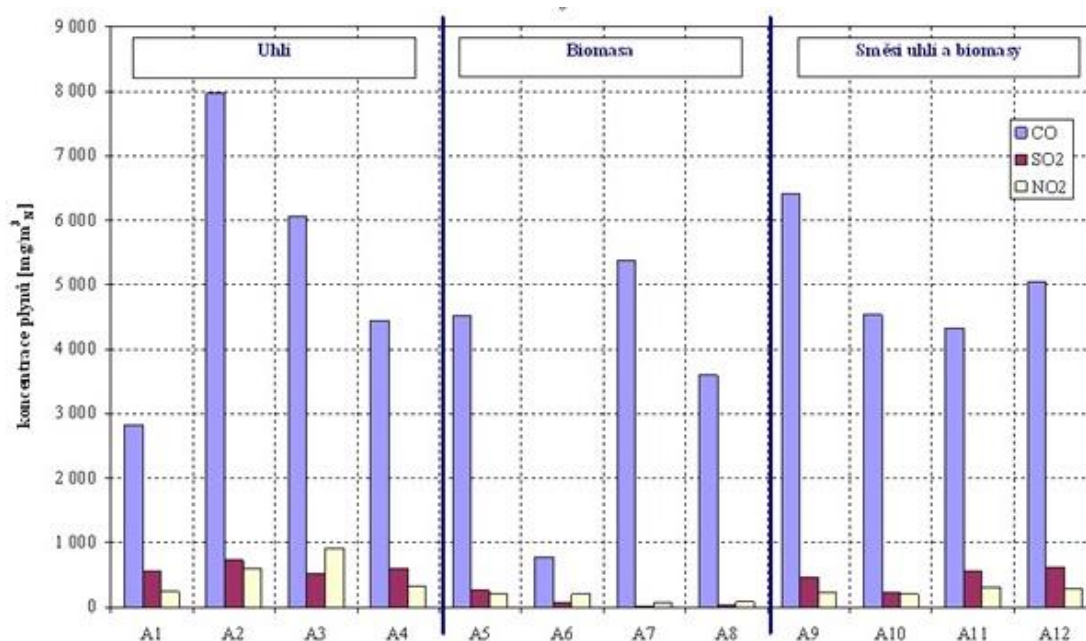
Faktory jednotlivých plynů:

- **CO** – Oxid uhelnatý je bezbarvý hořlavý značně jedovatý plyn. Jeho koncentrace ve spalinách je významným ukazatelem kvality spalování. Je následkem buď špatně nastavených parametrů kotle, především tedy obsahu kyslíku či nízké teploty hoření, nebo krátkého času pro důkladné prohoření.
- **CO₂** – Jedná se o chemicky stálý plyn, který je těžší než vzduch. Je také běžnou součástí atmosféry, kde se jeho koncentrace pohybuje okolo 0,04 %. Je to produkt dokonalého hoření organických látek, proto s koncentrací ve vypouštěných emisích nemůžeme moc udělat.
- **NO_x** – Existuje více oxidů dusíku. Nejvýznamnější, co se týká vlivu na člověka, je asi NO₂, to je červenohnědý agresivní jedovatý plyn. Emise dusíku jsou ovlivněny

obsahem dusíku v palivu a také teplotou v kotli. Na rozdíl od oxidu uhelnatého je vyšší koncentrace oxidů dusíku způsobena vyšší teplotou. Teploty nad 1000 °C dávají vzniknout takzvaným vysokoteplotním nebo taky termickým NO_x . Ty vznikají z dusíku obsaženého ve vzduchu a je možné je regulovat koncentrací kyslíku anebo délkou doby, ve které dusík setrvává v zóně s vysokou teplotou.

- **SO_2** – Oxid siřičitý je bezbarvý štiplavě páchnoucí jedovatý plyn. Zároveň se jedná o jednu z nejdůležitějších znečišťujících látek v městských zástavbách na světě. Jeho škodlivost se projevuje 2 způsoby. Primárně může způsobovat například dýchací potíže v blízkém okolí místa vypouštění. Sekundárně může měnit svoji povahu v atmosféře a společně s vodními párami vytvářet slabou kyselinu, která může dopadat na povrch ve formě kyselého deště. Při spalování bývá již obsažena v samotném palivu, tudíž s jeho koncentrací nemáme možnost moc udělat. Možností by bylo chemické čištění paliva, což by byl úkol neproveditelný v takové kvantitě, jaká by byla potřeba. Jediné možné řešení je tedy jeho separace ze spalin. Při spalování biomasy je zde výhoda, jak již bylo výše zmíněno, že obecně je v biomase nižší zastoupení síry než v uhlí.

Kromě těchto zmíněných plynů existuje celá řada dalších chemických sloučenin, které se mohou vyskytovat ve spalinách, jejich koncentrace ale nebývá takto vysoká.



Obr. 11 – Ilustrační koncentrace emisí při spalování v kotlích malého výkonu (Ax – jednotlivá měření)

3.1 Odlučování tuhých částí

Drobné pevné částice pohybující se volně ve vzduchu mohou mít negativní účinek na člověka, potažmo i životní prostředí. Pevné částice se do vzduchu dostávají jak přírodní cestou, tak i lidskou činností, a to i spalováním paliva. Proto je třeba pokusit se jejich koncentraci ve vzduchu co nejvíce omezit. Tuhé částice vzniklé při spalování jsou nespálené anorganické části paliva. Tyto nespalitelné anorganické částice se nazývají popelovina. Spálením se z popeloviny stává popel a je-li unášen v proudu vzduchu, nazýváme jej popílčkem. Pokud by částice byly drobnějších rozměrů, mohou být nazývány dýmem a v případě nedokonalého hoření kouřem. Zákon stanovuje limity omezující vypouštění pevných částic do ovzduší. Tyto limity určují výši poplatku za vypouštění tuhých částic do ovzduší.

Pro odlučování popílku z nosného plynu známe několik různých principů a způsobů. Každý z těchto způsobů je vhodný pro určité použití, které závisí na typu částice, kterou chceme separovat (lepivé, abrazivní, výbušné atd.), její velikosti, na možných tlakových ztrátách anebo na ekonomických nárocích. Většinou se také nesetkáváme pouze s jednou metodou, ale bývá jich několik za sebou řazených pro dosažení optimální účinnosti.

- Suché mechanické odlučovače:

Jedná se o historicky nejstarší odlučovače. Jde o relativně levná, technicky nenáročná, spolehlivá zařízení. Fungují převážně na gravitačním a setrvačném, potažmo odstředivém principu. Nevýhodou bývají vyšší prostorová náročnost a nižší účinnost. Jsou vhodné pro větší částice o vyšších koncentracích. Většinou se s nimi setkáme jako s předstupněm odlučovacího procesu.

Do této skupiny můžeme zařadit například **usazovací komoru**, fungující primárně na gravitačním principu, pro kterou je optimální nižší rychlost proudění ($< 1\text{ m/s}$) s nízkou tlakovou ztrátou. Dále by sem bylo možné zařadit **prašník**.

Suché mechanické odlučovače fungující primárně na setrvačný princip jsou například **lamelové** a **žaluziové** odlučovače. Ty jsou vhodnější pro nižší koncentrace než výše zmíněné odlučovače, zároveň jsou vhodné vyšší rychlosti proudění. Nevýhodou jsou pak vyšší tlakové ztráty.

Jako poslední bych do této skupiny zařadil odlučovače **vírové** neboli **cyklónové**. Tyto typy jsou hojně rozšířené. Obecně fungují na odstředivém principu, ale jejich

provedení se může často lišit, a to například konstrukcí vstupu nosného plynu nebo provedením výsypky. V praxi se pak sestavuje více jednotlivých prvků paralelně do skupin nebo baterií.

- **Mokrý mechanický odlučovač:**

Mokrý odlučovač fungují na podobném principu jako odlučovač suchý. Jejich výhoda oproti suchému principu je například nižší prašnost, menší nároky na zastavěnou plochu, vhodnost i pro výbušné částice a v neposlední řadě zvýšená odlučivost jemnějších prachů a možnost zachycení i plynných nečistot.

Jelikož se jedná ale už o složitější konstrukce, dostáváme se na nevýhody s tím spojené, a to dražší pořizovací náklady, obtížnější obsluhu, náročnější údržbu. Zároveň jsou nevhodné pro částice lepivé, nesmáčivé nebo takové, které jsou při kontaktu s vodou výbušné. Nesmíme opomenout i samotnou nutnost přítomnosti vody. S tou je spojené riziko koroze, zamrzání při nízkých teplotách a zároveň nevhodnosti vysokých teplot nosných plynů z důvodu vyššího odparu vody a tím i ochlazení plynu. S nutností vody jde ruku v ruce i potřeba kalového hospodářství, protože se nečistoty smáčením neodstraní, pouze přesunou do jiného média. A i když voda cirkuluje, je zde nutnost doplňovat, jelikož systém není dokonale nepropustný a dochází k již zmíněnému odparu.

Důležitým faktorem je pak **měrná spotřeba vody**, která udává kolik vody je potřeba pro odloučení 1 m³ spalin. Tedy čím je tato hodnota vyšší, tím je vyšší kontaktní plocha mezi kapalinou a plynem a tím i vyšší odlučitelnost.

I zde jako u suchých mechanických odlučovačů se můžeme setkat s více principy a více způsoby realizace zařízení vzhledem k podmínkám, pro které bude zařízení využito. Jako první exemplář si můžeme uvést **sprchové odlučovače**. Tato zařízení fungují na setrvačném principu při obtékání kapek a jsou jedny z nejjednodušších mokrých odlučovačů. Je možné je rozdělit na 2 základní typy, a to sprchové věže a komory. **Sprchová věž** využívá nízkotlakých trubek s vodou, ze kterých jsou dovnitř zařízení vstříkovány relativně velké kapky. Konstrukčně jsou stavěny do svislé polohy a plyn stoupá od zdola nahoru o nižší rychlosti (<1,5 m/s). Tento způsob bohužel nedosahuje příliš velké odlučitelnosti. Druhou možností je pak **sprchová komora**. Ta je konstruována do horizontální polohy. Voda je přiváděna vysokotlakými trubkami a rozstříkována. Výsledné kapky jsou pak menší a celé zařízení má poté nižší tlakovou ztrátu a i spotřebu vody. Zároveň nosný plyn může

proudit vyšší rychlostí než u sprchové věže. Za nevýhodu můžeme považovat potřebu odlučovače kapek.

Další možností jsou **setrvačné odlučovače**. Sem můžeme opět zařadit několik podskupin. Jednou z možností jsou **odlučovače se skrápěnými překážkami**, kde jsou pověšeny pruty, které jsou skrápěny vodou. Nosný plyn pak tyto pruty obtéká. Dále sem můžeme zařadit odlučovače se skrápěnou pevnou vrstvou, kde plyn protéká smáčenou vrstvou. Je zde vyšší odlučivost a nižší spotřeba vody, zároveň ale i vyšší tlaková ztráta. Jako třetí typ bychom mohli označit **odlučovač se skrápěnou pohyblivou vrstvou**. Jedná se o svislou konstrukci, složenou z několika pater vyplněných lehkými kuličkami. Tyto kuličky jsou smáčeny vodou shora konstrukce. Ze spodu pak prochází plyn, který uvede kuličky do vířivého pohybu. A v neposlední řadě do skupiny setrvačných odlučovačů patří **hladinové odlučovače**. Ty patří mezi nejrozšířenější mokré odlučovače. Samozřejmě i u tohoto typu se můžeme setkat s více variantami provedení. Plyn je zde přiváděn shora proti hladině. Tlaková ztráta je tedy vysoká.

Dále existují například **vírové odlučovače**, které pracují na stejný princip, jako tomu bylo u vírových odlučovačů suchých s rozdílem, že stěny jsou ostříkovány vodou. **Pěnové odlučovače** využívají probublávání plynu skrz rošt, kde je vytvořena pěnová vrstva. Je zde bohužel poměrně velká tlaková ztráta, která roste s každým patrem odlučovače. A na závěr **proudové odlučovače**, které mají z výše zmíněných odlučovačů nejvyšší odlučivost, ale zároveň i nejvyšší tlakové ztráty. Plyn i kapalina jsou při vysoké relativní rychlosti přiváděny do Venturiho trubice. Způsob, jakým je tak prováděno se může samozřejmě lišit.

- **Elektrické odlučovače**

Elektrické odlučovače mají více velkých výhod oproti klasickým mechanickým odlučovačům. Vyznačují se minimální tlakovou ztrátou, jsou schopny pobrat malé i velké objemy plynů, separovat drobné i rozměrnější částice a snesou vysoké teploty. Odlučivost dosahuje až 99,5 %. Existuje zde ale i velké množství omezení a problémů spojených s využitím tohoto typu odlučovače. Jedním z největších problémů jsou velmi vysoké náklady, jak pořizovací, tak i provozní. Zároveň se jedná o práci s vysokým napětím, je zapotřebí kvalifikované obsluhy. Zařízení zabírá relativně velký prostor a je nevhodné pro výbušné prachy.

Co se principu týče, tyto odlučovače fungují na principu využití přitažlivých sil mezi nabitými částicemi, v tomto případě pak mezi nabitou částicí a sběrací elektrodou. K nabití částic dochází pomocí pole mezi elektrodami. To ionizuje procházející plyn a ten předá záporný náboj částicím. Ty jsou pak silou přitahovány ke kladně nabitě sběrací elektrodě, kde se usadí, odevzdají náboj a jsou odstraněny například oklepem.

Důležité je správné nastavení napětí elektrod. Je potřeba dosáhnout vyššího napětí než napětí kritického, tedy napětí, kdy elektrodami začne procházet proud a dojde k vzniku tzv. korony a tím i k ionizaci prostředí. Zároveň se nesmí přesáhnout napětí průrazné, kdy již nebude možné koronu vytvořit. Napětí, které je možné na elektrodu přivést, je závislé na několika faktorech. Mezi tyto faktory patří složení a vlastnosti vstupního plynu (tlak, teplota, vlhkost, odpor částic atd.) nebo například rozměry a vzdálenosti elektrod. Typická hodnota napětí bývá v rozpětí mezi 40–75 kV.

Podle uspořádání elektrod můžeme elektrické odlučovače dělit na komorové nebo trubkové. **Komorové odlučovače** jsou jedny z nejužívanějších odlučovačů, převážně pro elektrárny, spalovny a jim podobná zařízení. Usazovací elektroda je tvořena několika zavěšenými pásy. U **trubkových odlučovačů** jsou svěrací elektrody řešeny pomocí trubek. Jejich nevýhodou je možný zpětný spád nečistot do proudu plynu.

- **Filtry:**

Filtry jsou vhodným zařízením pro odlučování i velmi jemných částic. Mohou být průmyslové anebo filtry atmosférického vzduchu. Vzhledem k tématu této práce by se dalo hovořit o filtrech průmyslových, tedy filtrech s regenerativní vlastností. Základem této metody je zachycování nečistot v porézní hmotě protékané plynem. Částice jsou zprvu zachycovány ve filtračním médiu. S rostoucí koncentrací zachycených částic se začnou usazovat na povrchu a vytvoří tzv. filtrační koláč, který sám zvyšuje filtrační vlastnosti, ale zároveň zvyšuje tlakovou ztrátu. Z tohoto důvodu je potřeba filtr jednou za čas pročistit. Toho lze docílit více způsoby.

Materiál užívaný pro filtry bývá většinou nějaký typ porézní tkaniny. Pro volbu ideálního materiálu musíme znát vlastnosti částic, které chceme separovat, a zároveň vlastnosti nosného plynu, který bude procházet. Od těchto faktorů se budou odvíjet faktory jako tloušťka vrstvy, poloměr vláken, tepelná odolnost, pevnost v tahu, prodyšnost nebo například chemická odolnost.

Co se týče konstrukce, můžeme se setkat s **hadicovými filtry, kapsovými filtry** nebo **filtry se zrnitou vrstvou**. Zároveň existuje více způsobů, jak tyto filtry lze regenerovat. Jedním ze způsobů je pulzní regenerace, kdy vysokotlaká tryska prorazí filtrační koláč. Tento způsob se využívá například u hadicových filtrů a je možné jej využít za chodu. Další metodou může být například zpětný proplach (profuk). Zde se bohužel musí provoz na moment přerušit, proto se řadí více filtrů paralelně s tím, že vždy funguje jen část celého zařízení, zatímco se druhá část regeneruje. Tento princip je na druhou stranu šetrnější k textilií filtru a může prodloužit jeho životnost.

3.2 Odlučování plynných příměsí ze spalin

Jak už jsme si zmínili, proces spalování biomasy a tím i možné emise jsou ovlivněny několika faktory. Oproti uhlí je zde delší relativní doba prohoření, vyšší potřeba vzduchu při spalování, nižší objemová hustota paliva a mnoho dalších. Obecně ale platí, že při hoření biomasy dochází ke vzniku stejných látek jako při hoření jiných organických látek (například vody ve formě páry, oxidu uhličitý atd.). Zároveň ale vznikají i látky odlišné, a to v závislosti na původním složení paliva. Mezi nejčastější emise vzniklé spalováním biomasy se řadí již zmíněná voda, oxid uhličitý, dále pak oxid uhelnatý v případě, že palivo špatně prohoří (dojde k nedokonalému spalování), oxidy dusíku, které mohou vzniknout z dusíku obsaženého v palivu a dusíku obsaženého ve vzduchu, je-li teplota v kotli vysoká. V neposlední řadě oxid siřičitý, který vzniká ze síry obsažené v palivu.

Pro posuzování produkce emisí existuje několik právních předpisů. Tyto předpisy jsou poté členěny podle instalovaného výkonu daného zařízení.

Pro omezení vzniku nebo dokonce zabránění vzniku některých emisí je spousta způsobů. O možnosti uplatnění většinou rozhoduje ekonomická stránka věci společně s legislativními požadavky. Obecně bych zde popsal některé z rozšířenějších způsobů redukce škodlivin u jednotlivých polutantů.

- **Dekarbonizace:**

Oxid uhelnatý je toxický plyn. Jelikož se jedná o plyn, jehož koncentraci lze upravit parametry kotle, nepoužívají se zařízení pro jeho odstranění po procesu spálení. Pro jeho eliminaci je nutné vypočítat potřebné množství vzduchu (konkrétně tedy kyslíku) a výsledné množství musíme ještě zvýšit, protože kyslík není rozložen dokonale v celém prostoru. Velikost součinitele přebytku vzduchu se bude odvíjet od typu použitého kotle a tvaru a vlastnostech paliva.

Oxid uhličitý je přímým produktem spalování uhlíku, tedy základu organických látek. V současné době nedochází k cílené separaci tohoto plynu ze spalovacích zařízení. Na druhou stranu se začínají objevovat koncepty a projekty snažící se ukládat tento plyn například pod zem. Tento a podobné projekty jsou ale zatím pouze v počátcích, avšak mohly by znamenat progresi v budoucím energetickém odvětví.

- **Odsiřování:**

Jak uhlí, tak biomasa může obsahovat určitý podíl síry. U biomasy bývá tento podíl nepatrný. Přesto však je nutné emise převážně oxidu siřičitého držet v minimální možné koncentraci, a to ať už z legislativního hlediska, kdy dochází k jeho zpoplatnění, tak i z hlediska morálního.

Zde je možné hovořit o více způsobech. Nejzákladnější rozdělení procesů je na regenerativní a neregenerativní. Při neregenerativním procesu můžeme dostat produkt, který najde uplatnění v jiném průmyslovém odvětví, například energosádrovec. Bohužel je zde podmínka stálého přísunu určité látky. Tento princip je velmi rozšířený. Odhadem okolo 95 % systémů na odsiřování funguje právě na tento princip. Regenerativní procesy tedy zabírají asi 5 %. Zde se aktivní látka po vykonání přeměny vrací zpětně do celého koloběhu. Avšak tyto procesy bývají velmi náročné. Další možný způsob rozdělení způsobů odsiřování je dán tím, v jakém stavu látka do procesu vstupuje a vystupuje. U mokrého principu je vstup i výstup mokrá, dále u polosuchého je vstup mokrá, ale výstup suchý a u suchého jsou oba stavy suché.

Neregenerativní odsiřování:

○ **Mokrá vápencová vypírka:**

Jak už samotný název napoví, jedná se o mokrá proces. Jedná se o nejčastěji užívanou metodu odsiřování u velkých energetických zdrojů a jeho účinnost přesahuje 90 %. Nevyčištěná směs projde do absorbéru, kde dochází k ostříkovaní vápencovou suspenzí. Vyčištěný plyn je tedy i ochlazen. Teplota výchozího plynu se pohybuje okolo 60 °C a plyn dále míří do komínu. Vedlejším produktem tohoto procesu je sádrovcová suspenze, která je odčerpávána a odvodněna až se z ní stane sádrovec. Ten může sloužit jako sekundární materiál například ve stavebnictví. Nevýhodou je opět vysoká cena a náročnost na prostor. Zároveň je potřeba vytvořit vápencové/sádrovcové hospodářství.

- **Rozprašovací absorpce:**

Jedná se o polosuchou metodu. Bývá používána středně velkými zařízeními. Sice dosahuje nižší účinnosti okolo 75 %, ale jelikož je levnější než mokrá vápencová vypírka, tak si ji mohou dovolit pořídit. Dochází zde k nástříku vápenného mléka neboli hydroxidu vápenatého. Během této reakce dochází k absorpci SO₂ a odpaření vody. Jedná se tedy o poměrně jednoduchou metodu. Výsledný produkt, ač je podobného složení jako u mokré vypírky, dosahuje nižší kvality a není příliš vhodný pro sekundární uplatnění. Je ale možné jej bezpečně skládkovat.

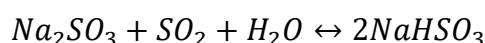
- **Aditivní metoda:**

Zde se jedná již o suchý proces. U této metody dochází k odstraňování síry přímo již ve spalovací komoře. Nejvhodnější jsou fluidní kotle, kde je možné dosáhnout nejlepšího rozprašení a tím i dostatečné účinnosti. Přidané aditivum (nejčastěji pálené vápno nebo mletý vápenec) reaguje za určité teploty se sírou přímo obsaženou v palivu. Výsledkem reakce je směs popílku a sádry. Nevýhodou této metody je, že nezreaguje veškeré palivo s aditivem, což se může vážně projevit na účinnosti a také zvýšit obsah popílku. Zároveň je zapotřebí velká zásoba aditiva samotného.

Regenerativní odsiřování:

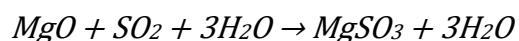
- **Wellman-Lord:**

Jedná se o proces absorpce SO₂ v roztoku siřičitanu sodného. Nasycený roztok je pak možné regenerovat pomocí vodní páry. Pomocí dalších reakcí je možné zachycenou síru využít při výrobě kyseliny sírové. Tento proces dosahuje vysoké účinnosti až 90 %.

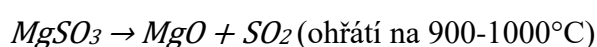
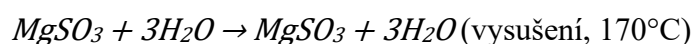


- **Magnezitový proces:**

Zde se využívá absorpce pomocí suspenze páleného magnezitu MgO.



Následná regenerace:



Opět lze výsledný oxid siřičitý upravit pomocí dalších reakcí na kyselinu sírovou.

- **Denitrifikace:**

Další plyn nebo v tomto případě plyny, u kterých je nutno snížit jejich emise, jsou oxidy dusíku. Ty mohou při spalování vzniknout 3 způsoby a podle toho je také nazýváme. První jsou vysokoteplotní neboli termické. Ty vznikají oxidací dusíku ze spalovacího vzduchu při vysokých teplotách. Dále jsou tu palivové, ty jsou obsažené v palivu a nemůžeme je tedy ovlivnit. A posledním zástupcem jsou okamžité. Ty vznikají na kraji plamene opět z dusíku obsaženém ve vzduchu.

Primárně se můžeme pokusit omezit vznik celkových NO_x . Snížení teploty ve spalovací komoře může zredukovat vznik termických oxidů. Zároveň i uzpůsobit ohniště k rychlejšímu odvodu spalin nebo například přivádět vzduch pouze do „pásů“. Tudíž vytvořit pás s přebytkem vzduchu, kde může dojít ke vzniku NO_x , a za ním pásmo s nedostatkem kyslíku, kde se mohou opět rozkládat.

Sekundárně můžeme odstraňovat emise oxidů dusíku, kterým jsme nezabránili vzniknout při cestě před vypuštěním do ovzduší.

o **Selektivní nekatalytická redukce:**

Princip SNCR spočívá v přímém vstřikování čpavku (NH_3) do kotle, kde se při kontaktu s NO mění na vodu a atomární dusík. Reakce probíhá kolem $900\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$. Jedná se o nepříliš používanou metodu, jelikož nezreaguje veškerý amoniak, pohybuje se výsledná účinnost okolo 50 % a zároveň dochází k úniku nezreagovaného čpavku do ovzduší, což může vést k dalším environmentálním potížím.

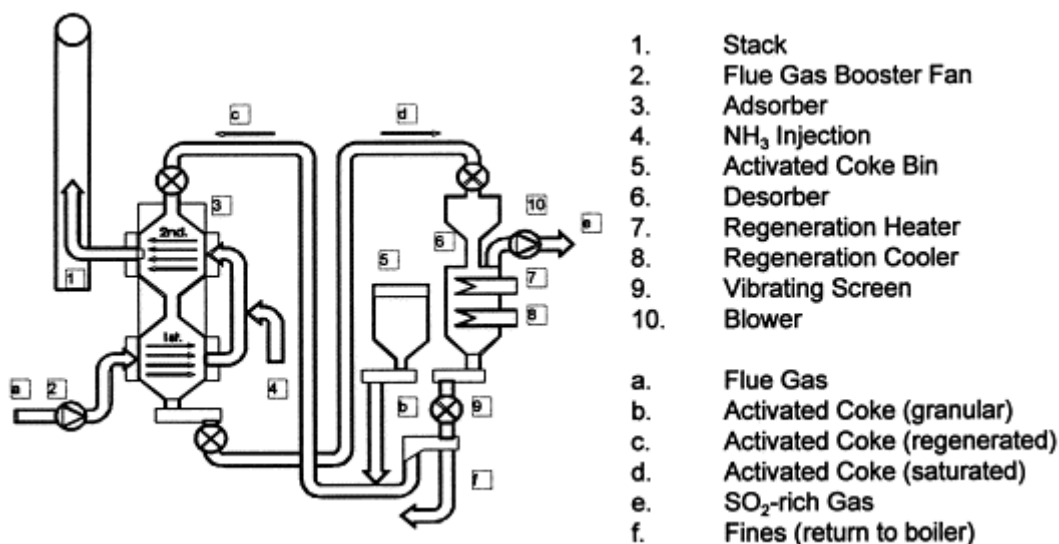
o **Selektivní katalytická redukce:**

Zde dochází ke zpracování spalin v katalyzátoru. Katalyzátor bývá konstruován jako keramická kostra pokrytá látkou, fungující jako katalyzátor reakce. Bývá konstruován do několika pater a je tak možné vyměnit a nahradit pouze opotřebované části. Účinnost je zde znatelně vyšší, a to kolem 80 %. Z chemického hlediska je zde opět využito čpavku a produkty a reaktanty jsou stejné, s rozdílem přítomnosti katalyzátoru a nižší reakční teploty ($300\text{--}350\text{ }^\circ\text{C}$).

o **Redukce na aktivním koksu:**

Jedná se o kombinovaný proces odstranění oxidů síry a dusíku ze spalin. V první fázi procesu dojde k zachycení SO_2 na povrchu aktivního uhlí. Reaktor je konstruován tak, že ve spodní části dochází k odsiřování a v horní následně

k denitrifikaci. Zachycený SO_2 se mění v pórech aktivního koksu na kyselinu sírovou a ta je dále separována pro další úpravu. Aktivní uhlí se zbytkovým SO_2 slouží jako katalyzátor při denitrifikaci, kam vchází spaliny se vstříknutým čpavkem. Tyto reaktanty spolu reagují za vzniku amoniaku a síranu amonného. Následně pokračuje aktivní koks k vyčištění. Vyčištěný plyn pak samostatně pokračuje ke komínu.



Obr. 12 – Schéma redukce na aktivním koksu

Existují samozřejmě další možné metody, jak se zbavit těchto plynných nečistot. Zde jsme si vyčetli nejznámější, nejvyužívanější, popřípadě jinak zajímavé metody.

3.3 Způsoby nakládání s tuhými zbytky

V předchozích kapitolách jsme si řekli, jak separovat popílek a plynné nečistoty ze spalin. Důležitou otázkou je, jak můžeme dále zpracovat popel, jelikož ho může vzniknout až několik tun v rámci jednoho zařízení a jednoho dne. Popel může obsahovat celou škálu anorganických látek, které se odvíjejí od druhu surovin a konkrétního místa růstu. Například v dřevnatých materiálech se může nacházet vyšší koncentrace vápníku. U slámy se může vyskytovat vyšší množství draslíku. Tyto prvky by mohly být využity jako druhotná surovina k dalším účelům. Jedním z těchto účelů může být úprava půdy, a tedy využití popelu jako hnojiva. Je nutné vzít v potaz, že ne všechny složky popelu mohou mít užitek. Je tedy nutné před použitím kontrolovat hodnoty rizikových prvků jako je například obsah rtuti, kadmia, olova a dalších. Limity těchto prvků určuje vyhláška ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb. a její novela Předpis č. 237/2017 Sb.

Mezi celkové výhody užití popela v zemědělství můžeme zařadit zvýšený přísun živin a mikroživin podporující růst a zdraví rostlin. Dále může měnit pH půdy, podporuje biologickou aktivitu mikroorganismů a v neposlední řadě může provzdušnit půdy a zlepšit schopnost držet vodu.

4 Srovnání spalování biomasy ve vztahu k fosilním palivům

4.1 Z energetického hlediska

Přestože se, co se výhřevnosti týče, biomasa pohybuje v podobných hodnotách jako uhlí, majoritně tedy lignit nebo hnědé uhlí nižší kvality, liší se od sebe složením hořlaviny, i popeloviny.

Tab. č. 4. Obsah hořlaviny v jednotlivých palivech

	C^{daf} [%]	H^{daf} [%]	N^{daf} [%]	O^{daf} [%]	S^{daf}_{celk} [%]	V^{daf} [%]
dřevo	51,0	6,9	0,26	41,8	0,03	81,9
šťovík	50,6	7,1	1,10	41,1	0,10	80,3
chrastice	51,2	7,1	3,47	37,9	0,20	79,4
seno	50,6	7,6	2,00	38,8	0,18	80,0
hnědé uhlí	64,6	5,7	1,27	20,6	3,35	54,0

Z tabulky č. 4 je možné vyčíst, že biomasa má nižší obsah uhlíku a síry a na druhou stranu vyšší obsah kyslíku.

Dále pak je zde rozdíl ve způsobu přivádění vzduchu při hoření, kde u spalování biomasy je potřebný vyšší součinitel přebytku vzduchu než u uhlí. Kdyby došlo k nedokonalému hoření, nejen, že by se jednalo o ekologický prohřešek ve formě zvýšené produkce oxidu uhelnatého a uhlovodíků, ale snížila by se i samotná účinnost spalování.

Složení popela je také důležitý faktor. Tyto rozdíly způsobují, že charakteristické teploty jako jsou teplota tání, měknutí a tečení jsou nižší než u uhlí. To má za následek, že je vyšší šance, že dojde ke spékání. To může ucpávat spalovací komoru a tím omezit prostor určený ke spalování a zároveň zhoršit prostupnost vzduchu a tím kvalitu spalování.

4.2 Z environmentálního hlediska

Jak už bylo řečeno, biomasa se považuje za uhlíkově neutrální zdroj energie. Zanedbáme-li rozdílnou dobu růstu rostliny a dobu, za kterou je spálena, můžeme toto tvrzení pokládat za správné. Při spalování biomasy se používají stejné principy odlučování pevných i plyných příměsí spalin. Přesto jedna z výhod biomasy spočívá v koncentraci síry, a tudíž by mělo docházet k nižšímu průchodu SO₂ jak ještě před odlučováním, tak i po samotném vypuštění komínem.

Z environmentálního hlediska můžeme najít možné uplatnění využití popela vzniklého z biomasy například v zemědělství. To by poskytovalo šetrnější alternativu komerční výroby chemických hnojiv, která uměle narušují přirozené koloběhy v zemině. V případě, že by koncentrace nebezpečných prvků obsažených v palivu překročila povolenou mez pro hnojiva, skýtá spalování biomasy výhodu oproti uhlí, co se množství popela týče. Množství popela obsaženého v biomase se odvíjí od konkrétního typu. Udává se, že se pohybuje okolo 1-7 %, přičemž dřevo obsahuje relativně málo popeloviny (< 2% v závislosti na obsahu kůry, která zvedá procentní koncentraci popeloviny), zatímco u trav jsou tyto koncentrace vyšší (okolo 7 %). Samozřejmě se najdou zdroje s mnohem vyšším obsahem, například u rýžových slupek se můžeme pohybovat až u 40 %. Jen pro srovnání, hodnota popeloviny se v černém uhlí uvádí 10–13 %. Tedy pokud by nastala potřeba popel skládkovat, popelu z biomasy by mělo být teoreticky méně.

4.3 Z ekonomického hlediska

Jak bylo zmíněno výše, spalování biomasy si klade jiné nároky než spalování uhlí. S tím jsou spojeny negativní ekonomické stránky při konverzi z uhlí na biomasu. Jsou zde zapotřebí zvýšené náklady na pořízení nového kotle, popřípadě úpravy kotle stávajícího, pokud se jedná o přestavbu již stávajícího zařízení.

Co se paliva týče, je cena velmi důležitým faktorem. Pro volbu zdroje nepotřebujeme znát pouze aktuální cenu. Očekáváme, že zařízení bude fungovat desítky let. Z tohoto důvodu je vhodné sledovat dlouhodobý vývoj cen jednotlivých paliv (hnědého i černého uhlí, palivového dřeva nebo i pelet) a odhadnout tak i budoucí vývoj. Je nutné přihlídnout k faktu, že celosvětové zásoby uhlí jsou omezeny a je tedy pravděpodobné, že jak se budou v příštích dekádách zásoby tenčit, bude stoupat i cena.

Za důležitý faktor můžeme považovat i EU ETS, tedy obchod s emisními povolenkami. Státy EU se zavázaly ke snižování emisí. Každý stát vydává emisní povolenky, jejichž počet je omezen. Ty jsou distribuovány mezi energetické, průmyslové nebo například letecké odvětví. Konkrétnímu zařízení je přidělen určitý počet na rok, tedy kolik tun CO₂ mohou za rok vypustit do ovzduší. Emise jsou zde monitorovány. Podle činnosti daného zařízení je možné přebytečné povolenky prodat zařízení, které emisní limit nespnilo. V případě, že zařízení nebude vlastnit dostatečný počet povolenek, bude sankcionováno. Celkový počet povolenek posílaných do oběhu se snižuje, což by mělo tlačit podniky k modernizaci zařízení a tím i snižování emisí. Zde přichází výhoda biomasy. Zařízení spalující výhradně biomasu nejsou do tohoto systému zařazeny. Zároveň u zařízení pro spoluspalování biomasy se uvádí nulový emisní faktor pro biomasu. To platí ale za určitých podmínek. Mezi ně patří například dodržení kritéria udržitelnosti.

U uhlí i biomasy je jiná objemová hmotnost, a to v neprospěch biomasy. To má za následek vyšší nárok na skladovací, převozní i samotný spalovací prostor na výrobu stejného množství energie a s tím spojené vyšší náklady. Zatímco u sypaného uhlí se pohybujeme okolo 700–750 kg/m³, tak u palivového dřeva většinou 400–500 kg/m³ v závislosti na obsahu vody. U štěpky je tato hodnota ještě nižší. Možným řešením by mohly být například pelety, ale i zde se dostáváme na hodnotu okolo 600 kg/m³. U pelet je ale potřeba počítat s vyššími náklady spojených s jejich výrobou, jelikož nejsou peletovací stroje zdarma a potřebují i další energetický vstup pro vykonání samotné úpravy.

Z ekonomického hlediska můžeme uvažovat i o využití odpadů vzniklých spalováním a také o již vícekrát zmíněném využívání popelu jako hnojiva. „Popel vzniklý z hoření biomasy obsahuje poměrně vysoké procento ve vodě rozpustných složek. Toto procento může dosáhnout i 60 %, kdežto u popelu z uhlí je tato hodnota znatelně nižší (0,2–7 %).“ [25] Z tohoto hlediska můžeme biomasový popel považovat za několikanásobně výhodnější.

4.4 Konkrétní příklad – Plzeňská teplárenská

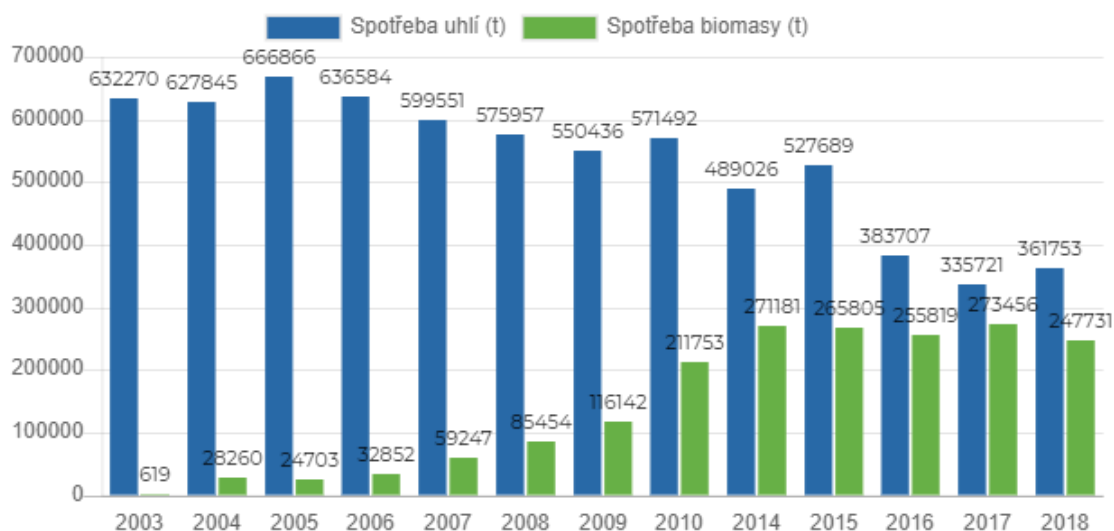
Plzeňská teplárenská se svou dlouholetou minulostí poskytuje tepelnou i elektrickou energii Plzni a okolí. V posledních letech přibyla i výroba chladu. S postupem času začala společnost povolna přecházet k zelenějším zdrojům a odklonila se tím od čistě fosilních paliv. Roku 2010 došlo k zahájení provozu „zeleného bloku“ sestávajícího z kotle K7,

turbosoustrojí TG3 a tepelného výměníku ŠO4. Tento blok může dodávat elektrický výkon 11,5 MWe nebo tepelný výkon až do výše 15 MWt. Kromě čistě biomasového zdroje zde dochází i ke spoluspalování uhlí a biomasy. V současné době zde dochází ke spalování dřevní štěpky společně s uhlím ve fluidním kotli K6, spalování pelettek v granulačních kotlích K4 a K5 a pak k již zmíněnému spalování čistě biomasy v kotli K7.

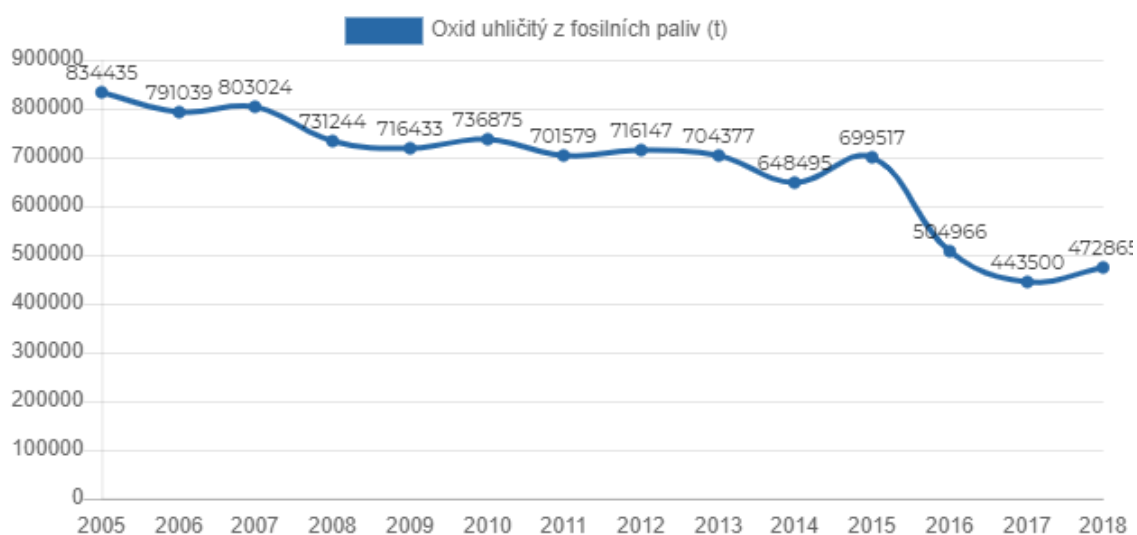
Předpokládaná spotřeba paliva pro kotel K7 činí 120 000 tun ročně ve složení v podobě zbytkového dřeva z těžby dřeva, udržovacích prací parků, nebo třeba slámy z řepky. Výhřevnost paliva by se tedy měla pohybovat okolo 7,5 až 13 MJ/kg při vlhkosti 30-50 %.



Obr. 13 – zelený blok teplárny



Obr. 14 – spotřeba paliva v průběhu let



Obr. 15 – emise CO2 v teplárně v průběhu let

Tab. 5 - Měrná produkce emisí a vedlejších produktů v kg/GJ vyrobeného tepla

	Jednotka	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Vedlejší energetické produkty	kg/GJ	17,832	16,541	19,557	15,902	16,566	17,430	17,190
Tuhé znečišťující látky	kg/GJ	0,011	0,009	0,004	0,003	0,007	0,005	0,004
Oxid siřičitý	kg/GJ	0,389	0,394	0,368	0,205	0,164	0,130	0,134
Oxidy dusíku	kg/GJ	0,120	0,094	0,094	0,075	0,084	0,061	0,058
Oxid uhelnatý	kg/GJ	0,023	0,037	0,030	0,038	0,031	0,029	0,027

Jak je možné z obrázku č. 14 vidět, s časem docházelo k nahrazování uhlí za biomasu, přičemž v roce 2017 došlo k spálení přibližně polovičního množství uhlí oproti roku 2005. Dále je na obrázku č.15 patrná klesající tendence emisí CO₂, přestože docházelo ke zvyšování výkonu teplárny. V kotlích Plzeňské teplárenské se ročně spálí okolo 250 000 tun štěpky, což poskytuje přibližně 150 000 MWh elektrické energie. To představuje přibližně jednu třetinu roční produkce energie. Konkrétně v roce 2019 došlo ke spálení 217 504 tun biomasy, což vedlo k ušetření 180 tisíc tun hnědého uhlí.

5 Návrh pro zvýšení účinnosti pro využití biomasy

Existuje více možných pohledů, kterými můžeme přispět k efektivnějšímu využití biomasy pro energetické účely. Za jeden z nich můžeme považovat technickou stránku věci, tedy konstruování efektivnějších kotlů pro daný druh paliva, popřípadě upravování kotlů již stávajících. Účinnost kotlů při využití kogenerace se může pohybovat nad 90 % (u kotle K7 v Plzeňské teplárenské dosahuje 91,93 %). Jedná se tedy o velmi vysoké hodnoty, u kterých lze předpokládat, že k jejich zvyšování bude docházet pouze drobnými krůčky o desetiny nebo setiny procent. Zároveň tato drobná zlepšení budou s největší pravděpodobností také velmi nákladná.

Jedna z možností může spočívat v lepší cirkulaci vzduchu uvnitř kotle, popřípadě dávkování pouze čistého kyslíku, čímž by se zredukovaly možné emise oxidů dusíku, jehož je v běžném vzduchu 78 %. Toto řešení by znamenalo podstatné zvýšení provozních nákladů, problematictější obsluhu a pravděpodobně i vyšší bezpečnostní riziko.

Další možná alternativa by se mohla skrývat ve zvyšování parametrů páry, tedy její vstupní teploty a tlaku. Tato úprava by mohla zvýšit účinnost při výrobě elektrické energie, nikoli však energie tepelné. Tlak se již dnes pohybuje v jednotkách MPa. Z mechanického hlediska se jedná o náročnou konstrukci na těsnost a odolnost obecně. Zvyšování již takto vysokého tlaku by konstrukci ještě více komplikovalo. Zvláště v případě, že zařízení musí vydržet dlouhou dobu v chodu (několik let téměř stálého chodu) a nikoho neohrozit.

Jako druhý pohled na věc bychom mohli zvolit zvýšení efektivity u již stávajících zařízení úpravou samotného paliva. Tento princip by měl být realizovatelnější a finančně méně nákladný než předchozí bod. Primárně můžeme mluvit o přetváření primárních surovin do formy pelet nebo briket. Zvýší se tím hustota hořlaviny v palivu a tím vzroste i výhřevnost a skladovatelnost paliva. Zároveň dojde k homogenizaci, což je také výhoda.

Dále by bylo možné podpořit spalování například stromů nakažených kůrovcem. V posledních letech jsou jím české lesy napadány ve velké míře a jeho přemnožení způsobuje téměř pravidelné kalamity. Dřevo po zasažení zůstává na místě a postupně degraduje. Pokud se na místě vyskytuje delší dobu, pozbývá možnosti využití nejen pro stavební účely, ale například i pro papírenství. Na druhé straně jeho hodnota pro energetický průmysl roste, protože dřevo leží na místě i dva až tři roky a postupně prosychá. Tím se snižuje doba na uskladnění, popřípadě energie potřebná pro jeho předvysušení. Jsou připravovány i lehce kontroverzní dotační podpory určeny pro tento sektor. Kontroverzní z toho hlediska, že by mohlo dojít úbytku běžné těžby dřeva a tím způsobit v budoucnu nedostatek dřevní štěpky, když bude kůrovcová kalamita zažehnána.

Na podobném principu by mohlo fungovat i spalování travin a slámy. Tedy po posečení je nechat schnout nějakou dobu na poli a tím ušetřit opět na době skladování, předvysušením ale zároveň ušetřit za dopravu, protože by se nepřeváželo takové množství zbytečné vody. Zároveň by schnoucí sláma chránila půdu před případným přehřátím a následnou erozí.

Samotné dosoušení na místě je možné vylepšit sušičkou, která využívá zbytkové teplo ze spalín před vypuštěním komínem.

Za třetí je nutné na celou věc nahlížet ze širšího úhlu. Nestačí pouze řešit samotnou technologii nebo palivo jako takové. Je třeba posoudit celý životní cyklus (LCA) paliva, tedy veškeré dopady na životní prostředí v průběhu procesu. Negativní dopad, se kterým není moc počítáno, může mít například umělé zavlažování rychle rostoucích dřevin, přeprava materiálu na velkou vzdálenost a s ní spojené emise produkované nákladními vozy nebo dokonce loděmi. Například spotřeba plně naloženého kamionu (20-30 tun) se může v průměru pohybovat okolo 35-50 litrů na 100 km. Když vezmeme v potaz rozebíranou teplárnu v Plzni, kde je denní spotřeba biomasy přibližně 650 tun, můžeme se dostat na značné hodnoty využitých pomocných paliv a zároveň i emisí. Čísla jsou mnohem horší, uvědomíme-li si, že i v Evropě stojí zařízení tvářící se jako ekologický zdroj energie a zároveň dovážejí biomasu ze stovek, ne-li tisíců kilometrů vzdálených míst. Možnost ušetřit palivo a tím i emise vypuštěné při přepravě může snížit podpora železniční přepravy. Nejenže je tak možno převážet značně vyšší objem nákladu najednou a tím ušetřit palivo, zároveň to usnadní a zrychlí vykládku zboží. Ušetřily by se tím i peníze za samotné zaměstnance přepravní společnosti. Samotná úprava biomasy také není energeticky nezávislá. Nějaké palivo spotřebují sklízecí stroje, další poté například štěpkovače.

Pro přeměnu běžné biomasy na pelety je potřebné taky dodat značné množství energie. Čím je delší řetězec přeměn, tím vyšší je emisní stopa.

Pro zvýšení účinnosti z ekologického hlediska bylo by vhodné pěstovat rychle rostoucí dřeviny v okolí řek, například v záplavových oblastech, které nemají jiné využití. Mohlo by se tak zpevnit samotné koryto řeky, dojít k lepšímu zadržení vody a tím snížit následky bleskových povodní a období sucha. Tím pádem by měly i samotné stromy dostatek vláhy, která by nemusela být dodávána z externího zdroje. K tomuto může směřovat i výstavba nových zařízení pro spalování biomasy. Tedy postavit zařízení v blízkosti města a zároveň v blízkosti místa růstu biomasy, aby převozová vzdálenost byla co nejkratší. V případě již stojících zařízení se opět pokusit o co nejbližší místo odběru. Také by mohlo přijít v potaz vytvoření programu na cílené pěstování biomasy organizované přímo konkrétním zařízením a minimalizovat tak budoucí náklady nákupu paliva a zajistit tak plnou udržitelnost a i vyšší nezávislost na externích dodavatelích. Tedy řídit se pravidlem, že za každý pokácený strom zasadím jeden nový. Ušetřilo by to práci i logistice samotné, jelikož by mohla odpadnout řada meziskladů. Cesta by se zkrátila i kdyby se vyjíždělo ze stejného bodu vzniku, neboť by se víc „napřímila“.

V případě pelet je zde více pro a proti. Je otázkou, jestli energie vložená do přeměny bude vykompenzována lepšími vlastnostmi paliva, ideálně jestli je navíc překoná. Přeměněné palivo má následně vhodnější vlastnosti při hoření, skladování i manipulaci. Záleží tedy hodně na konkrétním palivu, ze kterého budou pelety vyhotoveny a na konkrétních podmínkách a požadavcích v zařízení určeném pro finální spálení.

Závěr

Cílem této práce bylo zanalyzovat stav využití pevné biomasy za účelem výroby energie. Dále pak popsat technologie vhodné pro efektivní energetickou přeměnu a ekologickou bezpečnost tohoto procesu. Došlo zde ke srovnání spalování biomasy s tradičním zdrojem, tedy uhlím, hned v několika aspektech. V závěru práce jsem se pokusil nastínit možné způsoby, jak by se mohla zvýšit efektivita spalování biomasy pro budoucí léta.

V Evropské unii, a tedy i v České republice, se v posledních letech kladou čím dál vyšší požadavky na využívání obnovitelných zdrojů energie, mezi které patří i biomasa. Pro Českou republiku přichází kvůli její geografické poloze a potřebě energetické stability nejvíce v potaz právě spalování biomasy, potažmo méně podporovaná neobnovitelná, ale bezemisní jaderná energie. Státní podpora biomasy spočívá mimo jiné v uvažování spalování biomasy jako bezemisního zdroje (zdroje s nulovou uhlíkovou bilancí) a tím pádem její spalování nevyžaduje emisní povolenky. V praxi ale platí, že spalování biomasy produkuje oxid uhličitý. Nulová bilance je udávána, protože uvolněný oxid uhličitý byl pohlcen v průběhu růstu těla rostliny, a tudíž by měl celkový výsledek být roven nule.

Z technické stránky se spalování pevné biomasy příliš neliší od spalování uhlí. Využívají se stejná zařízení jak pro spalování, tak i pro čištění spalin jak pevných, tak plynných, jen s menšími úpravami. Například biomasa vyžaduje lepší cirkulaci vzduchu a podle druhu biomasy nižší teplotu v ohništi. Není výjimkou, že dochází ke spoluspalování především hnědého uhlí s biomasou v rámci jednoho zařízení.

Co se týče vlastností samotného paliva, je zde velká variabilita podle konkrétního typu. U uhlí se výhřevnost pohybuje přibližně od 9 MJ/kg (u lignitu) až po hodnotu lehce přesahující 30 MJ/kg u černého uhlí. U biomasy jsou tyto hodnoty obdobné jako u hnědého uhlí, kdy vysušené traviny mohou mít výhřevnost okolo 12 MJ/kg a pelety i ke 20 MJ/kg. U biomasy hraje vysokou roli obsah vody, a to až takovou, že se výhřevnost může po řádném vysušení až zdvojnásobit. Biomasa vyžaduje poměrně velké množství přidané energie pro její úpravu na vhodnější palivo. Další nevýhodou je horší homogenita a klasická biomasa (štěpka, sláma aj.) dosahuje nižší objemové hmotnosti hořlaviny. Ani již upravená zhomogenizovaná biomasa ve formě pelet nebo briket nemusí dosahovat takových hodnot jako právě uhlí.

Emise jsou také podobné. Z drtivé většiny obsahuje biomasa nižší zastoupení síry. Obsah dusíku pak silně závisí na tom, v jakých podmínkách rostlina vyrůstala a o jaký

konkrétní druh se jedná. Z hlediska skleníkových plynů napomáhá biomasa snižování emisí. Co se týče pevných zbytků, popel z biomasy má vyšší tendenci k připékání se, což může způsobit potíže ve spalovacím zařízení a tím ovlivnit výslednou účinnost.

Oproti uhlí může spalování biomasy přispět k nezávislosti na dodávce materiálu ze zahraničí a tím přispět k vyšší celkové nezávislosti. Zároveň se naskytuje možnost likvidace vybraných druhů odpadů, které se tím pádem nemusí skládkovat. Jelikož se biomasa obnovuje o poznání rychleji, není takové riziko, že by v následujících letech došla. Přesto však je důležité dbát na fakt, že se má jednat o obnovitelný zdroj energie. Tedy je potřeba dohlížet, aby nedocházelo k masivnímu odlesňování nebo pěstování na úkor potravinové soběstačnosti.

Pro zefektivnění budoucího využití biomasy bych se osobně zaměřil na celý životní cyklus paliva a méně pak na technologii samotného spalování. Podle poznatků získaných při tvorbě této práce jsem nabyl dojmu, že technické provedení moderních zařízení dosahuje velmi vysokých hodnot účinnosti (> 90 %) a další možné zvýšení by bylo jak ekonomicky, tak i technicky velmi náročné a přineslo by jen velmi drobné zlepšení. Osobně vidím možný přínos ve zlepšení kroků, které předcházejí samotnému spalování. Mezi tyto kroky bych zařadil pěstování rychle rostoucích dřevin v jinak nevyužitelných oblastech (záplavové pásy, které by poskytly i dostatek přirozené vláhy a živin). Dále lepší infrastrukturu dopravy, aby se dováželo na co nejmenší vzdálenost a přes co nejméně mezizastávek, případně přechod z kamionové dopravy na dopravu vlakovou. Dále bych pak zřídil lesy/louky, které by spadaly pod samotné zařízení, ve kterém by docházelo ke spalování a zaručil tím minimalizaci nákladů spojených s nákupem paliva a jeho převozem a zaručil bych tím udržitelnost. Samotné palivo by také mohlo být dosoušeno v místě sklizně, čímž by se ušetřily náklady na vysoušení a zároveň by se chránila půda před zbytečným vysycháním. Tyto a mnohé další kroky by mohly drobnými krůčky zvyšovat efektivitu celého procesu ve vyšší míře než lepší technické provedení kotle a navíc za nižší cenu. Biomasa je tedy velmi perspektivním zdrojem pro budoucí využití, ale z důvodu udržitelnosti bude muset být pravděpodobně doplněna více doplňkovými zdroji.

Seznam literatury a informačních zdrojů

Digitální a internetové zdroje:

- [1] Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. [online]. 6. únor 2017 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [2] Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka1.pdf>
- [3] Biomasa - definice a členění [online]. 15. květen 2009 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/biomasa/5641-biomasa-definice-a-cleneni>
- [4] Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012-2020 [online]. 12. září 2012 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/179051/APB_final_web.pdf
- [5] Jaký je potenciál využití biomasy v Česku a ve světě [online]. 18. únor 2019 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/nazory/jaky-potencial-vyuziti-biomasy-cesku-ve-svete>
- [6] Podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé konečné spotřebě energie 2010–2018 [online]. prosinec 2019 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/12/Podil-OZE-na-hrube-konecne-spotrebe-energie-2010-2018_1.pdf
- [7] ENERGETIKA V ČR: QUO VADIS: AKTUÁLNÍ STAV ČESKÉ ENERGETIKY [online]. listopad 2019 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <http://www.edotace.cz/clanky/energetika-v-cr-quo-vadis>
- [8] Obnovitelné zdroje energie [online]. září 2019 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/11/Obnovitelne-zdroje-energie-2018_1.pdf
- [9] Biomasa je lídrem evropské energetické transformace [online]. 21. leden 2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-lidrem-evropske-energeticke-transformace>; ISSN: 1801-2655.
- [10] Zpracování biomasy pro přímé spalování [online]. duben 2011 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://theses.cz/id/124c0v/BP_Zpracovani_biomasy_pro_prime_spalovani.pdf
- [11] Energetické využití biomasy [online]. 2011 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40314
- [12] TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ BIOMASY ZA ÚČELEM ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ [online]. 2015 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z:

https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-technologie_zpracovani_biomasy_za_ucelem_energetickeho_vyuziti_travnicek.pdf

- [13] Jaký je rozdíl mezi dřevěnou briketou a peletou? [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/uspورا-energie/jak-na-usporne-vytapeni/jaky-je-rozdil-mezi-drevenou-briketou-a-peletou>
- [14] TOMAN, Zdeněk: Mechanismus a podmínky dokonalého spalování biomasy. Biom.cz [online]. 2011-02-07 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/mechanismus-a-podminky-dokonaleho-spalovani-biomasy>; ISSN: 1801-2655.
- [15] Komfort kotlů na tuhá/pevná paliva – část I. [online]. 26. březen 2018 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/17137-komfort-kotlu-na-tuha-pevna-paliva-cast-i>
- [16] Výhřevnosti paliv [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [17] Úvod do teorie spalování tuhých paliv [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://vec.vsb.cz/export/sites/vec/.content/galerie-souboru/194-spalovani-tuhych-paliv-1.pdf>
- [18] Biomasa a uhlí v kotlích malých výkonů [online]. 28. červenec 2014 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11527-biomasa-a-uhli-v-kotlich-malych-vykonu>
- [19] Biomasa: Jak jsme na tom s výrobou elektřiny? [online]. 10. srpen 2010 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/vytapeni/biomasa/biomasa-jak-jsme-na-tom-s-vyrobou-elektřiny.aspx>
- [20] ELEKTRÁRNY ČEZ SPALUJÍCÍ BIOMASU [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/biomasa-1/elektrarny-cez-spalujici-biomasu>
- [21] Využití, vlastnosti a regulace kogeneračních jednotek [online]. leden 2017 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66877/F3-BP-2017-Kowala-Jan-Vyuziti,%20vlastnosti%20a%20regulace%20kogeneracnich%20jednotek.pdf?sequence=1>
- [22] Kogenerace - princip, technologie a výhody [online]. 21. duben 2015 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody>
- [23] Emise při spalování biomasy [online]. 7. červen 2010 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>; ISSN: 1801-2655.
- [24] Technologie Odprašování spalin [online]. 2013 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65265

- [25] Popel z biomasy – významný zdroj živin [online]. 19. leden 2015 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/popel-z-biomasy-vyznamny-zdroj-zivin>; ISSN: 1801-2655.
- [26] Výzkum vlastností popílků ze spalování biomasy v Žatecké teplárenské, a.s. z hlediska hmotnosti jejich dalšího využití [online]. duben 2011 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/86473/MAS149_HGF_N2102_3904T022_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [27] Na Islandu mění CO₂ vstříkáním pod zem v kámen [online]. 14. červen 2016 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/emise-co2/na-islandu-meni-co2-vstrikovanim-pod-zem-v-kamen>
- [28] Environmental responsibility [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://group.vattenfall.com/who-we-are/sustainability/environmental-responsibility/reducing-emissions>
- [29] Odsíření aneb technologické postupy snížení emisí v praxi [online]. 6. duben 2015 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/odsireni-aneb-technologicke-postupy-snizeni-emisi-v-praxi>
- [30] Odsiřování [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://users.fs.cvut.cz/~vybirpav/Ochrana%20ovzdusi/Odsirovani.pdf>
- [31] Biomasový popel – prvkové složení a možnosti jeho využití [online]. 14. duben 2010 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasovy-popel-prvkove-slozeni-a-moznosti-jeho-vyuziti>; ISSN: 1801-2655.
- [32] Dřevěný popel – odpad, nebo cenná surovina? [online]. leden 2006 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-85-2006/lesnicka-prace-c-01-06/dreveny-popel-odpad-nebo-cenna-surovina>
- [33] Pelety a brikety pro experty [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.ceska-peleta.cz/pelety-brikety-drevo-informace-pro-experty/>
- [34] Biomasa jako náhrada uhlí? Ukvapenost se nemusí vyplatit! [online]. 3. srpen 2017 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/biomasa-jako-nahrada-uhli-ukvapenost-se-nemusi-vyplatit>
- [35] Společné spalování biomasy a uhlí [online]. 17. prosinec 2001 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: Společné spalování biomasy a uhlí; ISSN: 1801-2655.
- [36] Energie z biomasy [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/pages/OZE/biomasa.htm>
- [37] Problematika biomasy v rámci monitorování, vykazování a ověřování emisí skleníkových plynů [online]. 17. květen 2016 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.vumo.cz/wp-content/uploads/2016/05/04-problematika-biomasy-v-ramci-monitorovani-vykazovani-a-overovani-emisi-sklenikovy-ch-plynu.pdf>
- [38] Ekologie [online]. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/ekologie/>

- [39] Historie [online]. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z:
<https://www.pltep.cz/historie/#Energetika>
- [40] Lesy duchů skončí v peci. Stát využije zpustošené dřevo jako zdroj energie [online]. 7. únor 2019 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z:
https://www.idnes.cz/ekonomika/domaci/kurovec-kaceni-topivo-lesy-ekologie.A190206_153052_ekonomika_rts
- [41] Dotace na spoluspalování kůrovcového dřeva poškodí obecní výtopy a lesy [online]. 25. červen 2019 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z:
https://www.energetikainfo.cz/33/dotace-na-spoluspalovani-kurovcoveho-dreva-poskodi-obecni-vytopny-a-lesy-uniqueidgOkE4NvrWuMF1Z1s5yTC1bSme0YrXad7_ZvcSiTqPME/
- [42] Výroční zpráva 2019 Plzeňská Teplárenská a.s. [online]. 2020 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/vyrocní-zprava-2019/>

Knižní zdroje:

- [43] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. Energie z biomasy. Brno: ERA vydavatelství, 2006. ISBN 978-80-7366-071-0.
- [44] HRUBÝ, Zdeněk a Libor LUKÁŠEK. Energetická bezpečnost České republiky. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2015. ISBN 9788024629742.
- [45] PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVIČ, Petr. Biomasa obnovitelný zdroj energie: obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC PUBLIS s.r.o., 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-5
- [46] ABRHAM, Z., ANDERT, D., SLADKÝ, V.: Energetické využití pevné biomasy. Praha: VÚZT, 2006, č. 7, s. 59, ISBN 80-86884-19-8
- [47] HEMERKA, Jiří. Odlučování tuhých částic. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. 138 s. ISBN 80-01-02270-6. OCHODEK, Tadeáš et al. "Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu": studie v rámci projektu "Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy". Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 4. ISBN 978-80-248-1595-4.
- [48] VEJVODA, MACHAČ, BURYAN. Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů. (skripta). Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 80-7080-517-X

Obrázky:

- Obr.1: [Online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z:
<http://www.studiumbiochemie.cz/fotosynteza.html>
- Obr. 2: [Online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/19020-spotreba-elektřiny-byla-v-roce-2018-nejvyssi-za-cele-sledovane-obdobi>

- Obr. 3: [Online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z:
https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/12/Podil-OZE-na-hrube-konecne-spotrebe-energie-2010-2018_1.pdf
- Obr. 4: [Online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-lidrem-evropske-energeticke-transformace>
- Obr. 5: [Online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/katalog-obrazku/clanek-115/194-spalovani-tuhych-paliv-1.pdf>
- Obr. 6: [Online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: https://www.profstroje.cz/bubnovy-stepkovac-jensen-jt-600_720.html
- Obr. 7: PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVÍČ, Petr. Biomasa obnovitelný zdroj energie: obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC PUBLIS s.r.o., 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-5
- Obr. 8: [Online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/17137-komfort-kotlu-na-tuha-pevna-paliva-cast-i>
- Obr. 9: [Online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/17137-komfort-kotlu-na-tuha-pevna-paliva-cast-i>
- Obr. 10: [Online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.sunfin.cz/principy-a-vyhody-kogenerace>
- Obr. 11: [Online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/obrazek/emisni-faktor-pau-u-zdroju-maleho-vykonu-pri-spalovani-ruznych-paliv>
- Obr. 12: [Online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S037838209900106X-gr1.gif>
- Obr. 13: [Online]. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.plzen.eu/o-meste/aktuality/aktuality-z-mesta/plzenska-teplarenska-dalkove-ridi-80-procent-vykonu.aspx>
- Obr. 14: [Online]. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/zelena-energie/>
- Obr. 15: [Online]. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/zelena-energie/>

Tabulky:

Tab.1: [Online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z:
http://eagri.cz/public/web/file/179051/APB_final_web.pdf; zdroj OZEI 2011

Tab. 2: [Online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z:
https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/12/Podil-OZE-na-hrube-konecne-spotrebe-energie-2010-2018_1.pdf

Tab. 3: [Online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z:

https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/11/Obnovitelne-zdroje-energie-2018_1.pdf

Tab. 4: [Online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11527-biomasa-a-uhli-v-kotlich-malych-vykonu>

Tab. 5: Výroční zpráva 2019 Plzeňská Teplárenská a.s. [online]. 2020 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/vyrocní-zprava-2019/>