

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Hodnocení provozu zařízení na energetické využívání
biomasy**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr KRAUS**
Osobní číslo: **E15N0089P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Hodnocení provozu zařízení na energetické využívání biomasy**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište současný stav v energetickém využívání biomasy EVB v ČR a porovnejte tento stav se zahraničím.
2. Analyzujte potenciál vhodných zdrojů biomasy pro EVB.
3. Zjistěte bariéry v rozvoji EVB.
4. Vyhodnoťte provoz vybraného zařízení na energetické využívání biomasy z hlediska energetického, ekonomického a environmentálního.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Eduard Ščerba, Ph.D.**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na možnosti a aspekty energetického využívání biomasy. Popisuje druhy biomasy a způsoby její přeměny na sekundární paliva. Dále se věnuje zařízením pro energetické využívání biomasy, využívání a potenciálu zdrojů biomasy v ČR a v zahraničí. Také analyzuje bariéry širšího využití tohoto obnovitelného zdroje. V následující části obsahuje komplexní popis a hodnocení provozu konkrétního zařízení na energetické využívání biomasy – bioplynové stanice Předslav. V závěrečné části se zmiňuje o možnostech, jak zlepšit efektivnost provozu bioplynové stanice Předslav.

Klíčová slova

Biomasa, energetické využívání biomasy, obnovitelný zdroj, bioplyn, bioplynová stanice, kogenerační jednotka, anaerobní digesce, fermentace, fermentor, digestát.

Abstract

This master thesis is focused on the possibilities and aspects of energy use of biomass. It describes various types of biomass and different ways of its conversion into secondary fuels. It also deals with facilities for energy use of biomass, utilization and potential of biomass sources in the Czech Republic and abroad. It analyzes barriers to wider use of this renewable resource as well. The following part of the thesis contains a comprehensive description and evaluation of the operation of a particular facility on energy use of biomass – a biogas plant Předslav. The final part of the thesis mentions possibilities how to improve efficiency of the biogas plant Předslav operations.

Key words

Biomass, energy use of biomass, renewable resource, biogas, biogas plant, cogeneration unit, anaerobic digestion, fermentation, fermenter, digestate.

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 17. 5. 2017

Petr Kraus

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Mgr. Eduardu Ščerbovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Mé poděkování patří také vedení společnosti Měcholupská zemědělská, a.s. za vstřícnost a ochotu k poskytnutí informací a panu Josefu Nováčkovi za věnovaný čas.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 ENERGETICKÉ VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY	11
1.1 VÝHODY A NEVÝHODY EVB.....	11
1.2 DRUHY ENERGETICKY VYUŽITELNÉ BIOMASY	12
1.3 MOŽNOSTI PŘEMĚNY BIOMASY NA ENERGII	15
1.3.1 Mechanické přeměny.....	16
1.3.2 Termochemické přeměny.....	17
1.3.3 Biochemické přeměny.....	20
1.3.4 Chemické přeměny	23
1.4 ENERGETICKÁ ZAŘÍZENÍ PRO VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY	23
1.4.1 Bioplynové stanice.....	23
1.4.2 Zařízení na přímé spalování biomasy	25
1.5 VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY V ČR.....	27
1.6 VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY V ZAHRANIČÍ	28
2 POTENCIÁL ZDROJŮ BIOMASY	30
2.1 POTENCIÁL BIOMASY V ČR.....	30
2.2 BIOMASA VYUŽITELNÁ V BIOPLYNOVÝCH STANICÍCH	31
2.3 POTENCIÁL BIOMASY VE SVĚTĚ	32
3 BARIÉRY ROZVOJE EVB	33
4 BIOPLYNOVÁ STANICE PŘEDSLAV	35
4.1 POPIS BPS PŘEDSLAV	35
4.2 ČÁSTI BPS PŘEDSLAV.....	37
4.3 VSTUPNÍ SUROVINY.....	49
4.4 VLIVY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	52
4.5 PROVOZNÍ DATA.....	54
4.6 ZHODNOCENÍ DOSAVADNÍHO PROVOZU	57
5 NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ EFEKTIVNOSTI PROVOZU BPS PŘEDSLAV	58
5.1 ZVÝŠENÍ ELEKTRICKÉ A TEPELNÉ ÚČINNOSTI.....	58
5.2 ORC ZAŘÍZENÍ	59
5.3 VYTÁPĚNÍ OBYTNÝCH BUDOV.....	60
5.4 VYUŽITÍ BIOPLYNU MIMO BPS.....	62
5.5 ABSORPČNÍ CHLAZENÍ (TRIGENERACE)	63
5.6 SUŠENÍ DŘEVA A ZEMĚDĚLSKÝCH PRODUKTŮ	64
5.7 SKLENÍKY A PĚSTÍRNÝ HUB	65
5.8 CHOV TEPLOMILNÝCH ŽIVOČICHŮ	66
5.9 AKUMULACE TEPLA	67
ZÁVĚR	69
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	71
PŘÍLOHY	1

Úvod

Světové produkci energií v současné době dominují neobnovitelné fosilní zdroje, tedy uhlí, ropa a zemní plyn. Kromě faktu, že jednoho dne dojde k jejich vyčerpání, jsou zde alarmující negativní vlivy na životní prostředí v podobě těžby, zpracování a produktů spalování. Pro eliminaci těchto negativních vlivů je potřeba hledat zdroje, které budou co nejméně poškozovat životní prostředí a zároveň bude zajištěno jejich udržitelné využívání po neomezeně dlouhou dobu. Jednou z možností je využívání biomasy coby obnovitelného zdroje energie. Pokud ale nechceme poškozovat prostředí, ve kterém žijeme, není možné bezmyšlenkovitě využívat ani biomasu. Její produkce je omezená a měla by se zužitkovávat jen v takové míře, aby se stejné množství dokázalo opět obnovit. Biomasa, kterou energeticky využíváme, pochází z větší části z rostlin. Ty jsou pro lidstvo obzvlášť důležité, protože produkují kyslík a redukují množství oxidu uhličitého v atmosféře, proto nesmíme stavět zájem na produkci energií před stav životního prostředí.

Pokud dokážeme udržitelně získávat biomasu, vyvstává otázka, jak ji co nejlépe využít. Pokud se nachází v podobě suchého dřeva či jiných suchých rostlinných částí, nejjednodušším způsobem je jejich přímé spalování. Biomasa ale existuje v mnoha formách a ty nemusí splňovat vhodná kritéria pro efektivní spálení. Proto je potřeba hledat způsoby, jak tyto materiály přeměnit na konečný produkt, který bude možné spálit s energetickým ziskem. V praxi je pak nutné sestavit takové zařízení, které bude schopné v běžném provozu vyrábět přeměněné palivo a případně ho rovnou využívat. Jedním z vhodných zařízení je mnohokrát realizovaný projekt bioplynové stanice, která ze vstupních organických surovin procesem anaerobní digesce vytváří bioplyn, který lze na místě spalovat v kogeneračních jednotkách za účelem produkce elektrické energie a tepla.

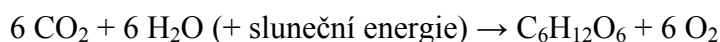
Pro zvolené téma mé diplomové práce jsem se rozhodl z důvodu mého zájmu o přírodu a byl bych rád, kdyby bylo možné šetrně využívat možností, které nám příroda nabízí. Bioplynová stanice Předslav se nachází nedaleko místa mého bydliště a v oblasti, kterou dlouhou dobu navštěvuji, proto jsem si vybral hodnocení provozu bioplynové stanice Předslav.

Seznam symbolů a zkratek

EVB.....	energetické využívání biomasy
BPS.....	bioplynová stanice
ORC.....	organický Rankinův cyklus
CZT	centrální zásobování teplem
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla (kogenerace)
OZE	obnovitelný zdroj energie
ERÚ	Energetický regulační úřad
CO ₂	oxid uhličitý
TVS _e	technologická vlastní spotřeba elektřiny na výrobu elektřiny
TVS _t	technologická vlastní spotřeba elektřiny na výrobu tepla
BRKO.....	biologicky rozložitelný komunální odpad
TWh.....	terawatthodina (10 ¹² Wh)
PJ	petajoule (10 ¹⁵ J)
EJ	exajoule (10 ¹⁸ J)
Mt	megatuna (10 ⁹ kg)
CNG	stlačený zemní plyn (compressed natural gas)
LNG.....	zkapalněný zemní plyn (liquefied natural gas)

1 Energetické využívání biomasy

Pojmem biomasa jsou označovány části těl a produkty rostlin, živočichů, ale i mikroorganismů, hub a všech ostatních forem života. Nejčastěji se pro energetické účely využívá rostlinná biomasa (fytomasa), lze ale využívat i biomasu živočišnou, která však na počátku potravního řetězce obvykle pochází také z rostlin. Právě u rostlin dochází k přeměně anorganických látek na organické pomocí fotosyntézy, při které je energie dopadajícího slunečního záření uložena v podobě energie chemických vazeb. Přeměnu znázorňuje zjednodušená rovnice fotosyntézy:



1.1 Výhody a nevýhody EVB

Hlavním obecně uváděným kladem využívání biomasy oproti fosilním palivům je její obnovitelnost. Do obnovitelných zdrojů by mohla být teoreticky řazena i fosilní paliva, neboť se předpokládá, že vznikla přeměnou z uhynulých těl rostlin a živočichů. Vzhledem k tomu, že časový horizont této přeměny je v poměru k délce lidského života příliš velký (milióny let) a množství, které je na naší planetě využíváno k energetickým účelům příliš vysoké, můžeme v praxi považovat fosilní zdroje po jejich vyčerpání jako jednoduše neobnovitelné.

Dalším kladem EVB je uzavřený koloběh oxidu uhličitého, jehož zvyšující se koncentrace v atmosféře coby skleníkového plynu je brána jako negativní pro životní prostředí. Při spalování biomasy se CO_2 sice do atmosféry uvolňuje, ale jedná se přesně o takové množství, které bylo zachyceno rostlinami při jejich růstu.

Výhodou je také možnost využívání odpadní biomasy, která by musela být nějakým způsobem likvidována, proto by mělo být upřednostňováno její energetické zhodnocení.

V porovnání s některými obnovitelnými zdroji stojí ještě za zmínku výhoda skladovatelnosti, která umožňuje využití některých druhů biomasy podle aktuální potřeby energie. Není tak nutné konstruovat drahá zařízení na akumulaci zejména elektrické

energie, jako u ostatních obnovitelných zdrojů závislých na proměnlivém slunečním svitu, vodě a větru.

Rychlost růstu rostlin a doba, za jakou dosáhnou požadované velikosti a stáří vhodného pro sklizeň, je různá, od několika týdnů až měsíců u bylin, do několika jednotek, desítek či stovek let u dřevin. Využívání divoce rostoucích rostlin bez jejich obnovování by vedlo k brzkému vyčerpání těchto přírodních zdrojů. Obnovitelnost spočívá v dlouhodobě udržitelném využívání i obnovování pěstebních ploch s ideálně konstantní produkcí. Proto je důležité monitorování produkce a dlouhodobé plánování, jako třeba používání osevních postupů v zemědělství. Pokud by se na stejném místě pěstovaly opakovaně jednodruhové plodiny, dojde k vyčerpání živin z půdy a jejímu znehodnocení pro další produkci.

Nevýhodou je fakt, že je potřeba biomasu nejprve zpracovat a převézt na místo, kde bude využita. Rovněž při jejím cíleném pěstování se provádí mnoho úkonů, které vyžadují množství energie. Při těchto procesech se v současnosti využívají zejména dopravní, zemědělské a mechanizační prostředky poháněné naftovými či benzínovými motory. Pokud jsou v celém koloběhu biomasy využívány i jiné zdroje energie, nelze s určitostí popsat její dopad na životní prostředí.

1.2 Druhy energeticky využitelné biomasy

Biomasa, která je energeticky využitelná, se podle vlastností materiálu dělí na:

- suchou - lze ji přímo spalovat, např. dřevo, sláma a jiné zemědělské produkty i po vysušení,
- mokrou - obvykle tekuté odpady, vhodné pro výrobu bioplynu, např. kejda, komunální odpady,
- speciální - olejninu a plodiny obsahující škroby a cukry, suroviny pro výrobu biopaliv, zejména líh a bionafta.

Dále můžeme biomasu rozdělit na dvě hlavní skupiny, a to na cíleně pěstovanou a na odpadní (zbytkovou) biomasu. [1]

Odpadní biomasa

Odpadní biomasou se myslí takový materiál, který zbyl po primárně určené produkci nebo výrobě. Patří sem rostlinné odpady ze zemědělství jako přebytečné seno či sláma z obilí, řepky a kukuřice nebo z údržby dřevinných a travních porostů od silnic, ze sadů a parků. Další kategorií jsou lesní odpady, které vznikly při prořezávání nebo těžbě dřeva, jedná se o větve, pařezy, vršky stromů a kůru. Třetí kategorií tvoří organické odpady z průmyslových výrob, které zahrnují odpady ze zpracování dřeva, jako jsou piliny, hobliny a odřezky. Také sem patří vedlejší rostlinné a živočišné produkty z cukrovarů, lihovarů, konzerváren, mlékáren, jatek a jiných potravinářských provozů. Do čtvrté kategorie se řadí odpady ze živočišné výroby, tedy z kravínů, vepřinů, drůbežáren a s nimi souvisejících zpracoven. Tyto odpady tvoří hnůj, kejda a zbytky krmiv. Poslední kategorií jsou komunální organické odpady, kam patří čistírenské kaly a organický tuhý komunální odpad. [1]

Cíleně pěstovaná biomasa

Biomasu lze také záměrně pěstovat k energetickým účelům. Tzv. energetické plodiny se dělí dle následující tabulky:

lignocelulóznové	dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty)
	obiloviny (celé rostliny)
	travní porosty (sloní tráva, chřastice, trvalé travní porosty)
	ostatní rostliny (konopí seté, čirok, křídlatka, šťovík krmný, sléz topolovka)
olejnaté	řepka olejka, slunečnice, len, dýně (semeno)
škrobno-cukernaté	brambory, cukrová řepa, obilí (zrno), topinambur, cukrová třtina, kukuřice

Tab. 1: Rozdělení energetických plodin (převzato z [1 T])

Energetické plodiny mohou být jednoleté nebo víceleté. Víceleté plodiny mají výhodu, že je není třeba každý rok znovu vysévat, což ušetří jak finance na osivo, tak pohonné hmoty pro mechanizaci při výsevu. Nevýhodou může být klesající produkce biomasy, protože časem dojde k vyčerpání půdy, když se daná monokultura pěstuje na stejném místě mnoho let.

Tradiční zemědělské plodiny poskytují dobrý zdroj biomasy, jejich úskalí ale spočívá v nízké odolnosti proti různým chorobám a škůdcům. Proto se musí provádět chemické postřiky pomocí pesticidů, které by měly plodiny ochránit a zajistit stabilní výnosy. Velký problém však představuje jejich vliv na ekosystémy a také na člověka. V potravinách mohou zůstat rezidua pesticidů a i při EVB se mohou hromadit ve zbytkových produktech. Pomocí selekce přirozeně odolných jedinců lze vyšlechtit rezistentní odrůdy rostlin i s většími výnosy, ale ne vždy lze dosáhnout požadovaných vlastností. Možným východiskem je genetická modifikace organismů. Ta dokáže urychlit procesy, které by pomocí šlechtění trvaly mnoho let, některých vlastností by bez ní nebylo možno dosáhnout vůbec. Metoda genetické modifikace je ale poněkud kontroverzní, protože nelze s určitostí říci, jaké následky může v budoucnu mít.

Kromě běžných plodin, které byly od dávných dob využívány hlavně jako potraviny, se objevují i netradiční druhy rostlin, pocházející z různých koutů světa. Další vznikají křížením za účelem dosažení optimálních vlastností. Mezi netradiční, ale významné energetické plodiny patří například hybridní šťovík krmný (Rumex OK 2), křídlatka (japonská, sachalinská, česká – hybridní), slunečnice topinambur, či v posledních dekáдах opomíjené konopí seté. Za zmínku stojí i pěstování mikrořas, které mohou být energeticky využity více způsoby a do budoucna mají potenciál stát se náhradou fosilních pohonných hmot. Mikrořasy se pěstují ve vodě a dokážou efektivněji využívat sluneční záření než ostatní rostliny.

V poslední době jsou populární tzv. rychlerostoucí dřeviny, které se vysazují na zemědělské pozemky (plantáže). Jsou vybírány druhy, které vykazují schopnost velmi rychlého růstu, často několik metrů za jednotky let. Na plantážích se dřeviny obvykle nenechávají dorůst do rozměrů jako při lesním hospodaření, protože jsou hromadně sklizeny pomocí řezaček na výrobu dřevní štěpky. Doba obmýtí se většinou pohybuje od 3 do 5 let, někdy více. Sklizeň se může několikrát opakovat, neboť některé dřeviny tvoří výmladky, které po odstranění nadzemní části znovu vyrůstají. Mezi rychlerostoucí dřeviny využívané v ČR patří z domácích hlavně vrby, topoly a olše. Z důvodu větších výnosů se ale vysazují i introdukované druhy jako tzv. japonské (klonované) topoly, akáty nebo u nás doposud nepříliš rozšířené, ale potenciálně perspektivní paulovnie.



Obr. 1: Paulovnie plstnatá (*Paulownia tomentosa*), foto autor

Vysazování nepůvodních druhů s sebou však přináší riziko negativních dopadů na původní druhy a jejich možné vytlačování. V případě zavlečení invazivních druhů do nového prostředí může dojít k jejich nekontrolovatelnému šíření z důvodu absence přirozených nepřátel a konkurentů. Z minulosti jsou u nás známé například trnovník akát, křídlatka japonská nebo bolševník velkolepý. Proto je třeba při vysazování nových druhů rostlin (i geneticky modifikovaných) dbát na to, aby se v ideálním případě nedokázaly samovolně šířit, případně je nutné pokusit se jejich šíření zabránit. [1] [2] [3]

1.3 Možnosti přeměny biomasy na energii

Energie z biomasy se získává (mimo využití v palivových článcích či jiných elektrochemických zdrojích) téměř výhradně přeměnou na tepelnou energii pomocí spalování. Při různých biochemických procesech sice může vznikat teplo, jako např. při kompostovacím procesu, vzhledem k nízkým teplotám je ale jeho využití omezené a v současnosti se příliš nevyužívá.

Nejlevnější a nejjednodušší je přímé spalování rostlinné biomasy, musí však mít dostatečnou kvalitu. To znamená malou vlhkost a co největší výhřevnost. S rostoucí vlhkostí klesá výhřevnost a při spalování biomasy s velkou vlhkostí dochází k produkci většího množství emisí znečišťujících látek. Biomasu, která není vhodná pro přímé spalování, je potřeba nějak upravit nebo přeměnit na produkty vhodné ke spalování (sekundární paliva).

Zdroje biomasy	Procesy	Hlavní produkty	Služby
Pevná biomasa ze zemědělství a lesního hospodářství, odpad ze zpracování biomasy, energetické dřeviny a byliny	Fyzikální úprava (řezání, štípání, štěpkování, sušení apod.)	Kusové dřevo Štěpky Slámová řezanka	Teplo Elektrina Doprava
	Densifikace (lisování do pelet, briket, balíků)	Balíky Brikety Pelety	
	Karbonizace	Dřevěné uhlí	
	Zplyňování	Energoplyn	
	Pyrolýza	Kapalné palivo (pyrolýzní olej), plyn	
	Katalytické zkapalňování (hydrolyza)	Kapalné palivo	
Energetické plodiny (olejniny, škrobnaté a cukernaté plodiny)	Esterifikace	Bionafta	
	Fermentace	Bioetanol	
Organické odpady z živočišné výroby, potravinářské odpady, zelená biomasa	Anaerobní digesce	Bioplyn	
BRKO	Zplyňování	Energoplyn	
	Anaerobní digesce	Bioplyn	

Tab. 2: Přeměny biomasy (převzato z [2 T])

1.3.1 Mechanické přeměny

Mechanickými přeměnami se myslí úprava materiálu do formy vhodné pro konkrétní zařízení na EVB. Obvykle je pro kontinuální provoz nutná určitá homogenizace biomasy. Příkladem úpravy je řezání, štípání, drcení, mletí či štěpkování. Tyto úpravy také umožní lepší prohořívání paliva a sníží ztráty v tuhých zbytcích nevyhořelého paliva. Opakem je zhušťování (densifikace) příliš malých částí, které kromě unifikace velikosti umožní i delší dobu hoření a snadnější dávkování. Využívá se lisování suché biomasy do pelet, briket nebo balíků v případě sena a slámy.

Další přeměnou je lisování oleje z olejnatých plodin. Rostlinné oleje se dají využít přímo, nebo následuje esterifikace, jejímiž produkty jsou metylestery, které se používají jako biopaliva pro vznětové motory.

1.3.2 Termochemické přeměny

Jednou z prvotních úprav biomasy k termochemické přeměně je sušení. Využívá se v případech, kdy materiál obsahuje nežádoucí množství vlhkosti, které znemožňuje jeho další energetické využití. Používají se různé typy sušení, převážně se ale jedná o proudění vzduchu, který odebírá vodu ze sušeného materiálu a také o zahřívání, které proces sušení urychluje. Sušení spotřebuje nemalé množství energie, nabízí se zde proto možnost využít odpadní teplo vzniklé např. v kogeneračních jednotkách nebo v elektrárnách.

Spalování

Přímé spalování suché biomasy je stále nejrozšířenějším způsobem jejího využití. Jedná se o chemickou reakci (oxidaci) za přístupu kyslíku ze vzduchu, při níž se do okolí uvolňuje tepelná energie. Při ideálním dokonalém spalování nevznikají další spalitelné látky, jako oxid uhelnatý, a je produkován pouze oxid uhličitý a vodní pára. Biomasa je ovšem složitějším palivem, při jehož spalování dochází obvykle i k vývinu hořlavých plynů, které se mohou dodatečně spálit, aby neunikaly do ovzduší a byl plně využit energetický potenciál.

Předmětem spalování je nejčastěji palivové dřevo, které je u nás dobře dostupné. Výhřevnost dřeva se liší podle druhu dřeviny a obsahu vlhkosti. V následující tabulce jsou příklady výhřevností (vztažené na kilogram) některých druhů dřev a další biomasy o obsahu vody vhodném ke spalování.

Druh paliva	Obsah vody [%]	Výhřevnost [MJ/kg]
listnaté dřevo	15	14,6
jehličnaté dřevo	15	15,6
borovice	20	18,4
vrba	20	16,9
buk	20	15,5
smrk	20	15,3
bříza	20	15,0
topol	20	12,9
dřevní štěpka	30	12,2
sláma obilovin	10	15,5
sláma řepky	10	16,0

Tab. 3: Výhřevnost biomasy (převzato z [3 T])

Při obchodování s palivovým dřevem se hledí spíše na to, kolik místa zaujme, a to zejména kvůli logistice. Proto se také uvádí jeho objem, který se u skládaného dříví s vysycháním příliš nemění. Někdy se udává i výhřevnost vztažená na objem [MJ/m^3], která ale také závisí na vlhkosti. Obecně lze říci, že největší výhřevnost na metr krychlový má tvrdé dřevo (s velkou objemovou hmotností) z pomalu rostoucích, většinou listnatých dřevin, patří však také mezi nejdražší.

Karbonizace

Karbonizace, také nazývaná suchá destilace, je termicko-chemický proces, při kterém dochází ke zvyšování koncentrace uhlíku (minimálně na 80 %) a snižování obsahu vodíku a kyslíku ve dřevě, z něhož se stává dřevěné uhlí. Výhřevnost dřevěného uhlí dosahuje až $27 \text{ MJ}/\text{kg}$. Toto uhlí se dříve vyrábělo v milířích, kde za působení vysokých teplot bez přístupu vzduchu docházelo k tepelnému rozkladu dřeva. V současnosti je tento způsob produkce považován za neefektivní a škodlivý pro životní prostředí, neboť se při něm uvolňuje oxid uhelnatý a jiné toxické či karcinogenní látky. Proto se dnes při průmyslové výrobě používají karbonizační pece nebo retorty. Od energetického využití dřevěného uhlí se už však poněkud upustilo, uplatnění nachází spíše u tepelné přípravy pokrmů, v menší míře se pak v průmyslu využívá jako absorbent nebo při obohacování oceli uhlíkem. [4]

Pyrolýza

Pyrolýza je, podobně jako karbonizace, termický rozklad biomasy bez přístupu kyslíku. Tento proces ale překračuje mez termické stability materiálu, čímž dochází ke štěpení organických sloučenin na nízkomolekulární sloučeniny. Produktem mohou být plyny, kapaliny a pevný uhlík. Pyrolýza probíhá při různých teplotách, podle toho se dělí na nízkoteplotní (do $500 \text{ }^\circ\text{C}$), středněteplotní ($500\text{--}800 \text{ }^\circ\text{C}$) a vysokoteplotní (nad $800 \text{ }^\circ\text{C}$). Využití nachází hlavně při zpracování odpadní biomasy.

Perspektivním procesem je tzv. rychlá pyrolýza, při které se v pyrolýzním reaktoru rychle přivede teplo do biomasy a je udržována určitá teplota (asi $450 \text{ }^\circ\text{C}$ až $600 \text{ }^\circ\text{C}$), doba pobytu materiálu v reaktoru netrvá déle než 2 sekundy. Produkty, hlavně páry, se rychle zchladí a kondenzací se přemění na tmavě hnědou kapalinu, která se nazývá bio-olej. Ten lze vyprodukovat téměř z jakékoliv tuhé biomasy, musí být však rozemleta na velikost asi

3 mm a měla by mít nízkou vlhkost (do 10 %), aby výsledný bio-olej neobsahoval příliš vody. Bio-olej se může dále zpracovávat a upravovat např. na palivo pro motory nebo přímo spalovat, jeho výhřevnost se pohybuje mezi 16 až 20 MJ/kg. Výhodou je snadná možnost jeho přepravy a skladovatelnost. [4]

Zplyňování

Dalším způsobem, jak termochemicky přeměnit biomasu, je zplyňování. Jak už název vypovídá, biomasa se zde přeměňuje na plyn, ideálně lze přeměnit veškerý materiál organického původu. Tato přeměna byla ve větší míře využívána v období 2. světové války pro pohon vozidel jako náhrada ropných paliv. Zdrojem biomasy bylo dřevo či dřevěné uhlí, proto se produkt nazýval dřevoplyn. Dnes se můžeme setkat i s názvem generátorový plyn, který souvisí s jeho výrobou v současnosti. Zplyňování za atmosférického tlaku může probíhat v generátorech s pevným ložem nebo ve fluidních generátorech. Z technologie zplyňování uhlí pak vychází tlakové generátory, které pracují s tlakem 1,5 až 2,5 MPa. Výsledný energetický plyn je možné použít pro spalování jako náhradu zemního plynu v kotlových hořácích, případně, po vyčištění od dehtových látek a dalších příměsí, ve spalovacích turbínách a motorech. Výhřevnost plynu dosahuje 4 až 6 MJ/m³.

Vzhledem k tomu, že při zplyňování dochází k nedokonalému spalování, vzniká oxid uhelnatý a další zdraví škodlivé produkty nedokonalého spalování. S procesem zplyňování a následného spalování plynu pracují i některé domácí kotle, krby či kamna. Proto je třeba dbát na dobrou funkčnost zařízení, aby nedocházelo k úniku nebezpečných plynů do obytných prostor. [4] [5]

Katalytické zkapalňování

Katalytické zkapalňování, nebo také hydrolýza, je druh termochemické přeměny, která produkuje velmi kvalitní kapalný produkt s vysokou energetickou hustotou oproti ostatním přeměnám. Proces probíhá při nižších teplotách (asi 300 až 350 °C) a vysokém tlaku (12 až 20 MPa) ve vodním prostředí. Reakce je podmíněna katalyzátorem (hydroxid sodný) nebo vodíkem pod vysokým parciálním tlakem. Výsledkem je bio-olej s nižším (asi 10%) obsahem kyslíku. Tato přeměna se teprve vyvíjí, ale má velký potenciál do budoucna. [4]

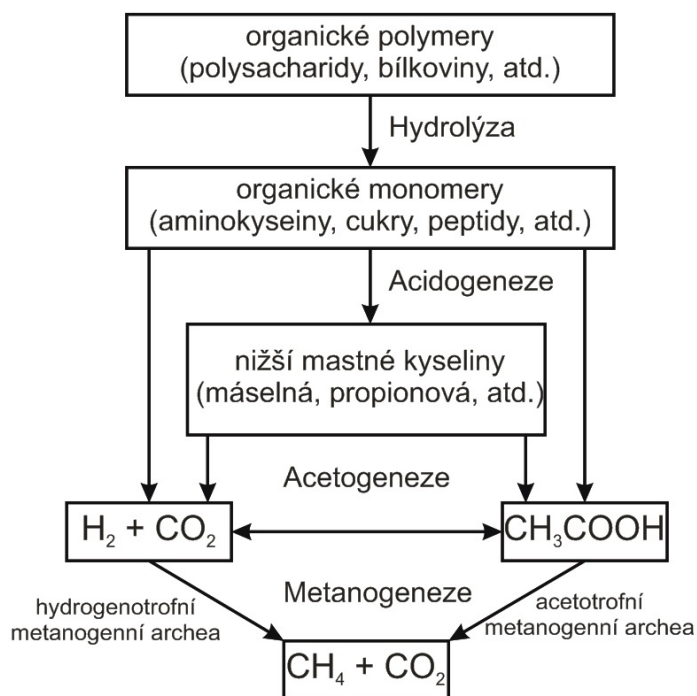
1.3.3 Biochemické přeměny

Biochemická přeměna biomasy spočívá v chemické přeměně organických sloučenin za pomoci mikroorganismů.

Anaerobní digesce

Anaerobní digesce je druh kvašení, které probíhá bez přístupu vzduchu. Cíleně se využívá pro produkci tzv. bioplynu (v bioplynových stanicích), který je z větší části tvořen metanem a oxidem uhličitým. Synonyma názvu procesu, která se také běžně objevují, jsou anaerobní fermentace, anaerobní stabilizace, anaerobní vyhnívání nebo metanové kvašení. Jedná se o vícestupňový proces, který lze rozdělit do čtyř fází:

- hydrolýza - fáze, kde hydrolytické bakterie v mokřém prostředí přeměňují makromolekulární organické látky (polysacharidy, bílkoviny, tuky) s pomocí enzymů na jednodušší organické sloučeniny (aminokyseliny, mastné kyseliny, cukry), zde ještě není nutné anaerobní prostředí,
- acidogeneze - v této fázi se acidogenní bakterie podílejí na fermentaci organických sloučenin na organické kyseliny a alkoholy, přitom se vytváří i vodík a oxid uhličitý,
- acetogeneze - acetogenní bakterie rozkládají vyšší organické kyseliny a alkoholy na acetáty, resp. kyselinu octovou (a také H_2 a CO_2),
- metanogeneze - konečná fáze rozkladu, při které metanogenní bakterie vytváří z acetátů, vodíku a dalších látek metan a oxid uhličitý, tyto bakterie pro efektivní práci vyžadují vodu, bezkyslíkaté prostředí, stálou teplotu bez kolísání (volba teploty podle kmenu bakterií), stálé pH kolem hodnoty 7,5 a mělo by se zabránit přístupu světla.



Obr. 2: Rozklad organických látek na bioplyn (převzato z [1 O])

Tyto fáze při kontinuálním doplňování organické hmoty běžně probíhají vedle sebe a nepotřebují fyzické oddělení. Po zahájení procesu za účelem výroby bioplynu může trvat několik týdnů, než začne poslední fáze tvorby metanu. Odpadní produkt, který zůstane po digesci, se nazývá digestát.

Podobný proces se využívá i v čistírnách odpadních vod k výrobě kalového plynu. Zdrojem biomasy je čistírenský kal, který vzniká jako konečný produkt procesu čištění. K anaerobním rozkladným procesům může docházet i samovolně, pokud jsou k tomu vhodné podmínky. Tento případ nastává u skládek komunálního odpadu, které obsahují množství biologicky rozložitelného materiálu. Pokud by vznikající plyn nebyl jímán, nejenže by unikl do ovzduší, ale hrozilo by i nebezpečí výbuchu. Proto se do tělesa skládky instalují potrubí, skládkový plyn poté buď samovolně vychází, nebo je odsáván. Kalový i skládkový plyn je možné stejně jako bioplyn spalovat v kogeneračních jednotkách. [6] [7] [8]

Mokrý a suchá fermentace

Mokrý fermentace využívá materiál v čerpatelné formě s obsahem sušiny do 12 %. Pokud se využívají materiály s vyšším obsahem sušiny (hnůj, siláž, senáž), je potřeba je

naředit na přípustný podíl sušiny. Tento proces kvašení obvykle probíhá kontinuálně ve válcových nádobách (fermentorech), kde dochází i k promíchávání substrátu. Nevýhodou jsou vysoké nároky na dodržování provozních parametrů, zároveň je třeba správně zvolit vstupní suroviny s ohledem na použité technologie daného zařízení. Výhodou je větší využití energetického potenciálu, což zahrnuje vyšší výtěžnost bioplynu. Mokrá fermentace je nejrozšířenější, dobře technologicky zvládnutá a propracovaná.

Suchá fermentace většinou pracuje s materiálem o obsahu sušiny 25 až 40 %. Existují i vysokosušinnové fermentory tzv. garážového typu, které by měly zvládat až 60% obsah sušiny. Většinou jde o diskontinuální vsázkový systém, při němž se jednorázově naplní fermentory, které se uzavrou, a poté se nechá probíhat mikrobiologický proces. V průběhu procesu se odsává bioplyn, po jeho skončení se substrát vyveze a použije jako hnojivo nebo kompost. Vyvíjí se ale i systémy s kontinuálním plněním. Vhodnou vstupní surovinou je slamnatý kravský hnůj. Výhodou této technologie je nižší spotřeba energie a vody při provozu a nižší citlivost na kvalitu vstupních surovin. Suchá fermentace se zatím využívá v menší míře, jedná se však o perspektivní technologii. [9] [10]

Alkoholové kvašení

Alkoholové kvašení zastupuje druh fermentace, při které se z rostlinných sacharidů za účasti kvasinek stává etanol a vzniká teplo. Pro energetické účely a zejména pro pohon vozidel se označuje jako bioetanol. Právě v dopravě se o něm uvažuje jako o vhodné náhradě za benzín produkovaný z ropy. Etanol se vyrábí z rostlin bohatých na cukr, jako je cukrová řepa a cukrová třtina, nebo z rostlin obsahujících hodně škrobu, tedy brambory, obilniny a kukuřice apod. Škrob je ovšem nutné nejdříve enzymaticky přeměnit na cukr. Další možností je výroba z odpadní biomasy lignocelulózového charakteru. Tato možnost je složitější, protože je nejprve nutné rozštěpení látky pomocí hydrolýzy. Pracnější a nákladnější postup ale může vykompenzovat nižší cena suroviny a produkce dále využitelných vedlejších produktů. Následující rovnice popisuje kvasný proces glukózy:



Jednoduché cukry (monosacharidy) lze fermentovat přímo, děje se tak v anaerobním mokřím prostředí, koncentrace cukerného roztoku je do 20 %. Kvašením vznikne vodný

roztok etanolu o koncentraci kolem 15 %, větší koncentrace by zahubila kvasinky a místo etanolu by vznikal ocet. [11]

1.3.4 Chemické přeměny

Esterifikace

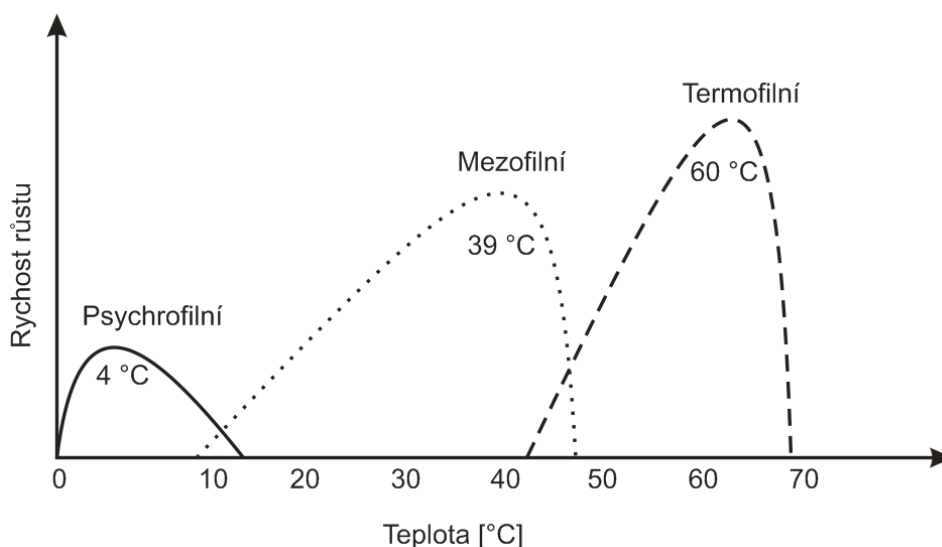
Esterifikace je chemická přeměna, díky níž lze z kteréhokoliv rostlinného oleje (včetně živočišných tuků) vyrobit palivo podobné motorové naftě. Tzv. bionafta vzniká ze směsi surového oleje a metanolu za účasti katalyzátoru (obvykle hydroxid) při normální nebo zvýšené teplotě. Při reakci dochází v molekule mastné kyseliny k náhradě glycerinu za metylalkohol. Glycerin pak zůstane jako vedlejší produkt pro další využití. V České republice se pro výrobu využívá převážně olej z řepky olejné, výsledný produkt se nazývá metylester řepkového oleje (MEŘO). [4]

1.4 Energetická zařízení pro využívání biomasy

V současné době existuje mnoho až už experimentálních nebo ověřených zařízení pro EVB. Jejich masivní nasazení v komerčním prostředí však není příliš běžné, proto bude v této části pojednáno pouze o dvou u nás nejrozšířenějších typech zařízení.

1.4.1 Bioplynové stanice

Bioplynové stanice využívají procesů kvašení (anaerobní fermentace) na přeměnu biomasy v bioplyn, který je v konečné fázi spalován. Spalování ve většině provozů probíhá poblíž místa výroby v kogeneračních jednotkách, které pro zvýšení účinnosti využití energie obsažené v palivu kombinovaně vyrábí elektřinu a teplo. Bioplyn lze i dále upravovat pro jiné způsoby využití mimo areál stanice. Proces fermentace vyžaduje dosažení optimálních podmínek pro maximální energetické využití vstupního substrátu. Na fermentaci se totiž mohou podílet odlišné kmeny mikroorganismů, které nejlépe pracují a rostou při různých teplotách. Podle teploty procesu se fermentace člení na psychrofilní (od 5 do 25 °C), mezofilní (od 30 do 45 °C) a termofilní (od 50 do 60 °C).



Obr. 3: Rychlost růstu mikroorganismů v závislosti na teplotě (převzato z [2 O])

BPS se podle druhu vstupní biomasy dají členit na zemědělské a odpadové. Provozovatelé si obvykle nechají vypracovat projekt a stavbu u specializovaných firem, které se zabývají výstavbou a mají dostatek zkušeností, proto mohou nabídnout vhodný typ stanice podle okolností. Na začátku je třeba vypracovat studii proveditelnosti, která se zabývá vlivem na okolí, dostupností surovin, technickým řešením i ekonomickými záležitostmi. [8]

Podpora bioplynových stanic

Rozmach BPS v ČR nastal po zavedení dotovaných výkupních cen elektrické energie. Jednalo se o formu podpory budování OZE ze strany státu. Výkupní ceny byly garantovány po dobu životnosti zařízení. Nejvíce bioplynových stanic bylo vybudováno mezi lety 2011 až 2013, v současnosti se nové staví jen v menším množství z důvodu zastavení podpory některých druhů nově spuštěných OZE. V ČR byl k 31. 12. 2016 celkový počet BPS 567 s instalovaným výkonem 360 MW.

Bioplynové stanice se v rámci české legislativy (vyhláška č. 477/2012 Sb.) dělí do kategorií AF (anaerobní fermentace) podle druhu využívané biomasy. Do kategorie AF1 patří cíleně pěstované plodiny ze zemědělské výroby včetně jejich povolených úprav, jako konzervace či mechanické úpravy. Do této kategorie spadá i smíšená biomasa v případě, že plodiny tvoří více než 50 % vstupů v kalendářním měsíci a zbytek je biomasa z kategorie 2. V kategorii AF2 je tedy veškerá ostatní biomasa, jako např. travní hmota z údržby

porostů, vedlejší produkty rostlinné výroby, zbytkové produkty a meziprodukty živočišné výroby (exkrementy, tuky, masokostní moučka), kaly či zbytky potravin a další.

Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Kategorie biomasy a proces využití	Jednotarifní pásmo provozování	
	od (včetně)	do (včetně)		Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
Spalování důlního plynu z uzavřených dolů	-	31.12.2012	-	2 850	2 210
Spalování skládkového plynu a kalového plynu z ČOV	-	31.12.2003	-	3 335	2 695
	1.1.2004	31.12.2005	-	3 214	2 574
	1.1.2006	31.12.2012	-	2 850	2 210
	1.1.2013	31.12.2013	-	2 057	1 417
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích pro zdroje nesplňující podmínku výroby a efektivního využití vyrobené tepelné energie	1.1.2012	31.12.2012	AF1	3 550	2 890
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích pro zdroje splňující podmínku výroby a efektivního využití vyrobené tepelné energie	1.1.2012	31.12.2012	AF1	4 120	3 460
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích (pro rok 2013 platí do instalovaného výkonu výroby 550 kW)	-	31.12.2011	AF1	4 120	3 460
	-	31.12.2012	AF2	3 550	2 910
	1.1.2013	31.12.2013	AF	3 550	2 890

Tab. 4: Cenové rozhodnutí ERÚ pro rok 2017 o výkupních cenách podpor. zdrojů energie (převzato z [4 T])

V případě výkupní ceny se jedná o vykoupení veškeré elektřiny z OZE od výrobce, tato cena je účtována včetně DPH na rozdíl od zeleného bonusu. Zelený bonus je vyplácen za veškerou vyrobenou elektřinu (včetně účelně spotřebované) vyjma vlastní technologické spotřeby, přičemž si výrobce najde svého odběratele nebo část produkce spotřebovává sám. [12] [13] [14]

Konkrétní bioplynové stanici se podrobněji věnuje další část práce.

1.4.2 Zařízení na přímé spalování biomasy

Suchou biomasu lze spalovat podobně jako fosilní paliva. V domácích topeništích se využívají dvě možnosti pro vytápění, buďto přímý ohřev vytápěného prostoru, který

využívá proudění vzduchu kolem horkého tělesa kamen či krbu a sálání tepelné energie z ohniště, nebo nepřímý ohřev pomocí média, obvykle vody, která je od kotle potrubím přiváděna do tepelných výměníků – radiátorů.

Pro vytápění rodinných domů se využívají kotle menších výkonů, zhruba od 20 do 100 kW. Moderní kotle na kusové dřevo a dřevěné brikety většinou využívají i principu zplyňování, aby dosáhly velké účinnosti a ekologičtějšího provozu. Nevýhodou je častější ruční příkládání. Další možností jsou automatické kotle, které disponují zásobníkem a podavačem na méně rozměrné palivo, kterým mohou být pelety, dřevní štěpka, případně i obilí a jiné zemědělské produkty. Téměř bezobslužný provoz a nízká frekvence příkládání nabízí velký komfort, ale za vyšší pořizovací cenu.



Obr. 4: Vizualizace řezu automatického kotle na pelety (převzato z [3 O])

Větší objekty vyžadují středně výkonné kotle, obvykle nad 100 kW. Zde převažují roštové kotle pro spalování méně kvalitní biomasy, zejména štěpky, slámy a dřevních zbytků. Existují i speciálně konstruované kotle na spalování celých slámových balíků bez rozdužení. U těchto výkonů se jedná se o středně velké výtopy, které obvykle umožňují dopravníkové příkládání, ale s přítomností obsluhy.

V průmyslovém měřítku se biomasa spaluje v teplárnách pro CZT nebo v elektrárnách, tam také pro KVET. U velkých zdrojů se výkony pohybují v řádech MW. Používají se kotle, kde dochází ke spalování na roštu nebo účinnější kotle spalující paliva ve fluidní vrstvě. Ekonomicky výhodnější je spoluspalování biomasy společně s uhlím, protože lze obvykle využít stávající kotle. Existují i speciální kotle, které jsou navrženy

pouze na spalování biomasy, nevýhodou ale může být mimo vysokých investičních nákladů i velká spotřeba biomasy a s tím spojená nejistota existence dostatečného množství suroviny na trhu. [4]

1.5 Využívání biomasy v ČR

Suchá biomasa se nejen u nás řadí mezi nejstarší zdroje tepla. Vzhledem k dostatečnému množství lesů na našem území bylo dřevo levné a snadno dostupné. V dobách, kdy ještě nebylo uhlí dobýváno levně a v takovém množství jako dnes, se také využívalo dřevěné uhlí, které poskytovalo vyšší výhřevnost oproti surovému dřevu, zejména pro tavení a zpracování kovů.

V dnešní době se k EVB vracíme hlavně z důvodu menší zátěže životního prostředí. Z tohoto důvodu je EVB podporováno politikou státu a Evropské unie například formou dotovaných výkupních cen energií. Díky tomu jsou ale realizovány i projekty, které by za běžných podmínek nebyly ekonomicky výhodné vzhledem k současným cenám energií.

V následující tabulce je uveden přehled výroby energií z biomasy v ČR za rok 2015, zveřejněný v roční zprávě ERÚ o provozu energetických soustav. Ta zahrnuje pouze data od výrobců energií a nikoliv z domácností, proto je např. u palivového dříví uvedena nulová dodávka tepla, jelikož se v průmyslovém měřítku jedná o příliš drahé palivo.

Výroba z biomasy za rok 2015	Výroba elektřiny brutto [MWh]	TVS _e [MWh]	TVS _t [MWh]	Výroba elektřiny netto [MWh]	Dodávka užitečného tepla [GJ]
Biomasa celkem	2 090 855,4	195 568,7	52 790,1	1 895 286,7	13 728 108,3
Brikety a pelety	242 404,9	29 785,5	3 364,2	212 619,3	574 429,5
Celulóznové výluhy	687 900,6	67 030,9	23 012,7	620 869,7	7 640 702,7
Kapalná biopaliva	1 820,0	23,4	0,1	1 796,6	5 132,2
Ostatní biomasa	71 711,1	757,8	845,0	70 953,3	565 946,8
Palivové dříví	268,3	6,5	0,0	261,8	0,0
Piliny, kůra, štěpky, dřevní odpad	987 895,2	96 005,0	22 258,5	891 890,2	4 761 336,5
Rostlinné materiály neaglomerované (včetně aglomerátů)	98 855,5	1 959,6	3 309,6	96 895,8	180 560,6

Tab. 5: Statistika výroby energií z biomasy za rok 2015 (převzato z [5 T])

Předchozí data nezahrnují výrobu energií z bioplynu, ta je zachycena v další tabulce.

Výroba z bioplynu za rok 2015	Výroba elektřiny brutto [MWh]	TVS _e [MWh]	TVS _t [MWh]	Výroba elektřiny netto [MWh]	Dodávka užitečného tepla [GJ]
Výroba z bioplynu	2 614 188,2	184 120,1	17 084,6	2 430 068,1	2 336 434,2
Skládkový plyn	104 476,6	6 401,1	18,3	98 075,5	141 002,6
Kalový plyn (ČOV)	93 275,4	6 115,2	2 238,5	87 160,2	200 842,1
Ostatní bioplyn	2 416 436,2	171 603,8	14 827,9	2 244 832,4	1 994 589,6

Tab. 6: Statistika výroby energií z bioplynu za rok 2015 (převzato z [6 T])

Z uvedených dat vyplývá, že největší podíl výroby energií z biomasy připadá na dřevní produkty, konkrétně u elektřiny na dřevní odpad (téměř 50 %), jako jsou piliny, štěpky a další. Co se týče energie z bioplynu, jednoznačně převládá tzv. ostatní bioplyn, kam spadají zejména BPS zemědělského typu. Pro porovnání stojí za zmínku celková brutto výroba elektřiny v ČR v roce 2015, která činila 83,9 TWh.

Největší výrobce elektřiny v ČR, skupina ČEZ, zavádí v některých svých elektrárnách spalování biomasy, zatím se však jedná o zlomek výroby energií – v roce 2016 z biomasy vyrobila 500 GWh elektřiny. Jedním z největších producentů energie z biomasy u nás je Elektrárna Hodonín, ve které je od roku 2009 jeden blok s novým fluidním kotlem určeným ke spalování čisté biomasy. V roce 2016 elektrárna z tohoto paliva vyrobila přes 253 GWh elektřiny a 500 000 GJ tepla, jehož část dodává přes hranice na Slovensko. Dalšími energetickými zařízeními skupiny ČEZ spalujícími biomasu jsou Elektrárna Poříčí a Energetické centrum Jindřichův Hradec. [15]

1.6 Využívání biomasy v zahraničí

Evropská unie

EU jako celek dlouhodobě zastává politiku ochrany klimatu a životního prostředí, proto se snaží podporovat OZE celkově, včetně biomasy. V roce 2014 se z biomasy a rozložitelných odpadů ve 28 zemích EU vyrobilo 5 203 PJ energie. To tvořilo 8% podíl na celkové hrubé spotřebě energie, veškeré OZE pak tvořily 12,5% podíl. Úroveň využívání biomasy v jednotlivých členských zemích je ale různá, obecně jsou na tom lépe

západní země a státy s velkým potenciálem lesních zdrojů, jako Lotyšsko, Finsko nebo Švédsko. [16]

Německo

Vzhledem k postupnému odklonu od jaderné energetiky je náš sousední stát nucen hledat jiné zdroje energie. A jelikož se snaží o snížení produkce CO₂, nemůže se ubírat směrem k fosilním zdrojům energie. Proto musí dojít kromě úsporných opatření snižujících spotřebu také ke zvýšení podílu OZE, včetně biomasy. V roce 2050 má podíl biomasy činit 23 %, tedy konkrétně 1 640 PJ. Z toho by připadalo 11 % na energetické rostliny, 5 % na odpady ze dřeva a 4 % na odpady ze zemědělské výroby. K dosažení tohoto plánu má přispět finanční podpora výrobců a investice do využívání OZE. Bioenergie je podporována ve formě elektřiny, tepla i biopaliv. Velkým průmyslovým odvětvím, které v Německu využívá biomasu, je výroba pelet, kterých se např. v roce 2009 vyrobilo 1,6 milionu tun, z čehož se více než 1 milion tun spotřeboval v přibližně 125 000 spalovacích zařízeních, zbytek byl exportován. V poslední době výroba pelet mírně poklesla, přesto se Německo řadí v Evropě k největším producentům, v roce 2015 výroba činila 2 Mt a o rok později 1,95 Mt. Rovněž bioplynové stanice zde představují velkou oblast spotřeby biomasy, v roce 2015 jich existovalo celkem 8 856 s instalovaným výkonem 4 018 MW a roční brutto produkcí elektřiny 29,38 TWh. Na rozdíl od nás se v Německu počet BPS zvyšoval postupně už od 90. let, pouze mezi roky 2008 a 2011 se rapidně zvýšil z 3 891 na 7 175. [17] [18] [19]

Velká Británie

Také Velká Británie podporuje přechod k obnovitelným zdrojům energie. Důraz klade na snižování emisí skleníkových plynů, od roku 2008 do r. 2050 je cílem omezit produkci CO₂ o 80 % na hodnotu 160 Mt. Důležitou roli hraje v tomto případě také biomasa, jejíž podíl by měl vzrůst ze 2 na min. 10 % spotřeby primárních zdrojů (r. 2050), konkrétně z produkce 12 TWh elektřiny by se měla v roce 2020 dostat na hodnotu 32–50 TWh za rok. Na produkci energie z biomasy mají ve Spojeném království velký podíl dřevěné pelety, jejichž rostoucí spotřeba musí být z větší části pokrývána importem, který v roce 2014 tvořil třetinu celosvětového importu pelet. Dovezeno bylo přes 4,7 milionu tun pelet, domácí produkce činila pouze kolem 350 tisíc tun. Celosvětově bylo v roce 2014

vyprodukováno 26 Mt pelet a v roce 2015 téměř 28 Mt. Největší britská, původně uhelná, elektrárna Drax v poslední době přestavěla tři ze šesti bloků na spalování dřevěných pelet, takže jejich spotřeba dále roste, v roce 2016 díky přestavbě narostl meziroční podíl výroby elektřiny z biomasy ze 37 na 70 %. Nezanedbatelná je také výroba energií z bioplynu. Ve Spojeném království ke konci roku 2016 vzrostl počet bioplynových stanic na 540 s instalovaným výkonem 708 MW. Oproti roku 2015 to znamenalo nárůst o více než 100 stanic. [17] [20] [21] [22]

2 Potenciál zdrojů biomasy

V současnosti je spotřebována jen část dostupné biomasy pro produkci energií. Vzhledem k jejich velké spotřebě v dnešní společnosti je však téměř nemožné, aby se veškeré energie vyráběly z biomasy. Je proto vhodné zmapovat dostupný potenciál zdrojů, které lze teoreticky udržitelně využívat, aby bylo možné s nimi do budoucna počítat v celkovém energetickém mixu (podílu jednotlivých zdrojů).

2.1 Potenciál biomasy v ČR

Z Akčního plánu pro biomasu vydaného Ministerstvem zemědělství ČR pro roky 2012–2020 vyplývá, že prvotním účelem potenciálu zemědělské biomasy je plně pokrýt potravinovou soběstačnost země a pro energetické využití je možné počítat se zbývajícím potenciálem. Pro energetickou produkci je k dispozici plocha o rozloze 1,12 až 1,51 milionu hektarů orné půdy a trvalých travních porostů. Právě biomasa vypěstovaná na zemědělských plochách je u nás zastoupena největším, přibližně tříčtvrtěčným podílem. Nezanedbatelnou část ale tvoří i BRKO, který mnohdy zbytečně končí nevyužitý na skládkách komunálního odpadu. V době vypracování plánu byl energetický potenciál již využívané biomasy cca 94 PJ za rok, což by znamenalo, že dostupný potenciál je více než dvojnásobný. Celkový odhadovaný energetický potenciál jednotlivých druhů biomasy je zachycen v tabulce. [17]

Druh biomasy	Hodnota potenciálu [PJ]	Střední hodnota [PJ]	[%]
Zemědělská biomasa	133,9–186,8	161,4	75,1
Lesní dendromasa	26,3–30,4	28,3	13,2
BRKO	25	25	11,7
Celkem	185,2–242,2	214,7	100

Tab. 7: Celkový energetický potenciál biomasy v ČR (převzato z [7 T])

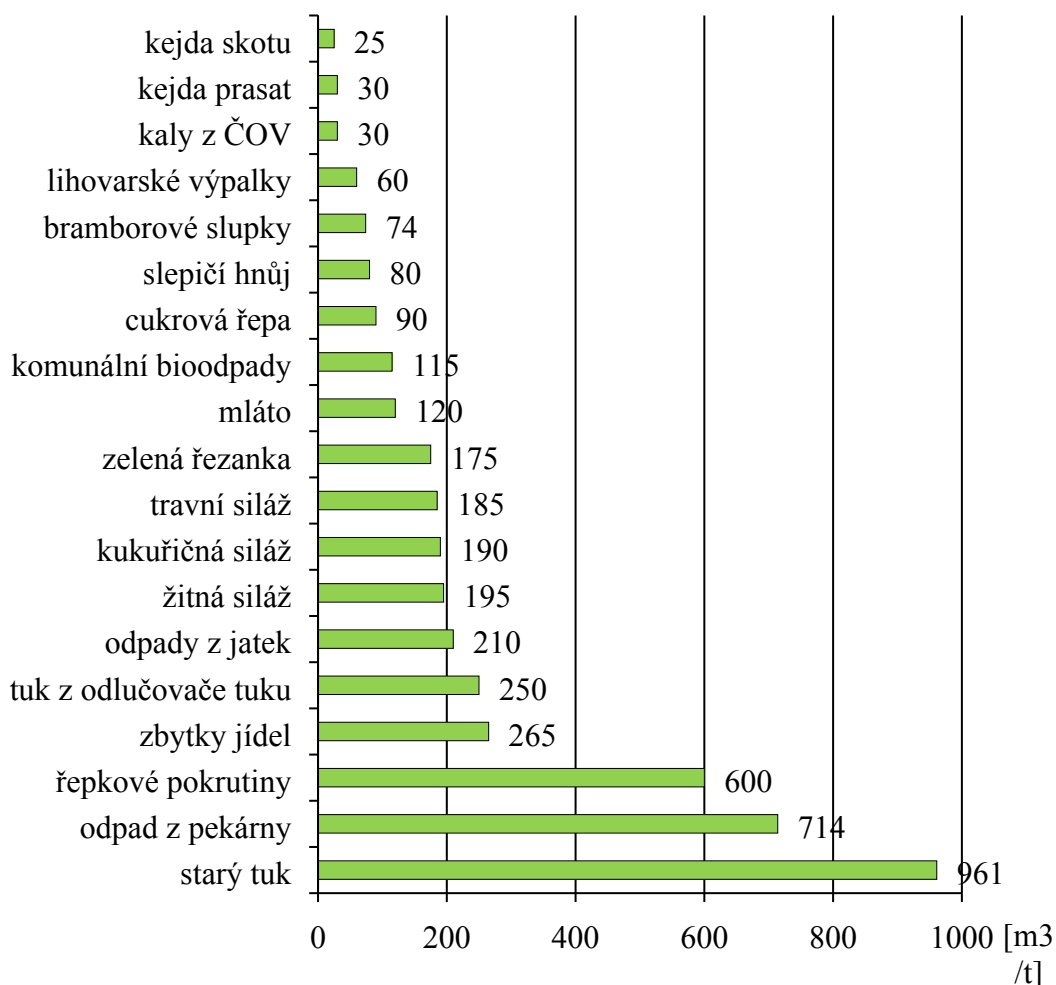
Odhadovaný energetický potenciál je ovšem jen teoretická hodnota, která se v blízké budoucnosti jen stěží využije. Státní energetická koncepce z roku 2015 nabízí výhled očekávaného vývoje využívaného potenciálu biomasy v ČR na příštích 25 let, který počítá s postupným navyšováním potenciálu pro produkci energie.

Obnovitelné zdroje energie za rok	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Biomasa [PJ]	82,7	92,7	104,7	116,6	130,4	144,6	159,9
Bioplyn [PJ]	7,4	22,1	27,1	28,8	31,1	33,5	35,9
BRKO [PJ]	2,6	3,3	4,7	9,9	13,3	13,3	13,3
Biopaliva [PJ]	9,8	18,3	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1

Tab. 8: Vývoj a struktura OZE na primárních energetických zdrojích (převzato z [8 T])

2.2 Biomasa využitelná v bioplynových stanicích

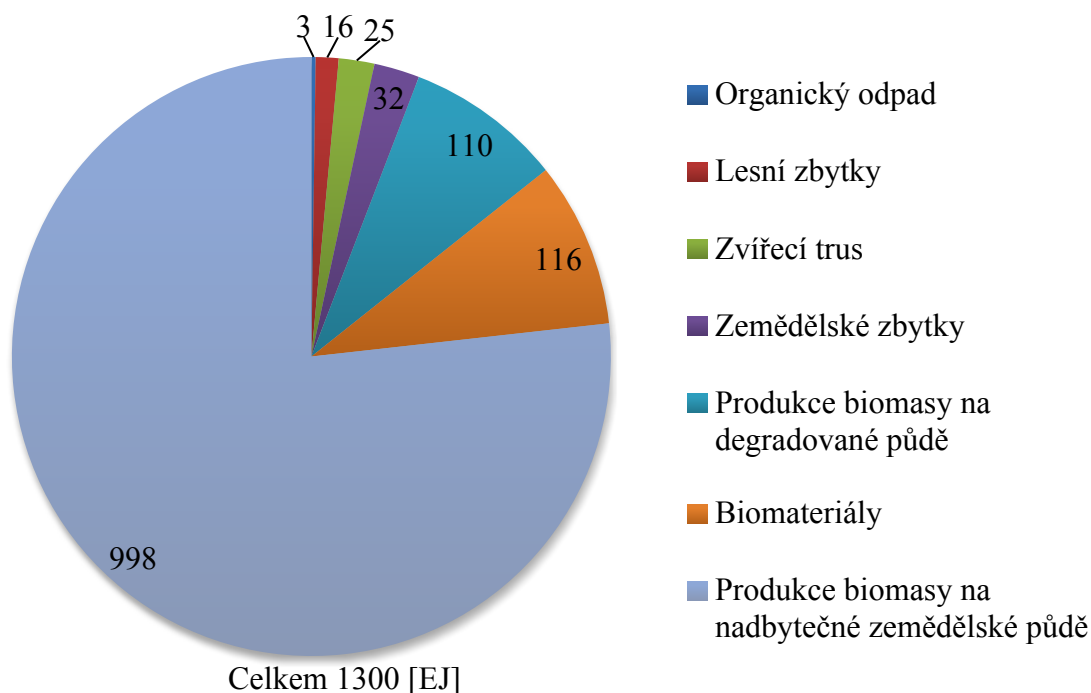
Pro výrobu bioplynu v BPS se mohou použít různé rostlinné nebo živočišné suroviny. Jejich energetický potenciál se však liší, proto je odlišné i množství plynu, který lze vyprodukovat. Tato skutečnost by se měla brát v potaz při projektování nových bioplynových stanic a podle předpokládaných vstupních surovin dimenzovat celé zařízení. Na následujícím grafu je vidět teoretický výnos bioplynu z tuny dané biomasy.



Obr. 5: Teoretická výtěžnost surovin (převzato z [4 O])

2.3 Potenciál biomasy ve světě

Na celém světě se každý rok vyprodukuje biomasa, jejíž energetická hodnota odpovídá 4 500 EJ zachycené sluneční energie. Desetina z této hodnoty by stačila k pokrytí přibližně 3/4 současné světové spotřeby energií. Celková primární energetická spotřeba celého světa v roce 2008 dosáhla 475,2 EJ (132 000 TWh), v roce 2012 se zvýšila na 568,8 EJ (158 000 TWh). V roce 2007 k celosvětové spotřebě přispělo asi 50 EJ energie, která spočívala především v tradiční nekomerční výrobě z biomasy. Těchto zhruba 10 % z celkové poptávky po energiích by se do budoucna mohlo výrazně zvýšit. K tomu není vždy potřeba nových technologií, někdy stačí pouze úprava stávajících zařízení na fosilní paliva. Vývoj EVB závisí také na politických postojích a místních pobídkách. Dostupný energetický potenciál biomasy by do roku 2050 mohl činit 1 000 až 1 300 EJ, přičemž tato hodnota nezahrnuje další možný perspektivní zdroj – řasy. [23]



Obr. 6: Odhad globálního potenciálu biomasy pro energetické využití v roce 2050 (převzato z [5 O])

Tropické a subtropické oblasti

Velký potenciál má využívání biomasy zejména v některých tropických, případně subtropických oblastech. Vyšší průměrné teploty (někde vůbec neklesající pod bod mrazu), velká intenzita slunečního svitu a vysoká vlhkost s dostatkem půdní vláhy jsou ideální podmínky pro teplomilné rostliny, kterým se u nás nedaří, ve své domovině však mají oproti našim rostlinám nesrovnatelně vyšší a rychlejší produkci biomasy, jedná se například o bambusy, banánovníky, cukrovou třtinu nebo blahovičnický. Nevhodným přístupem je ovšem pěstování rostlinných monokultur na úkor původních přírodních porostů s vysokou druhovou diverzitou.

3 Bariéry rozvoje EVB

Potraviny vs. energie

V souvislosti s pěstováním rostlin k produkci energií vyvstává morální dilema, zda je správné takto využívat jedlé plodiny určené ke konzumaci pro lidi nebo zvířata, případně zda zabírat zemědělskou půdu, která by mohla být k jejich pěstování využita. Vyspělé státy, kde je prioritou potravinová soběstačnost, obvykle netrpí nedostatkem potravin, proto lze nadbytečnou produkci využít k energetickému zhodnocení. Odlišná situace může

být v chudších či rozvojových zemích, které by se měly nejprve zaměřit na zajištění dostatku potravin pro obyvatelstvo a až poté na výrobu energií z biomasy.

Ceny elektrické energie

V současné době se výkupní cena silové elektrické energie pohybuje kolem 1 Kč za 1 kWh. Jde o relativně nízkou cenu, za kterou se malým výrobcům nevyplatí své zdroje provozovat. Tato cena závisí na dostupnosti fosilních paliv, zejména uhlí, které se těží ve velkém objemu a velké jsou i tepelné elektrárny, které uhlí spalují. Čím více elektřiny vyrobí, tím lépe rozdělí náklady na výrobu do výsledné ceny. Výroba elektřiny z biomasy by u nás za současných tržních podmínek často nebyla rentabilní, proto jsou výkupní ceny dotovány, jakožto podpora obnovitelných zdrojů. V budoucnosti, až se zásoby fosilních paliv zmenší, může cena energií růst, což bude zároveň souviset se vzrůstající poptávkou, a biomasa se začne uplatňovat i při nedotovaných cenách.

Veřejné mínění

V případě dotování výkupních cen „zelené“ energie je nutné získat prostředky pro vyrovnání rozdílu oproti tržním cenám. U nás se tak děje prostřednictvím příplatku v rámci konečné ceny elektřiny. V případě neuváženě výhodné podpory pro provozovatele může dojít ke skokovému navýšení instalovaného výkonu tak, jak se v minulosti projevilo u fotovoltaických elektráren a později v menší míře u bioplynových stanic. To obvykle vyvolává záporné reakce od odběratelů, potažmo od všech obyvatel. Pokud političtí zástupci vyslyší názor občanů, mohou navrhnout opatření proti dalšímu využívání konkrétního zdroje i bez posouzení logických argumentů.

Politika jednotlivých států

V jednotlivých státech světa se mnohdy velice různí postoj k využívání biomasy. Každá země má vlastní legislativu, která může klást různé podmínky nebo administrativní překážky rozvoji EVB. Seskupení států do celků, jako je např. Evropská unie, může přispět k jednotnému postoji v této problematice a usnadnit přechod k bioenergiím, také díky cíleným podporám.

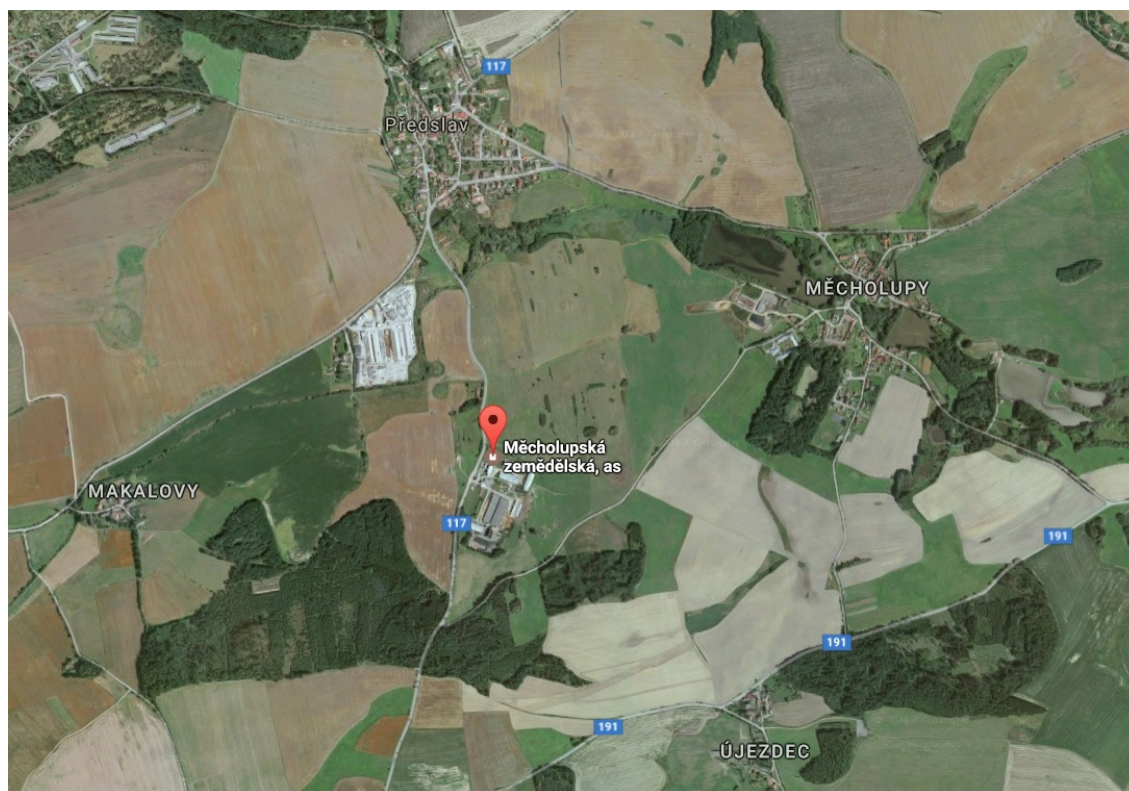
Dopad na životní prostředí

Biomasa se všeobecně považuje za vhodnou náhradu fosilních paliv s malou zátěží životního prostředí. Přímé a nepřímé dopady ale nejsou vždy zcela zřejmé. Na toto téma bylo vypracováno mnoho studií a některé z nich například zpochybňují vhodnost náhrady motorové nafty u současných spalovacích motorů tzv. bionaftou, po jejímž spálení může vznikat více škodlivých exhalací, než se předpokládalo. Také celkový životní cyklus výroby paliva může ve výsledku mnohem více poškozovat životní prostředí, např. při pěstování řepky, sóji nebo palmy olejné pro výrobu bionafty. Metoda, která komplexně posuzuje životní cyklus výrobku od původu surovin, přes jejich dopravu a zpracování, se nazývá Life Cycle Assessment (LCA). Může také mapovat celkovou uhlíkovou stopu, která udává množství vyprodukovaného CO₂, které s životním cyklem souvisí. Pokud se jednoznačně prokáže celkový negativní vliv konkrétního způsobu využívání biomasy, může to znamenat omezení i dalších, vhodnějších způsobů. Další možné dopady jsou zmíněné v předchozích a následujících částech práce. [24]

4 Bioplynová stanice Předslav

4.1 Popis BPS Předslav

Bioplynová stanice Předslav se nachází asi 9 km od města Klatovy a náleží do katastrálního území obce Předslav. BPS je vzdálena od obce Předslav asi 1 km, podobná je i vzdálenost do obcí Měcholupy, Újezdec a Makalovy. BPS zemědělského typu je majetkem společnosti Měcholupská zemědělská, a.s. Vybudována byla v roce 2012, v provozu je od konce téhož roku. Generálním dodavatelem zařízení byla společnost BD Tech, zastupující německou firmu BD Agro a jedná se o zařízení typu UniFerm. BPS Předslav využívá převážně cíleně pěstované plodiny ze zemědělské výroby a v menší míře statková hnojiva z chovu hospodářských zvířat, spadá tedy do kategorie AF1. Objekt je v blízkosti stávajícího zemědělského areálu, ve kterém je kromě vlastní BPS také sídlo společnosti, budovy pro chov skotu a další provozní stavby.



Obr. 7: Mapa s areálem umístění BPS Předslav (převzato z [6 O])

Následující tabulka udává předpokládanou produkci a spotřebu energií a další provozní parametry.

Produkce bioplynu	[m ³ /rok]	3 543 000
Výroba el. energie před ztrátami	[kWh/rok]	8 008 300
Výroba el. energie po odečtení ztrát	[kWh/rok]	7 968 300
Spotřeba el. energie BPS	[kWh/rok]	400 400
Provozní teplota	[°C]	43
Technolog. spotřeba tep. energie BPS	[GJ/rok]	6 882
Využitelná tepelná energie	[GJ/rok]	21 189
El. výkon kogeneračních jednotek	[kW]	2 x 600
Účinnost elektrická	[%]	40,1
Doba provozu za rok	[h]	8 000
Využití za rok	[%]	91,4
Celkem doba zdržení substrátu	[den]	118

Tab. 9: Parametry BPS Předslav (převzato z [9 T])

4.2 Části BPS Předslav

Vstupní zásobní jímka

Vstupní jímka se využívá jako zásobník pro čerpatelné substráty, zejména kejdu. Ta je následně přečerpávána a smíchávána s pevnými vstupy. Jímka je zdvojená, přičemž každá část má rozměry 5 x 4 metry, hloubku 4,5 metru a využitelný objem 80 m³. Usazování pevných částic na dno brání ponorné míchadlo.



Obr. 8: Vstupní jímka (foto autor)

Dávkovací zásobník

V BPS Předslav jsou využívány dva stacionární míchací systémy od firmy Trioliet o kapacitě 2 x 60 m³. Tento systém se také uplatňuje v krmných míchacích vozech. Pevný substrát je v zásobníku rozřezán noži a pomocí šnekových dopravníků a posuvného dna dopravován do šnekového směšovacího čerpadla. Dvě směšovací čerpadla od firmy Wangen typu BIO-MIX s příkonem 15 kW a průtokem 40 m³/hod při tlaku 3 bary promíchávají pevnou složku s kejdou či fugátem na čerpatelnou substanci, která je potrubím směšována do fermentorů. Ve vstupní surovině by neměly být kameny nebo jiné cizí předměty, které snižují životnost nožů a šneků, v horším případě je mohou úplně zničit. Za normálního stavu se nože mění zhruba po 7 měsících. Denní plnění jednoho zásobníku je asi 20 tun, u obou tedy zhruba 40 tun pevného materiálu. Hmotnost náplně snímají váhy zabudované v podstavci. V praxi se jako nejvhodnější osvědčilo zavážení

dvakrát denně, a to z důvodu čerstvosti kukuřičné siláže, neboť při jednodenním plnění ztrácí siláž po delším kontaktu se vzduchem část své energetické hodnoty. [25]

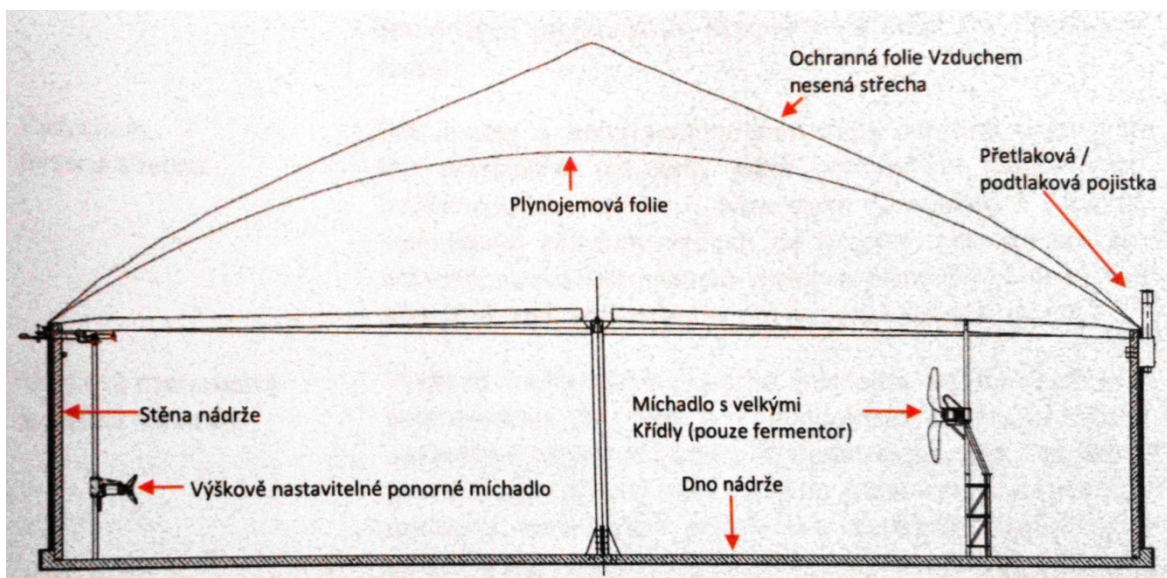


Obr. 9: Dávkovací zásobník od firmy Trioliet (foto autor)

Fermentory

V areálu se nachází dva totožné, na sobě nezávislé fermentory. Jsou navrženy jako kontinuální biologické reaktory pro mezofilní mikroorganismy, které mohou pracovat při teplotách v rozmezí 30 až 45 °C. Provozní teplota z tohoto rozsahu ale musí být dlouhodobě konstantní, proto je u fermentorů i dofermentoru nastavena na 43 °C s tolerancí regulace $\pm 0,5$ °C. Vytápění zajišťuje šestiokruhový nerezový rozvod tepla, které je přiváděno od kogeneračních jednotek. Kvůli zabránění úniku tepla je instalována tepelná izolace nádrží.

Oba fermentory mají identické rozměry, tvoří je železobetonový prstenec o průměru 23,2 metru, s výškou 6 metrů, vestavěnou hloubkou 1 metr a kapacitou jímky 2 253 m³. Výška substrátu ve fermentorech je nastavena na 5,1 metru pro bezproblémovou funkci. Vstupní surovina je dopravována pod hladinu kapalného substrátu a následně promíchávána pomocí míchadel. V každém fermentoru jsou dvě stacionární pomaloběžná míchadla s velkými křídly (průměr 2,5 m) o příkonu 6 kW a dvě menší ponorná míchadla (průměr 1 m) o příkonu 16 kW upevněná na stěně s možností vertikálního posuvu pomocí navijáku. Obsah sušiny v substrátu by se měl držet pod 10 % hmotnosti pro zachování správné funkce míchání. [25]



Obr. 10: Konstrukce nádrže fermentoru a dofermentoru (převzato z [7 O])

Fermentory slouží jako první stupeň fermentace, ve kterém není substrát plně energeticky využit. Každý den se při standardním provozu do každého fermentoru doplní 50–60 m³ substrátu a stejné množství, tedy celkem 100–120 m³ částečně zfermentovaného materiálu je přečerpáváno do dofermentoru.



Obr. 11: Fermentory (foto autor)

Dofermentor

Dofermentor je o něco větší, rovněž železobetonová kruhová nádrž o průměru 29 metrů, výšce 6 metrů a zapuštění do hloubky 1 metr. Kapacita jímky činí 3 650 m³, míchání substrátu zajišťují tři ponorná míchadla (průměr 1 m) s příkonem 16 kW, jejichž vertikální manipulace je umožněna pomocí navijáku. Vyhřívání je řešeno stejně jako u fermentorů. V dofermentoru probíhá druhý stupeň fermentace materiálu, který přichází z fermentorových nádrží. Zde substrát neprodukuje tak vysoké množství bioplynu, ale je

kvalitnější a s nižším obsahem nežádoucích příměsí. Zfermentovaný materiál, který už neprodukuje další bioplyn, se přečerpává do separátoru. [25]



Obr. 12: Dofermentor (foto autor)

Plynojemy

Pružná membránová střecha fermentorů a dofermentoru slouží k zachycování a dočasnému skladování bioplynu. Kapacita každého plynojemu nad fermentory je 1 187 m³ a nad dofermentorem 1 716 m³. Bioplyn z fermentorových plynojemů je přečerpáván do dofermentorového plynojemu, aby tzv. dozrál. Všechny tři plynojemy jsou stejné konstrukce, která využívá dvě membrány. Svrchní membrána z PVC tvoří ochranné zastřešení. Do prostoru mezi membránami je kontinuálně vháněn vzduch pomocí nízkotlakých ventilátorů, čímž je dosahováno přetlaku, který je důležitý pro stabilizaci vzduchem nesené střechy. Vnitřní membrána z polyethylenu tvoří jímací část pro bioplyn, jehož proměnlivé množství způsobuje pohyby nahoru a dolů. Uchycení membrán k tělesům nádrží zajišťují ocelové upevňovací obruče. O vzduchotěsnost se starají speciální těsnící hadice, do kterých je vháněn vzduch kompresorem.

Anaerobní prostředí uvnitř zajišťuje relativně bezpečný provoz, pokud se ale bioplyn, jehož hlavní složkou je metan, dostane do kontaktu se vzduchem, vzniká výbušná směs. Proto je třeba při jakýchkoliv opravách dávat pozor na oheň a elektrické jiskry. Podobné

nebezpečí nastává při úderu blesku, proto je ve vyvýšené části stanice nad fermentory instalován bleskosvod v podobě jímací tyče. [25]

Přetlakové/podtlakové pojistky

Oba fermentory i dofermentor jsou vybaveny kapalinovými pojistkami, které slouží jako ochrana proti přetlaku a podtlaku v plynojemech. Při překročení přetlaku nad 3 mbar se pojistka otevře a plyn z nádrže unikne do vzduchu. Naopak při podtlaku pod -1 mbar (vztaženo k atmosférickému tlaku) se do nádrže začne vpouštět okolní vzduch. Po aktivaci pojistky se vždy tlak v nádrži vyrovná s atmosférickým tlakem. Pojistky jsou nouzovým opatřením a k jejich spuštění dojde až jako poslední v řadě, pokud selže uzavření ventilů a fléra. Nad prostorem pojistek vzniká potenciální explozivní zóna. [26]



Obr. 13: Přetlaková/podtlaková pojistka (foto autor)

Servisní prostor

Servisní budova je umístěna mezi fermentory a dofermentorem. Je v ní umístěna většina ovládacích prvků BPS, řídicí systém a také rozvody potrubí, čerpadla substrátu, kompresory a rozvody výhřevných okruhů. O chod stanice se stará obsluha, jejíž neustálá přítomnost není vyžadována, přítomna musí být při zavážení vstupního substrátu, údržbě a mimořádných situacích.



Obr. 14: Rozvody a čerpadla substrátu (foto autor)

Úprava bioplynu

Teplota bioplynu je podobná jako teplota ve fermentorech, po cestě se mírně zchladí asi na 40 °C. Problémem plynu je obsah vlhké páry, která by poškozovala spalovací motory, proto je potřeba ji odstranit. Zvolená technologie ochlazuje bioplyn na teplotu -5 °C, při které většina páry z kondenzuje na vodu, která spádovým potrubím odtéká do kondenzační šachty.



Obr. 15: Přívod bioplynu s chladicí jednotkou (foto autor)

V závislosti na obsahu sulfanu (dříve sirovodík) v bioplynu se do plynojemů tzv. mikroaerací přivádí membránovým čerpadlem malé množství vzdušného kyslíku, které nemá negativní vliv na anaerobní mikroorganismy, ale dokáže významně snižovat koncentraci sulfanu díky jeho oxidaci na elementární síru. Příliš vysoká koncentrace kyslíku ve fermentorech by nejen mohla zahubit mikroorganismy, ale došlo by i k vytvoření nebezpečné výbušné směsi plynů. Při zvýšeném obsahu sulfanu v bioplynu je v servisní budově nainstalováno ještě tzv. externí odsíření. Sulfan se odstraňuje vzhledem ke svým negativním účinkům, neboť působí korozivně na součásti motorů, pro člověka je toxický a zapáchá. Kvůli spalování bioplynu v kogeneračních jednotkách je ještě potřeba navýšení jeho tlaku, ke kterému dochází pomocí dvou zvyšovacích ventilátorů od výrobce Meidinger AG. [26]

Kogenerační jednotky



Obr. 16: Kogenerační jednotky v kontejnerech (foto autor)

V BPS jsou umístěny dvě stejné kogenerační jednotky. To má velkou výhodu v případě, když jedna jednotka není v provozu kvůli odstávce či poruše, přičemž druhá může pracovat, výroba elektřiny se nezastaví a rovněž se nemusí v takové míře omezit výroba bioplynu a není třeba přebytek spalovat ve fléře. Kogenerační jednotky od výrobce Jenbacher jsou umístěné v kontejnerech o rozměrech 12,2 x 2,5 x 2,6 m a celkové váze

s náplněmi 23,3 tuny. V kogenerační jednotce je zážehovým motorem spalován bioplyn a poháněný generátor vyrábí elektrickou energii. Srdcem kogenerační jednotky typu JMC 312 GS-B.LC je plynový dvanáctiválcový motor o objemu 29,2 litru, který je přes pružnou gumovou spojku spojen se synchronním generátorem (čtyřpólový alternátor). Kogenerační jednotky jsou mimo údržby v plně automatickém provozu díky soběstačnému řídicímu systému, který je nezávislý na řízení bioplynové stanice. Další parametry jsou uvedené v tabulkách. [27]

Elektrický výkon	[kW _{el.}]	600
Využitelný tepelný výkon (180 °C)	[kW _{tep.}]	682
Příkon	[kW]	1 494
Spotřeba plynu při výhřevnosti 4,5 kWh/Nm ³	[Nm ³ /h]	332
Elektrická účinnost	[%]	40,1
Tepelná účinnost	[%]	45,6
Celková účinnost	[%]	85,8
Vysálaný tepelný výkon (nízkoteplot. okruh)	[kW]	33
Emisní hodnoty	NO _x < 500 mg/Nm ³ (5 % O ₂)	

Tab. 10: Technická data kogeneračního modulu (převzato z [10 T])

Typ motoru	J 312 GS-D25	
Uspořádání		V 70°
Počet válců		12
Vrtání	[mm]	135
Zdvih	[mm]	170
Zdvihový objem	[l]	29,2
Jmenovité otáčky	[ot/min]	1 500
Hmotnost suchá (motoru)	[kg]	3200
Olejová náplň	[l]	230

Tab. 11: Technická data motoru (převzato z [11 T])

Výrobek	Leroy-Somer	
Typ	LSAC 49.1 L9	
Štítkový výkon	[kVA]	792
Účinnost při cos φ = 1	[%]	96,9
Účinnost při cos φ = 0,8	[%]	95,6
Jmenný činný výkon při cos φ = 1	[kW]	637
Jmenný činný výkon při cos φ = 0,8	[kW]	628
Kmitočet	[Hz]	50
Napětí	[V]	400
Otáčky	[ot/min]	1 500
Hmotnost	[kg]	1 870

Tab. 12: Technická data generátoru (převzato z [12 T])



Obr. 17: Synchronní generátor v kogeneračním modulu (foto autor)

Výstup z generátoru směřuje do transformátoru 0,4/22 kV na pozemku stanice, který transformovanou elektrickou energii na napětíové hladině 22 kV odvádí do distribuční sítě pomocí podzemního vedení, které se napojuje v obci Újezdec k trafostanici.

Výměníky tepla

Motor při spalování uvolňuje velké množství tepla a musí se chladit. U běžných spalovacích motorů se jedná o odpadní teplo, kogenerační jednotky jsou ale záměrně konstruovány pro využití tohoto tepla. Výstupní teplota topné vody je 90 °C, vratná teplota 70 °C a průtokové množství vody činí 29,3 m³/h. Každá jednotka má svůj tepelný výměník a chladič. Chladiče dodatečně ochlazují motory, protože nainstalované výměníky využívají jen část dostupného tepla (podle aktuální potřeby) a je nutné dodržet teplotní spád vody, která se vrací do jednotky. Primární výměníky na vrchu kontejnerů jsou propojeny se sekundárním výměníkem, který je umístěn pod přístřeškem mezi kontejnery. Sekundárním výměníkem je ohřívána teplá voda, která se používá k vytápění fermentorů a dofermentoru, objektů v areálu (kanceláře, jatky, dílny) a k ohřívání užitkové vody v boilerech. Denní spotřeba tepla v areálu včetně technologické spotřeby je kolem 30 GJ, záleží ale samozřejmě na venkovních teplotách a ročním období. [27]



Obr. 18: Sekundární výměník tepla (foto autor)

Fléra

Fléra je název pro speciální bezpečnostní hořák na nevyužitelný bioplyn. Je to důležité zařízení, které má za úkol zabezpečit, aby bioplyn neunikal do ovzduší. Hlavní složkou bioplynu je metan, který je coby skleníkový plyn asi dvacetkrát účinnější než CO_2 , proto je důležité, aby se pokud možno beze zbytku spálil předtím, než by unikl do okolí. Fléra se zapaluje automaticky a sehraje svou roli v případě, že by střechy fermentorů (plynojemy) dosáhly maximální úrovně naplnění.

Výrobce	ENNOX
Typ	NOX matic
Tepelný výkon zařízení [MW]	3,9
Výkon při spalování max. [Nm^3/h]	480–600
Provozní přetlak [mbar]	60–120

Tab. 13: Technické parametry fléry (převzato z [13 T])



Obr. 19: Fléra (foto autor)

Separátor digestátu

Fermentovaný digestát se v separační jednotce (separátoru) odděluje na tuhou, částečně suchou složku, tzv. separát a na tekutou složku, tzv. fugát. Digestát je testován na přítomnost škodlivých látek a těžkých kovů, pokud je nezávadný, může se dále využít. Separát je bez zápachu a momentálně se používá jako podestýlka pro mladý skot. Při nadbytku se nespotřebovaný separát přidává k chlévskému hnoji a slouží jako hnojivo na pole. Rovněž fugát se využívá jako tekuté hnojivo, jež se rozváží v cisternách s hadicovými aplikátory k hnojení polí nebo luk, které zemědělská společnost obhospodařovává. Při nedostatku kejdy je fugát vhodný pro ředění vstupních surovin.



Obr. 20: Separátor digestátu a výsledný separát (foto autor)

Koncový sklad (jímka)

Pro dočasné skladování digestátu se používá otevřená jímka, do které se v současnosti čerpá pouze fugát. Součástí nádrže jsou míchadla, kterými se homogenizuje obsah, čímž se zabráňuje vytváření tuhých usazenin. Tzv. kalová laguna musí být dokonale těsná a nepropustná, aby nemohla případně kontaminovat okolní prostředí. Objem celé nádrže činí 10 400 m³ a je dimenzovaný pro skladování minimálně na 180 dní běžné produkce digestátu. [25]



Obr. 21: Jímka naplněná fugátem (foto autor)

Kondenzační šachta

Do kondenzační šachty se odvádí kondenzát, který vzniká po celé délce plynového potrubí a při zchlazování bioplynu. Kondenzát se nesmí vypouštět do odpadních vod, protože může obsahovat čpavek a jiné příměsi. Po naplnění kondenzační šachty se přečerpá zabudovaným ponorným čerpadlem do dofermentoru, aby se neutralizoval. Do šachty se nesmí vstupovat bez předchozí recirkulace vzduchu ventilátorem, protože se v ní hromadí CO₂, který je těžší než vzduch a proto ho nelze vyvětrat pouhým otevřením poklopu.



Obr. 22: Vstup do kondenzační šachty (foto autor)

4.3 Vstupní suroviny

BPS Předslav je koncipována na suroviny ze zemědělské produkce. Jedná se zejména o intenzivně pěstované rostliny, statková hnojiva a ostatní biomasu. V následující tabulce jsou uvedena předpokládaná množství vstupních surovin za rok.

Vstupy	Množství [t/rok]	Sušina [%]	Bioplyn [m ³ /t]
Travní senáž	2 000	35	177
Kukuřičná siláž	16 000	33	230
Hovězí kejda	9 000	8	19

Tab. 14: Vstupní suroviny (převzato z [14 T])

V současné době se kromě uvedených surovin do fermentorů přidává ještě žitná senáž a podle aktuální dostupnosti zbytky obilí či šrotu ze sil a další druhy biomasy. Chlévský

hnůj se zatím nevyužívá – aby to bylo možné, musel by obsahovat stelivo v podobě řezané slámy kvůli správnému dávkování substrátu. Prasečí kejda se také nepřidává, a to z důvodu využívání separátu jako steliva pro telata, což by v opačném případě nebylo vhodné.

Kukuřičná siláž

Kukuřičná siláž tvoří největší podíl směsi biomasy v BPS. Silážování je způsob, jak zakonzervovat některé plodiny pro pozdější využití jako krmivo nebo pro EVB. Výhodou je zachování většího energetického potenciálu, než v případě sušení, neboť se zde zachovávají šťávy a nedochází k oxidaci ze vzduchu. Právě proces výroby bez přístupu vzduchu je důležitý, protože se jedná o mléčné kvašení obsažených sacharidů. Anaerobní bakterie produkují kyselinu mléčnou, která zajišťuje konzervaci pro zamezení hnilobných procesů. Výsledný produkt dosahuje kyselosti kolem pH 4.

Při výrobě musí dojít k velkému zhutnění materiálu, čímž se vytlačí vzduch. Při nedostatečném vytlačení vzduchu nastanou biochemické pochody, které vytvoří v materiálu jiné organické kyseliny a dojde k znehodnocení. Zde v BPS je siláž realizována umístěním do betonových silážních žlabů, které jsou vhodné pro velká množství materiálu bez vysokých finančních nákladů. V praxi příprava probíhá tak, že se do žlabů postupně naváží kukuřičná řezanka (z celých rostlin včetně klasů), která se po každé navážce udusává těžkými traktory nebo jinými stroji. Po naplnění žlabů se siláž důkladně zakryje tmavou neprůsvitnou plachtou a zatíží. Musí se počítat s vytékající silážní šťávou, která by se díky své kyselosti a obsaženým látkám neměla dostat do spodních vod, proto je nutné místo dobře zabezpečit.



Obr. 23: Kukuřičná siláž v silážním žlabu (foto autor)

Alternativou jsou silážní věže nebo silážní vaky, tato provedení dosahují vysoké kvality výsledného materiálu, ale zabírají velkou plochu nebo jsou nákladné (v případě budování věží). Při výrobě se mohou přidávat konzervační látky, které proces urychlí nebo umožní delší trvanlivost. Lze samozřejmě silážovat i jiné plodiny, v BPS Předslav se ale v současnosti nepoužívají. Analogií siláže je kysané zelí, které se jako potravina rovněž konzervuje mléčným kvašením. [28]

Senáž

Senáž je druh siláže, která obsahuje množství sušiny větší než 50 %. Z důvodu malého obsahu vody nedochází k tak velké produkci kyseliny mléčné, materiál je z větší části konzervován zábráněním přístupu vzduchu. Senáž se realizuje rovněž zhutněním do žlabů nebo jako balíky sena obalené fólií. Senážovat se mohou různé druhy píce, v BPS Předslav se využívá travní a žitná senáž.

Kejda

Kejda je tekutá směs výkalů a moči hospodářských zvířat s menší příměsí rostlinných částí z nespotřebovaného krmiva. Na rozdíl od chlévského hnoje neobsahuje větší množství podestýlky. Chlévský hnůj je zfermentovaná (vyzrálá) chlévská mrva. Chlévská mrva je naopak čerstvý produkt po vyvezení ze stáji.

Kejda může být v různém stádiu kvašení a podle druhu původce se liší obsahem sušiny a chemických látek. Obsah těchto látek poté ovlivňuje složení bioplynu. Složení a produkci kejdy zobrazuje následující tabulka.

Druh kejdy	Produkce za rok [t]	Sušina [%]	Organická hmota [%]	Dusík celkový [%]	Dusík stravitelný [%]	Fosfor [%]	Draslík [%]
Skot (1 ks)	23	7,5–8,5	5,5	4,7	2,7	0,6	4,4
Prasata (10 ks)	21	6,5–7,5	6,0	6,3	4,4	1,5	2,9
Drůbež (100 ks)	10	13,7–15,0	10,5	5,4	3,5	2,6	2,5

Tab. 15: Obsah a produkce živin v kejdě hospodářských zvířat (převzato z [15 T])

Výhodou využívání kejdy jako suroviny v BPS je přínos pro životní prostředí v podobě zachycení metanu, který by se během přirozeného rozkladu dostal do ovzduší a přispěl více ke skleníkovému efektu než oxid uhličitý po spálení metanu. Ve srovnání s čerstvou kejdou je dalším přínosem při hnojení digesčními zbytky snížení zápachu.

4.4 Vlivy na životní prostředí

Ovzduší

Podle zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší se jedná o stacionární zdroje pod body 3.7. Výroba bioplynu a 1.2. Spalování paliv v pístových spalovacích motorech o tepelném příkonu od 0,3 MW do 5 MW. Látky znečišťující ovzduší se při běžném provozu uvolňují při spalování bioplynu a ze vstupních surovin, kde může docházet k částečnému biologickému rozkládání. Vzhledem k druhu biomasy, která se využívá, je emise pachových látek velmi malá a znatelná pouze v bezprostřední blízkosti. Kogenerační jednotky musí dodržovat emisní limity látek ve spalinách vypouštěných z komínů. Chod zařízení se přizpůsobuje složení bioplynu, který se podobá zemnímu plynu, proto není problém limity dodržet. Pachové vlastnosti bioplynu zanikají jeho spálením. [26]

Vodstvo

V areálu se pracuje s různými kapalnými substancemi. Když pomineme provozní kapaliny, jako oleje a různé chemické prostředky (nakládání dle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech), jedná se většinou o biologické látky, které se používají jako vstupní suroviny nebo vznikají jako vedlejší produkt. Pokud by nebyla zajištěna jejich dokonalá izolace od okolního terénu, docházelo by k pronikání jak do povrchových, tak do spodních vod a k jejich kontaminaci. Proto se provádí kontroly těsnosti a případné průsaky musí být odstraněny. Konkrétně jde o kejdu, která se skladuje ve vstupní jímce, fugát v kalové laguně, kondenzát v kondenzační šachtě, silážní šťávy ze silážních žlabů a samozřejmě samotné fermentační nádrže. Kontaminantem se mohou stát i pevné látky, zejména při jejich splachování z povrchu dešťovou vodou. Proto musí být umístěny na zpevněných plochách, z kterých se voda svádí do jímek nebo kanalizace.

Půda

Případné kontaminace půdy souvisí s výše zmiňovanými vodami. Dalším aspektem je ale používání fermentačních zbytků jako organických hnojiv. Aplikace digestátu, respektive fugátu, se musí řídit nařízením vlády č. 262/2012 Sb., které stanovuje podmínky hospodaření na zemědělských pozemcích. Digestát má oproti čerstvé kejďě méně agresivní vlastnosti a celkově se jeví jako bezpečné hnojivo, nesmí však obsahovat škodlivé látky, zejména těžké kovy, jejichž obsah musí být sledován. Při přeměně na bioplyn se ale odstraní velká část dobře rozložitelných organických látek, není tedy zcela dostatečnou náhradou za tradiční hnojiva, jako je chlévský hnůj či posklizňové zbytky.

Nepřímý vliv na půdu se projevuje také při pěstování zemědělských komodit. Nejdůležitější plodinou pro BPS je kukuřice. Pěstuje se proto v monokultuře na velkých plochách a vysévá se na stejnou plochu opakovaně, někdy i několik let po sobě bez meziplodin. To způsobuje vyčerpání živin, snížení úrodnosti půdy a klesající druhovou diverzitu v krajině. Větší problém ovšem představuje eroze půdy, jelikož má kukuřice mělké kořeny a širokořádkové pěstování neumožňuje větší zadržení vody. Při silnějších deštích se smývá půda a dochází k odnosu vrstvy s živinami. Následkem může být trvalé znehodnocení pěstebních ploch a také ohrožení okolních obcí v podobě záplav. Řešením může být zmenšení souvislých ploch či částečná obměna jinými, úzkořádkovými plodinami, zejména ve svažitém terénu. Problém představuje i utužení (zhutnění) půdy vlivem těžké techniky, která se v současnosti používá k obdělávání a sklizni. Půdní vrstva sníží svou retenční schopnost a zvýšené odtékání vody z krajiny přispívá k nástupu sucha v období bez dešťů.

Obyvatelstvo

Vliv na obyvatele okolních obcí má dosti subjektivní charakter. Vzhledem ke vzdálenosti od lidských obydlí se možné negativní vlivy minimalizují. Některými z nežádoucích aspektů by mohly být zvýšený hluk a prašnost, které jsou způsobeny větší frekvencí zemědělských a dopravních prostředků, zejména v období sklizně. BPS se však nachází v zemědělském areálu, který je na místě už dlouhou dobu, proto není rozdíl před a po vybudování tak markantní. Hlučnost samotného zařízení by se týkala kogeneračních jednotek, ty jsou však umístěné v odhlučněných kontejnerech, proto je venkovní intenzita

hluku malá a v okolních obcích neznatelná. Při správném provozu nedochází ani k šíření zápachu, který může fermentaci doprovázet. V porovnání dopadů provozu zařízení s jinými, které využívají neobnovitelné zdroje energií, vychází tedy BPS podstatně lépe.

4.5 Provozní data

Produkce bioplynu

Průměrná roční produkce bioplynu představuje 3 543 000 m³/rok. Denní produkce činí přibližně 9 707 m³. Bioplyn není dále akumulován, proto se veškerý vyrobený plyn musí spotřebovat. Jedna kogenerační jednotka při reálném provozu spotřebovává asi 200 m³ plynu za hodinu.

Látka	Obsah [%]
Metan (CH ₄)	40–75
Oxid uhličitý (CO ₂)	25–55
Vodní pára (H ₂ O)	0–10
Dusík (N ₂)	0–5
Kyslík (O ₂)	0–2
Vodík (H ₂)	0–1
Amoniak (NH ₃)	0–1
Sulfan (H ₂ S)	0–3

Tab. 16: Obvyklé složení bioplynu (převzato z [16 T])

BPS je navržena zejména na zpracování energetických plodin a kejdy, proto se obsah metanu v bioplynu obvykle pohybuje v rozmezí 45–56 %. Výhřevnost bioplynu se liší podle obsahu metanu, při zhruba 50% koncentraci činí 19,5 MJ/m³. [26]

Výroba elektrické energie

Průběh výroby elektrické energie se neustále monitoruje, pro účely společnosti jsou pak směrodatné výsledky produkce za každý kalendářní měsíc. Z brutto výroby elektrické energie se odečítá technologická spotřeba samotné stanice, ztráty a spotřeba elektrické energie v zemědělském areálu, rozdíl představuje množství dodávané elektřiny do distribuční sítě.

Rok 2013	Výroba el. energie [MWh]	Spotřeba el. energie v areálu [MWh]	Technolog. spotřeba BPS, ztráty [MWh]	Dodávka el. energie do sítě [MWh]
Měsíc				
leden	702,755	–	68,734	634,021
únor	796,401	42,000	31,544	722,857
březen	887,829	35,626	63,068	789,135
duben	849,664	33,128	60,494	756,042
květen	888,117	35,841	61,699	790,577
červen	850,321	38,918	67,704	743,699
červenec	882,266	43,378	78,694	760,194
srpen	886,228	42,045	74,317	769,866
září	861,838	39,870	69,774	752,194
říjen	892,735	36,244	68,669	787,822
listopad	855,026	38,209	65,052	751,765
prosinec	889,022	42,140	65,994	780,888

Tab. 17: Bilance elektrické energie v BPS Předslav za rok 2013 (zdroj dat [17 T], sestavil autor)

Rok 2014	Výroba el. energie [MWh]	Spotřeba el. energie v areálu [MWh]	Technolog. spotřeba BPS, ztráty [MWh]	Dodávka el. energie do sítě [MWh]
Měsíc				
leden	888,056	44,757	67,789	775,510
únor	796,731	43,250	62,994	690,487
březen	888,998	45,456	71,587	771,955
duben	863,341	42,284	65,094	755,963
květen	883,278	42,931	67,83	772,517
červen	863,904	46,573	74,682	742,649
červenec	871,326	50,766	77,163	743,397
srpen	811,723	50,341	74,07	687,312
září	859,902	46,753	70,739	742,410
říjen	886,716	53,859	70,706	762,151
listopad	850,331	46,358	67,063	736,910
prosinec	889,712	44,804	71,238	773,670

Tab. 18: Bilance elektrické energie v BPS Předslav za rok 2014 (zdroj dat [18 T], sestavil autor)

Rok 2015	Výroba el. energie [MWh]	Spotřeba el. energie v areálu [MWh]	Technolog. spotřeba BPS, ztráty [MWh]	Dodávka el. energie do sítě [MWh]
Měsíc				
leden	836,886	45,006	68,463	723,417
únor	806,290	43,773	58,530	703,987
březen	819,254	39,016	61,512	718,726
duben	814,135	37,452	64,657	712,026
květen	668,943	33,954	63,967	571,022
červen	813,519	41,530	75,464	696,525
červenec	881,186	44,000	78,768	758,418
srpen	863,014	45,183	75,871	741,960
září	862,333	39,579	69,084	753,670
říjen	836,958	39,214	57,962	739,782
listopad	500,399	41,157	59,697	399,545
prosinec	857,069	41,906	67,751	747,412

Tab. 19: Bilance elektrické energie v BPS Předslav za rok 2015 (zdroj dat [19 T], sestavil autor)

Na následujícím grafu je znázorněno množství vyrobené elektrické energie v jednotlivých měsících ve srovnání roků 2013, 2014 a 2015 (na grafu je posunutý počátek svislé osy na hodnotu 500 MWh pro lepší rozlišení rozdílů).

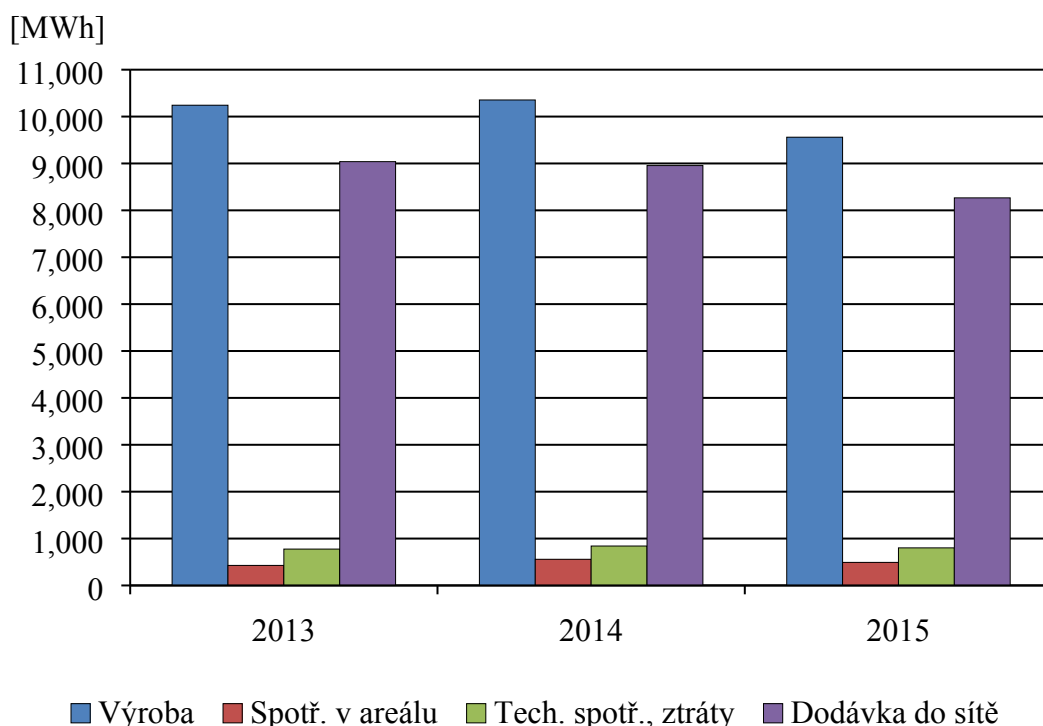


Obr. 24: Graf výroby elektrické energie (zdroj dat [17 T] [18 T] [19 T], sestavil autor)

Celkové roční bilanční statistiky elektrické energie shrnuje další tabulka a znázorňuje graf.

Celkem za rok	Výroba el. energie [MWh]	Spotřeba el. energie v areálu [MWh]	Technolog. spotřeba BPS, ztráty [MWh]	Dodávka el. energie do sítě [MWh]
2013	10 242,20	427,40	775,74	9 039,06
2014	10 354,02	558,13	840,96	8 954,93
2015	9 559,99	491,77	801,73	8 266,49

Tab. 20: Celková bilance el. energie za roky 2013, 2014, 2015 (zdroj dat [17 T] [18 T] [19 T], sestavil autor)



Obr. 25: Grafické znázornění bilance el. energie za roky 2013, 2014, 2015 (zdroj dat [17 T] [18 T] [19 T], sestavil autor)

V dokumentaci od firmy BD Tech byly předpokládány hodnoty výroby elektřiny před ztrátami 8 008,3 MWh/rok a po odečtení ztrát 7 968,3 MWh/rok. Obě tyto hodnoty byly každý rok s velkým náskokem překonány, nejednalo se zřejmě o zcela kvalifikovaný odhad výroby.

4.6 Zhodnocení dosavadního provozu

Jak už z údajů o výrobě elektřiny vyplývá, celý proces je vcelku dobře zvládnutý a není zde problém, který by neumožňoval kontinuální provoz. Za zmiňované tři roky provozu nedošlo k žádnému dlouhodobému výpadku výroby elektřiny. Občasné snížení

produkce elektrické energie způsobují plánované odstávky kogeneračních jednotek z důvodu pravidelné údržby. Kromě technického stavu kogeneračních jednotek je samozřejmě důležitá stabilní úroveň produkce bioplynu. V BPS Předslav je vhodně nastavený chemismus substrátu, který umožňuje dobrý růst mikroorganismů zodpovědných za tvorbu bioplynu.

Ekonomické zhodnocení

Konkrétní ekonomické hodnocení nelze zveřejnit, protože se jedná o obchodní tajemství akciové společnosti. Díky státním dotacím na výkup elektrické energie v podobě zeleného bonusu, který je podmíněn i částečným využíváním vyrobeného tepla, se provoz jeví jako ziskový. Přínosem je také soběstačnost v podobě přidružené zemědělské výroby, která je uskutečňována v rámci společnosti a zajišťuje dostatek vstupních surovin pro BPS. Výrobní náklady jsou zde proto nižší, než kdyby se suroviny nakupovaly od externích dodavatelů. Ohledně návratnosti projektu je důležité dodržet plánovanou dobu využití kogeneračních jednotek. Ta je plánovaná na 8 000 provozních hodin za rok, vzhledem k elektrickému výkonu by tak byl předpoklad výroby 9 600 MWh elektřiny za rok. Toho se podle dosavadních hodnot vyrobené elektřiny podařilo dostatečně dosáhnout v letech 2013 a 2014. Pouze v roce 2015 se předpokládané hodnoty těsně (o 40 MWh) nepodařilo dosáhnout, zejména kvůli menšímu výpadku ve výrobě v listopadu 2015. Vlastní technologická spotřeba BPS a ztráty činily po celé zkoumané období méně než 10 % z výroby elektřiny. To se dá brát jako celkově uspokojivý stav.

5 Návrhy na zlepšení efektivnosti provozu BPS Předslav

5.1 Zvýšení elektrické a tepelné účinnosti

Zvýšení elektrické účinnosti lze dosáhnout pomocí několika opatření. V první řadě je nutné analyzovat veškeré ztráty, které by se mohly snížit. Na zvyšovacím transformátoru z 0,4 kV na 22 kV, jehož výkon je 1 600 kVA, se vyskytují ztráty nakrátko a naprázdno. Ty u daného transformátoru nelze odstranit, je však možné transformátor nahradit o něco dražším nízkoztrátovým transformátorem, který by měl být podle empirických zkušeností výkonově předdimenzovaný na ideálně dvojnásobek elektrického výkonu kogeneračních jednotek. Investice do nového transformátoru není levnou záležitostí, ale finance za

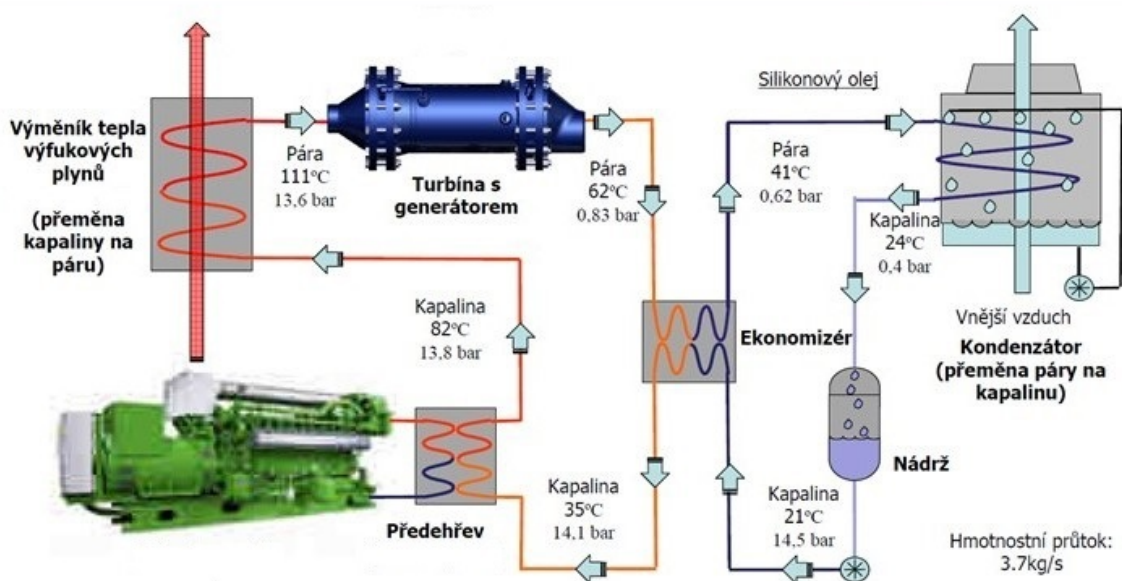
ušetřenou elektrickou energii zajistí návratnost zhruba do dvou let. Také by bylo možné brát v úvahu ztráty na podzemním kabelovém vedení, ty jsou však v případě správného provedení minimální a nelze je reálně omezit. Dalším opatřením je snížení vlastní technologické spotřeby u zařízení, která jsou využívána k chodu BPS. Důležitým zařízením jsou zejména míchadla fermentorů a dofermentoru, u kterých by bylo potřeba zjistit, jestli jejich výkon není zbytečně naddimenzovaný a jestli doba jejich chodu odpovídá potřebě míchání substrátu. Jejich spotřeba bývá obvykle mezi 2–4 % brutto výroby elektřiny. Nemalou část energie spotřebovává také chlazení bioplynu, u kterého je potřeba zvážit, jestli je nutné ho podchlazovat na teplotu $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je v porovnání s jinými bioplynovými stanicemi poměrně hodně nízká teplota. V poslední řadě souvisí spotřeba elektřiny s neúplným využíváním dostupného tepla, neboť se jeho přebytek musí ochlazovat v chladičích, které jsou chlazené prouděním vzduchu z elektrických ventilátorů.

Tepelnou účinnost zvýší jakékoliv užitečné využívání tepla. V současnosti se používá jen část tepelné kapacity (přibližně polovina) a kromě tepla z chladicí vody motoru a chlazení oleje je dostupné i teplo spalin, které by bylo možné odebírat pomocí spalinového výměníku. Jeho instalace by přicházela v úvahu pouze tehdy, pokud by bylo zajištěno efektivní využití veškerého tepla, jinak by se jeho přebytek musel také chladit, což by naopak zvýšilo spotřebu elektřiny. [29]

5.2 ORC zařízení

Možností, jak navýšit výrobu elektrické energie a zvýšit využití tepla, je systém ORC. Organický Rankinův cyklus je upravený Rankine-Clausiusův cyklus využívaný u parních turbín tepelných elektráren. Pracovním médiem namísto páry je organická látka, například silikonový olej. Jeho použití má několik výhod. Kromě jeho mazacích schopností a šetrného působení na lopatky turbíny je to hlavně skutečnost, že pracuje při nižších tlacích a při nižších teplotách než voda a dokáže využívat i nízkopotenciální teplo. ORC zařízení má několik možností provedení ve spolupráci s kogenerační jednotkou. Může se připojit přímo do primárního nebo do sekundárního chladicího okruhu, případně lze využít teplo spalin ve spalinovém výměníku. Účinnost ORC zařízení není vysoká, celkové zvýšení účinnosti výroby elektřiny se pohybuje kolem 10 %. To ale není tak důležité, protože se pro jeho pohon využívá přebytečné teplo, které by se jinak nevyužilo. Podle dostupné teploty se mohou použít i více těkavé pracovní látky, jako toluen nebo freony –

jejich použití ale není vhodné vzhledem ke škodlivosti k ozonové vrstvě. Příklad připojení ORC zařízení ke kogenerační jednotce je zobrazen na následujícím schématu.



Obr. 26: Schéma zapojení ORC na spalínový výměník kogenerační jednotky (převzato z [8 O])

Pro BPS Předslav by bylo nejvhodnější řešení, které využívá především tepla odcházejících spalin pomocí spalínového výměníku, který v současnosti není instalován. Část tepelné kapacity z chlazení motoru je také možné využít pro předehřev kapaliny vstupující do spalínového výměníku. Vzhledem k využívání tepla z chlazení motoru pro ohřev fermentorů a vytápění objektů ale není možné využití veškerého tohoto tepla. Pořízení ORC zařízení ovšem není levná záležitost, proto je nutné zvážit jeho návratnost. Například společnost LBG Moravia, a.s. dodává ORC zařízení o výkonech 55–1 000 kW a udává jeho životnost 20 let, přičemž návratnost investice by se měla pohybovat od 3 do 5 let. [30]

5.3 Vytápění obytných budov

Případná realizace vytápění objektů mimo areál BPS by vyžadovala v prvé řadě vybudování centrálního teplovodu. V úvahu by přicházelo vytápění vybraných rodinných domů v obci Předslav. Náklady na výstavbu by kromě ceny za zhotovení zahrnovaly také veškeré součásti, kterými by byly teplovodní potrubí o délce minimálně 1,2 km a příslušné armatury, oběhové čerpadlo, samostatné výměníky pro každý vytápěný objekt, teplovodní přípojky a měřiče tepla. Připojení jednotlivých objektů na centrální teplovod by si pravděpodobně hradili sami odběratelé, včetně výměníků a dalšího příslušenství na jejich

pozemku. Pro představu o cenové relaci, v jaké by se pohybovaly náklady na samotný teplovod, použijí údaje z orientačního ceníku firmy ERDING, a.s.

Ocelové předizolované potrubí DN 100 stojí 1 595 Kč za jeden metr. Číslo za označením DN (Diamètre Nominal) udává přibližný vnitřní průměr potrubí, v tomto případě tedy cca 100 mm. Potrubí se musí pokládat zdvojeně, jednou větví je přiváděna voda o teplotě 90 °C, druhou větví je odváděna vratná voda o teplotě 70 °C. Celková předpokládaná délka 2 400 metrů potrubí tedy vyjde na cca 3,8 milionu Kč. V ceně nejsou zahrnuty výkopové a montážní práce, které mohou dosáhnout rovněž několika milionů korun. Návratnost celé investice by se odvíjela od smluvené ceny tepla, která by pro odběratele musela být výhodnější než při využívání stávajícího tepelného zdroje. Rozumná doba návratnosti jak pro odběratele, tak pro dodavatele, tedy BPS, by měla být do 10 let, delší doba přestává být pro investici přijatelná.

Velkým přínosem pro celou obec by bylo zlepšení kvality ovzduší v topné sezoně, neboť by teplo z BPS mohlo některým obyvatelům nahradit domácí kotle na uhlí, které významně přispívají ke smogovým situacím v zimě.

Důvodů, proč dosud nebylo teplo využito k vytápění rodinných domů, je několik. Za prvé je to vysoká investice do infrastruktury s dlouhou a nejistou návratností. Pro vybudování teplovodu do některé z přilehlých obcí by bylo nezbytné zajistit určitý počet odběratelů. K tomu by bylo potřeba se zavázat k odebrání tepla ze strany zákazníků prostřednictvím smlouvy na nějakou minimální dobu, například na 10 let. Pokud by se odběr nepojistil smlouvou, mohlo by se stát, že by odběratel chtěl po krátké době přejít na jiný zdroj tepla, například kvůli změně ve vývoji cen energií a investice do infrastruktury by přišla vniveč. Jednodušší technické řešení by představovalo vytápění větší obytné budovy, jako např. školy. Tento případ se v minulosti projednával, ale nepodařilo se dohodnout se zřizovatelem instituce. Dalším důvodem by byla nově vzniklá odpovědnost za zaručenou dodávku tepla, což by obnášelo vyšší zabezpečení provozu a případně pořízení záložních zdrojů tepla.

5.4 Využití bioplynu mimo BPS

Umístění kogeneračních jednotek v areálu BPS není jediným možným řešením využití bioplynu. Bioplynem by bylo možné vytápět budovy podobně jako zemním plynem, potom by byla potřeba místo uvažovaného teplovodu vybudovat plynovod. To je efektivnější řešení z hlediska tepelných ztrát a celkového průběhu využití tepla. Výhodou je libovolné odebírání plynu podle aktuální potřeby. Jeho přebytek by se ale musel skladovat v plynovém zásobníku, také kvůli vytvoření větší rezervy. Proto se nabízí ještě výhodnější řešení bez nutnosti skladování, kterým je úprava bioplynu na biometan, jenž se může jako rovnocenná náhrada zemního plynu prodávat do plynárenské sítě.

Úprava bioplynu na biometan spočívá v oddělení metanu od ostatních složek bioplynu. V BPS Předslav se v současnosti odděluje obsažená voda a z větší části se odstraní i sulfan, v bioplynu ale zůstává ještě velké množství oxidu uhličitého a menší množství jiných plynů. Existuje několik metod separace CO₂ a ostatních příměsí. Jedná se např. o tlakovou adsorpci CO₂ na povrchu porézní látky (aktivní uhlí), adsorbent se poté musí zregenerovat při sníženém tlaku. Může se využívat také absorpce v kapalině, jako je tlaková vypírka ve vodě či chemická vypírka v sorbentu (nejčastěji monoetanolamin). Dalšími efektivními metodami jsou membránová separace a nízkoteplotní (kryogenní) rektifikace. Výsledná čistota metanu závisí na zvolené technologii, s čímž ale souvisí i cenová relace.

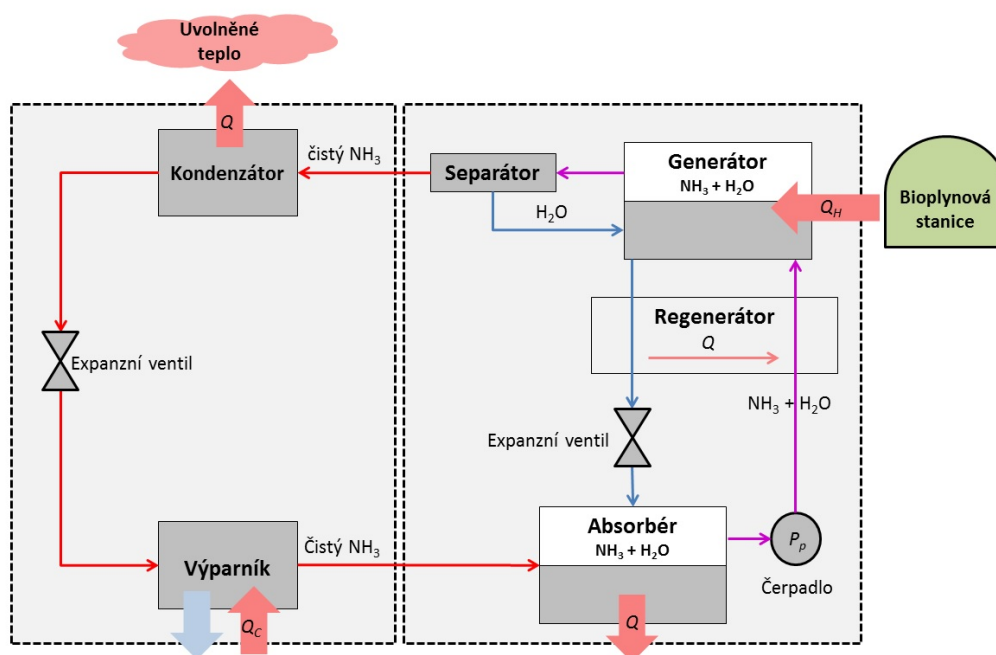
Biometan se může využít také pro pohon vozidel. V areálu BPS Předslav by se tudíž mohla vybudovat plnicí stanice pro vozidla na CNG (teoreticky i LNG). Rovněž by se mohla přizpůsobit využívaná zemědělská technika pro pohon na CNG, čímž by se minimalizoval její negativní vliv na životní prostředí při výrobě a zpracování biomasy a snížily by se náklady na běžné pohonné hmoty.

Při využívání veškerého bioplynu mimo areál BPS ale vyvstává problém s vlastní spotřebou. V případě nákupu energií k pokrytí vlastní spotřeby stanice za tržní ceny by šlo o velmi nevýhodný krok, proto by se alespoň část produkce bioplynu měla rezervovat pro KVET v místě výroby bioplynu. [31]

5.5 Absorpční chlazení (trigenerace)

Trigenerace je rozšíření stávající kogenerace, přičemž se kromě elektřiny a tepla vyrábí ještě chlad. Ten je možné vyrábět několika způsoby, zde ale přichází v úvahu zejména absorpční chlazení, které jako zdroj energie využívá přebytečné teplo. Chlazení se uplatní především v létě, kdy je větší přebytek nevyužité tepelné energie a je potřeba klimatizování budov v areálu nebo chlazení skladovacích prostor na jatkách. Proti kompresorovému chlazení má absorpční chlazení výhodu v mnohem menší spotřebě elektrické energie a také v absenci kompresoru, jehož provoz bývá hlučný.

Kompresorové chlazení přeměňuje plyn na kapalinu zvýšením tlaku pomocí kompresoru. Absorpční chlazení využívá k transformaci plynného chladiva na kapalně absorpci chladiva v pomocné kapalině, při následné desorpci je využíváno teplo. V zařízení jsou vždy dvě pracovní látky, může to být dvojice amoniak, neboli čpavek (chladiivo) a voda (absorbent) nebo voda (chladiivo) a bromid lithný (absorbent). Každá z těchto dvojic látek má jiné vlastnosti a hodí se pro rozdílné aplikace. Voda/bromid lithný se hodí pro ochlazování na teploty vyšší než $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obvykle kolem $5\text{ }^{\circ}\text{C}$), amoniak/voda mohou ochlazovat na teploty nižší než $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, až do $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Princip chlazení s amoniakem je zobrazen na následujícím schématu.

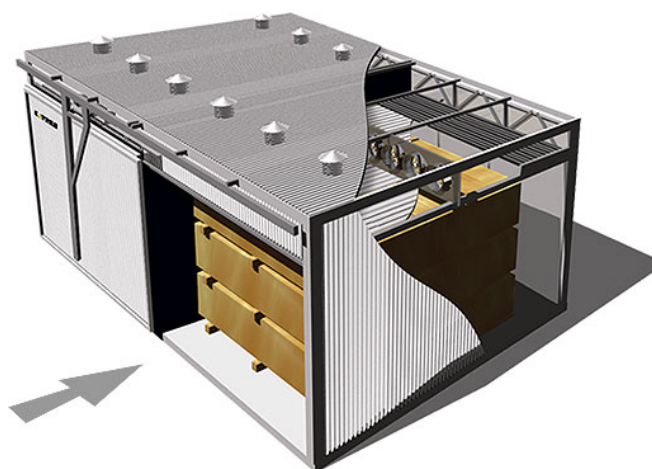


Obr. 27: Průběh amonného/vodního absorpčního chlazení (převzato z [9 O])

Teplo z kogenerační jednotky ohřívá generátor (vypuzovač), kde se z roztoku s vodou odpařuje amoniak. Ten se v separátoru zbaví přebytečné vody a vstupuje do kondenzátoru, kde pod tlakem kondenzuje na kapalinu a odevzdává teplo do chladnějšího okolí. Amoniak v kapalném stavu pak přes škrticí ventil za sníženého tlaku přechází do výparníku, kde přijímá teplo a zároveň vytváří požadovaný chladicí efekt. Po přijetí tepla se amoniak vypaří a jeho páry se odvádí do absorbérů. V absorbérů nenasycená čpavková voda absorbuje další čpavkové páry, přičemž uvolňuje teplo. To musí být odvedeno, aby se voda mohla dostatečně nasytit. Roztok s velkou koncentrací amoniaku se čerpadlem vhání zpět do generátoru. Voda z generátoru se po ochlazení vrací přes expanzní ventil do absorbérů. [32]

5.6 Sušení dřeva a zemědělských produktů

Při úvaze, jak ještě využít tepelnou energii, je potřeba zmínit možnost sušení vlhkých materiálů. Prvním typem je sušení řeziva (dřevěná prkna, latě, hranoly a další dřevěný stavební materiál). Čerstvé řezivo obsahuje velké množství vody, proto se musí vysušit. Přírozené schnutí trvá dlouhou dobu, obvykle jeden rok. Umělé sušení může tento proces mnohonásobně urychlit a ušetřit místo pro dlouhodobé skladování. Sušení je ale energeticky náročné, proto se vyplatí využití provozu s odpadním teplem. Nařezaný materiál se musí správně vyskládat, aby mohl rovnoměrně schnout, neprohýbal se a nepopraskal. Pro řezivo se konstruuje celokovové odizolované komorové sušárny, do kterých lze řezivo zavážet pomocí vozíků. Teplý vzduch je v komoře rozváděn pomocí ventilátorů.



Obr. 28: Návrh komorové sušárny řeziva (převzato z [10 O])

Nejbližší větší dřezpracující provoz vlastní Lesní společnost Královský Hvozd, a.s., který se nachází ve městě Klatovy, ve vzdálenosti asi 9 km od BPS Předslav. Po vzájemné dohodě o dlouhodobé dodávce řeziva by bylo možné provoz bioplynové stanice rozšířit o komorovou sušárnu, která by využívala teplo z chladicího okruhu kogenerační jednotky k ohřívání cirkulujícího vzduchu.

Stejně jako řezivo se mohou sušit i piliny, štěpka a jiné odpady z dřevovýroby, které jsou určené pro spalování, pro ně se ale hodí pásové sušárny. Tyto sušárny jsou vhodné obecně pro sypké materiály, včetně zemědělských produktů. Pokud má například obilí nebo zrno kukuřice po sklizni příliš velkou vlhkost (nepříznivé počasí v době sklizně), je nutné jej vysušit, aby bylo vhodné pro další skladování. Výhodou pásové sušárny je kontinuální provoz, při kterém je sušený materiál vrstven na prodyšný pohyblivý pás, skrz který proudí teplý vzduch, ohříváný teplem z kogenerační jednotky. Stavba sušárny u BPS Předslav by byla vhodným způsobem pro využití přebytečného tepla, neboť by přidružená zemědělská výroba poskytovala dostatek materiálu vhodného k sušení.

Kdyby nebyl separát využíván ke stávajícímu účelu, bylo by možné jej také vysušit. Používaný separátor odděluje separát a fugát pouze mechanicky (nahrubo), obsah zbytkové vody v separátu proto zůstává pro některé aplikace vysoký. Dokonale suchý separát by bylo možné použít jako palivo a podle metody spalování jej dále upravit, např. do podoby pelet v peletizační lince. [32]

5.7 Skleníky a pěstírny hub

Pro rozšíření zemědělské produkce společnosti by se jako vhodný záměr jevila výstavba vytápěných skleníků. Tato možnost využití tepla není technicky příliš náročná a nevyžaduje žádné speciální technologie. Pouze při návrhu skleníků je potřeba zvolit materiály s dobrou izolační schopností, protože v zimním období může docházet ke značným tepelným ztrátám. Nevýhodou je malé nebo nulové využití tepla v letních měsících. Dále je nutné vybrat vhodný druh rostlin vzhledem k navržené teplotě a pro vnitřní intenzitu osvětlení. Některé druhy potřebují větší intenzitu světla, proto by se pro přídatné osvětlení mohla využívat také vlastní produkce elektřiny.

Pro rychlejší růst rostlin je možné do skleníku přivádět vyčištěné spaliny s velkým obsahem CO₂, který jako hnojivo urychluje růst rostlin a zároveň by se vylepšil dopad BPS na životní prostředí. Pro výrobu pěstebního substrátu by se částečně mohl využít separát z digestátu a v době růstu by se rostliny přihnojovaly tekutým fugátem.



Obr. 29: Skleník s orchidejemi vytápěný teplem z BPS (převzato z [11 O])

Výběr pěstovaného druhu rostlin také záleží na zabezpečení jejich odbytu, v úvahu připadají jak okrasné květiny (např. orchideje, tulipány), tak bylinky, zelenina a ovoce (např. rajčata, papriky, okurky, jahody). Kromě skleníků pro rostliny je možné vybudovat i pěstírnu jedlých hub, u nás nejčastěji využívaných žampionů nebo hlívy ústříčné. Pěstování hub je však poměrně náročné na dodržení stálosti prostředí, na druhou stranu je ale výhodné, neboť houby pro svůj růst nepotřebují velké množství světla.

5.8 Chov teplomilných živočichů

Přebytek tepla dává možnost i pro různé neobvyklé způsoby využití. Zemědělské společnosti mají zkušenosti s chovem hospodářských zvířat. Ta jsou ale převážně zvyklá na naše podnebné podmínky a nepotřebují mimořádně velký přísun tepla. Výjimkou je líhnutí a chov kuřat či jiných mláďat. V úvahu ale připadá i chov netradičních živočichů, zejména kvůli produkci masa, které se jinak musí dovážet z teplejších krajín. Jednou z možností je vybudování vytápěného chovného rybníku nebo sádek. To je vhodné zejména pro intenzivní chov teplomilných ryb, jako jsou některé druhy tilápií, sumců, úhořů, jeseterů a dalších oblíbených konzumních ryb. V případě těchto akvakultur vzniká jako odpadní produkt z čištění chovné vody kal, který by se také mohl využívat jako vstupní surovina do BPS.

Kromě chovu živočichů na maso jsou samozřejmě možné i jiné aplikace, co se týče teplomilných živočichů. Výhodné by bylo budovat bioplynové stanice u zoologických zahrad, kde je velká spotřeba tepla i elektrické energie zejména u vnitřních expozic exotických živočichů a rovněž by zde byl přísun surovin z výkalů a jiné zbytkové biomasy jako vstupních surovin. Naopak vybudování ZOO u stávajících bioplynových stanic by nebylo příliš vhodné vzhledem k obvykle odlehlému umístění od hustěji obydlených míst.

5.9 Akumulace tepla

Jedním ze způsobů, jak využít přebytečné teplo v létě, je jeho akumulace pro pozdější potřebu, zejména při jeho nedostatku v zimě v případě realizace některých výše zmiňovaných návrhů. V praxi se s nasazením tohoto způsobu příliš často nesetkáváme, má ale potenciál do budoucna při případném zvýšení cen tepelné energie.

Teplo lze akumulovat v tepelně izolovaném zásobníku prostřednictvím akumulací látky. Pro vytápění budov nebo skleníků je vhodné uložení podzemního zásobníku v podloží stavby. Při návrhu je třeba uvažovat se ztrátami, kvůli kterým je potřeba do zásobníku dodat větší množství tepla, než které je možné posléze využít. Nejběžnější a nejlevnější látkou s dobrou akumulací schopností je voda. Ta má ale podobně jako kamenivo či jíl velké tepelné ztráty při skladování a je potřeba velkého objemu zásobníku. Z hlediska potřebného objemu a dlouhodobých finančních nákladů se jako nejlepší jeví chlorid vápenatý. Perspektivní jsou ale i jiné hygroskopické látky, které využívají k akumulaci tepla chemické sorpce. Srovnání uvažovaných látek je zobrazeno v tabulce.

Název (chemický vzorec)	Objemová hmotnost (syký stav u pevné látky)	Cena látky vztažená k akumulací schopnosti	Měrná akumulovaná energie
	[kg/m ³]	[Kč/GJ]	[GJ/m ³]
voda (H ₂ O)	1 000	150	0,21
kamenivo	1 500	2 900	0,14
síran sodný (Na ₂ SO ₄)	1 468	8 400	0,36
jíl	1 500	820	0,24
silikagel (SiO ₂)	1 300	470 000	0,29
chlorid vápenatý (CaCl ₂)	1 200	3 800	2,15

Tab. 21: Akumulací látky a jejich parametry (převzato z [20 T])

Podobným principem je akumulace tepla v mobilních kontejnerech, které jsou kamionem dopravovány k zákazníkovi. U systému využívajícího latentního tepla nemusí mít kontejnery tepelnou izolaci, protože se teplo pohlcuje a vydává při fázové přeměně látky, kterou může být trihydrát octanu sodného s teplotou tání 58 °C nebo oktahydrát hydroxidu barnatého s teplotou tání 78 °C. Do kontejneru se teplo převádí například pomocí topného oleje, který je ohříván v tepelném výměníku a čerpán do zásobníku, kde se smísí s octanem sodným a roztaví ho. Provozovat tuto technologii v praxi už vyzkoušely německé společnosti LaTherm nebo Transheat. Podmínkou je kratší vzdálenost přepravy, ideálně do 30 km. Překážkou širšího využívání jsou nízké dispoziční teploty, komplikovaná manipulace s kontejnery v menších prostorech a zvýšení frekvence dopravy.

[32] [33]

Závěr

Záměrem mé diplomové práce bylo popsat možnosti energetického využívání biomasy. V úvodní části jsem vyjmenoval hlavní výhody a nevýhody spojené s využíváním biomasy. Důvodem, proč se v dnešní době začíná široce uplatňovat, je zejména její obnovitelnost. Poté jsem představil hlavní druhy biomasy významné pro energetické zhodnocování. Její rozdělení lze v podstatě shrnout na cíleně pěstovanou a odpadní biomasu. Odpadní biomasu představují vedlejší a zbytkové produkty, zatímco při cíleném pěstování jde od začátku o záměr ji energeticky zhodnotit. Uvedl jsem také možnosti, jak lze přímo nebo nepřímo energii z biomasy získat. Nejjednodušší je přímé spalování, ale ne každý druh biomasy je možné jednoduše spálit. Proto je potřeba využít způsob mechanické, termochemické, biochemické nebo chemické přeměny na produkci sekundárního paliva, vhodného ke konečnému spálení. S tím souvisí i zmíněná zařízení na EVB, ze kterých jsem vybral bioplynové stanice a zařízení na přímé spalování biomasy. Dále jsem se věnoval aktuálnímu využívání biomasy v České republice, které jsem srovnal se stavem v evropských zemích.

V další části jsem zanalyzoval celkový dostupný potenciál biomasy v ČR a ve světě, který bude možné v budoucnosti ještě využít. Při tom se ale nesmí zapomenout na dlouhodobou udržitelnost EVB, protože přílišné nadužívání může narušit druhovou diverzitu a potažmo zničit celé ekosystémy. V této části jsem také graficky znázornil, jaký potenciál pro výrobu bioplynu mají jednotlivé druhy biomasy využitelné v BPS.

Poté jsem charakterizoval bariéry, které brání širšímu využívání biomasy pro energetické účely. Rozvoji EVB může kromě legislativy bránit i negativní postoj veřejnosti, ale zejména cena energií, kterou převážně určují stávající fosilní zdroje. Nemůžeme také opominout skutečný dopad energetické biomasy na životní prostředí, který by měl být zkoumán. Analýzou životního cyklu biomasy zjistíme, jestli je její využívání opravdu přínosem pro životní prostředí.

Další podstatná část práce je věnována konkrétnímu zařízení na EVB. Vybral jsem si bioplynovou stanici Předslav, která se nachází nedaleko města Klatovy. BPS využívá přidružené zemědělské produkce k výrobě vyjmenovaných vstupních surovin. Další popis se věnuje jednotlivým částem BPS Předslav, kde jsem upřesnil jejich parametry a vysvětlil jejich funkci. BPS se sestává nejen z části vyrábějící bioplyn, ale také z části, která ho spotřebovává, a tou jsou kogenerační jednotky. Kogenerace kombinovaně vyrábí elektřinu a teplo. Elektřina je produkována z větší části kvůli dodávce do distribuční sítě, naproti tomu teplo se v současnosti spotřebovává pouze v připojeném zemědělském areálu. Při osobních návštěvách BPS Předslav jsem získával informace a pořizoval fotodokumentaci. Poskytnutá data od společnosti Měcholupská zemědělská, a.s. jsem zpracoval a zhodnotil celkovou bilanci výroby, spotřeby a dodávky elektrické energie za roky 2013, 2014 a 2015. Z toho vyplynulo dostatečné splnění předpokládané produkce elektřiny. Mimo jiné jsem také prozkoumal vlivy bioplynové stanice na různé oblasti životního prostředí.

V závěrečné části práce jsem navrhnul možnosti, jak by bylo možné zvýšit efektivnost provozu BPS Předslav. Kromě zvýšení elektrické účinnosti jsem se také zaměřil na vyšší využívání tepelné energie. Jelikož se nespotebovává veškeré dostupné teplo, volná kapacita dává prostor pro vybudování některých dodatečných zařízení, která teplo využívají. Jedním z nich je ORC zařízení, které díky organickému pracovnímu médium dokáže využít nízkopotencionální teplo k výrobě elektřiny na podobném principu, jako pracují parní turbíny v tepelných elektrárnách. Také navrhuji možnost využití tepla k vytápění obytných budov v nedaleké obci, které by ovšem zahrnovalo nákladnou investici do výstavby teplovodu. Jinou možností je vybudování vytápěných skleníků, výstavba sušičky dřeva nebo zemědělských produktů, či chov teplomilných živočichů. Při nevyvážené dostupnosti tepla v zimě a v létě přichází v úvahu i možnost akumulace tepla. Stejný problém řeší i využití letního přebytku pro výrobu chladu pomocí absorpčního chlazení. V poslední řadě také přichází v úvahu možnost jiného způsobu využití bioplynu než spalování v kogeneračních jednotkách. Zde bych navrhoval úpravu bioplynu na biometan, který by bylo možné použít i pro pohon vozidel provozovaných v areálu bioplynové stanice.

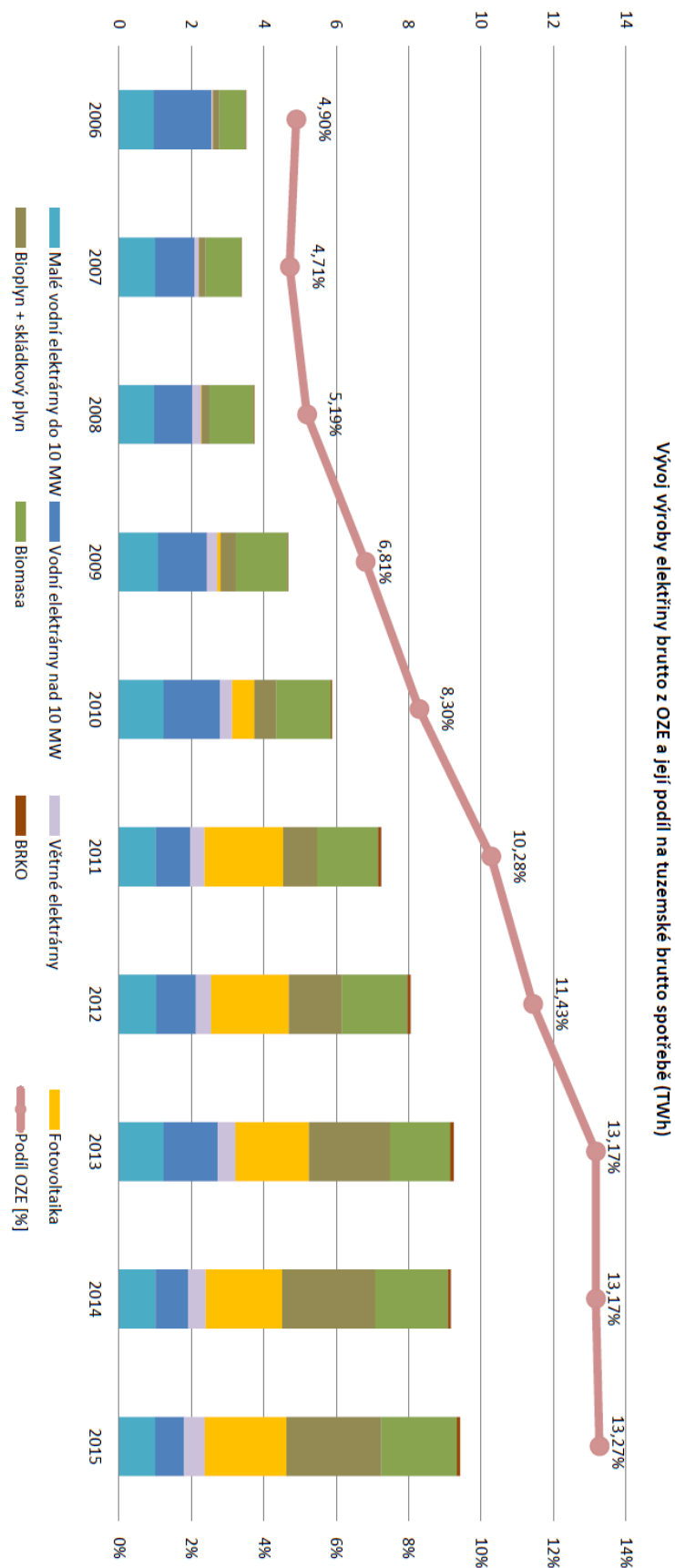
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] BERANOVSKÝ, Jiří, KAŠPAROVÁ, Monika, MACHOLDA, František, SRDEČNÝ, Karel, TRUXA, Jan: *Energie biomasy. EkoWATT* [online]. 2007 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/cz/informace/energie-biomasy>
- [2] Tzbinfo - stavebnictví, úspora energií, technická zařízení budov: *Přehled energetických plodin, jejich vlastnosti a přepočty jednotek* [online]. 2001–2017 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/98-prehled-energetickych-plodin-jejich-vlastnosti-a-prepocety-jednotek>
- [3] VOBORIL, David: *Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. oEnergetice.cz* [online]. 6.2.2017 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [4] JAKUBES, Jaroslav, BELLINGOVÁ, Helena, ŠVÁB, Michal: *Moderní využití biomasy: Technologické a logistické možnosti* [online]. Česká energetická agentura. 2006 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf
- [5] MOTLÍK, Jan, VÁŇA, Jaroslav: *Biomasa pro energii (2) Technologie. Biom.cz* [online]. 6.2.2002 [cit. 1.5.2017]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energie-2-technologie>
- [6] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [7] BIOPROFIT: *Anaerobní technologie* [online]. 2007 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm
- [8] SCHULZ, Heinz a Barbara EDER. *Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady*. Ostrava: HEL, 2004. ISBN 80-86167-21-6.
- [9] CZ Biom: *Spolehlivá a ověřená technologie bioplynové stanice. Biom.cz* [online]. 23.4.2014 [cit. 1.5.2017]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/spolehliva-a-overena-technologie-bioplynove-stanice>
- [10] ŠKORVAN, Ondřej: *Suchou, nebo mokrou fermentaci* [online]. 15.2.2012 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/suchou-nebo-mokrou-fermentaci>
- [11] Wikipedie: *Alkoholové kvašení* [online]. 24.8.2016 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Alkoholov%C3%A9_kva%C5%A1en%C3%AD
- [12] Česká bioplynová asociace: *Bioplyn v ČR* [online]. 31.12.2016 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://www.czba.cz>
- [13] Zákony pro lidi: *Vyhláška č. 477/2012 Sb.* [online]. 1.1.2013 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-477>
- [14] Ministerstvo zemědělství ČR: *Vyhláška č. 482/2005 Sb., Příloha 1* [online]. 2009–2017 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100076292.html>
- [15] SKUPINA ČEZ: *Výroba elektřiny: Elektrárny ČEZ spalující biomasu* [online]. 2017 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/biomasa/elektrarny-cez-spalujici-biomasu.html>
- [16] Eurostat: *Renewable energy statistics* [online]. 2016 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics
- [17] *Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012-2020: schválený vládou ČR dne 12.9.2012 pod č. j. 920/12*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2012. ISBN 978-80-7434-074-1.

- [18] Fachverband Biogas: *Biogas sector statistics 2015/2016* [online]. 2016 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/16-07-28_Biogas_Branchenzahlen-2015_Prognose-2016_engl_final.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/16-07-28_Biogas_Branchenzahlen-2015_Prognose-2016_engl_final.pdf)
- [19] ENDSwasteandbioenergy: *Germany hopes for pellet production rise in 2017* [online]. 17.2.2017 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://www.endswasteandbioenergy.com/article/1424620/germany-hopes-pellet-production-rise-2017>
- [20] BUDÍN, Jan: *Největší britská uhelná elektrárna Drax už spaluje ze 70 % biomasu.* *oEnergetice.cz* [online]. 31.7.2016 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/nejvetsi-britska-elektrarna-drax-uz-spaluje-ze-70-biomasu>
- [21] Food and Agriculture Organization of the United Nations: *Forestry Production and Trade* [online]. 2015 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
- [22] Farmers Weekly: *Number of AD plants in UK grows to 540* [online]. 11.12.2016 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://www.fwi.co.uk/business/number-ad-plants-uk-grows-540.htm>
- [23] LADANAI, Svetlana, VINTERBÄCK, Johan: *Global Potential of Sustainable Biomass for Energy* [online]. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, 2009 [cit. 1.5.2017]. ISSN 1654-9406. Dostupné z: http://www.worldbioenergy.org/uploads/WBA_Global%20Potential.pdf
- [24] PAZDERA, Josef: *Další nedobrá zpráva pro bionaftu* [online]. 5.11.2014 [cit. 31.5.2015]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/7858-dalsi-nedobra-zprava-pro-bionaftu.html>
- [25] BD Tech: *Popis technologie BPS Předslav*
- [26] Místní provozní řád plynového hospodářství BPS Předslav
- [27] Jenbacher gas engines: *Technická specifikace*
- [28] Wikipedie: *Siláž* [online]. 9.1.2016 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sil%C3%A1%C5%BE>
- [29] SEVEN Středisko pro efektivní využívání energie: *Energetická efektivnost bioplynových stanic: Možná opatření pro vyšší stupeň využití bioplynu* [online]. 2011 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/EnEfBPS-komplet.pdf>
- [30] STRAKA, František, DOUCHA, Jiří : *Nové možnosti energetického využití bioplynu.* *Biom.cz* [online]. 11.7.2011 [cit. 1.5.2017]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nove-moznosti-energetickeho-vyuziti-bioplynu>
- [31] SEVEN: *Využití bioplynu v dopravě* [online]. Praha, 2009 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://www.cngcompany.cz/gallery/bioplyn.pdf>
- [32] RUTZ, Dominik: *Udržitelné využívání tepla z bioplynových stanic* [online]. Mnichov, 2012 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://www.biogasheat.org/wp-content/uploads/2013/03/BiogasHeat-Handbook-CZ.pdf>
- [33] BECHNÍK, Bronislav: *Porovnání vybraných způsobů akumulace tepelné energie* [online]. 21.5.2003 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/1490-porovnani-vybranych-zpusobu-akumulace-tepelne-energie>

- [1 T] Zdroj: <http://ekowatt.cz/cz/informace/energie-biomasy>
- [2 T] Zdroj: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>
- [3 T] Zdroj: <http://ekowatt.cz/cz/informace/energie-biomasy>
- [4 T] Zdroj: http://www.eru.cz/documents/10540/2824549/161222_CR_11_2016.pdf
- [5 T] Zdroj: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2015.pdf
- [6 T] Zdroj: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2015.pdf
- [7 T] Zdroj: http://eagri.cz/public/web/file/179051/APB_final_web.pdf
- [8 T] Zdroj: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf>
- [9 T] Zdroj: BD Tech: *Popis technologie BPS Předslav*
- [10 T] Zdroj: Jenbacher gas engines: *Technická specifikace*
- [11 T] Zdroj: Jenbacher gas engines: *Technická specifikace*
- [12 T] Zdroj: Jenbacher gas engines: *Technická specifikace*
- [13 T] Zdroj: Místní provozní řád plynového hospodářství BPS Předslav
- [14 T] Zdroj: BD Tech: *Popis technologie BPS Předslav*
- [15 T] Zdroj: https://katedry.czu.cz/storage/3375_kejda.pdf
- [16 T] Zdroj: Místní provozní řád plynového hospodářství BPS Předslav
- [17 T] Zdroj: Výkazy elektrické energie za rok 2013
- [18 T] Zdroj: Výkazy elektrické energie za rok 2014
- [19 T] Zdroj: Výkazy elektrické energie za rok 2015
- [20 T] Zdroj: <http://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/1490-porovnani-vybranych-zpusobu-akumulace-tepelne-energie>
-
- [1 O] Zdroj: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/211/17222.pdf
- [2 O] Zdroj: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/211/17222.pdf
- [3 O] Zdroj: http://www.tava.cz/kotel_lazar_inter_fire.php
- [4 O] Zdroj: <http://biom.cz/cz/obrazek/obr-teoreticka-vyteznost-surovin>
- [5 O] Zdroj: http://www.worldbioenergy.org/uploads/WBA_Global%20Potential.pdf
- [6 O] Zdroj: <https://maps.google.com>
- [7 O] Zdroj: BD Agro: *Provozní řád BPS Předslav*
- [8 O] Zdroj: <http://biom.cz/cz/obrazek/obr-schema-zapojeni-orc-na-spalinovy-vyменik-kogeneracni-jednotky>
- [9 O] Zdroj: <http://www.biogasheat.org/wp-content/uploads/2013/03/BiogasHeat-Handbook-CZ.pdf>
- [10 O] Zdroj: http://www.katres.cz/standardni_susarny
- [11 O] Zdroj: <http://www.eazk.cz/wp-content/gallery/greenhouse.jpg>
- [12 O] Zdroj: http://www.eru.cz/documents/10540/540206/2016_GRAF_pod%C3%ADI+OZE+na+brutto+spot%C5%99eb%C4%9B.PNG

Přílohy



Obr. 30: Vývoj výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR (převzato z [12 O])