

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a
humanitních věd



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Technicko-ekonomická analýza modernizace/transformace bioplynové stanice

Vedoucí práce: Prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

Autor práce: Bc. František Pokorný

Praha 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pokorný** Jméno: **František** Osobní číslo: **465457**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Technicko ekonomická analýza modernizace/transformace bioplynové stanice

Název diplomové práce anglicky:

Techno-economic analysis of biogas plant modernisation/transformation

Pokyny pro vypracování:

1. Současný stav bioplynových a biometanových stanic v ČR a strategie jejich rozvoje dle strategických dokumentů ČR
2. Technologie bioplynových a biometanových stanic – základní přehled technologií a zpracovávaných substrátů, podmínky připojení k soustavě zemního plynu
3. Metodika hodnocení ekonomické efektivity modernizace/transformace bioplynové stanice
4. Návrh možných variant rekonstrukce/modernizace modelové bioplynové stanice
5. Analýza ekonomické efektivity navržených variant a doporučení pro realizaci

Seznam doporučené literatury:

1. Aktualizace Vnitrostátního plánu České republiky v oblasti energetiky a klimatu. MPO 2023
2. Východiska aktualizace Státní energetické koncepce ČR a souvisejících strategických dokumentů. 2023
3. The future role of biomethane. EBA 2021.
https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/01/The_future_role_of_biomethane-December_2021.pdf
4. Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth - World Energy Outlook special report. IEA 2020.
<https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>
5. D'Adamo I., Ribichini M., Tsagarakis K.P.: Biomethane as an energy resource for achieving sustainable production: Economic assessments and policy implications. Sustainable Production and Consumption. Volume 35, January 2023.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc. ČVUT kat. 13116

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

Datum zadání diplomové práce: **07.02.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **21.09.2025**

prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 24. května 2024

.....

František Pokorný

Poděkování

Tímto bych chtěl hlavně poděkovat prof. Ing. Jaroslavu Knápkovi, CSc., za trpělivost, cenné rady a neocenitelné vedení, které mi poskytoval během celé doby vypracovávání této diplomové práce.

Dále bych poděkoval všem z personálu bioplynové stanice ve Slatinách pod Hazmburkem za poskytnutí svého času při konzultacích a informací o stanici.

Velké díky patří také expertům ze sdružení CZ Biom za poskytnutí cenných informací, které mi významně pomohly při řešení specifických problémů spojených s touto prací.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, přátelům a své přítelkyni za jejich trpělivost, podporu a povzbuzování, které mi pomohly úspěšně dokončit toto náročné období.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá analýzou modernizace a transformace bioplynové stanice ve Slatinách pod Hazmburkem. Stanice je primárně zaměřena na výrobu a prodej elektřiny a byla navržena tak, aby produkovala dostatečné množství bioplynu pro efektivní zásobování kogenerační jednotky s výkonem 1 MW_e. Kvůli nedostatečné kapacitě distribuční sítě však může do sítě dodávat elektřinu pouze s maximálním výkonem 550 kW_e. Tato práce je zaměřena na nalezení vhodného řešení při dodržení stávajících omezení.

Práce nejprve představuje základní teoretické poznatky spojené s bioplynovými stanicemi a poskytuje přehled historie a současného stavu bioplynových a biometanových stanic ve světě a v České republice, včetně klíčových strategických dokumentů ČR pro rozvoj bioplynových stanic. Následuje část věnovaná analýze možných řešení dané problematiky. Výstupem této práce je identifikace nejvhodnějšího řešení, spolu s určením minimální ceny výstupního produktu, při které by došlo k ekvivalenci s nulovou variantou, sloužící jako referenční bod pro srovnání. Jako nejvhodnější řešení se jeví dvě varianty, při kterých dochází ke zvýšení produkce bioplynu, který je následně konvertován pomocí membránové separace na biometan. Tento biometan je poté buď vtláčen do plynové soustavy, nebo stlačován do upravených kontejnerových jednotek a dále distribuován. Z výsledků analýzy vychází jako preferovaná možnost stlačení biometanu, nicméně tyto výsledky mohou být významně ovlivněny úrovní dotace na investiční výdaje.

Klíčová slova: Bioplyn, biometan, biomasa, bioplynová stanice, transformace, modernizace, strategické dokumenty, technologie konverze bioplynu, vtláčení biometanu, stlačení biometanu, obnovitelný zdroj energie.

Abstract

This thesis deals with the analysis of the modernization and transformation of the biogas plant in Slatiny pod Hazmburkem. The plant is primarily focused on the production and sale of electricity and has been designed to produce enough biogas for the effective supply of a cogeneration unit with a capacity of 1 MW_e. However, due to the insufficient capacity of the distribution network, it can only supply electricity to the grid with a maximum capacity of 550 kW_e. This work aims to find a suitable solution while adhering to the current limitations.

The thesis first introduces the basic theoretical knowledge associated with biogas plants and provides an overview of the history and current state of biogas and biomethane plants worldwide and in the Czech Republic, including key strategic documents for the development of biogas plants in the Czech Republic. This is followed by a section devoted to the analysis of possible solutions to the

given problem. The outcome of this work is the identification of the most suitable solution, along with determining the minimum price of the output product, at which equivalence with the zero variant would be achieved, serving as a reference point for comparison. Two variants appear to be the most suitable solutions, both involving an increase in biogas production, which is then converted into biomethane using membrane separation. This biomethane is either injected into the gas system or compressed into modified container units for further distribution. The analysis results indicate compression of biomethane as the preferred option; however, these findings may be significantly influenced by the level of subsidy for investment expenses.

Keywords: Biogas, biomethane, biomass, biogas Plant, transformation, modernization, strategic documents, biogas conversion technologies, biomethane injection, biomethane compression, renewable energy source.

OBSAH

Seznam zkratk a symbolů.....	15
Úvod.....	1
Kapitola 1: Technologie bioplynových a biometanových stanic	2
1.1 Biomasa.....	2
1.2 Anaerobní digesce.....	3
1.2.1 Průběh anaerobní digesce.....	4
1.3 Digestát – separát a fugát.....	5
1.4 Bioplyn.....	6
1.5 Biometan.....	8
1.6 Zpracovávané substráty	8
1.6.1 Zvířecí odpady	9
1.6.2 Potravinové odpady	10
1.6.3 Rostlinné zbytky	10
1.6.4 Energetické plodiny	11
1.7 Bioplynové a biometanové stanice	12
1.7.1 Popis stanic a princip fungování	13
1.8 Metody upgradu bioplynu.....	14
1.8.1 Vodní vypírka.....	15
1.8.2 Vypírka organickými rozpouštědly	16
1.8.3 Aminová vypírka.....	16
1.8.4 Metoda střídání tlaků	17
1.8.5 Membránová separace	18
1.8.6 Kryogenní separace.....	19
1.9 Výhody a nevýhody bioplynových stanic.....	20
1.10 Kritéria udržitelnosti	21
1.11 Podmínky připojení k soustavě zemního plynu	22
Kapitola 2: Historie a současný stav bioplynových a biometanových stanic	25

2.1 Historický vývoj bioplynových a biometanových stanic	25
2.2 Aktuální stav a statistiky.....	26
2.2.1 Situace ve světě	26
2.2.2 Situace v Evropě.....	27
2.2.3 Situace v ČR.....	29
2.3 Strategické dokumenty ČR a jejich vliv na rozvoj bioplynu a biometanu	29
2.4 Podpora bioplynových stanic	32
Kapitola 3: Návrh možných variant rekonstrukce/modernizace	33
3.1 Popis objektu	33
3.2 Analýza možných variant	36
3.2.1 Tepelná síť	36
3.2.2 Konverze bioplynu na biometan.....	37
3.2.3 Odkoupení distribuční sítě nízkého napětí	38
3.3 Vybrané varianty.....	38
Kapitola 4: Metodika hodnocení ekonomické efektivnosti.....	40
4.1 Rozvoj systému	40
4.2 Pohled investora	42
4.2.1 NPV	42
Kapitola 5: Technicko-ekonomické vyhodnocení	44
5.1 Společné vstupní údaje	44
5.1.1 Bioplyn	44
5.1.2 Substráty.....	45
5.1.3 Separát.....	48
5.1.4 Elektřina	48
5.1.5 Tepelná energie.....	50
5.1.6 Inflace, diskont a kurz	51
5.1.7 Údržba	52
5.1.8 Zaměstnanci.....	53

5.1.9 Doba porovnání.....	53
5.1.10 Financování.....	53
5.1.11 Odpisy	53
5.2 Varianta 0: Spalování bioplynu za účelem výroby elektřiny a tepla	55
5.2.1 Elektřina a tepelná energie	55
5.2.2 Reinvestice, odpisy a financování.....	55
5.2.3 Průměrný roční ekvivalentní tok hotovosti	57
5.2.4 Hotovostní toky nulové varianty	57
5.3 Varianta I: Konverze bioplynu na biometan a jeho následné vtlačení do plynové soustavy	58
5.3.1 Investiční výdaje metod pro konverzi bioplynu.....	59
5.3.2 Specifické provozní náklady metod pro konverzi bioplynu	60
5.3.3 Vlastní spotřeba.....	62
5.3.4 Nový zdroj tepla.....	62
5.3.5 Doprava.....	63
5.3.6 Biometan	63
5.3.7 Soustava pro vtlačení biometanu do plynové soustavy.....	65
5.3.8 Plynová přípojka	65
5.3.9 Elektřina.....	66
5.3.10 Reinvestice, odpisy a financování.....	66
5.3.11 Výsledky z pohledu rozvoje systému.....	69
5.3.12 Vyhodnocení z pohledu investora	69
5.4 Varianta II: Konverze bioplynu na biometan a jeho následné stlačení do upravené kontejnerové jednotky a její distribuce	70
5.4.1 Stlačení biometanu.....	70
5.4.2 Plynojem	71
5.4.3 Transport	71
5.4.4 Reinvestice, odpisy a financování.....	72
5.4.5 Vyhodnocení z pohledu rozvoje systému.....	73

5.4.6 Vyhodnocení z pohledu investora.....	74
5.5 Vyhodnocení dosažených výsledků.....	74
Závěr.....	81
Použité zdroje.....	84
Seznam obrázků	90
Seznam grafů.....	91
Seznam tabulek.....	91

Seznam zkratek a symbolů

% obj.	-	Objemové procento
°C	-	Stupeň celsia
a_{Tz}	-	Anuita za dobu životnosti
$B_{celk_{vyp}}$	-	Vypočtené celkové množství potřebného bioplynu
bcm	-	Billion Cubic Meters (Miliarda kubických metrů)
Bio-CNG	-	Bio-Compressed Natural Gas
BM_x	-	Množství vzniklého biometanu při použití metody x
BP_x	-	Množství konvertovaného bioplynu při použití metody x
B_{ref}	-	Celkové referenční množství potřebného bioplynu
CF	-	Hotovostní tok
CF_{pt}	-	Celkový provozní hotovostní tok
CF_{pTO}	-	Provozní hotovostní tok v posledním roce optimalizačního období
$CF_{r\phi}$	-	Průměrný roční ekvivalentní tok hotovosti
CNG	-	Compressed natural gas (Stlačený zemní plyn)
CO_2	-	Oxid uhličitý
D	-	Cizí kapitál
E	-	Vlastní kapitál
Ekv.	-	Ekvivalent
ERP	-	Equity risk premium
EU	-	Evropská unie
H_2O	-	Voda
H_2S	-	Sirovodík
HS	-	Hospodářská správa
H_t	-	Výhřevnost bioplynu
CH_4	-	Metan
I_b	-	Denní brutto výroba elektřiny den
M_s	-	Celkové referenční množství vzniklého separátu
M_{sp}	-	Celkové přepočtené množství vzniklého separátu
n	-	Počet prvků
N_2	-	Molekulární dusík
N_i	-	Investiční výdaje
NKEP	-	Národní klimaticko-energetický plán
Nm^3	-	Normovaný metr krychlový
NPV	-	Čistá současná hodnota
O_2	-	Molekulární kyslík
O_{ro}	-	Rovnoměrné odpisy
O_{zr}	-	Zrychlené odpisy
P_m	-	Podíl metanu v bioplynu
P_n	-	Požadovaná hodnota výkonu
P_{ref}	-	Referenční průměrná roční hodnota výkonu

př.n.l.	-	Před naším letopočtem
r	-	Diskont
r_d	-	Náklady na cizí kapitál
r_e	-	Náklady na vlastní kapitál
r_f	-	Bezriziková míra výnosu
Sb.	-	Sbírka zákonů
S_{celk}	-	Množství spotřebovaného substrátu
S_{celk}	-	Celkové přepočtené množství spotřebovaného substrátu
S_t	-	Referenční množství spotřebovaného substrátu
T	-	Doba životnosti; zbývající životnost
t	-	Daňová sazba; Doba od začátku odpisování
T_0	-	Optimalizační období
$V\check{c}$	-	Výsledná čistota
V_{sp}	-	Celková přepočtená vlastní spotřeba
V_{Sref}	-	Celková referenční vlastní spotřeba
WACC	-	Vážená průměrná cena kapitálu
x (var.1)	-	Vstupní množství průtoku bioplynu
x (var.2)	-	Výsledné investiční výdaje pro vtláčení biometanu
y (var.1)	-	Konkrétní investiční výdaje na 1 m ³ průtoku bioplynu
y (var.2)	-	Množství vtláčeného biometanu
Z_m	-	Ztráty metanu
β_L	-	Koeficient beta zadlužený
β_U	-	Koeficient beta nezadlužený
η_{el}	-	Elektrická účinnost kogenerační jednotky
μ	-	Parametr zvýšení

Úvod

Bioplynové stanice představují významný prvek v oblasti obnovitelných zdrojů energie a udržitelného nakládání s odpady. V současné době, kdy se celosvětově zvyšuje tlak na snižování emisí skleníkových plynů a hledání alternativních zdrojů energie, nabývají bioplynové stanice na důležitosti. Tyto stanice využívají biologicky rozložitelný materiál k výrobě bioplynu, který lze dále využívat k produkci elektřiny, tepla nebo jako biometan, jenž může nahradit zemní plyn.

Cílem této diplomové práce je provést důkladnou analýzu modernizace a transformace bioplynové stanice ve Slatinách pod Hamzburkem. Tato stanice, uvedená do provozu v roce 2013, je primárně zaměřena na výrobu a prodej elektřiny. Stanice byla navržena tak, aby produkovala dostatečné množství bioplynu pro efektivní zásobování kogenerační jednotky s výkonem 1 MW_e. Kvůli nedostatečné kapacitě distribuční sítě v dané lokalitě však může do sítě dodávat elektřinu pouze s maximálním výkonem 550 kW_e. Před několika lety stanici odkoupil nový majitel, který nyní hledá řešení, aby mohl využít její plný potenciál. Tato práce se tedy zaměří na nalezení vhodného řešení tohoto problému při dodržení stávajících omezení.

V úvodní části budou představeny základní teoretické poznatky spojené s oblastí zemědělských bioplynových stanic. Následně bude podána přehledná historie a současný stav bioplynových a biometanových stanic ve světě a v České republice, přičemž budou zmíněny i klíčové strategické dokumenty ČR týkající se rozvoje bioplynových stanic.

Další část práce se bude věnovat analýze možných řešení modernizace a transformace stanice. Pro vybraná řešení budou provedena technicko-ekonomická zhodnocení, která budou posuzována z pohledu investora, ale pro zajímavost i z pohledu rozvoje sektoru bioplynových stanic. Zhodnocení potenciálních řešení bude provedeno na základě porovnání s nulovou variantou, která v současnosti není proveditelná, ale slouží jako referenční bod pro srovnání s ostatními variantami. V této nulové variantě se předpokládá navýšení výroby bioplynu na úroveň umožňující efektivní zásobování kogenerační jednotky s výkonem 1 MW_e a následné dodávání vyrobené elektřiny do sítě.

Výstupem této práce bude určení nejvhodnějšího řešení dané problematiky a stanovení minimální ceny výstupního produktu tohoto řešení, při které se očekává ekvivalence s nulovou variantou. Tedy hodnota produktu, při jejímž dosažení lze uvažovat o modernizaci či transformaci bioplynové stanice.

Kapitola 1:

Technologie bioplynových a biometanových stanic

Bioplynové a biometanové stanice jsou komplexními technologickými zařízeními, jež jsou navrženy ke zpracování a transformaci biomasy na jiné látky. Tyto látky se následně využívají například pro výrobu hnojiva, elektřiny či tepla. Hlavními výstupními látkami těchto stanic jsou bioplyn, biometan a digestát. V této kapitole dojde k bližšímu seznámení s touto technologií, včetně důležitých poznatků, aby se dosáhlo lepší orientace v dané problematice a bylo možné s těmito znalostmi dále pracovat.

1.1 Biomasa

Existuje hned několik definicí biomasy. Pojem biomasa může označovat biologicky rozložitelnou část produktů, odpadů a zbytků zemědělství (včetně rostlinných a živočišných látek), lesnictví a přidružených odvětví, stejně jako biologicky rozložitelnou část průmyslového a komunálního odpadu. Další definicí biomasy je, že ji lze chápat jako veškerou organickou hmotu na Zemi, která vznikla přímo či nepřímo s pomocí sluneční energie [1].

Z energetického hlediska je však nejdůležitější definice, že biomasa je veškerý biologický materiál nefosilního původu (rostliny a živočichové), používaný jako surový materiál pro výrobu biopaliv [1].

Biomasa je považována za významný obnovitelný zdroj energie s minimálním vlivem na produkci skleníkových plynů. Je perspektivní nejen pro výrobu elektřiny v elektrárnách spalujících biomasu, ale také pro její využití v kogeneračních jednotkách či při výrobě alternativních biopaliv.

Využívání biomasy představuje jeden z nejstarších způsobů získávání energie, jehož historie sahá až do pradávných časů. Používání dřeva jako paliva pro spalování v ohništi je téměř tak staré jako lidská civilizace a přetrvává dodnes [2]. Mezi hlavní zdroje biomasy patří především odpady z lesního hospodářství a dřevozpracovatelského průmyslu (štěpka, dřevní zbytky), zemědělské rostlinné odpady (sláma, hnůj) ale také záměrně pěstované plodiny pro energetické účely. Dále sem lze zařadit biologicky rozložitelné zbytky, jako jsou tuky, kuchyňské zbytky, alkohol, komunální odpady atd.

Z hlediska bioplynových stanic je klíčové rozdělení biomasy na druhy podporované vyhláškou č. 110/2022 Sb. Z této vyhlášky lze určit, zda při využívání těchto druhů biomasy jako substrátů v konkrétním procesu je možné získat podporu na výrobu elektřiny, tepla nebo konverzi biometanu [73]. Existuje však řada dalších rozdělení biomasy. Například dělení dle původů na [3]:

- a) Biomasu pěstovanou pro energetické účely:
 - Rychle rostoucí dřeviny – topol, vrba, olše, líska atd.
 - Rostliny bylinného charakteru – ozdobnice, chrastice, trvalé travní porosty
 - Obiloviny
 - Olejnaté rostliny – řepka olejná, slunečnice, len
 - Škrobo-cukernaté rostliny – cukrová řepa, cukrová třtina a brambory
- b) Odpadní biomasu
 - Z rostlinné výroby – zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny, odpady ze sadů a vinic, kukuřičná sláma, řepková sláma a veškeré další odpady a zbytky z likvidace křovin
 - Z živočišné výroby – Exkrementy a moč hospodářských zvířat jako jsou krávy, prasata a drůbež
 - Z těžby a zpracování dřeva + lesní odpady – větve, kůra, pařezy kořeny atd.
- c) Či dělení dle vlastností [3]:
 - Suchá – jakákoliv okamžitě spalitelná biomasa
 - Vlhká – tekuté odpady (kejda), které nelze spalovat přímo a musí se nejdříve mokkými procesy přetvořit pro spalování (bioplyn, biometan)
 - Speciální – olejnin, škrobové a cukernaté plodiny, ze kterých se získává bionafta či líh

1.2 Anaerobní digesce

Anaerobní digesce (nebo též anaerobní fermentace) představuje kontrolovaný proces mikrobiální přeměny organických látek bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu. Zbytek organického materiálu, který zůstává po procesu, nazýváme digestát. Tento digestát je bohatý na organickou hmotu a živiny jako jsou dusík, fosfor a draslík. K této přeměně lze využít široké spektrum organických materiálů včetně domácích a komerčních zbytků jídel, komunálních a průmyslových odpadů, jakož i zemědělských zbytků a živočišných hnojiv [13]. Proces anaerobní digesce může probíhat i přirozeně, jako například v žaludcích přežvýkavců nebo v bažinách [14].

Samotný průběh anaerobní digesce je pečlivě řízený proces, který se především odehrává ve fermentoru (též nazývaném jako reaktor). Výsledek anaerobní digesce lze částečně ovlivnit vytvořením optimálních podmínek. Ovlivňování tohoto procesu je možné přidáváním minerálních látek, vitamínů, enzymů a živin, případně i správnou volbou typu fermentoru. Důležité jsou i fyzikální faktory jako provozní teplota, pH hodnota substrátu a tlak v reaktoru [13]. Právě dle několika hodnot některých faktorů můžeme anaerobní digesci dělit, konkrétně dle provozní teploty a obsahu sušiny substrátu.

Dle **teploty** lze anaerobní digesce rozdělit na mezofilní a termofilní. Mezofilní anaerobní digesce probíhá při teplotě mezi 35-45 °C, zatímco termofilní anaerobní digesce se odehrává při teplotách mezi 55-60 °C [13]. Většina zařízení využívá především mezofilní anaerobní digesce kvůli nižším nárokům na udržování teploty a vyšší stabilitě procesu, kdy je celý proces méně citlivý na výkyvy teplot. Zároveň se celý proces lépe uvádí do provozu, neboť jsou potřebné bakterie obsažené v živočišných exkrementech zvyklé na teploty kolem 37 °C [16].

I přesto, že termofilní anaerobní digesce vyžaduje náročnější provozní podmínky, je využívána kvůli rychlejšímu rozkladu a větší produkci bioplynu. Tato technologie je preferována zejména v čistíčkách odpadních vod nebo ve vyhnívacích nádržích.

Dle **obsahu sušiny** v substrátu lze anaerobní digesce rozdělit na suchou a mokrou fermentaci. Mokrý fermentace má obsah sušiny do 12 %. V praxi to znamená, že materiály s vyšším obsahem sušiny, jako je hnůj, podestýlka, různé druhy siláží a senáží, se před vstupem do fermentoru ředí na odpovídající podíl sušiny kejdou nebo procesní vodou, která je vyseparovaná z již zfermentovaného kalu [16].

Naopak suchá fermentace je častější při zpracovávání domovního a komunálního odpadu. Hlavní výhodou suché fermentace je menší množství vyhnílého kalu (digestátu), respektive jeho větší koncentrovanost, a zároveň menší spotřeba procesní vody na ředění a menší problémy s jejím uplatněním na výstupu. Suchou fermentaci lze dále rozdělit na [16] :

- Suchý proces – 25-45% sušiny
- Vysokosušivý proces – nad 40% sušiny

1.2.1 Průběh anaerobní digesce

Kontrolovaná anaerobní digesce typicky probíhá ve čtyřech fázích (hydrolyzní, acidogenní, acetogenní a methanogenní), během kterých dochází k sérii degračních procesů vedoucích k tvorbě bioplynu. Tento proces je možný díky kombinaci různých typů bakterií a mikrobů, které postupně rozkládají vložený substrát. Jednotlivé fáze budou nyní postupně vysvětleny.

Hydrolyzní fáze

Tato fáze je klíčová, protože představuje počáteční krok v procesu anaerobní digesce. Během této fáze dochází k rozkladu makromolekulárních látek jako jsou bílkoviny, polysacharidy, tuky a celulóza na nízkomolekulární složky. Například sacharidy jsou štěpeny na monosacharidy a disacharidy, zatímco bílkoviny jsou rozloženy na aminokyseliny. Pro úspěšný průběh procesu je nezbytné dodání dostatečného množství anaerobních bakterií, konkrétně *Streptococcus* a *Enterobacterium*, které jsou

také známy jako fermentační bakterie. Důležité je rovněž dodržení míry kyselosti v rozmezí 6-7 pH a udržování teploty v rozmezí 30-50 °C [15].

Acidogenní fáze

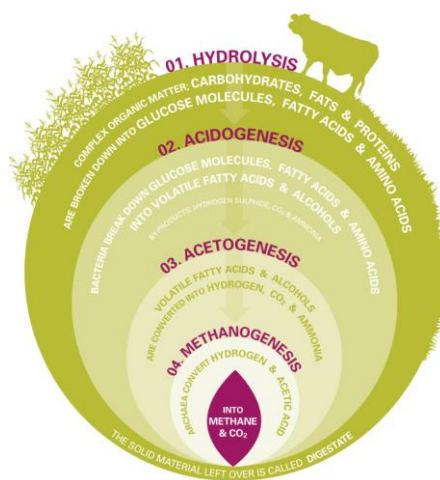
Následuje acidogenní fáze, též nazývaná kyselá fáze. Po hydrolyzní fázi vznikají malomolekulární složky, které dokážou procházet buněčnou membránou acidogenních bakterií. V těchto bakteriích dochází k dalšímu štěpení těchto látek na jednodušší látky jako jsou kyseliny, alkoholy, oxid uhličitý a voda. Vlastnosti těchto látek závisí na charakteru původního substrátu a podmínkách průběhu procesu [15].

Acetogenní fáze

V acetogenní fázi dochází k oxidaci produktů acidogeneze pomocí acetogenních bakterií, což vede k vytvoření oxidu uhličitého, vodíku, kyseliny octové, sulfanů a dusíku [15].

Methanogenní fáze

Tato fáze představuje poslední krok anaerobní digesce, při němž methanogenní bakterie přeměňují meziprodukty z předchozích fází na metan a vodu [15].



Obrázek 1.1 - Fáze anaerobní digesce [13]

1.3 Digestát – separát a fugát

Jak už bylo zmíněno, během procesu anaerobní digesce nevzniká pouze bioplyn, ale také přírodní hnojivo tzv. digestát. Jedna z klíčových výhod bioplynových stanic spočívá v produkci tohoto odpadního materiálu, který slouží jako kvalitní hnojivo šetrné k přírodě. Obsahuje často dusík, fosfor, draslík, síru a mnoho dalších živin a lze ho aplikovat přímo na půdu bez dalších úprav.

Digestát se může dále pomocí mechanické separace rozdělit na dvě části. Na kapalnou část, která se nazývá fugát a na pevnou část, která se nazývá separát [17]. Fugát se využívá jako kapalné hnojivo nebo přísada do pěstitelských substrátů, jelikož obsahuje dusík v minerální formě. Také se využívá jako očkovací látka pro nový substrát určený pro fermentaci nebo pro ředění substrátu při mokré fermentaci. Separát obsahuje tuhou část organických látek a slouží k přípravě kompostů, pěstebních substrátů a jako stelivo [18].

1.4 Bioplyn

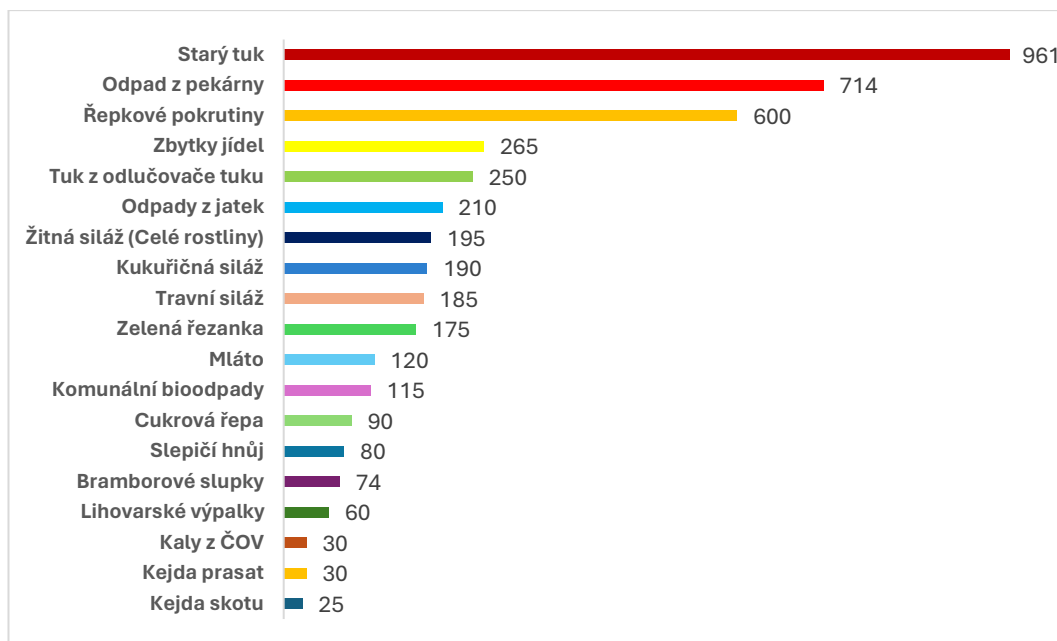
Bioplyn je plyn, který se převážně skládá z metanu a CO₂. Vedle těchto hlavních složek se v něm v menším množství nacházejí také další látky jako voda, dusík, kyslík, amoniak a sulfan [30]. Konkrétní zastoupení těchto složek lze vidět v následující tabulce:

Složka	Zastoupení [% obj.]
Metan	50–75
Oxid uhličitý	20–42
Vodní pára	0–10
Dusík	0–5
Kyslík	0–2
Vodík	0–1
Čpavek	0–1
Sulfan	0–1

Tabulka 1.1 - Zastoupené složky v bioplynu [30]

Bioplyn vzniká během rozkladu organického materiálu bez přístupu kyslíku za účasti bakterií, kvasinek a hub v procesu nazývaném anaerobní digesce. V praxi se také často používá termín anaerobní fermentace místo anaerobní digesce [32].

V současné době je nejvíce využívaným organickým materiálem pro výrobu bioplynu silážní kukuřice a kejda, přestože dle grafu nemají nejvyšší výnos bioplynu na m³ biomasy.



Graf 1.1 - Výnos m³ bioplynu na tunu biomasy [17]

Přestože je výnos bioplynu z kukuřice až na osmém místě v porovnání s jinou biomasou, kukuřice se využívá nejvíce kvůli vysokým výtěžkům biomasy na hektar půdy. Kejda zase má nejnižší výtěžnost bioplynu, ale přesto je významná při jeho výrobě, jelikož se přidává ke kukuřici pro dodání klíčových bakterií pro anaerobní fermentaci. Důležité je podotknout, že důvodem omezeného využívání některé biomasy pro výrobu bioplynu je skutečnost, že některé druhy biomasy nejsou v takovém rozsahu dostupné nebo mohou negativně ovlivnit průběh anaerobní digesce [30].

Jak již bylo zmíněno, při vzniku bioplynu vznikají také vedlejší látky. Tyto vedlejší látky je kvůli jejich nežádoucím účinkům nutné odstranit. Hlavním problematickým prvkem je sulfan, který v reakci s vodní párou vytváří kyselinu sírovou. Proto je nezbytné provést u nově vzniklého bioplynu proces odsíření, sušení a následnou kondenzaci. Odsíření může probíhat chemickou nebo biologickou cestou, kdy se sulfan transformuje pomocí bakterií nebo chemických sloučenin na síru. Při sušení je bioplyn zbavován vodní páry za využití vysoké teploty a následným ochlazením dochází ke kondenzaci a odstranění tohoto zbytku vody [30].

Mezi nejběžnější způsoby využití bioplynu patří jeho přímé spalování, které se provádí v speciálně upravených spotřebičích pro osvětlení, vaření, čerpání vody, sušení nebo chlazení. Další časté využití zahrnuje kogeneraci nebo trigeneraci, což znamená výrobu elektrické energie a tepla, případně výrobu elektrické energie, tepla a chladu [36].

1.5 Biometan

Bioplyn v surovém stavu vykazuje rozmanitý obsah metanu v rozmezí 50-75 %. Biometan je téměř čistý metan, který se získává buď "upgradingem" bioplynu, nebo prostřednictvím tepelného zplyňování pevné biomasy s následnou metanizací [33].

Při upgradingu je bioplyn podroben procesu odstranění nežádoucích látek jako jsou voda, CO₂, H₂S, O₂ a N₂. Bioplyn, který byl upraven a splňuje kvalitativní parametry je označován jako biometan [34]. Konkrétní kvalitativní parametry jsou stanovené vyhláškou č. 78/2021 Sb. [44]. Mezi nejdůležitější kvalitativní parametr z této vyhlášky patří stanovený obsah metanu, který musí rovný vyšší jak 95 %.

V současné době je tímto způsobem vyrobeno až 90 % celkového biometanu, přičemž pro konverzi bioplynu na biometan se nejčastěji využívají vodní vypírky a membránové separace [33]. Při procesu upgradu bioplynu vzniká jako vedlejší produkt relativně koncentrovaný oxid uhličitý. Tento plyn lze dále využít pro průmyslové nebo zemědělské účely, nebo jej lze kombinovat s vodíkem k výrobě dalšího typu syntetického metanu (metan získaný pomocí procesu metanizace z vodíku a oxidu uhličitého [72]). Alternativně je možné koncentrovaný oxid uhličitý skladovat pod zemí, kdy je tato technologie obecně známá jako zachycování a skladování uhlíku (carbon capture and storage) [37].

Při tepelném zplyňování pevné biomasy s následnou metanací je nejdříve biomasa vystavena vysokým teplotám (mezi 700-800 °C) a tlaku v prostředí s nedostatkem kyslíku. Za těchto podmínek se biomasa přeměňuje na směs plynů obsahující především oxid uhelnatý, vodík a metan. Tato směs je poté očištěna od kyselých a korozivních složek. V posledním kroku pomocí procesu metanace dochází k přeměně oxidu uhelnatého a vodíku na metan.

Hlavní výhodou biometanu jsou téměř identické vlastnosti jako zemní plyn. Lze jej tedy používat bez nutnosti jakýchkoliv změn v plynové přenosové a distribuční infrastruktuře nebo v zařízeních pro koncové uživatele a je plně kompatibilní s použitím ve vozidlech na stlačený zemní plyn.

1.6 Zpracovávané substráty

Substrát je v kontextu bioplynových a biometanových stanic úzce spojen s biomasou, neboť představuje veškerý vstupní materiál do těchto stanic. Může se jednat například o kukuřici, senáž, či kejdu [20]. V následující části dojde k představení využívaných substrátů.

1.6.1 Zvířecí odpady

Již od nepaměti je běžnou praxí chov hospodářských zvířat, který poskytuje chovateli mnoho výhod jako produkci mléka, vajec, masa, vlny a dalších produktů. Současně se však využívá i jejich trus, ať už jako izolace, hnojivo nebo dokonce jako stavební materiál. Častou praxí v rozvojových zemích je i sběr a jeho následné formování do podoby placek, které jsou poté sušeny na slunci a spalovány při vaření. Tento způsob využívání však významně škodí životnímu prostředí a zdraví, neboť při hoření těchto placek se uvolňuje množství skleníkových plynů.

Lepší alternativou je nepřistupovat rovnou k spalování těchto živočišných odpadů, nýbrž je nejprve transformovat pomocí anaerobního rozkladu na bioplyn nebo biometan. Nicméně není možné využít všechny druhy zvířecího trusu pro anaerobní rozklad, ať už kvůli jeho složení nebo kvůli malému množství. Nejčastěji se využívá trusu u skotu, kterého je celosvětově až 1,5 miliardy, prasat, kterých je celosvětově 1 miliarda, slepic, kterých je na světě 22 miliard, a buvolů, kterých je na světě 0,2 miliardy. Co se týče trusu například od ovcí, koz či koní, tak tento trus není vhodný svým složením. Naopak trus od oslů či velbloudů je sice vhodný, ale vzhledem k jeho omezenému množství se obvykle nevyužívá [13]. Do bioplynových stanic se nepřivádí čistý trus, ale spíše směs nazývaná "kejda". Jedná se o zkvašenou směs tuhých a tekutých exkrementů hospodářských zvířat a zbytků krmiv s přidáním určitým množstvím technologické vody [19]. Pro zpracování kejdy se nejčastěji využívají mezofilní a vlhká anaerobní digesce, což je účinný a ekologicky šetrný proces.

Je také nezbytně důležité zohlednit druh trusu, s nímž se pracuje. Trus skotu a prasat se vyznačuje vysokou mírou rozkladu, a proto je kritické minimalizovat dobu, kdy je trus mimo fermentor. Stanice specializující se na zpracování trusu skotu a prasat jsou běžné, obzvláště v zemědělských oblastech zaměřených na produkci mléka.

Naopak trus slepic představuje určité komplikace. Obsahuje vysoké množství dusíku, což vede ke vzniku amoniaku a snižuje tak efektivitu produkce metanu. Aby se předešlo této problematice, musí bioplynové stanice zpracovávající slepičí trus buď odstraňovat amoniak, nebo ho ředit a smísit s jiným druhem biomasy, aby dosáhly vhodného poměru dusíku k uhlíku. Zpracování slepičího trusu je stále v rané fázi vývoje a vyžaduje další optimalizaci, aby se dosáhlo maximální efektivity. Tyto stanice mají však značný potenciál [13].

Nejběžnější praxí je však kombinace využití kejdy s dalšími druhy substrátů za účelem zvýšení produkce bioplynu a zlepšení celkové efektivity procesu.

Zpracování kejdy v bioplynových stanicích má významné ekologické a ekonomické výhody. Tento proces výrazně snižuje emise skleníkových plynů, minimalizuje zápach v ovzduší, který by

jinak vznikal, a zároveň vytváří vysoce kvalitní digestát bohatý na živiny, který lze využít jako hnojivo. Zpracování kejdy má značný potenciál v produkci bioplynu. Odhaduje se, že z bioplynu vzniklého ze zvířecího odpadu by šlo vytvořit mezi 250 až 370 miliard metrů krychlových biometanu, což by uspokojilo poptávku po zemním plynu v celé Indii a Číně [13].

1.6.2 Potravinové odpady

Problémem současnosti je, že významná část vyráběných potravin skončí jako nevyužité odpady, kdy jen v EU ročně končí vyhozených přibližně 58 milionů tun potravinových odpadů, což představuje přibližně 131 kg na osobu. Celková hodnota těchto odpadů se odhaduje na zhruba 132 miliard euro [25]. Právě tyto potraviny nejčastěji skončí na kompostárnách, kde z nich vzniká živinami bohaté hnojivo díky procesu aerobního rozkladu. Při tomto procesu však vznikají plyny jako oxid uhličitý či metan, které následně volně unikají do atmosféry. Dalším způsobem, jak nakládat s potravinovými odpady, je jejich využití právě pro produkci bioplynu, při kterém oproti kompostování vzniká minimální množství emisí [26].

Problémem při využití potravinových odpadů pro anaerobní digesce je jejich rozdílné složení, protože každá dávka potravinových odpadů se často liší od předchozích, což může způsobit nestabilitu procesu anaerobní digesce. Jedním řešením je použití pouze podobných surovin, což se v praxi často uplatňuje, jako například výrobky pekáren nebo pivovarů. Další možností je smíchání potravinových odpadů s jinými substráty, jako jsou například kaly či zvířecí odpady. Velkou nevýhodou při zpracování potravinových odpadů je nutnost pasterizace digestátu, aby se předešlo možnému přenosu potenciálních patogenů z potravinových odpadů na zemědělskou půdu a plodiny, na které je digestát aplikován [13].

Většina potravinových odpadů je zpracována pomocí mokré, mezofilní anaerobní digesce, přičemž z těchto odpadů je potenciál získat až 340 TWh/rok elektrické energie a současně tímto využitím snížit emise skleníkových plynů v rozmezí odpovídajícím ekvivalentu 189 až 271 Mt CO₂ ročně [13].

1.6.3 Rostlinné zbytky

Rostlinné zbytky jsou obvykle materiálem, který vzniká během sklizně nebo zpracování zemědělských plodin. Tyto zbytky se dělí do dvou hlavních kategorií: polní a procesní. Polní zbytky jsou materiály ponechané na polích po sklizni plodin, jako jsou například stonky a listy. Procesní zbytky pak zahrnují materiály, které zůstanou po zpracování plodiny, jako jsou slupky, semena a kořeny [27].

Tyto části přispívají ke struktuře půdy a při rozkladu přidávají humus nebo obsah uhlíku do půdy. To je důležité pro prevenci eroze půdy a také zvyšuje schopnost udržení vody v půdě. Odhaduje se, že 30-60 % zbytků plodin lze udržitelně získat.

Nelze využít ovšem všechny zbytky, pravděpodobně to lze pouze u 30-60 % z nich, protože je potřeba ponechat části rostlin v půdě. To má za následek zvyšování úrodnosti půdy, jelikož se při rozkladu přeměňují na důležité živiny. Zároveň to přispívá k prevenci eroze půdy a zvyšuje schopnost udržení vody v půdě. Dále je část těchto zbytků využívána jako krmivo nebo podestýlka pro zvířata. V důsledku toho lze udržitelně získávat přibližně kolem 25-35 % z rostlinných zbytků a následně je dále využívat. [13].

Na rozdíl od kejdy, kalů a potravinových odpadů, tyto zbytky nevznikají kontinuálně, ale periodicky během sklizně. Proto je nezbytné tento materiál skladovat, aby bylo zajištěno pravidelné a nepřetržité zásobování po celý rok. Tyto zbytky jsou proto podrobeny odpovídajícímu zpracování, jako omytí, nasekání a vysušení. Plodiny jsou dále stlačeny, uloženy a vzduchotěsně uzavřeny v silážních jámách. Tento proces, známý jako silážování, umožňuje konzervaci plodin pro budoucí využití. Vzniklá hmota je nazývána siláž [29].

Do fermentoru se přidávají rostlinné zbytky buď samostatně nebo ve spojení, obvykle s kejdou nebo potravinovými odpady. V případě využití pouze rostlinných zbytků je zvolena konkrétní metoda anaerobního procesu podle požadované délky produkce bioplynu. Suchá mezofilní anaerobní digesce je udržována po dobu 80-100 dní, zatímco suchá termofilní anaerobní digesce umožňuje produkci bioplynu po dobu přibližně 30-40 dní. Rostlinné zbytky se přesto hlavně s kejdou či potravinovými odpady, a využívá se hlavně mokrá anaerobní digesce. Během anaerobní digesce dochází také k neutralizaci semen plevelů a patogenů, což činí tento proces velmi prospěšným. Výsledný digestát je velmi šetrným a účinným hnojivem. V případě kombinace s ostatními substráty je však nezbytné dále zpracovat vzniklý digestát, aby nedošlo k přenosu potenciálních patogenů [13].

Pokud by se veškeré rostlinné zbytky zpracovaly na bioplyn, mohlo by se z nich vyrobit 300-380 miliard metrů krychlových biometanu, což by dokázalo pokrýt poptávku po zemním plynu v Číně a Japonsku dohromady. Zároveň by se tímto snížily emise skleníkových plynů o ekvivalent 865-1100 Mt CO₂ ročně, což odpovídá přibližně celkovým emisím Německa [13].

1.6.4 Energetické plodiny

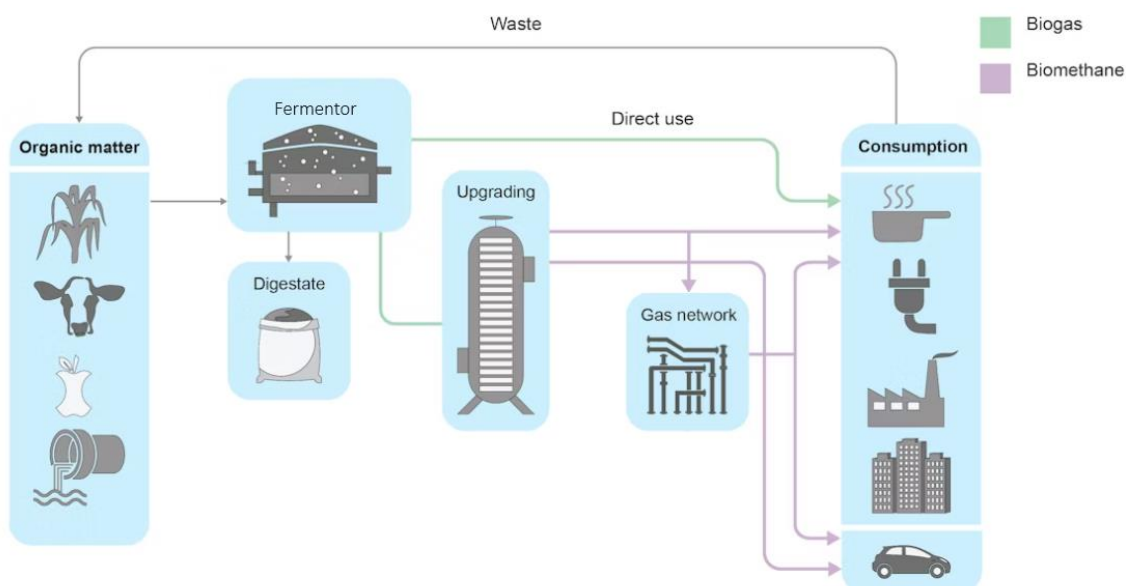
Energetické plodiny jsou rostliny, které lidé pěstují s cílem využití pro energii. Mezi ně patří jak rostliny speciálně šlechtěné pro energetické účely, tak i obvyklé plodiny, které jsou však pěstovány s důrazem na vysoký výnos, obsah sušiny nebo minimální nároky na zavlažování [28]. Mezi tyto

plodiny patří například řepka olejná, slunečnice, brambory, kukuřice a další. Hlavní nevýhodou pěstování energetických plodin je využívání zemědělské půdy na jejich růst. To znamená vyčerpávání půdy, vody a používání pesticidů, což má negativní dopad na životní prostředí. Proto je nezbytné stanovit určitá „pravidla“ pro toto záměrné pěstování, která zabraňují produkci energetických plodin na úkor trvalému poškození životního prostředí. Tato „pravidla“ představují určité povinnosti, které musí pěstitelé dodržovat, a jsou známa jako kritéria udržitelnosti. Podrobnější vysvětlení těchto kritérií bude další v části práce.

Stejně jako s rostlinnými zbytky, i s energetickými plodinami se zachází stejně. Tyto plodiny jsou také sklizeny periodicky a vyžadují náležité zpracování a uložení do silážních jam. Pro jejich zpracování se ve fermentoru udržuje suchá anaerobní digesce, která je často kombinována s potravinovými odpady nebo kalem.

1.7 Bioplynové a biometanové stanice

Bioplynové a biometanové stanice jsou moderními technologickými zařízeními pro zpracování biologicky rozložitelného materiálu, což představuje klíčový prvek v oblasti obnovitelných zdrojů energie. Bioplynové stanice využívají proces anaerobní digesce k rozkladu organického materiálu a získání bioplynu. Na druhou stranu biometanové stanice jsou speciální variantou bioplynových stanic, které se zaměřují na další zpracování bioplynu za účelem výroby vysoce kvalitního biometanu. Tato dvojice technologií poskytuje široké spektrum možností získání a využití energie z organických zdrojů, přispívá k ochraně životního prostředí a snižuje závislost na fosilních zdrojích.



Obrázek 1.2 – Zjednodušené schéma bioplynové stanice [33]

Na předchozím zjednodušeném schématu lze vidět, že až po fermentor mají obě stanice veškeré části společné. Teprve na výstupu z fermentoru je možné buď přímo využít bioplyn, například při kogeneraci, nebo ho pomocí některých metod konvertovat na biometan. Nicméně obě stanice jsou propojené tak, že v případě potřeby lze snadno změnit směr toku bioplynu z fermentoru, a to buď do jedné z metod konverze nebo přímo do kogenerační jednotky. Tím se může měnit i výstupní produkt, například v době špičky lze vyrábět z bioplynu biometan a mimo špičku pak elektřinu, v závislosti na aktuálních potřebách.

1.7.1 Popis stanic a princip fungování

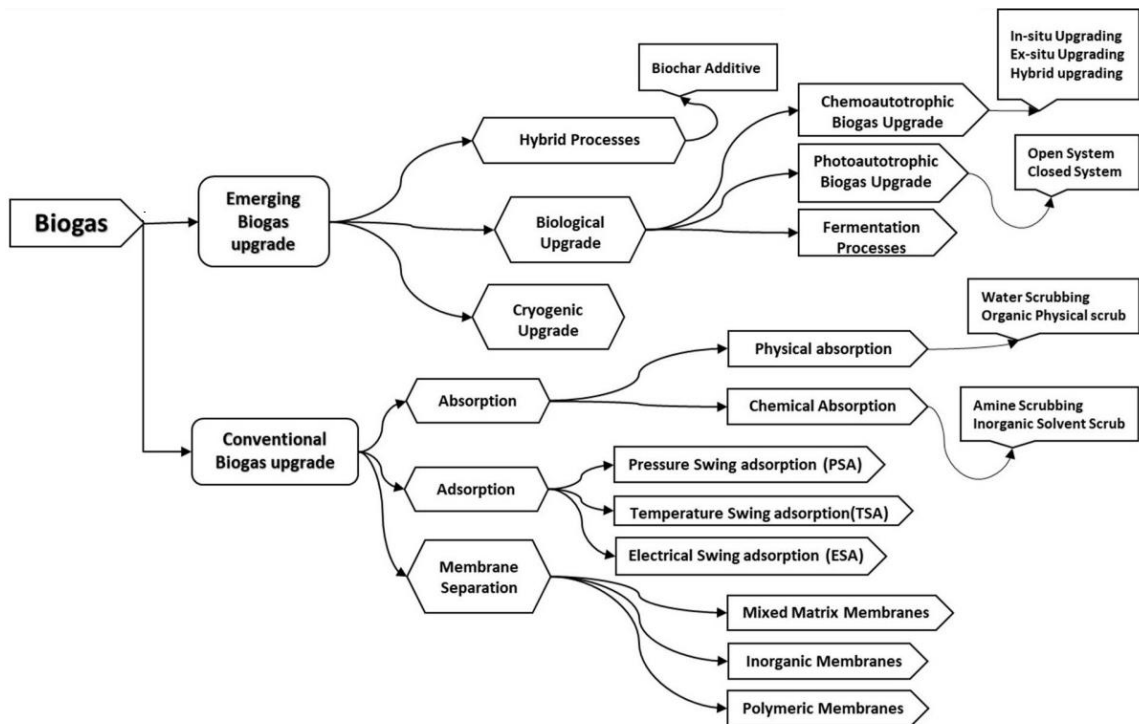
V následující části bude popsán princip bioplynových a biometanových stanic včetně detailního popisu jednotlivých komponent [30][35]:

1. V úvodu celého procesu je nezbytné získat vstupní substrát. Tento substrát musí být náležitě skladován poblíž bioplynové stanice tak, aby ho bylo možné v případě potřeby kontinuálně odebírat. K tomu účelu slouží **skladiště**, jako jsou skladovací nádrže, jímky a silážní jámy. Jejich konstrukce musí být pečlivě navržena tak, aby byla odolná vůči fyzikálním a chemickým vlivům a nepropouštěla zápach. Zároveň slouží k ochraně energetického obsahu substrátu, neboli k zamezení biologických procesů, které by mohli snížit výtěžnost ze substrátu [30].
2. Následně je nezbytné tento uskladněný substrát připravit před vložením do fermentoru. K tomu slouží **přípravné nádrže**, kde probíhá úprava substrátu, konkrétně rozmělnění, drcení a případné promíchání substrátu. Čím pečlivější a kvalitnější je tato příprava, tím efektivnější je bakteriální působení a rychlejší je fermentační proces. V případě mokré fermentace zde také dochází k naředění substrátu odpadní vodou, fugátem či kejdou. Zároveň přípravná nádrž také slouží k procesům hygienizace a pasterizace, při nichž dochází k odstranění nebezpečných mikroorganismů a jiných škodlivých látek [30].
3. Substrát je následně zapotřebí periodicky vkládat do fermentoru. K tomu slouží tzv. **krmné vozy**, které mohou i nahrazovat přípravné nádrže v úpravě substrátu. V některých případech je tato část přeskočena a substrát (například kejda) může být přímo vtlačěn do fermentoru potrubním systémem.
4. Nyní se připravený substrát se vkládá do **fermentorů**, též nazývaného jako reaktor, kde za stanovených podmínek probíhá anaerobní digesce. Během tohoto procesu mikroorganismy rozkládají připravený substrát, což vede k významné produkci bioplynu, který je následně zachycován v horní části fermentoru. Udržování optimálních podmínek ve fermentoru, jako je teplota, pH a dostatečný přísun živin, je klíčové pro stabilní průběh procesu [35]. Fermentory jsou stavěny z materiálů, které jsou odolné vůči vysoké vlhkosti,

- agresivnímu prostředí a tlaku, jako jsou beton, plast, ušlechtilá nerezová ocel nebo železobeton [30].
5. Zbytky po anaerobní digesci, nazývané také digestát, je nutné odstranit z fermentoru. K tomu slouží **kalová koncovka**, která má za úkol přepravu, úpravu a čištění digestátu. Digestát je pomocí čerpadel odčerpán a následně prostřednictvím sít, lisů a filtrů separován na fugát a separát. Tyto oddělené složky jsou poté transportovány a mohou být dále využity [30].
 6. Vzniklý bioplyn z fermentoru je třeba odvést a uskladnit. K tomu slouží **bioplynová koncovka**, složená z potrubí pro přepravu bioplynu, bezpečnostních zařízení proti zpětnému zahoření plynu, dmychadel, plynojemů a zařízení pro úpravu bioplynu, jako je odstraňování H_2O , CO_2 , H_2S a mechanických nečistot. Bioplyn je odváděn do plynojemů, kde je následně skladován [36]. Plynojem také nabízí možnost akumulace bioplynu, což umožňuje reagovat na poptávku na trhu. Například v případě nízké ceny elektřiny se bioplyn akumuluje, zatímco v případě vysoké ceny se spaluje a vyrábí se elektřina + teplo.
 7. Celý proces je zabezpečen **bezpečnostními hořáky**, známými též jako fléry, což jsou zařízení navržená k ochraně v případě poruchy nebo nadprodukce bioplynu. Pokud dojde k rizikové situaci, bezpečnostní hořák se aktivuje a bezpečně spálí přebytečný bioplyn, čímž minimalizuje možnost nebezpečných událostí [30].
 8. Nyní je možné využít vyrobený bioplyn. V bioplynových stanicích často nalezneme **kogenerační jednotky**, které slouží k energetickému využití bioplynu. V těchto jednotkách dochází obvykle k spalování bioplynu s cílem současné výroby tepla a elektřiny. Teplo z této jednotky může být následně distribuováno do dalších objektů nebo využito k udržení teploty ve fermentoru. Vyrobená elektřina může být buď spotřebována pro vlastní potřebu, nebo dodávána do sítě.
 9. V případě biometanových stanic je bioplyn upgradován na biometan pomocí **zařízení pro konverzi bioplynu**. Tato zařízení zahrnují všechny jednotky pro upgrade bioplynu na biometan, včetně kontrolních a regulačních zařízení.

1.8 Metody upgradu bioplynu

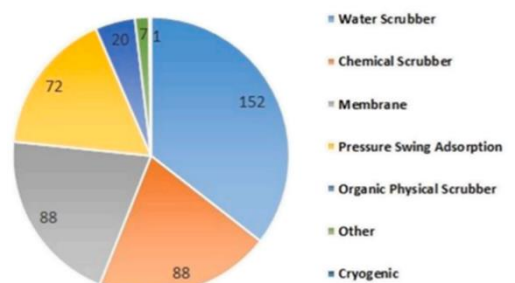
Jak již bylo uvedeno v předchozích částech této práce, biometan se získává úpravou bioplynu procesem nazývaným "upgrading", během kterého se odstraňují nežádoucí složky a získává se téměř čistý metan. Tento proces lze obecně také nazvat jako konverze bioplynu. Existuje velké množství metod pro tento proces, avšak pouze několik z nich se v současnosti využívá komerčně. Mnoho metod je spojeno s vysokými investičními výdaji nebo náklady na provoz a některé jsou stále ve fázi výzkumu. Následující obrázek zobrazuje většinu známých metod úpravy bioplynu:



Obrázek 1.3 - Metody upgradu bioplynu [38]

Mezi nejčastěji používané metody konverze patří:

- Absorpce
 - Fyzikální: Vodní vypírka, Vypírka organickými rozpouštědly
 - Chemická: Aminová vypírka
- Adsorpce: Metoda střídání tlaků (PSA)
- Membránová separace
- Kryogenní separace



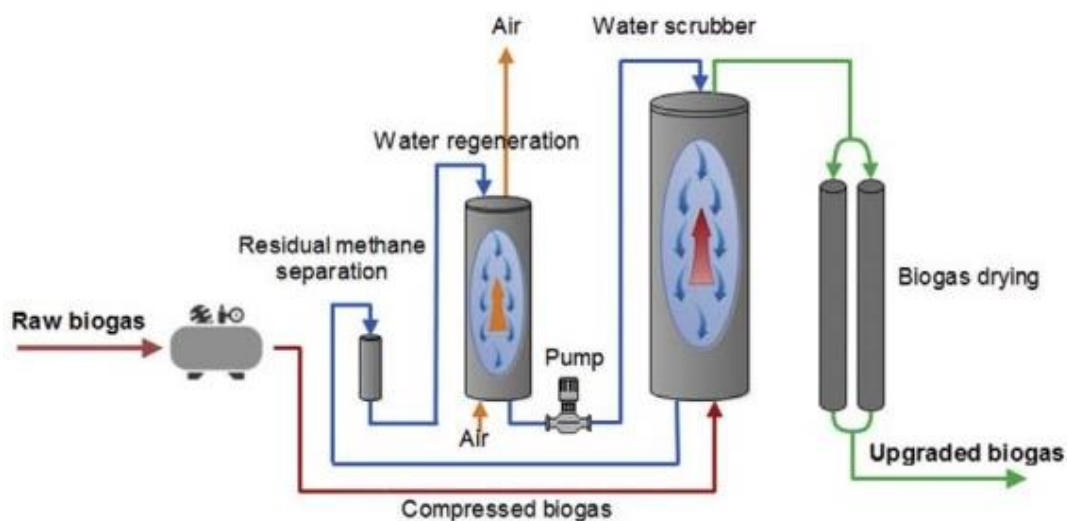
Obrázek 1.4 - Počet biometanových stanic s konkrétní technologií v Evropě [38]

Každá z uvedených metod má své výhody a nevýhody. Některé z nich odstraňují širší spektrum látek, zatímco jiné se vyznačují minimálními náklady nebo maximalizují zisk metanu. Informace o nejčastěji používaných metodách jsou podrobně popsány v následující části.

1.8.1 Vodní vypírka

Vodní vypírka, známá také jako water scrubbing, představuje nejčastěji využívanou metodu pro oddělení CO_2 a H_2S od bioplynu prostřednictvím rozdílné rozpustnosti těchto látek ve vodě oproti metanu. Například CO_2 je při teplotě $25\text{ }^\circ\text{C}$ až 26krát rozpustnější ve vodě než metan. Samotné

oddělení probíhá v absorpčních válcích (kolonách), kam je přiváděn stlačený bioplyn (6–10 bar) zespolu válce, zatímco voda je napouštěna shora. Tímto prouděním plynu zdola nahoru a vody shora dolů dochází k rozpouštění nežádoucích látek ve vodě. Metan je poté odváděn z horní části válce, zatímco znečištěná voda je odváděna z dolní části válce do tzv. flash tanku. Zde dochází ke snížení tlaku na 2–1,1 bar, čímž dojde k oddělení zbylého metanu ve vodě [40]. Ten je poté odveden, zatímco voda je poté buď odstraněna z čistícího procesu, což je vhodné v případech, kdy pochází z čistíren odpadních vod, anebo je zregenerována pro opětovné využití [34]. V druhém případě je voda regenerována v desorpčním sloupci, kde je dekomprese při atmosférickém tlaku odstraněn CO_2 a H_2S z vody. Dekomprese probíhá tzv. stripováním vzduchem. Výhodou regenerace je snížení množství využívané vody, které se může při čistění 1000 Nm^3/h bioplynu pohybovat mezi 180–200 m^3/h [39]. Vzniklý biometan je dále zapotřebí vysušit, čímž se dosáhne až 99 % čistého biometanu.



Obrázek 1.5 – Schéma vodní vypírky s regenerací vody [39]

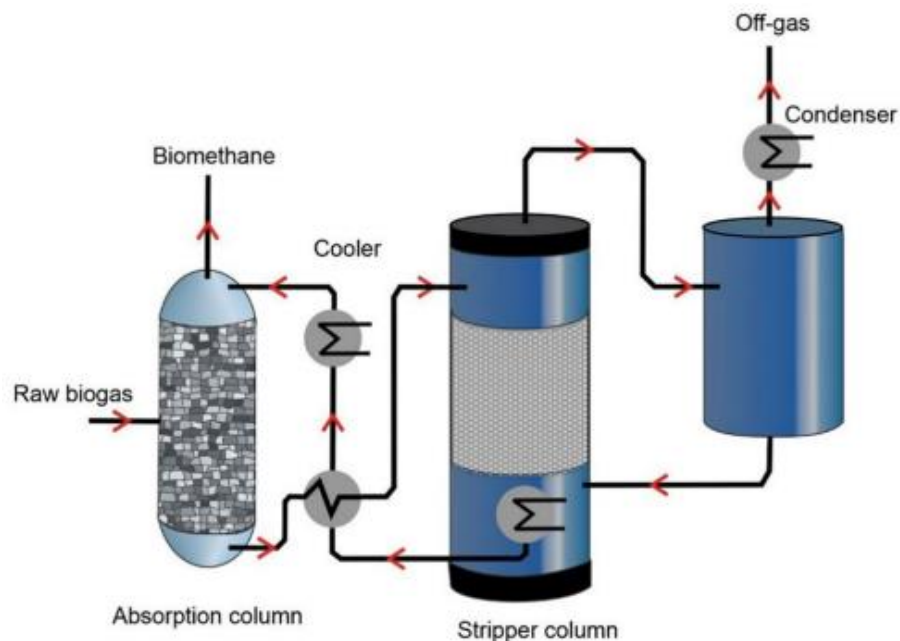
1.8.2 Vypírka organickými rozpouštědly

Tato metoda vychází ze stejného principu jako vodní vypírka, který využívá rozdílnou rozpustnost metanu, CO_2 a H_2S . Oproti vodní vypírce se však tato metoda liší v použití organických rozpouštědel, jako jsou metanol nebo dimethyléter polyetylglykol, místo vody. Výhodou této metody je vyšší rozpustnost CO_2 v organických rozpouštědlech, která může být až trojnásobná oproti vodě. Avšak nevýhodou je obtížnější regenerace těchto organických rozpouštědel. Pomocí této metody lze dosáhnout až 98 % čistého biometanu [40].

1.8.3 Aminová vypírka

Aminová vypírka, známá také jako Chemical scrubbing, využívá vodné roztoky aminů, které mají schopnost vázat molekuly CO_2 a H_2S obsažené v bioplynu. Tento systém se skládá z absorpčního

válce, stripovacího válce a stripperu. Podobně jako u vodní vypírky, i zde bioplyn (stlačený na 1-2 bary) proudí válcem odspodu nahoru, zatímco aminové roztoky proudí shora dolů. V tomto procesu dochází k absorpci CO_2 a H_2S do aminového roztoku díky exotermické reakci. Následně je vzniklý roztok obsahující vysokou koncentraci CO_2 a H_2S odváděn z absorpčního válce do stripovacího válce. Zde dochází k regeneraci aminového roztoku, při níž se roztok ohřívá na teplotu mezi 120-160 °C a zvyšuje se tlak na hodnoty v rozmezí 1,3-3 bary. Tento proces vede k rozpadu chemických vazeb, vzniku páry obsahující nečistoty a k získání opět využitelného aminového roztoku. Tato pára je následně odvedena do stripperu, kde dochází k oddělení vody od nečistot [39]. Touto metodou lze získat až 99% čistý biometan. Velkou nevýhodou této metody je toxicita aminových roztoků pro člověka a životní prostředí. Dále je tato metoda spojena s vysokými investičními výdaji a provozními náklady [34].



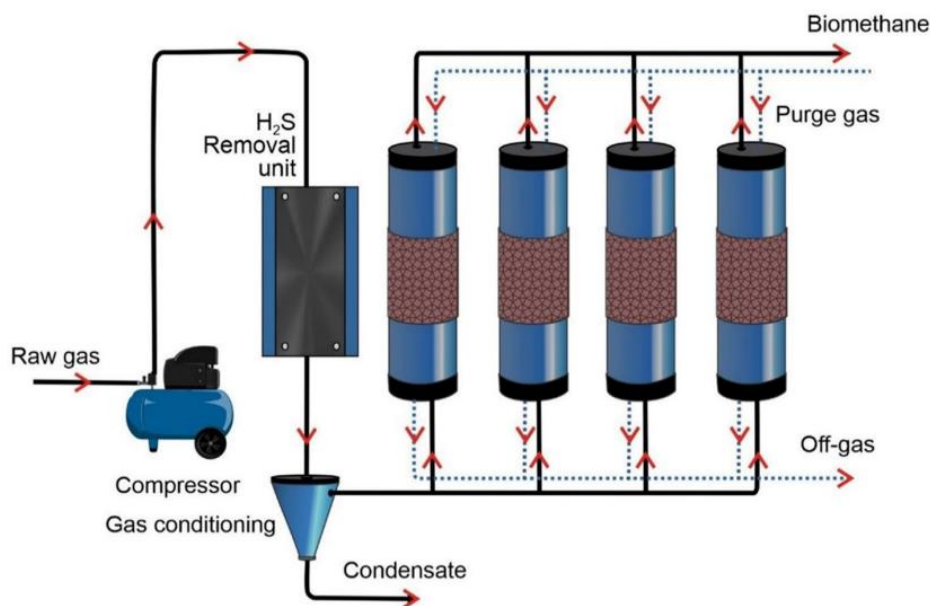
Obrázek 1.6 - Schéma aminové vypírky [41]

1.8.4 Metoda střídání tlaků

Tato technologie je založena na rozdělení bioplynu na základě molekulárních charakteristik a afinitě adsorpčního materiálu. Zjednodušeně řečeno, vychází z vlastností stlačených plynů, které jsou přitahovány k adsorbentům. Adsorbentem může být pevná látka, která dokáže vázat na svůj povrch značné množství jiných látek, jako jsou uhlíková molekulární síta, aktivní uhlí, zeolity a další materiály [39]. Adsorpce je proces, při kterém dochází k přilnutí molekul plynu nebo kapaliny k povrchu adsorbentu prostřednictvím fyzikálních sil [42].

Bioplyn je nejprve stlačen na 4-10 barů a poté vtlačěn do adsorpčního válce, kde proudí skrze adsorbenty, které jsou často uspořádány ve svislých vrstvách. Zde dochází k adsorpci látek jako je H_2S , CO_2 , H_2O , O_2 a N_2 , zatímco metan kvůli své větší molekulární velikosti není zachycen a projde do horní části válce, kde je odebrán. Obvykle jsou k dispozici čtyři adsorpční válce, z nichž jeden je vždy v provozu, zatímco u zbývajících dochází k regeneraci. Jakmile je adsorbent nasycený zachycenými látkami, přechází se na další adsorpční válec. Mezitím je třeba regenerovat nasycený adsorpční válec, což se provádí profouknutím vzduchem opačným směrem než tok metanu, čímž dochází ke snížení tlaku, oddělení zachycených látek a vyčištění válce. Výjimkou jsou molekuly H_2S , u kterých je adsorpce nevratná. Proto je třeba H_2S oddělit ještě před vstupem do adsorpčního válce [39].

Hlavní výhodou této metody je jednoduchost, spojená s nízkými investičními výdaji a provozními náklady. Zároveň je bezpečná a snadno se provozuje. Touto metodou lze získat až 96-98 % methanu. Nevýhodou je ztráta až 4 % z celkového množství metanu kvůli tzv. spodním proudům [34].



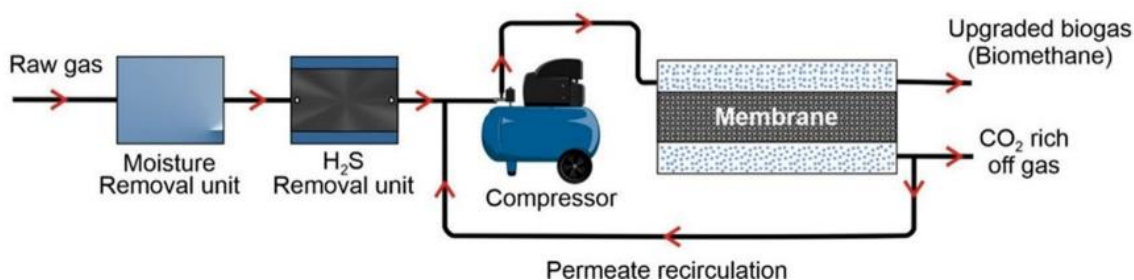
Obrázek 1.7 - Schéma metody střídání tlaků [41]

1.8.5 Membránová separace

Tato metoda využívá selektivní propustnosti (permeability) membrány. Specifické látky jako metan nemohou membránou proniknout, zatímco nežádoucí látky, například H_2O nebo CO_2 , procházejí membránou volně. Proces se skládá z jednoho nebo více modulů s membránami, které jsou uspořádány buď paralelně nebo sériově. Volba závisí na požadované úrovni čištění bioplynu [41]. Membrány jsou typicky vyrobeny z polymerů s dutými vlákny a s tloušťkou obvykle v rozmezí 0,1 až 0,2 μm [34].

Nejprve je bioplyn stlačen a poté očištěn od vody a H₂S. Stlačený bioplyn následně prochází membránou, kde dochází k zachycení metanu na povrchu membrány, zatímco na CO₂ bohatý plyn prochází skrz ni. Zachycený metan poté putuje podél povrchu membrány, dokud nedosáhne konce, kde je nakonec odebrán [43].

Touto metodou lze dosáhnout až 98 % koncentrace CH₄ v biometanu. Mezi hlavní výhody patří jednoduchost procesu, nízká náchylnost na poruchy díky minimálnímu množství pohyblivých částí, modulárnost a relativně malé provozní náklady. Nevýhody zahrnují vysoké tlakové ztráty spojené s nadměrnou spotřebou energie, ztráty CH₄ a omezenou životnost membrán [34].



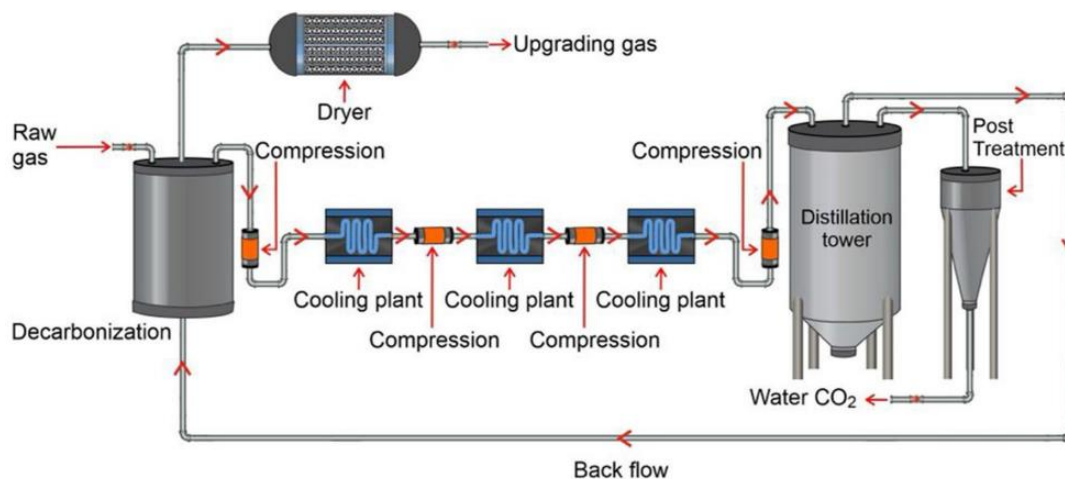
Obrázek 1.8 - Schéma membránové separace [41]

1.8.6 Kryogenní separace

Tato metoda využívá princip odlišného bodu zkapalnění jednotlivých látek obsažených v bioplynu. Postupným ochlazováním bioplynu dochází k postupnému zkapalňování a oddělení látek od metanu, jelikož metan má nižší teplotu kondenzace než ostatní látky v bioplynu [41].

Proces začíná ochlazením bioplynu na -25 °C, což způsobí kondenzaci látek jako je H₂S, siloxany a halogeny. Následně se snižuje teplota na -55 °C, čímž dochází ke zkapalňování většiny CO₂. Poslední fází je snížení teploty na -80 °C, což způsobí kondenzaci zbývajících CO₂. Je zásadní udržovat vyšší tlak, aby nedošlo ke ztuhnutí CO₂, což by mohlo vést k jeho poškození. Tlak může dosahovat až 80 bar, čímž se zvýší teplota zkapalnění plynu. Před postupným snižováním teploty se často také odstraňuje H₂S, aby po extrakci metanu zůstal pouze zkapalněný oxid uhličitý. Tato technologie rovněž umožňuje přeměnu bioplynu přímo na tekutý biometan, který lze následně využít například jako alternativu k CNG v dopravě [41].

Touto metodou lze získat čistý biometan s čistotou až 97 %. Nevýhody spočívají v vysokých provozních nákladech spojených hlavně s chlazením plynu [34]. Jde o relativně novou technologii, která momentálně nachází spíše využití v laboratorním prostředí.



Obrázek 1.9 - Schéma systému pro kryogenní separaci [41]

1.9 Výhody a nevýhody bioplynových stanic

Bioplynové stanice přinášejí řadu **výhod**, které z nich činí významný prvek v oblasti obnovitelných zdrojů energie a udržitelného nakládání s odpady. Jednou z hlavních výhod je snižování emisí skleníkových plynů, jelikož využívají organické odpady, které by jinak přispívaly k emisím metanu při jejich rozkladu na skládkách. Další významnou výhodou je obecné zpracování odpadů, což je důležité vzhledem k enormnímu množství nevyužitého odpadu, který lze v bioplynových stanicích zpracovat na produkty jako hnojiva, elektřinu, teplo a biometan. Bioplynové stanice jsou také snadno škálovatelné a lze je využívat až na domácí úrovni. V současnosti se začínají objevovat malé bioplynové stanice, které zpracovávají biologický odpad v domácnostech a produkují využitelný bioplyn.

Další výhodou bioplynových stanic je snížení závislosti na fosilních palivech, neboť bioplyn a biometan mohou sloužit jako obnovitelné zdroje energie, přičemž například biometanem lze nahradit zemní plyn. Bioplynové stanice mohou také sloužit jako lokální a stabilní zdroj elektřiny či tepla pro odlehlé komunity, jelikož při dodržení optimálních podmínek ve fermentoru a dostatečným zásobováním substrátem lze zajistit velmi stabilní produkce bioplynu. Navíc bioplynové stanice mohou sloužit k zachytávání CO_2 , které lze následně ukládat, což přispívá ke snižování množství vypouštěného oxidu uhličitého do atmosféry (Carbon Capture and Storage [99]).

Přestože bioplynové stanice přinášejí mnoho výhod, existuje i řada **nevýhod**. Hlavní nevýhodou jsou vysoké investiční výdaje spojené s výstavbou a v případě nevyužívání odpadu i vysoké provozní náklady. S tím souvisí také velká závislost na dostupnosti a kvalitě substrátu. Další nevýhodou je složitost udržování optimálních podmínek biologického rozkladu. Udržování vhodných podmínek ve fermentoru a správná kombinace a množství substrátů vyžadují pečlivé řízení. Nevhodné využití substrátu nebo nedostatečné teplo ve fermentoru mohou vést k nízké produkci bioplynu. Z tohoto důvodu je často zapotřebí dozor odborníka, který zajišťuje správný chod procesu a optimalizaci

podmínek. Nutnost odborného dohledu může být rovněž považována za nevýhodu. Kromě toho je technologický vývoj v oblasti bioplynových stanic relativně pomalý, což znamená, že náklady na výstupní produkty, jako jsou bioplyn, elektřina nebo teplo, jsou stále vysoké. Bez provozních dotací by tyto ceny nemohly konkurovat cenám produktů z konvenčních zdrojů energie. Tato závislost na dotacích je dalším významným omezením pro širší využití bioplynových stanic.

1.10 Kritéria udržitelnosti

„Pokud jsou paliva z biomasy použita v zařízeních produkujících elektřinu, vytápění a chlazení, nebo paliva s celkovým jmenovitým příkonem nejméně 7,5 MW v případě pevných paliv a s celkovým jmenovitým tepelným příkonem nejméně 2 MW v případě plyných paliv z biomasy, nebo v případě zařízení vyrábějících paliva z plyné biomasy s průměrným průtokem biometanu 200 m³ ekvivalentu metanu/h, měřeno za standardních podmínek teploty a tlaku, tj. 0 °C a 1 bar atmosférického tlaku, musí tato paliva splňovat kritéria udržitelnosti a úspor emisí skleníkových plynů.“ [92][94][100].

„Pro splnění kritérií udržitelnosti je nutné doložit původ biopaliva a prokázat, že pěstováním biomasy pro jeho výrobu nebyla narušena biodiverzita“ [93]. Pro zajištění udržitelného původu biomasy je nezbytné splnit řadu podmínek. Mezi nimi například, že zemědělská biomasa nesmí pocházet z orné půdy, která byla získána vykáčením lesa nebo vysušením mokřadu. Dále je nutné zajistit péči o kvalitu půdy a obsah organické hmoty. V případě využívání lesní biomasy nesmí těžba ohrožovat produkční kapacitu lesů a po těžbě musí být zajištěna obnova lesa. Tyto a další podmínky se zaměřují na ochranu klimatu, ekosystémů a životního prostředí, zejména biodiverzity [91].

„Další podmínkou pro splnění kritéria udržitelnosti je prokázání úspor emisí skleníkových plynů vyprodukovaných během celého životního cyklu biopaliva v porovnání s fosilní alternativou“ [93]. „Úspora emisí skleníkových plynů při používání biopaliv splňujících kritéria udržitelnosti oproti emisím vznikajícím během celého životního cyklu referenční fosilní pohonné hmoty musí činit nejméně „ [95]:

- a) 50 % v případě biopaliv vyrobených ve zpracovatelském zařízení uvedeném do provozu nejpozději 5. října 2015,
- b) 60 % v případě biopaliv vyrobených ve zpracovatelském zařízení uvedeném do provozu od 6. října 2015 do 31. prosince 2020,
- c) 65 % v případě biopaliv vyrobených ve zpracovatelském zařízení uvedeném do provozu 1. ledna 2021 nebo později.

Referenční hodnota pro fosilní pohonnou hmotu je stanovena na 83,8 g CO₂ ekv/MJ [95]. Stanovení úspory emisí skleníkových plynů je složitý proces, který vychází z nařízení

vlády č. 189/2018 Sb., a mohl by být předmětem samostatné diplomové práce. Bioplynová stanice, jejíž problém je řešen v této diplomové práci, byla uvedena do provozu v roce 2013, a proto pro ni platí nejmírnější podmínky pro splnění kritérií udržitelnosti. Práce tedy bude vycházet z předpokladu, že splnění těchto kritérií není problém.

1.11 Podmínky připojení k soustavě zemního plynu

Česká republika ve vývoji bioplynových stanic značně zaostala, především kvůli legislativním a technickým překážkám. Zastaralé vyhlášky v oblasti plynárenství výrazně komplikovaly vkládání biometanu do plynárenské sítě a někdy ho téměř prakticky znemožňovaly [45]. Teprve v roce 2021 byly zastaralé požadavky na kvalitu biometanu, podmínky jeho měření a vkládání do plynárenské sítě upraveny pomocí vyhlášky č. 78/2021 Sb. [44] Tato vyhláška vychází především z technických norem TPG 902 02 a TDG 983 01 a stanovuje výsledné požadavky na vtláčený biometan, které jsou shrnuty v následující tabulce [46]:

Parametr	Jednotka	Hodnota	
		Přepravní soustava, zásobníky plynu a těžební plynovody	Distribuční soustava
Obsah metanu - konkrétní hodnota je uvedena ve smlouvě o připojení	% mol	≥ 95	≥ 95
Obsah etanu	% mol.	≤ 3	≤ 3
Obsah propanu	% mol.	≤ 3	≤ 3
Obsah sumy butanů	% mol.	≤ 1	≤ 1
Obsah sumy pentanů a vyšších uhlovodíků	% mol.	≤ 0,5	≤ 0,5
Rosný bod vody - teplota, při které při tlaku 4 MPa dojde ke kondenzaci vody z plynné fáze do fáze kapalné	°C	≤ -7°C	≤ -7 °C
Rosný bod uhlovodíků - teplota, při které při provozním tlaku dojde ke kondenzaci uhlovodíků z plynné fáze do fáze kapalné	°C	0°C	0°C
Obsah kyslíku	% mol	≤ 0,02	≤ 0,5
Obsah oxidu uhličitého	% mol	≤ 3	≤ 5
Obsah dusíku	% mol	≤ 3	≤ 3
Obsah vodíku	% mol	≤ 0,01	≤ 0,1
Celkový obsah síry	mg.m ⁻³	≤ 30 ¹⁾	≤ 30 ¹⁾
Obsah sulfanu	mg.m ⁻³	≤ 5 ¹⁾	≤ 5 ¹⁾
Obsah amoniaku	mg.m ⁻³	≤ 10 ¹⁾	≤ 10 ¹⁾
Obsah halogenů (F, Cl)	mg.m ⁻³	≤ 1,5 ¹⁾	≤ 1,5 ¹⁾
Obsah organických sloučenin křemíku - konkrétní hodnota je uvedena ve smlouvě o připojení	mg.m ⁻³	≤ 0,3-1 ¹⁾	≤ 0,3-1 ¹⁾
Velikost pevných částic / prach, rez	mikrometry	≤ 3	≤ 5
Obsah škodlivých živých mikroorganismů		nepřítomny	nepřítomny
Teplota	°C	od 0 °C do 40 °C	Od 0 °C do 20 °C pro < 0,4 MPa a od 0 °C do 40 °C pro > 0,4 MPa
Obsah vybraných těkavých aromatických uhlovodíků - benzen, toluen, etylbenzen, xylen	mg.m ⁻³	≤ 10 ¹⁾	≤ 10 ¹⁾

Tabulka 1.2 - Požadavky na kvalitu biometanu, podmínky jeho měření a vkládání do plynárenské sítě [44]

V rámci legislativních požadavků vyplývajících z vyhlášky č. 488/2021 Sb. [47] týkající se podmínek připojení k plynárenské soustavě bude v této části postupně popsán celý proces. Pro splnění legislativních předpisů musí žadatel splnit následující tři hlavní podmínky:

- I. Uzavření smlouvy mezi žadatelem a provozovatelem nadřazené soustavy.
- II. Dodržení technických podmínek připojení stanovených v uzavřené smlouvě o připojení provozovatelem nadřazené soustavy.
- III. Zajištění bezpečného a spolehlivého provozu nadřazené soustavy.

Uzavření smlouvy mezi žadatelem a provozovatelem nadřazené soustavy.

Pro splnění tohoto bodu musí žadatel nejprve podat žádost o připojení k nadřazené soustavě. Tuto žádost lze podat:

- a. Před připojením nového zařízení.
- b. Před změnou požadované kapacity stávajícího připojeného zařízení.
- c. Před změnou technických podmínek připojení, místa připojení nebo umístění měřicího zařízení u stávajícího připojeného zařízení.
- d. Před připojením zařízení na jinou tlakovou úroveň.

Po podání žádosti nadřazené soustavě je tato žádost posouzena s ohledem na:

- a) Požadované místo a termín připojení.
- b) Technickou proveditelnost požadovaného připojení.
- c) Velikost požadované kapacity.
- d) Rozsah a časový průběh dodávky nebo odběru plynu.
- e) Pořadí podaných žádostí.
- f) Dodržení tlakových poměrů na zařízení žadatele a provozovatele nadřazené soustavy.
- g) Vliv připojovaného zařízení na bezpečnost a spolehlivost provozu nadřazené soustavy.
- h) Kvalitativní vlastnosti plynu, který bude připojované zařízení dodávat do nadřazené soustavy.
- i) Plánovaný rozvoj a obnovu nadřazené soustavy.

Pokud provozovatel nadřazené soustavy schválí žádost o připojení, předloží žadateli návrh na uzavření smlouvy o připojení v určeném termínu:

- i. Pro zákazníky středního a velkého odběru do 60 dnů,
- ii. Pro domácnosti a maloodběratele do 30 dnů,
- iii. Pro přepravní soustavu a zásobníky plynu do 120 dnů,
- iv. Pro výrobce plynu do 90 dnů.

„Tento návrh je závazný po dobu 60 dnů ode dne doručení žadateli. Pokud není možné připojení realizovat z důvodů na straně provozovatele nadřazené soustavy, oznámí žadateli důvody nemožnosti

připojení v určené lhůtě a uvede konkrétní důvody“ [47]. Pokud je však možné zařízení připojit za jiných než požadovaných podmínek, provozovatel nadřazené soustavy tuto skutečnost sdělí žadateli a předloží mu návrh na uzavření smlouvy o připojení.

Dodržení technických podmínek připojení stanovených v uzavřené smlouvě o připojení provozovatelem nadřazené soustavy

„Provozovatel nadřazené soustavy navrhuje technické podmínky připojení s ohledem na budoucí rozvoj a modernizaci infrastruktury a minimalizaci nákladů. Hlavním cílem je zajistit efektivní technické řešení pro připojení zařízení, které bude výhodné pro obě strany. V případě, že je pro připojení odběrného plynového zařízení nutné vybudovat plynovodní přípojku nebo jiné technické zařízení, obsahuje o připojení detailní specifikace umístění těchto zařízení.

Při žádosti o připojení výrobního zařízení biometanu provozovatel nadřazené soustavy navrhuje technické podmínky, které zahrnují instalaci potřebného vybavení specifického pro tuto činnost, jako“ [47]:

- a) Zařízení pro odorizaci biometanu, které zajišťuje dostatečnou úroveň odorizace vyrobeného biometanu.
- b) Zařízení pro kompresi a přepouštění biometanu v distribuční soustavě z tlakové úrovně do 4 bar do tlakové úrovně nad 4 bary, v případě, že není možné využít biometan v tlakové úrovni do 4 bar a je ekonomicky efektivnější komprimovat biometan než připojit výrobní zařízení přímo na vyšší tlakovou úroveň.
- c) Zařízení pro kompresi a přepouštění biometanu z nižší úrovně do 4 bar na vyšší úroveň nad 4 bary. Toto zařízení je nezbytné v situacích, kdy není možné využít biometan při tlaku do 4 bar a je ekonomicky výhodnější komprimovat biometan nad 4 bar než připojit výrobní zařízení přímo na vyšší tlakovou úroveň distribuční soustavy.
- d) Stanice katodické ochrany, která zajistí dostatečný ochranný potenciál těžebního plynovodu v případě nedostatečného zabezpečení ze strany provozovatele soustavy
- e) Zařízení pro dálkové přenosy dat, které umožňují efektivní správu a monitorování distribuční soustavy provozovatelem.
- f) Uzavírací armatura umístěná na začátku těžebního plynovodu, která umožňuje odstavení plynovodu z provozu a uzavírací armatura v místě připojení na stávající distribuční soustavu.

Kapitola 2:

Historie a současný stav bioplynových a biometanových stanic

2.1 Historický vývoj bioplynových a biometanových stanic

Hlavní biologický proces anaerobního rozkladu organické hmoty, na kterém jsou založeny bioplynové a biometanové stanice, se běžně vyskytuje v přírodě po celém světě, například v bažinách nebo v trávicích ústrojích přežvýkavců. Odhaduje se, že takto v přírodě vzniká až 590-800 milionů tun metanu [1].

Mezi prvními, kdo začali experimentovat s plynem vzniklým anaerobní digescí, byli Assyřané, o nichž existují důkazy, že v 10. století př. n. l. využívali bioplyn k ohřívání vody pro lázně. Nicméně až v 17. století oficiálně prokázal světově proslulý chemik Jean-Baptiste van Helmont, že při rozkladu organické hmoty vzniká hořlavý plyn [2]. Tento hořlavý plyn byl pak zkoumán a v roce 1808 sir Humphry Davy zjistil, že v bioplynu je přítomný metan. Na dalším výzkumu bioplynu se podílelo několik dalších významných osobností, jako byli Dalton, Priestly, Volta a Henry, a na základě výsledků jejich výzkumů vzniká v roce 1859 v Indii první bioplynová stanice ve městě Bombaj [3].

V Evropě vznikla první bioplynová stanice až v roce 1895 v Londýně, kde se odpadní voda začala přetvářet na bioplyn, který byl následně využíván v pouličních lampách. Poté v roce 1921 vznikla první komerční bioplynová stanice v Číně a v roce 1920 v Německu. Největší rozmach bioplynových stanic však začal v roce 1970, kdy rapidně vzrostla cena fosilních paliv. V reakci na toto dění vzniklo velké množství malých bioplynových stanic v Asii, Latinské Americe a v afrických zemích, jejichž cílem bylo snížení energetické chudoby na venkově a zajištění paliva pro zpracovávání potravin. Od té doby začal rozmach menších bioplynových stanic využívajících odpady produkované živočichy nebo lidmi, s cílem zajištění energie a zpracování odpadů, kdy například v Číně vzniklo až 9 milionů domácích stanic [1].

V následujících letech v důsledku zvyšování cen zemního plynu roste zájem o hledání možných alternativ. Zvláštní pozornost se upírá na biometan, neboli vyčištěný bioplyn. Do bioplynových stanic se tedy začínají instalovat čističky, čímž dochází ke konverzi bioplynu na biometan [4].

V České republice se nejstarší provozovaná bioplynová stanice nachází v Třeboni. Původně měla výkon 175 kW a do roku 2009 denně spotřebovávala až 120 m³ kejdy. V roce 2009 byla rozšířena o kogenerační jednotku s výkonem 844 kW a o bioplynovod, který přivádí bioplyn z fermentorů umístěných 4,3 km daleko. Ročně produkuje až 6,6 GWh elektrické energie a 16 000 až 19 000 GJ tepla. Vyrobená energie následně zásobuje areál lázní v Třeboni a okolní obytné budovy.

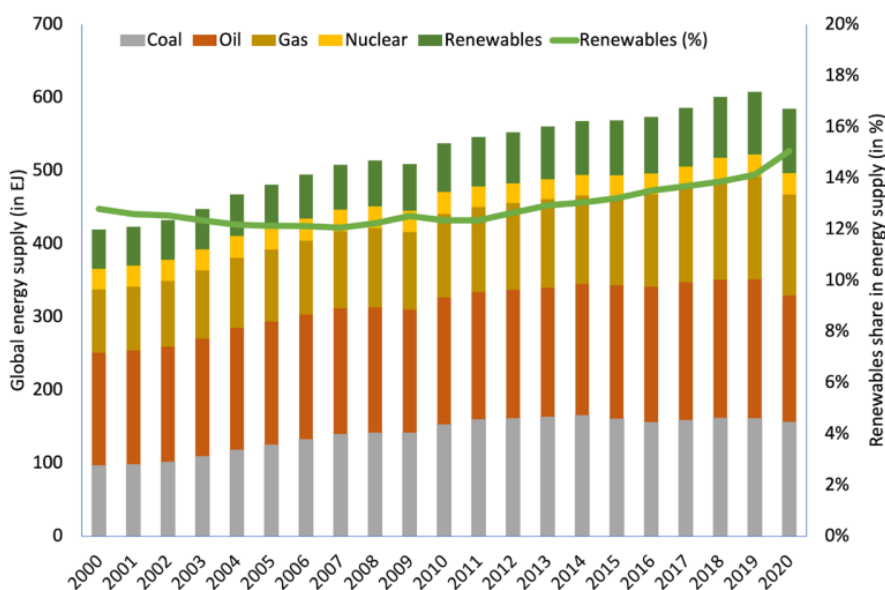
Co se týče výroby biometanu, firemní skupina EFG se stala prvním subjektem v Česku, který tuto činnost zahájil. Tento průlom se odehrál v Rapotíně na Šumpersku, a tak byl již před čtyřmi lety první biometan dodán do veřejné plynovodní sítě. Díky sedmi dosud dokončeným zařízením dosahuje celková produkce přibližně 10 milionů m³ biometanu ročně [9].

V současnosti se v různých zemích po celém světě rozvíjí trend zaměřený na rozšiřování počtu bioplynových a biometanových stanic a zvyšování jejich účinnosti a praktičnosti. Výhody využívání těchto systémů přesvědčily celý svět, že tato technologie má obrovský potenciál, je velmi šetrná k přírodě a vyrábí prakticky čistou energii.

2.2 Aktuální stav a statistiky

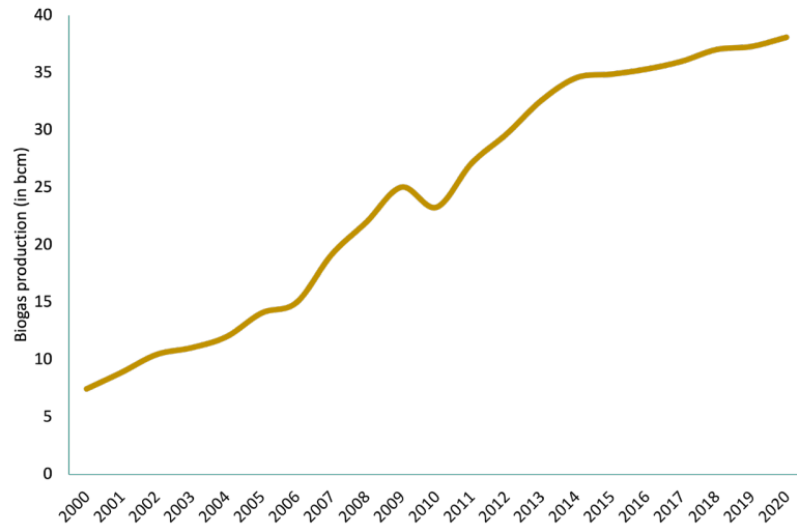
2.2.1 Situace ve světě

V současné době se stále více pozornosti věnuje energetice a všem s ní souvisejícím oblastem. Zájem o elektromobilitu roste, hledá se čistá energie, a důraz se klade na snížení uhlíkové stopy a omezení spotřeby fosilních paliv. V důsledku toho se zvyšuje poptávka po elektrické energii, zejména po energii z obnovitelných zdrojů, což lze vidět na následujícím grafu:



Graf 2.1 - Množství vyrobené energie ve Světě [5]

S tímto rostoucím trendem je spojena také produkce bioplynu a biometanu, která každoročně stoupá. Jen za posledních 10 let vzrostla produkce bioplynu celosvětově téměř na dvojnásobek, a to na 38,1 miliardy krychlových metrů (bcm). Tento průběh lze pozorovat na následujícím grafu [5]:



Graf 2.2 - Množství vyrobeného bioplynu ve Světě [5]

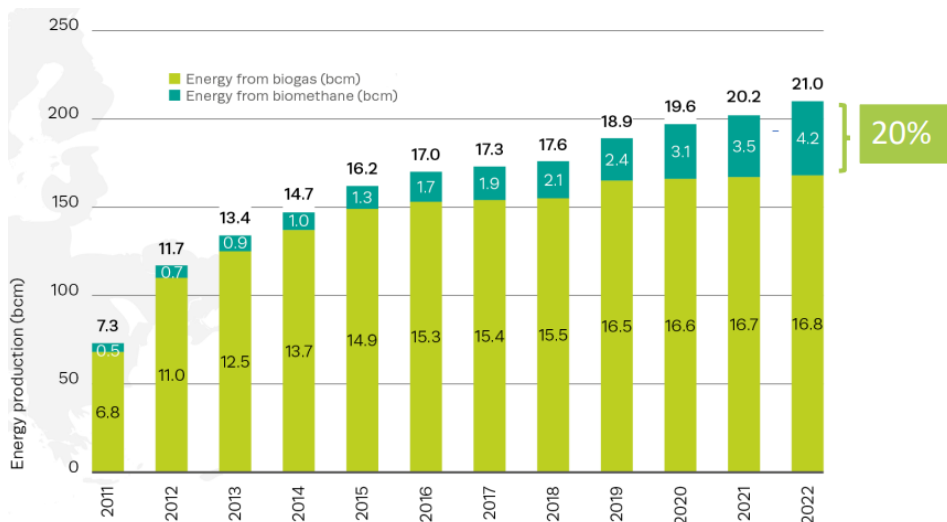
V současnosti je v provozu přibližně 50 milionů mikrobioplynových stanic, z nichž 42 milionů se nachází v Číně a 4,9 milionů v Indii. Tyto stanice jsou klíčovou součástí zemědělství a slouží ke zpracování organických odpadů a k výrobě energie. Bioplyn z těchto stanic se převážně využívá pro vaření a vytápění.

Dále existuje asi 132 tisíc bioplynových stanic určených pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, někdy také pro trigeneraci. Nejvíce těchto stanic je v Číně (přibližně 110 tisíc). Další významné počty lze nalézt v Německu (kolem 11 tisíc) a ve Spojených státech (kolem 2200). V Evropě je cca 20 tisíc těchto bioplynových stanic.

Kromě toho aktuálně existuje více než 700 bioplynových stanic, které dokáží přeměňovat bioplyn na biometan. V Evropě se nachází 545 těchto stanic, z toho 195 v Německu, 92 ve Velké Británii, 70 ve Švédsku, 44 ve Francii a 34 v Nizozemsku. Mimo Evropu je jich přibližně 50 v USA a 25 v Číně. Na základě dostupných dat se odhaduje, že celosvětově existuje přibližně 700 zařízení, která dokážou přeměňovat bioplyn na biometan.

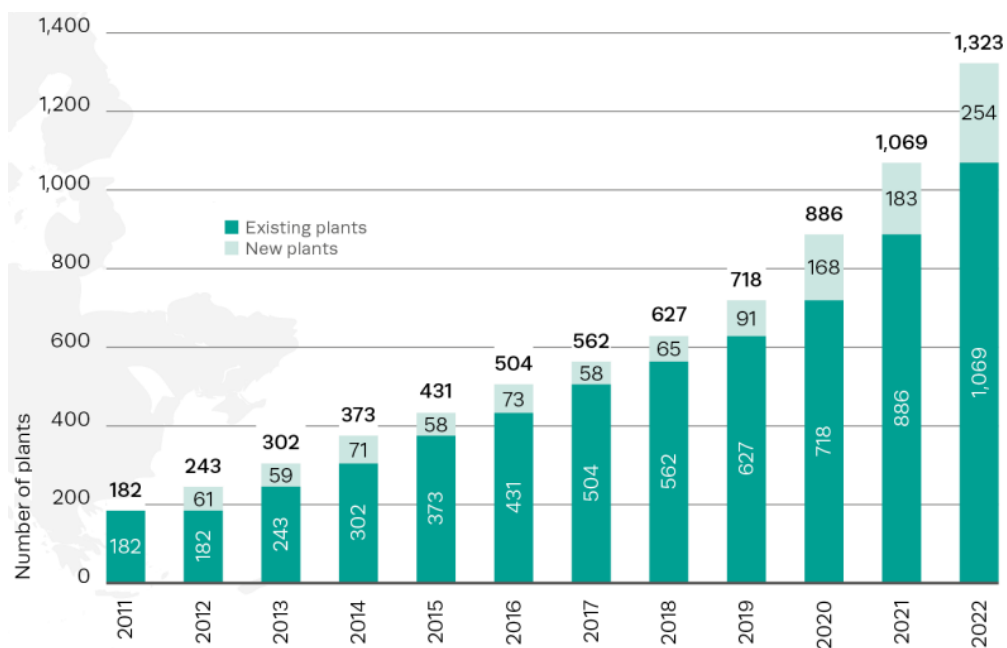
2.2.2 Situace v Evropě

Co se týče Evropy, podle nejnovějších dostupných statistických údajů z roku 2022 se v Evropě vyrobilo 21 miliard krychlových metrů bioplynu, z čehož 4,2 miliard krychlových metrů se čistí na biometan. To představuje 20 % z celkové produkce bioplynu, který se využívá k výrobě biometanu [6].



Graf 2.3 - Vyrobené množství biometanu a bioplynu v Evropě [6]

Zajímavé je, že od roku 2018 do roku 2022 vzrostla produkce biometanu o dvojnásobek. S tím je i spojen fakt, že jen v roce 2022 vzniklo nově 254 nových biometanových stanic. V Evropě je provozováno přibližně 20 000 bioplynových stanic a z toho je více než 1300 čističek, které konvertují bioply na biometan. Předpokládá se, že toto číslo bude nadále růst na základě cílů EU zvyšovat podíl biometanu [7]. Tuto prognózu lze vidět na následujícím grafu:



Graf 2.4 - Množství biometanových stanic v Evropě [6]

2.2.3 Situace v ČR

Podle aktuálních informací České bioplynové asociace je v současnosti v České republice přibližně 579 bioplynových stanic. Z tohoto počtu 399 stanic funguje v zemědělském sektoru, 98 je umístěno u čističek odpadních vod, 58 na skládkách, 13 ve průmyslových oblastech a 11 slouží k nakládání s odpady. Hlavním výstupem většiny těchto stanic je bioplyn, který je následně spalován a pomocí kogeneračních jednotek přeměněn na teplo a elektřinu [8]. Co se týče biometanu tak v České republice operuje pouze sedm licencovaných výrobců biometanu, jenž jsou společně s výrobní kapacitou uvedeny v následující tabulce:

Přehled výrobců biometanu v ČR		
Firma	Lokalita	Roční kapacita výroby
EFG Green gas	Rapotín (Šumperk)	1,6 mil. m ³
Zemědělské družstvo chovatelů a pěstitelů	Litomyšl	1,72 mil. m ³
Compag Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	1,28 mil. m ³
Organic technology	Horní Suchá (Karviná)	2,89 mil. m ³
GASEA	Herálec (Havlíčkův Brod)	1,2 mil. m ³

Tabulka 2.1 - Licencovaní výrobci biometanu [9]

2.3 Strategické dokumenty ČR a jejich vliv na rozvoj bioplynu a biometanu

Česká republika jakožto součást EU je zavázána plnit stanovené strategické cíle společně s ostatními členskými státy. K tomu účelu byl v ČR vytvořen Klimaticko-energetický plán (NKEP), klíčový dokument odpovídající na tyto cíle [10]. NKEP je vypracován v souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1999 o správě energetické unie a opatření v oblasti klimatu a zahrnuje cíle a politiky ve všech pěti rozměrech energetické unie na období 2021-2030 s ohledem na rok 2050. Jeho hlavním cílem je přispět k dosažení klimaticko-energetických cílů EU v oblasti snižování emisí, zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie a zvýšení energetické účinnosti [12].

Nyní budou představeny nejdůležitější cíle z pohledu bioplynových a biometanových stanic. Jedním z těchto hlavních cílů je dosažení 42,5% podílu obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie do roku 2030. „Konečná spotřeba energie“ je chápána jako veškerá energie dodávaná průmyslu, dopravě, domácnostem, službám a zemědělství (nezahrnuje dodávky do odvětví transformace energetiky a samotných energetických odvětví) [81]. Tento cíl je klíčovým krokem směrem k nahrazení zemního plynu, přičemž biometan je považován za ideální alternativu, protože je uhlíkově neutrální a zachovává stejné vlastnosti jako přírodní zemní plyn. Právě v oblasti plynárenství je jedním z

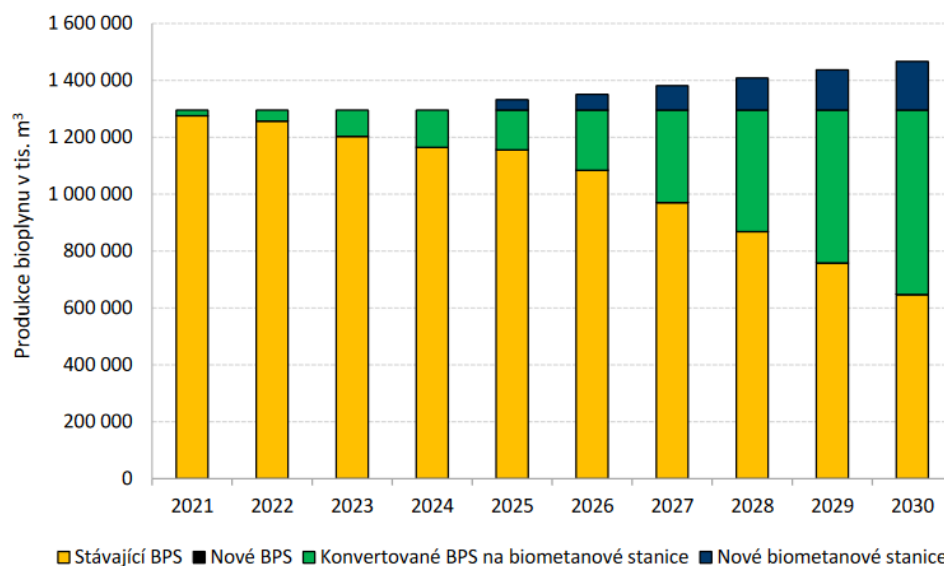
hlavních vrcholových cílů České republiky finančně a institucionálně podporovat transformaci stávajících bioplynových stanic na výrobu biometanu, stejně jako výstavbu nových biometanových stanic, stanic na výrobu syntetických plynů a zařízení na výrobu vodíku. Tento proces zahrnuje také jejich připojení do plynárenské soustavy [12].

Dalším hlavním cílem ČR je snížení emisí v souladu se závazky stanovenými v balíčku Fit for 55, s cílem přispět k dosažení klimatické neutrality EU do roku 2050. To zahrnuje snížení podílu fosilních paliv na spotřebě primární energie na 50 % do roku 2030 a na 0 % do roku 2050, spolu s úplným ukončením využívání uhlí pro výrobu elektřiny a tepla do roku 2033 [12].

Dalším významným evropským cílem je použití syntetického metanu (metan získaný pomocí procesu metanizace z vodíku a oxidu uhličitého [72]), biometanu a vodíku jako částečné náhrady zemního plynu, v souladu s evropskou vodíkovou strategií, balíčkem FIT for 55, plynovým a dekarbonizačním balíčkem a plánem REPowerEU. Česká republika je historicky jednou z nejvíce závislých zemí EU na dovozu ruských fosilních paliv, především zemního plynu, jehož podíl tvořil až 97% celkové spotřeby v roce 2021. Iniciativa REPowerEU směřuje k eliminaci této závislosti a urychlení rozvoje obnovitelných zdrojů energie [12]. Podle tohoto plánu by zvýšení udržitelné výroby biometanu na 35 miliard m³ do roku 2030 představovalo nákladově efektivní krok k dosažení cíle snížit dovozy zemního plynu z Ruska. S ohledem na zvýšení kapacity výroby bioplynu v EU a podporu jeho transformace na biometan se odhadované investiční potřeby v daném období odhadují na 37 miliard Eur. Kombinace opatření včetně zvýšení energetické účinnosti, substituce fosilních paliv, elektrifikace a zvýšené spotřeby obnovitelného vodíku, bioplynu a biometanu průmyslem by mohla do roku 2030 ušetřit až 35 miliard krychlových metrů zemního plynu [11].

Dále, v souvislosti s cílem podílu obnovitelných zdrojů energie (OZE) v sektoru dopravy, jsou připravena opatření, která by měla v období 2021-2030 částečně motivovat k transformaci části existujících bioplynových stanic na biometanové stanice nebo k vytvoření nových biometanových stanic. Tato konverze by se měla především týkat bioplynových stanic s nižším využitím užitečného tepla a umístěných v blízkosti vysokotlakých plynovodů [12].

Na následujícím grafu je zobrazena prognóza výroby bioplynu a biometanu. Je zřejmé, že je očekáván zvýšený zájem o konverzi bioplynu na biometan, přičemž do roku 2030 by mělo dojít k převaze ve výrobě biometanu.



Graf 2.5 - Očekávaná produkce bioplynu v rozdělení na stávající, konvertované a nové bioplynové stanice [12]

V rámci konkrétních plánů EU (National Energy and Climate Plans NECPs) pro Českou republiku v oblasti roční produkce biometanu je stanoveným cílem dosáhnout produkce 0,5 miliardy krychlových metrů biometanu do roku 2030. Je zajímavé, že například Dánsko si klade za cíl dosáhnout 100% nahrazení zemního plynu biometanem. Specifické hodnoty pro Českou republiku i ostatní země jsou uvedeny v následující tabulce [6]:

NECPs with 2030 biomethane target	
Czechia	0.5 bcm
Denmark	1.8 bcm 100% green gas in grid
Estonia	0.04 bcm (380 GWh)
France	4.15 bcm (44 TWh)
Greece	0.2 bcm (2.1 TWh)
Italy	5.7 bcm
Lithuania	0.13 bcm (1.4 TWh)
Netherlands	2 bcm
Slovakia	0.3 bcm
Slovenia	0.05 bcm (480 GWh)
TOTAL	15 bcm

Graf 2.6 - Cíle výroby biometanu do roku 2030 [6]

Na základě těchto strategických dokumentů a jejich cílů lze očekávat výrazný příliv finančních prostředků do sektoru bioplynových stanic. Tento příliv se pravděpodobně projeví novými investičními dotacemi na výstavbu nových zařízení a modernizaci stávajících bioplynových stanic. Současně lze předpokládat navýšení provozních dotací, což zvýší konkurenceschopnost bioplynových stanic

ve srovnání s konvenčními zdroji energie. Tyto změny by měly podnítit investory k větším investicím do sektoru bioplynových stanic, čímž se přispěje k dosažení cílů stanovených ve strategických dokumentech.

2.4 Podpora bioplynových stanic

V současné době je podpora bioplynových stanic realizována prostřednictvím provozních a investičních podpor. Tyto podpory jsou pro bioplynové stanice klíčové, protože bez nich téměř nejsou schopny konkurovat konvenčním zdrojům energie. Mezi aktuálně poskytované provozní podpory patří podpora v podobě výkupních cen a zelených bonusů, kdy tyto podpory nelze kombinovat a lze vybrat vždy jen jedna. Zelený bonus označuje příplatek, který se připočítává k tržní ceně například elektřiny či biometanu. Při podpoře prostřednictvím zelených bonusů si výrobce musí sám najít svého odběratele a s ním sjednat cenu [82]. „*V případě výkupních cen má povinně vykupující povinnost od výrobce vykoupit veškerý objem například elektřiny či biometanu za cenu stanovenou aktuálním cenovým rozhodnutím*“ [83]. „*Povinně vykupující je obchodník určený zákonem o podporovaných zdrojích energie, nebo je vybrán Ministerstvem průmyslu a obchodu. Výkupní cena obvykle přináší nižší výnosy, avšak zároveň nese nižší riziko*“. Obě tyto formy provozní podpory jsou pravidelně aktualizovány a zveřejňovány v cenových rozhodnutích Energetického regulačního úřadu [82].

Mezi další aktivní provozní podporu iniciovanou Evropskou komisí patří program pro Českou republiku na podporu výroby biometanu, kterou v současné době schválila Evropská komise. Ta chce investovat až 2,4 miliardy eur (téměř 59 miliard korun). Podpora bude mít formu zeleného bonusu připočítaného k prodejní ceně biometanu, aby byl konkurenceschopný se zemními plyny a bude vyplácena po dobu 20 let. Tato podpora je určena jak na výstavbu nových zařízení, tak na konverzi starších bioplynových stanic, které se specializují na výrobu zelené elektřiny. Tato podpora cílí k výrobě udržitelného biometanu, který může být buď vtlačěn do plynárenské soustavy, nebo dodáván na čerpací stanice a výdejní jednotky pro použití v různých oblastech – od dopravy až po vytápění. Výši podpory bude každoročně stanovovat Energetický regulační úřad. Tato podpora je především určena pro malé a střední podniky nebo společnosti pro obnovitelné zdroje, a to na projekty s instalovaným výkonem do 6 MW. Předpoklad je, že podporu z programu využijí zařízení s celkovou výrobou až 337 milionů m³ biometanu [9].

Kapitola 3:

Návrh možných variant rekonstrukce/modernizace

V této kapitole bude představena konkrétní bioplynová stanice a vhodné přístupy k řešení daného problému. Jak již bylo naznačeno v úvodu, konkrétní bioplynová stanice byla dimenzována tak, aby dokázala vyrábět dostatečné množství bioplynu, kterým dokáže efektivně zásobit kogenerační jednotku s výkonem 1 MW_e. Problém je však takový, že kvůli nedostatečné kapacitě distribuční sítě v dané lokalitě není umožněno dodávat takové množství elektřiny do sítě a kogenerační jednotka je omezena na výkon 550 kW_e. Z tohoto důvodu musela být přizpůsobena produkce bioplynu a není tak využit celý potenciál bioplynové stanice. Cílem je nalézt jiné řešení, respektive posoudit možnosti transformace bioplynové stanice, které umožní efektivní využití celého potenciálu při dodržení daného omezení.

3.1 Popis objektu

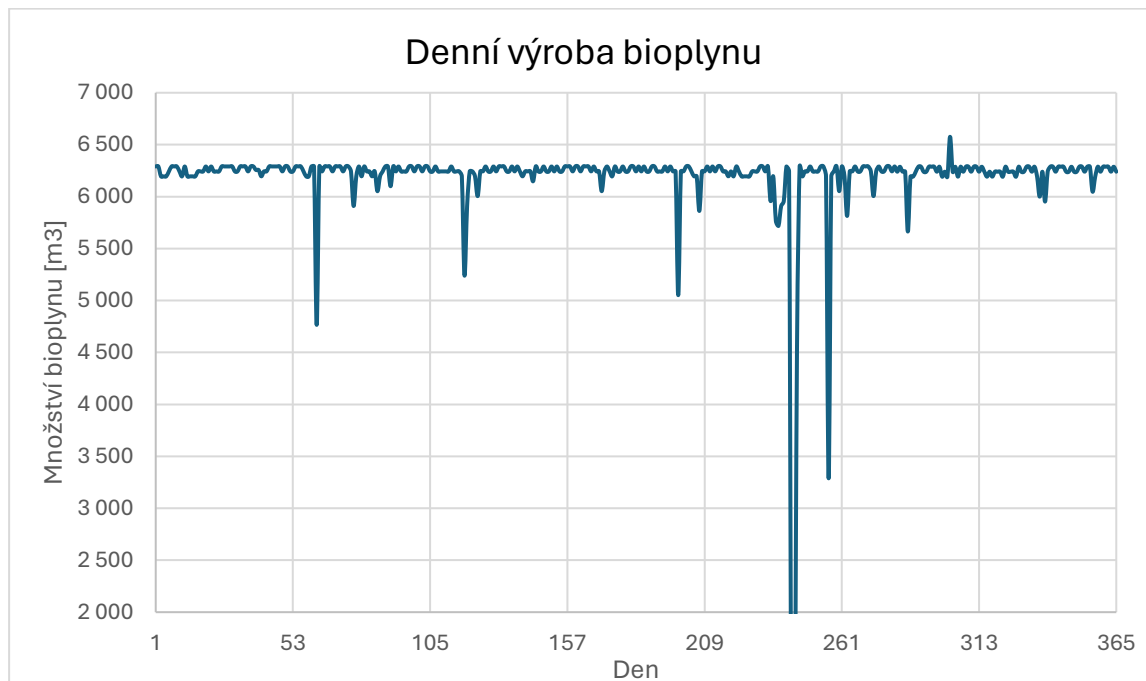
Bioplynová stanice se nachází v malé vesnici Slatina pod Hazmburkem a je součástí zemědělské společnosti HS Slatina. Její výstavba byla dokončena v roce 2012 za částku 90 milionů korun a následně uvedena do provozu v roce 2013.



Obrázek 3.1 - Bioplynová stanice ve Slatinách pod Hazmburkem

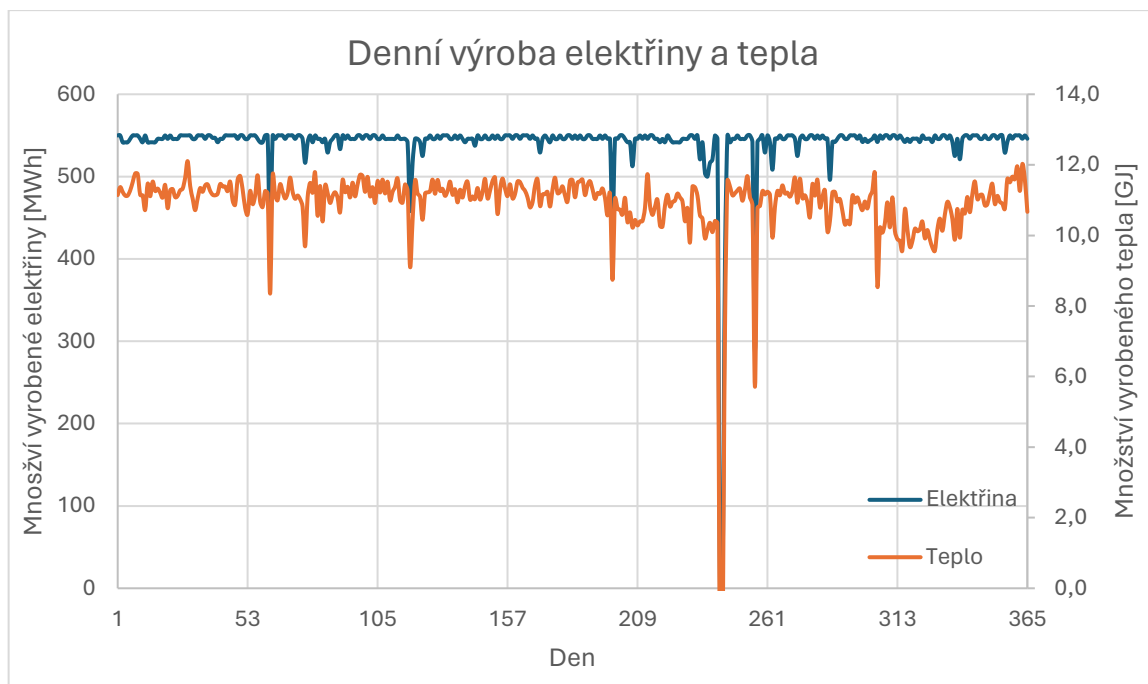
Stanice je obsluhována třemi zaměstnanci a slouží především k výrobě a prodeji elektřiny a dodávce tepla pro potřeby zemědělského podniku, místní hospody a obecního úřadu. Jedinečnost bioplynové stanice spočívá v počtu fermentorů, konkrétně v existenci dvou zastřešených fermentorů –

primárního a sekundárního, což umožňuje účinnější produkci a zachytávání vyrobeného bioplynu. Průměrná hodinová výroba bioplynu činí 258,3 m³/h, což ročně představuje 2,26 milionů m³ bioplynu. Průměrné složení bioplynu je 51 % metanu, 48 % oxidu uhličitého a 0,4 % dusíku. Denní výroba bioplynu je znázorněna na následujícím grafu:



Graf 3.1 - Výroba bioplynu za rok 2023

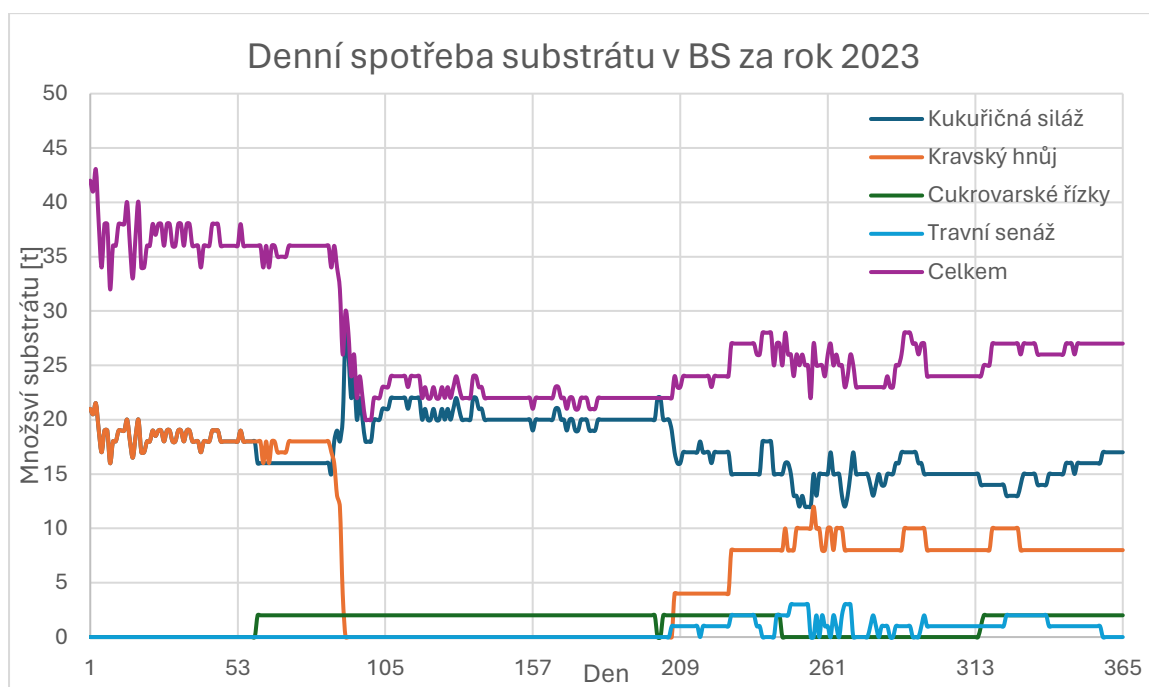
Pro výrobu elektřiny a tepla je využívána kogenerační jednotka s jmenovitým výkonem 1 MW_e, avšak aktuálně je využíváno po zaokrouhlení průměrně kolem 541 kW_e. Celková roční výroba elektřiny v bioplynové stanici činí brutto po zaokrouhlení 4736 MWh. Z této produkce se část využívá k pokrytí vlastní spotřeby bioplynové stanice, včetně udržování teploty ve fermentoru. Pokud jde o teplo, bioplynová stanice ročně vyprodukuje kolem 21 255 GJ, z čehož je 5 632 GJ tepla prodáno. Denní produkce elektřiny a tepla je graficky znázorněna níže:



Graf 3.2 - Výroba elektřiny a tepla za rok 2023

V grafu lze také vidět odstávku, kdy byla provedena revize kogenerační jednotky a výroba tepla a elektřiny klesla na nulu.

Mezi hlavní substráty využívané v bioplynové stanici patří kukuřičná siláž, kravský hnůj, cukrovarské řízky a travní senáž. Tyto substráty jsou získávány z vlastního chovu dobytka a z vlastních polí v poloměru přibližně do 20 km od stanice. Substráty jsou skladovány v silážních jámách přímo vedle stanice. Celkově se ročně spotřebuje přibližně za současné konfigurace 9 914 tun substrátu, což průměrně činí 27,2 tun substrátu na den. Detailní analýza spotřeby jednotlivých surovin v průběhu roku 2023 je vidět na následujícím grafu:



Graf 3.3 - Spotřeba substrátu za rok 2023

Při porovnání tohoto grafu s výnosem bioplynu lze pozorovat, že i přes téměř konstantní denní produkci bioplynu během celého roku dochází k významným změnám v celkovém spotřebovaném množství substrátu. Tento jev potvrzuje možnost dosažení podobného výnosu bioplynu pomocí různých kombinací substrátů nebo úpravou jejich zastoupení ve fermentoru. V důsledku těchto variací je častou praxí v bioplynových stanicích zaměstnávat biology, kteří monitorují fermentační proces a na základě získaných dat doporučují úpravy přidávání nebo odebrání substrátů. Příkladem může být situace v té stejné bioplynové stanici, kdy jiný provozovatel v minulosti dosahoval až o 50 % nižších výnosů bioplynu při stejném množství substrátu ve srovnání s aktuálním stavem.

3.2 Analýza možných variant

V této části dojde k postupnému seznámení s možnými variantami řešení a k jejich analýze.

3.2.1 Tepelná síť

Vzhledem k tomu, že se bioplynová stanice nachází přímo ve vesnici, otevírá se možnost využití jejího potenciálu pro zefektivnění využití tepla, tedy vybudováním infrastruktury, která by zajišťovala vytápění dalších domů ve vesnici. Toto řešení je běžně praktikováno po celém světě a pokud se bioplynová stanice pouze napojí na již existující infrastrukturu, je často velmi ekonomicky výhodná.

V tomto případě ve vesnici není k dispozici žádná infrastruktura pro distribuci tepla kromě již existujících připojení pro místní hospodu a obecní úřad. Plánované propojení by vyžadovalo rozsáhlé

stavební úpravy, včetně výkopů, a současně by bylo nezbytné získat souhlas obyvatel s dodávkou tepla a s případným zásahem do jejich domovů. Zároveň je patrný trend směřující k odklonu od tradiční centrální výroby tepla ve prospěch alternativních technologií, jako jsou například tepelná čerpadla. Zároveň je v České republice podporovaná aktuálně modernizace existujících tepelných sítí před jejich novou výstavbou [74]. Dalším důvodem je, že značná část vesnice se nachází v památkové oblasti a případná výstavba teplovodní sítě by musela vést výraznou oklikou. Tento fakt by vedl k významnému nárůstu investičních nákladů, neboť cena teplovodní sítě, dle informací získaných od projektantů, se pohybuje kolem 10 000 Kč za metr.

S ohledem na tuto situaci a možné komplikace je navrhovaná alternativa označena za nepraktickou a nevhodnou.

3.2.2 Konverze bioplynu na biometan

Dalším řešením, které se současně v praxi běžně vyskytuje, je konverze bioplynu na biometan. O biometan je v poslední době značný zájem, a to zejména proto, že je často považován za vhodnou alternativu k zemnímu plynu díky téměř identickým vlastnostem a patří mezi obnovitelné zdroje. Již nyní jsou stanoveny určité cíle pro zvýšení produkce biometanu (viz kapitola 2), což naznačuje ještě zvyšující se zájem a budoucí podporu této technologie.

Nicméně je tato alternativa spojena s výraznými počátečními výdaji a pokud nebude konverze biometanu nijak podporována, nemusí se investice do této technologie z ekonomického hlediska vůbec vyplatit. Přesto vzhledem k rostoucímu zájmu o biometan je tato varianta považována za zajímavou a bude podrobněji zpracována v rámci této práce.

Dále je zapotřebí zjistit, jak se vzniklým biometanem naložit. Naskytují se hned tři podvarianty, a to vtláčení biometanu do plynové sítě, stlačení biometanu (bio-CNG), anebo výstavba infrastruktury pro rozvod biometanu po vesnici.

Pokud jde o vtláčení biometanu do plynové sítě, je možné ho provést pouze v případě, že jde o vtláčení do středotlakých plynovodů. V případně jiných možností se velmi ojediněle udělují výjimky. Prostřednictvím porovnání geografické polohy bioplynové stanice ve Slatinách s mapou a informacemi poskytnutými společností GasNet [46] bylo zjištěno, že se bioplynová stanice nachází do 2 km od středotlakého plynovodu. V tomto případě by tedy bylo zapotřebí na takovou vzdálenost vystavět plynovou přípojku mezi bioplynovou stanicí a místem vtláčení. Dalším větším investičním výdajem je výstavba soustavy pro vtláčení biometanu do středotlaké sítě.

Alternativním přístupem k využití biometanu je **jeho stlačení (bio-CNG)** do speciálně upravených kontejnerových jednotek a následná distribuce pomocí autodopravy. Tento postup nevyžaduje

výstavbu rozsáhlého plynovodu ani vlačecí soustavy a lze ho v této podobě velmi snadno distribuovat. Přesto je tento způsob spojen s relativně vysokými investičními výdaji, které zahrnují investici do plnicí a stlačovací technologie, speciálně upravených kontejnerů a vhodného vozidla. Tato alternativa je považována za zajímavou a patří mezi řešení s vysokým potenciálem.

Mezi další varianty patří výstavba lokální **plynové soustavy**, díky které by se vyrobený biometan rozváděl po vesnici. Toto řešení by však bylo stejně jako v případě tepelné sítě spojené s rozsáhlými výkopovými pracemi a dlouhými jednáními s obyvateli vesnice. Obyvatelé by museli souhlasit s odběrem a s nevyhnutelnými zásahy do jejich domovů při napojení. Kvůli těmto okolnostem je toto řešení považováno za nevhodné a rizikové.

Další možností spojenou s výrobou biometanu je poskytování **služeb výkonové rovnováhy**. Tato možnost by zachovala schopnost výroby elektřiny a tepla a zároveň by investovala do metody konverze bioplynu na biometan. To by umožnilo výrobu obou produktů: v případě nedostatku elektřiny by se bioplyn spaloval v kogenerační jednotce a vyráběla elektřina a teplo, v ostatních případech by docházelo ke konverzi na biometan, který by se buď vtláčel či stlačel (viz. předchozí varianty). Současně by bylo možné získat dotaci v podobě zeleného bonusu na biometan a výkupní ceny/zeleného bonusu na elektřinu. Tento provozní model by zvýšil životnost, snížil roční náklady na údržbu a zvýšil výnos na jednotku investičních výdajů. Problémem však je, že tato varianta by vyžadovala výrazně vyšší investiční náklady a delší časový horizont provozu. Z těchto důvodů je tato varianta zamítnuta.

3.2.3 Odkoupení distribuční sítě nízkého napětí

Další možností by bylo odkoupení distribuční sítě nízkého napětí od distributora a vytvoření lokální sítě, do které by byla dodávána elektrická energie pocházející z bioplynové stanice. Tato varianta je však velmi nepravděpodobná, jelikož by bylo nutné získat souhlas a provést odkoupení lokální distribuční sítě. Neexistuje aktuálně žádný důvod, proč by distributor souhlasil s vytvořením konkurenční sítě. Z tohoto důvodů je tato varianta zamítnuta.

3.3 Vybrané varianty

Po provedené analýze byly vybrány dva vhodné kandidáti na řešení problému v bioplynové stanici ve Slatinách. Oba jsou spojeny s konverzí bioplynu na biometan, přičemž v jednom případě bude biometan vtláčen do plynové soustavy a v druhém případě bude biometan stlačován do nádob uložených v kontejnerové jednotce a následně distribuován dál. Tyto dvě varianty budou porovnány s tzv. nulovou variantou, ve které bude zachován aktuální stav, s výjimkou zvýšeného elektrického výkonu kogenerační jednotky na 1 MWe. Varianty jsou tedy následující:

- **Varianta 0:** Spalování bioplynu za účelem výroby elektřiny a tepla.
- **Varianta I:** Konverze bioplynu na biometan a jeho následné vtlačení do plynové soustavy.
- **Varianta II:** Konverze bioplynu na biometan a jeho následné stlačení a distribuce

Kapitola 4:

Metodika hodnocení ekonomické efektivity

V předchozí kapitole byly vybrány vhodné varianty, které budou podrobeny analýze. Aby však bylo možné výsledky jednotlivých variant porovnávat, je nejdříve zapotřebí definovat metodiku hodnocení ekonomické efektivity. Vhodné varianty budou posuzovány z dvou perspektiv: z pohledu rozvoje systému, tedy z pohledu celkové strategie rozvoje sektoru bioplynových stanic, a z pohledu konkrétního investora, neboli provozovatele současné bioplynové stanice.

4.1 Rozvoj systému

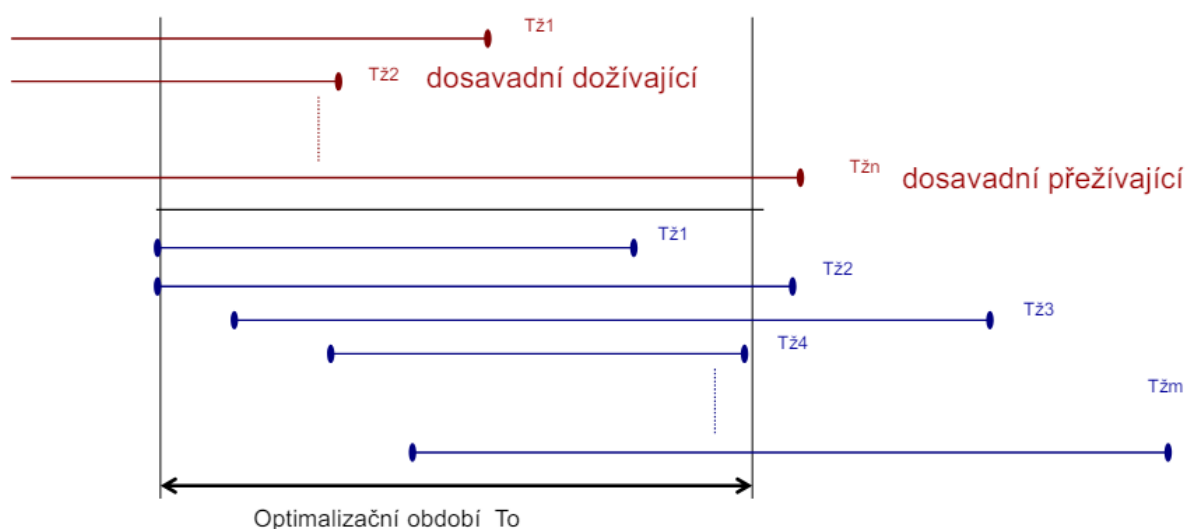
V potenciálních variantách se bude počítat s konverzí bioplynu na biometan. Klíčovou roli zde hraje cena výroby biometanu, která musí být taková, aby případné výsledky dosáhly srovnatelného nebo vyššího ekonomického efektu v porovnání s původním provozním scénářem bioplynové stanice, tj. využití bioplynu pouze pro výrobu elektřiny a tepla. Tato cena bude získána z pohledu tzv. rozvoje systému.

„Tato metoda předpokládá, že se systém (elektrizační, teplárenská, plynárenská soustava apod.) zpravidla nachází v nenulovém stavu, kdy existují dosavadní prvky a rozhoduje se o prvcích nových“ [48]. Nejde tedy o investici tzv. na zelené louce, ale spíše o transformaci již existujícího systému, u kterého se předpokládá, že bude provozován do nekonečna. Tento přístup se často uplatňuje u komplexních energetických systémů, kde se předpokládá neomezená doba provozu. V případě bioplynové stanice ve Slatinách však lze polemizovat ohledně toho, zda tento systém bude skutečně provozován do nekonečna [48].

Hlavní výhodou bioplynových stanic, která často bývá přehlížena, je jejich schopnost zpracovávat odpady. Tato schopnost pravděpodobně zůstane potřebná i v budoucnosti. Nicméně v bioplynové stanici ve Slatinách jsou zpracovávány substráty, které nejsou považovány za odpady a mohly by být využity úplně jiným způsobem v budoucnu. Pokud by měli být zpracovány odpady, museli by se pravděpodobně dovážet, což není jisté zda bude v budoucnu možné. Navíc není jisté, zda bude biometan nadále preferován jako v současnosti, nebo zda se například přejde ve velkém na vodík nebo se nevrátí zpět zemnímu plynu. I přes možnost rozsáhlých diskuzí o tomto tématu bude v této práci proveden rozvoj systému pro konkrétní varianty a následně budou výsledky porovnány s výsledky analýzy pohledu investora.

Pro použití rozvoje systému musí být splněny následující předpoklady [48]:

- 1) Rozvoj soustavy je optimalizovaný jen pro zadané optimalizační období, optimalizace po optimalizačním období T_0 se neřeší. Ekonomické důsledky prvků se však i po optimalizačním období respektují.
- 2) Doba porovnání je rovna nekonečnu, čímž dojde k zahrnutí veškerých dob životnosti jednotlivých variant
- 3) Prvky uvedené před začátkem optimalizačního období jsou nazývány dosavadní prvky. Ty lze dále rozdělit na dvě kategorie: přežívající a dožívající. Přežívající se nebudou během optimalizačního období vyřazovat, zatímco u dožívajících dojde k jejich vyřazení právě během tohoto období.
- 4) Prvky uvedené během optimalizačního období jsou nazývány nové prvky



Obrázek 4.1 - Dosavadní a dožívající prvky [48]

- 5) Od konce optimalizačního období se u nových prvků uvažuje s náklady ve výši posledního roku optimalizačního období. Po skončení doby životnosti nového prvku lze opakovat do ∞ jejich průměrné roční výrobní náklady.
- 6) Dožívající dosavadní prvky jsou nahrazeny prvky novými. U přežívajícího dosavadního prvku se po optimalizačním období do konce doby životnosti uvažují náklady posledního roku optimalizačního období
- 7) Předpokládá se konstantní diskont

Pokud jsou splněny dané předpoklady lze spočítat průměrné roční ekvivalentní toky jednotlivých variant, které lze mezi sebou porovnávat. Roční ekvivalentní toky lze vypočítat pomocí vzorce:

$$CF_{r\phi} = \sum_{j=1}^n a_{T_{zj}} \cdot N_{ijt} \cdot (1+r)^{-T_j} + r \cdot \sum_{t=1}^{T_0} CF_{pt} \cdot (1+r)^{-t} + CF_{pT_0} \cdot (1+r)^{-T_0} \quad (4-1)$$

kde:

$CF_{r\phi}$	-	Průměrný roční ekvivalentní tok hotovosti [Kč]
$a_{T_{zj}}$	-	Anuita za dobu životnosti prvku j [-]
N_{ijt}	-	Investiční výdaje prvku j [Kč]
r	-	Diskont [%]
n	-	Počet prvků [-]
T_j	-	Doba životnosti j-tého prvku; v případě přežívajících prvků je to zbývající životnost j-tého prvku [rok]
T_0	-	Optimalizační období [Rok]
CF_{pt}	-	celkový provozní hotovostní tok v t-tém roce, který je dán součtem provozních toků za roky [Kč]
CF_{pT_0}	-	celkový provozní hotovostní tok v posledním (známém) roce optimalizačního období

Pomocí toho způsobu lze zjistit průměrné roční ekvivalentní hotovostní toky jednotlivých navrhovaných variant, které lze díky těmto tokům snadno mezi sebou porovnávat.

4.2 Pohled investora

Z tohoto hlediska lze rekonstrukci bioplynové stanice považovat pouze za potenciální investiční příležitost, která může být přístupná dvěma různými způsoby. První přístup spočívá v rekonstrukci samotné bioplynové stanice, přičemž po dosažení doby, kdy bude nutné provést větší reinvestice (například do kogenerační jednotky), dojde k ukončení provozu a ostatní technologie (například soustava pro konverzi bioplynu), které nevyžadují výměnu, budou prodány. Tento postup však pravděpodobně povede ke špatným ekonomickým výsledkům, neboť počáteční výdaje na rekonstrukci jsou velmi vysoké.

Proto je preferován druhý přístup, který předpokládá srovnání variant po dobu 20 let, což odpovídá předpokládané životnosti nových technologií a zahrnuje nezbytné reinvestice. Tento přístup by měl vést k dosažení lepších ekonomických výsledků. Stejně jako u rozvoje systému se bude hledat taková cena biometanu, při které lze považovat varianty za totožné. K tomu bude použitý ekonomický ukazatel NPV, který bude popsán v následující části.

4.2.1 NPV

NPV (neboli čistá současná hodnota) je jeden z nejčastěji používaných ekonomických ukazatelů v praxi, díky kterému lze odhadnout ekonomický důsledek např. projektu či investice za dobu porovnání. V této diplomové práci se bude počítat konkrétně rozdílové NPV, které se často používá při porovnávání dvou nebo více možných scénářů či variant projektu. V tomto případě bude

porovnávána vždy nulová varianta s ostatními variantami. Jelikož se bude hledat taková cena biometanu, při které jsou z pohledu investora varianty ekonomicky identické, musí platit, že:

$$NPV_x = \sum_{i=0}^T \frac{CF_{var_x i} - CF_{var_0 i}}{(1+r)^i} = 0 \quad (4-2)$$

kde:

- $CF_{var_x i}$ - Očekávaná hodnota finančního cash flow varianty x v i -tém roce [Kč]
- $CF_{var_0 i}$ - Očekávaná hodnota finančního cash flow nulové varianty v i -tém roce [Kč]
- r - Diskont [%]
- T - Doba porovnání [rok]

Bude tedy hledána taková cena biometanu, při které je rozdílové NPV rovno 0, což znamená, že ekonomický dopad nulové varianty a porovnávané varianty bude stejný. Tato cena biometanu bude poté srovnávána s hodnotou biometanu získanou při rozvoji systému.

Kapitola 5:

Technicko-ekonomické vyhodnocení

V této kapitole bude provedeno technicko-ekonomické vyhodnocení jednotlivých řešení. Nejdříve budou zpracovány veškeré potřebné vstupní údaje, které budou v modelech použity. Pokud jsou vstupní údaje identické pro všechny varianty, budou rovnou detailněji zpracovány v části "společné vstupní údaje", včetně časového vývoje těchto údajů. V jednotlivých variantách pak budou tyto údaje pouze zmíněny. V modelu bude bioplynová stanice považována za samostatný subjekt z účetního hlediska. To znamená, že veškeré teplo nebo elektrina produkovaná bioplynovou stanicí a využívaná zbytkem družstva bude zúčtována tak, jako by byla družstvu prodávána.

5.1 Společné vstupní údaje

5.1.1 Bioplyn

Jak již bylo několikrát uvedeno, hlavním cílem je zajistit dostatečné množství bioplynu pro efektivní zásobování kogenerační jednotky s výkonem 1 MW_e. V současné době však produkce bioplynu dosahuje úrovně, která pokrývá maximálně spotřebu kogenerační jednotky při průměrném výkonu kolem 540 kW_e. Prvním krokem je proto vypočítat množství bioplynu potřebného pro zásobování kogenerační jednotky s výkonem 1 MW_e.

Na základě referenčních dat bylo zjištěno, že průměrná elektrická účinnost kogenerační jednotky činí 41,2 % a tepelná účinnost 46,8 %. Při tomto výkonu je potřeba 275 m³ bioplynu na výrobu 1 MWh elektrické energie. Pro výpočet potřebného množství bioplynu při změně výkonu nelze použít přímou úměru, protože zvýšení elektrického výkonu ze současné hodnoty na jmenovitou hodnotu

1 MW_e povede ke zvýšení elektrické účinnosti až o 4,2 %, zatímco tepelná účinnost se sníží o 2,8 % [76]. Potřebné množství bioplynu lze vypočítat pomocí vztahu:

$$B_{celk_{vyp}} = \sum_{t=1}^{365} \frac{I_{bt} \cdot 3,6 \cdot 1000}{H_t \cdot \eta_{el}} \quad (5-1)$$

kde:

$B_{celk_{vyp}}$	-	Vypočtené celkové množství potřebného bioplynu [m ³]
I_{bt}	-	Denní brutto výroba elektriny den t [MWe]
H_t	-	Výhřevnost bioplynu v den t [MJ/m ³]
η_{el}	-	Elektrická účinnost kogenerační jednotky v den t [%]
t	-	Den [-]

Tímto způsobem lze nyní vypočítat celkové vypočtené potřebné množství bioplynu pro zásobování kogenerační jednotky s elektrickým výkonem 1 MW_e.

Ukázkový příklad denní potřeby bioplynu 1.1.2024:

$$B_{1.1.2024_{vyp}} = \frac{1000 \cdot 3,6 \cdot 24}{18,8 \cdot 0,4439} = 10\,353 \text{ m}^3$$

Pro den 1. 1. 2024 je tedy zapotřebí 10 353 m³ bioplynu. Pomocí tohoto postupu lze získat výsledné potřebné množství bioplynu na celý rok, které činí 3 836 532 m³. Při přepočteném jmenovitém výkonu se také snížilo potřebné množství bioplynu na výrobu jedné MWh_e z 275 na 257,3 m³.

5.1.2 Substráty

Nyní je zapotřebí zjistit takové množství substrátu, díky kterému bude možné získat 3 836 532 m³ bioplynu. Tento úkol je však bez detailní analýzy složení konkrétních substrátů obtížný. Proto bude proveden zjednodušený výpočet, při kterém výsledné množství potřebného substrátu bude přepočteno na základě referenčních hodnot z roku 2023. Je důležité poznamenat, že s rostoucím množstvím substrátu se mění i chování anaerobní digesce a potřebné množství substrátu na výrobu 1 m³ bioplynu se může zvyšovat, tzv. neplatí přímá úměrnost. Jinými slovy při zvyšování produkce se mohou zvyšovat mezní náklady na substráty. Pro výpočty se bude předpokládat nulové navýšení ($\mu=0$), přičemž na konci bude provedena citlivostní analýza pro jednotlivé varianty, zaměřená právě na parametr zvýšení potřebného množství substrátu na výrobu 1 m³ bioplynu. Množství spotřebovaného substrátu lze vypočítat pomocí následujícího vztahu:

$$S_{celk_x} = \sum_{t=1}^{365} S_{t_x} \cdot \left(1 + \left(\left(\frac{B_{t_{vyp}}}{B_{t_{ref}}} - 1 \right) \cdot (1 + \mu) \right) \right) \quad (5-2)$$

kde:

S_{celk_x}	-	Celkové množství spotřebovaného substrátu x při změně el. výkonu za rok [t]
S_{t_x}	-	Referenční množství spotřebovaného substrátu x za den t [t]
$B_{t_{vyp}}$	-	Celkové množství potřebného bioplynu v den t [m ³]
$B_{t_{ref}}$	-	Celkové referenční množství potřebného bioplynu v den t [m ³]
μ	-	Parametr zvýšení potřebného množství substrátu [%]
t	-	Den [-]

Tímto způsobem přepočtené celkové hodnoty jednotlivých substrátů spolu s původními hodnotami jsou zobrazeny v následující tabulce a grafu:

Ukázkový příklad přepočtu potřebného množství kukuřičné siláže při nulovém navýšení na den 1.1.2024:

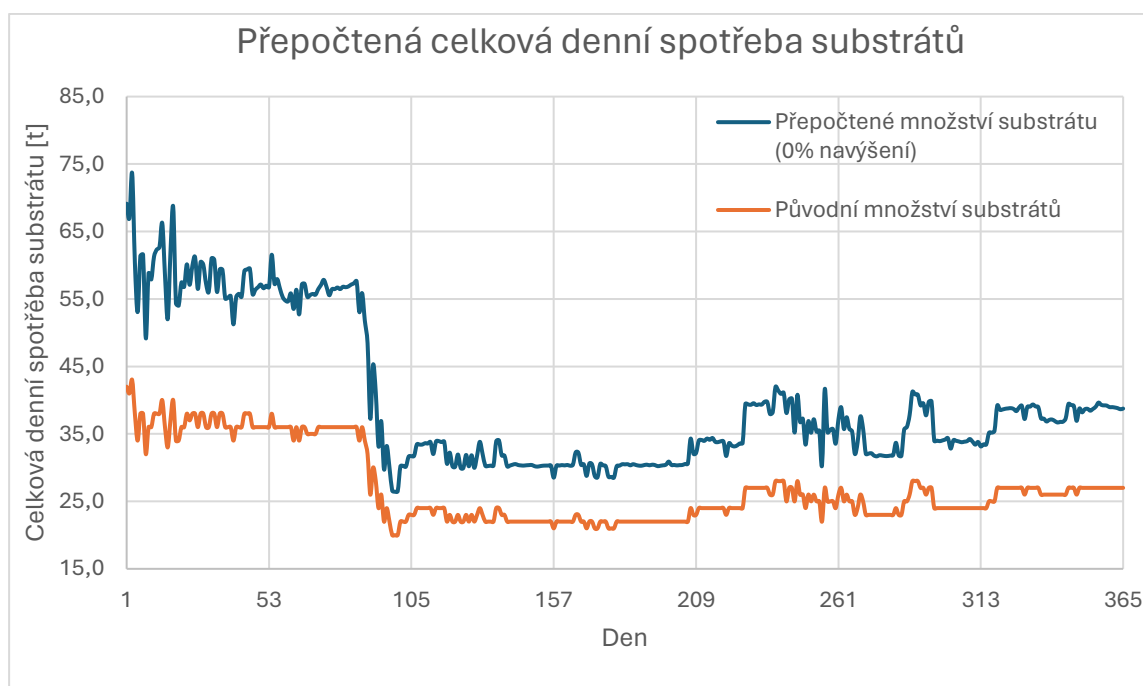
$$S_{celk_x} = \sum_{t=1}^{365} 21 \cdot \left(1 + \left(\left(\frac{10\,353}{6291} - 1 \right) \cdot (1 + 0) \right) \right) = 34,56 \text{ t}$$

Tímto způsobem bude přepočtena spotřeba jednotlivých substrátů pro každý den. Výsledný součet ročního referenčního a přepočteného potřebného množství lze vidět v následující tabulce:

Typ substrátu	Referenční spotřeba substrátů za rok	Přepočtená spotřeba substrátu za rok
Kukuřičná siláž	6 394 t	9255 t
Kravský hnůj	2 870 t	4 341 t
Cukrovarské řízky	467 t	665 t
Travní senáž	184 t	262 t
Celkové množství	9 914 t	14 521 t

Tabulka 5.1 – Přepočtené množství substrátů

Denní původní a přepočtenou celkovou spotřebu substrátu lze vidět v následujícím grafu:



Graf 5.1 - Přepočtená denní spotřeba substrátů

I přes to, že vypočítané množství substrátu je téměř dvojnásobné, stále ho bude možné plně dodávat z vlastní produkce z okolních farem a kravínů, včetně jeho zpracování a uskladnění. Je však ale možné, že to povede k navýšení dopravních nákladů. Tento fakt bude ve výpočtech zanedbán. Nicméně nastává otázka, zda bude v takovém množství substrát moci dodávat po celou dobu

porovnání. Může se stát, že se například využití kukuřice pro výrobu biopaliv nebude podporováno a bude se muset používat jiný substrát, nebo se takovým způsobem změní klimatické podmínky a úrodnost, že nebude možné v takovém množství vyprodukovat tolik substrátu v okolí. V obou případech by se pravděpodobně muselo přejít na jiný typ substrátů, což by mohlo velmi ovlivnit ekonomicko-technické výsledky bioplynové stanice. V tomto případě se bude počítat s takovým předpokladem, že v každém roce bude bioplynová stanice dostatečně zásobována stejným množstvím substrátu pocházejícím z vlastní výroby.

Protože veškeré substráty pocházejí z vlastní produkce a jsou uskladněny, dopraveny a zpracovávány vlastní technikou, jsou tyto ceny v rámci podniku mnohem nižší než v případě nákupu substrátů. Aktuální ceny jednotlivých typů substrátu pro rok 2024 jsou získány přímo od provozovatele bioplynové stanice a jsou prezentovány v následující tabulce:

Typ substrátu	Cena za 1 tunu substrátu
Kukuřičná siláž	1 250 Kč
Kravský hnůj	500 Kč
Cukrovarské řízky	600 Kč
Trávní senáž	800 Kč

Tabulka 5.2 - Cena substrátů

Nicméně nastává otázka, zda by se k těmto cenám nemělo započítat tzv. opportunity cost a počítat s tržní cenou. Provozovatel má totiž možnost buď dané substráty prodávat, nebo je použít v bioplynové stanici. Příkladem může být cena kukuřičné siláže na online tržišti která za tunu vychází na 2200 Kč [75]. Z těchto důvodů bude na konci provedena citlivostní analýza na změnu cen za tunu substrátu.

Celková cena přepočteného množství substrátů pro první rok podle těchto cen je znázorněna v následující tabulce:

Typ substrátu	Celková cena substrátu
Kukuřičná siláž	11 589 218 Kč
Kravský hnůj	2 174 058 Kč
Cukrovarské řízky	399 837 Kč
Trávní senáž	209 420 Kč

Tabulka 5.3 - Celková cena přepočtených substrátů za rok 2024

Tyto ceny budou v modelu v následujících letech eskalovány dle inflace

5.1.3 Separát

Se substráty úzce souvisí digestát neboli zbytky materiálu po procesu anaerobní digesce. Podle údajů získaných od provozovatele bioplynové stanice se každoročně vytvoří přibližně 2750 tun separátu, který lze využít jako hnojivo na pole a bude prodáván družstvu za 500 Kč dle údajů poskytnutých provozovatelem.

Množství separátu třeba přepočítat dle vztahu:

$$M_{sp} = \frac{M_s}{S_t} \cdot S_{celk} \quad (5-3)$$

kde:

- M_{sp} - Celkové přepočtené množství vzniklého separátu [t]
- M_s - Celkové referenční množství vzniklého separátu [t]
- S_t - Celkové referenční množství spotřebovaného substrátu [t]
- S_{celk} - Celkové přepočtené množství spotřebovaného substrátu [t]

Pomocí tohoto vztahu je vypočtené množství vzniklého separátu za rok:

$$M_{sp} = \frac{2\,750}{9\,914} \cdot 14\,548 = 4035 \text{ tun}$$

Výsledné vypočtené hodnoty lze vidět v následující tabulce:

Celkové referenční množství separátu	2 750 t
Celkové přepočtené množství separátu	5 086 t
Cena za 1 t separátu	500 Kč/t
Celková cena přepočteného množství separátu	2 017 655 Kč

Tabulka 5.4 - Přepočtené množství vzniklého separátu

Jelikož je předpokládáno konstantní množství spotřebovaného substrátu, lze očekávat i stále množství vytvořeného separátu. Cena tohoto separátu, který slouží jako hnojivo, bude každoročně zvyšována v souladu s inflací. Nicméně v tomto případě by šlo i zvážit, zda se s časem nenavýší poptávka po tomto biologickém hnojivu, protože jeho ekologické vlastnosti mohou vést v budoucnu k rostoucímu zájmu o toto hnojivo, což by mohlo znamenat vyšší nárůst ceny nejen v souladu s inflací.

5.1.4 Elektřina

V současné době je ročně spotřebováno 425 MWh elektřiny na provoz bioplynové stanice. Tato spotřeba zahrnuje jak vlastní spotřebu kogenerační jednotky, režijní spotřebu, tak i elektřinu

využívanou k udržování teploty ve fermentoru. Energii potřebnou k provozu bioplynové stanice je třeba přepočítat pomocí následujícího vztahu:

$$V_{sp} = \frac{P_n}{P_{ref}} \cdot V_{sref} \quad (5-4)$$

kde:

V_{sp}	-	Celková přepočtená vlastní spotřeba [MWh]
P_n	-	Požadovaná hodnota výkonu [kW]
P_{ref}	-	Referenční průměrná roční hodnota výkonu [kW]
V_{sref}	-	Celková referenční vlastní spotřeba [MWh]

Po dosazení vychází přepočtená roční vlastní spotřeba bioplynové stanice na 773 MWh. Tato hodnota však zahrnuje přepočtenou režijní spotřebu, která by měla být nezávislá na změně výkonu bioplynové stanice. Bez energetického auditu však nelze tuto hodnotu přesně stanovit, a proto bude v rámci přepočtu i režijní spotřeba navýšena. Z tohoto důvodu bude na konci provedena citlivostní analýza zaměřená na vlastní spotřebu, aby se zjistilo, jak moc jsou ekonomické výsledky citlivé na tuto hodnotu.

Neregulovaná složka elektřiny

Predikce vývoje ceny silové elektřiny je nesmírně komplexní úkol, který se často považuje za téměř nemožný. Proto se bude počítat s relativně konzervativním přístupem, kdy se použije současná cena silové elektřiny a ta bude v následujících letech eskalována inflací. V současné době se cena silové elektřiny pohybuje okolo 92 EUR/MWh.

Regulovaná složka elektřiny

Pro stanovení ceny elektřiny, kterou je v případě potřeby nutné nakoupit, je nezbytné určit regulovanou složku elektřiny. Podle dostupných aktuálních informací ze stránek Energetického regulačního úřadu, konkrétně z Energetického regulačního věstníku [53], byla vypočtena finální variabilní složka nakoupené elektřiny ve výši 3932 Kč/MWh.

Nicméně tato hodnota se bude v následujících letech pravděpodobně velmi měnit, jelikož se očekávají na základě strategických cílů, významné investice do přenosových a distribučních soustav, což se velmi projeví právě na regulované složce. Tato změna bude hodně záležet na tom, kolik budou investovat sami distributoři a kolik půjde z evropských dotací.

Dále je rovněž nutné každoročně platit za fixní regulovanou složku, a to bez ohledu na množství odebrané energie. Podle dostupných informací činí tato složka 10 250 Kč ročně. Obě tyto hodnoty budou v následujících letech upravovány v souladu s inflací.

Výkupní cena elektřiny

Výkupní cena vyrobené elektřiny v bioplynových stanicích je určena na základě cenového rozhodnutí zveřejněného na webových stránkách Energetického regulačního úřadu. Výkupní cena elektřiny je stanovena na výši 3364 Kč/MWh. [61]. V následujících letech bude hodnota elektřiny eskalována dle inflace. Důležité je zmínit, že na výrobu elektřinu v bioplynové stanici lze pobírat provozní podporu pouze po dobu 20 let od zahájení provozu. Protože tato provozní podpora skončí po roce 2032, elektřina vyrobená po tomto datu bude prodávána pouze za tržní cenu silové elektřiny.

5.1.5 Tepelná energie

V bioplynové stanici aktuálně vzniká při kogeneraci přibližně 21 255 GJ tepla, z něhož je výsledně distribuováno po odečtení ztrát 5 633 GJ do areálu družstva, obecního úřadu a hospody pomocí tepelných rozvodů, které jsou ve vlastnictví družstva. Vlastní spotřeba cirkulačních čerpadel z pohledu bioplynové stanice nebude tedy započítána. Zbytek nevyužitého tepla je vypouštěn do ovzduší. Předpokládá se, že kvůli úsporným opatřením a nadprůměrným venkovním teplotám bude každoročně spotřeba tepla v prostorech areálu, v obecním úřadě a v hospodě každoročně klesat. Podle tiskové zprávy Energetického regulačního úřadu došlo v sektoru teplárenství k meziročnímu poklesu množství vyrobeného tepla o 7,1 % [23]. Tuto hodnotu lze však stále přičíst reakcím na koronavirovou krizi. Je proto nutné se zaměřit na vývoj spotřeby tepla před krizí, kdy roční pokles tepelné energie činil 2,4 % [24]. Tato hodnota bude použita jako odhad meziročního poklesu spotřeby tepla.

Cena tepelné energie

Cena tepelné energie byla stanovena pomocí údajů zveřejněných na webových stránkách Energetického regulačního úřadu, kde jsou dostupné informace o cenách tepelné energie v České republice za rok 2023 [52]. Z těchto údajů bylo vybráno 20 náhodných výroben, které pro výrobu tepelné energie využívají bioplyn, a byla spočítána jejich průměrná cena, která činí 436 Kč/GJ čistě za teplo. Tato cena je následně v dalších letech upravována podle míry inflace.

5.1.6 Inflace, diskont a kurz

Inflace

V této diplomové práci bude většina cen eskalována pomocí inflace. Ideálním postupem by však bylo využití cenových indexů průmyslových či zemědělských výrobců, identifikace jednotlivých kategorií a následný výpočet meziročního nárůstu cen pro konkrétní položky na základě regresní analýzy. Kvůli pandemii však u těchto cenových indexů došlo k enormním meziročním výkyvům, což tento postup značně znehodnocuje. Proto bude pro zjednodušení použita inflace, i když tento přístup není zcela optimální. Prognóza inflace byla získána od České národní banky, která naznačuje, že od roku 2024 dojde k postupnému poklesu inflace z aktuální úrovně 2,3 % na 2 %, kde se nakonec ustálí [50].

Diskont

Vzhledem k vysokým investičním výdajům bude nutné financovat jednotlivé varianty částečně pomocí cizího kapitálu. Z tohoto důvodu bude diskontní sazba rovna vážené průměrné ceně kapitálu (WACC), která zahrnuje financování jak cizím, tak vlastním kapitálem. Diskontní sazbu lze vypočítat pomocí následujících vzorců:

$$WACC = \frac{E}{D + E} \cdot r_e + \frac{D}{D + E} \cdot r_d \cdot (1 - t)$$

$$r_e = r_f + \beta_L \cdot ERP \quad (5-5)$$

$$\beta_L = \beta_U \cdot \left[1 + \frac{D}{E} \cdot (1 - t) \right]$$

kde:

<i>WACC</i>	-	<i>Vážená průměrná cena kapitálu [%]</i>
<i>E</i>	-	<i>Vlastní kapitál [Kč]</i>
<i>D</i>	-	<i>Cizí kapitál [Kč]</i>
<i>r_e</i>	-	<i>Náklady na vlastní kapitál [%]</i>
<i>r_d</i>	-	<i>Náklady na cizí kapitál [%]</i>
<i>t</i>	-	<i>Daňová sazba [%]</i>
<i>r_f</i>	-	<i>Bezriziková míra výnosu [%]</i>
<i>β_L</i>	-	<i>Koeficient beta zadlužený [-]</i>
<i>ERP</i>	-	<i>Equity risk premium</i>
<i>β_U</i>	-	<i>Koeficient beta nezadlužený [-]</i>

Během konzultace s expertem z CZ Biom byly získány informace, že podobné projekty se obvykle financují z 70 % cizím kapitálem a z 30 % vlastním kapitálem. Nicméně tento poměr se vždy liší v závislosti na požadavcích daného investora. V této práci bude použit tento poměr, přičemž 70 %

investičních výdajů bude financováno úvěrem s úrokovou mírou 6,9 % [21]. Jako bezrizikový výnos jsou zvoleny státní dluhopisy České republiky s platností 10 let, jejichž míra výnosu je 3 % [84]. Equity Risk Premium (ERP) vyjadřuje dodatečný výnos investora nad bezrizikovou sazbu. Pro Českou republiku tuto hodnotu stanovil odborník profesor Aswath Damodaran na svých stránkách na 5,48 % [85]. Nezádlužená beta měří rizikovost trhu, zatímco zadlužená beta měří rizikovost daného podniku vzhledem k rizikovosti trhu. Pokud je koeficient zadlužené bety přesně roven jedné, znamená to, že daný podnik má stejnou míru rizika jako trh. [87]. Vyšší zadlužení obvykle zvyšuje hodnotu zadlužené bety [86]. Hodnotu nezádlužené bety lze získat znovu z webových stránek profesora Damodarana pro jednotlivá odvětví. Jelikož jsou bioplynové stanice nejčastěji součástí zemědělských družstev, bylo zvoleno odvětví zemědělství, jehož hodnota nezádlužené bety je 0,77. Nyní jsou k dispozici veškeré hodnoty jednotlivých proměnných a lze je dosadit do vzorců:

$$\beta_L = 0,77 \cdot \left[1 + \frac{0,7}{0,3} \cdot (1 - 0,21) \right] = 2,1894$$

$$r_e = 0,03 + 2,1894 \cdot 0,0548 = 0,15$$

$$WACC = 0,3 \cdot 0,15 + 0,7 \cdot 0,069 \cdot (1 - 0,21) = 0,0832$$

Vypočtený diskont je tedy 8,32 %. V porovnání s referenční hodnotou diskontu stanovenou ve vyhlášce č. 79/2022 Sb., která činí 6,12 % [56], je zde rozdíl 2,2 %. Tento rozdíl může být způsoben rozdílnou kapitálovou strukturou při výpočtu nebo časovým vývojem vstupních hodnot, jelikož referenční hodnota byla stanovena v roce 2012, anebo tím, že je riziková přirážka v tomto odvětví nižší, než je pro celou ČR. Tato vypočtená hodnota bude považována za konstantní po celou dobu trvání projektu.

Kurz

Pokud jde o kurzy, byl zachován konzervativní přístup, při kterém se předpokládá konstantní kurz po celou dobu projektu. Bude použita průměrná hodnota za rok 2024, která činí 25,07 Kč/EUR [88].

5.1.7 Údržba

Bioplynová stanice vyžaduje pravidelnou údržbu a čištění, zejména kvůli agresivnímu prostředí, které nejvíce ovlivňuje čerpadla, vrtulová míchadla a krmné vozy. Proto je nezbytné tyto komponenty pravidelně opravovat a udržovat. Náklady na údržbu a opravu se dle různých zdrojů shodují na 2 % z počáteční investice do bioplynové stanice [79]. Po přepočtu dle míry inflace na aktuální rok činí tato částka 687,5 tisíc Kč. Tato hodnota bude dále upravována v souladu s mírou inflace.

5.1.8 Zaměstnanci

Chod bioplynové stanice je z velké části automatizován, což minimalizuje potřebu zaměstnanců. Aktuálně se o chod stará tříčlenný tým zaměstnanců. Pro výpočet jejich mzdy byla použita průměrná mzda za rok 2024 ve výši 44 000 Kč [57]. Dále je zapotřebí připočítat sociální a zdravotní pojištění, které za obě položky činí 14 872 Kč [89]. Další vedlejší náklady jako Celkové náklady na zaměstnance ročně činí 2 119 392 Kč. Tato částka je v dalších letech upravována inflací.

5.1.9 Doba porovnání

Podle vyhlášky č. 79/2022 Sb. o technicko-ekonomických parametrech pro stanovení referenčních výkupních cen a zelených bonusů je doba životnosti nové čističky na biometan i bioplynové stanice stanovena na 20 let [56]. Z tohoto hlediska by odpovídala aktuálně doba životnosti bioplynové stanice do roku 2033. Nicméně, za předpokladu provádění pravidelné údržby a nutných reinvestic může životnost bioplynové stanice vzrůst až na 30 let [78], což by odpovídalo životnosti do roku 2043. Bude se tedy počítat s dobou porovnání 20 let do roku 2043, přičemž se bude počítat s potřebnými reinvesticemi a pravidelnou údržbou.

5.1.10 Financování

V rámci modelu je předpokládáno, že pro veškeré investice a reinvestice bude použit úvěr s dobou splatnosti 10 let a úrokovou sazbou 6,9 % [21]. Jelikož se jedná o rozhodovací úlohy, nebudou v této práci tzv. utopené náklady brány v potaz (viz. financování investičních výdajů spojených s bioplynovou stanicí v roce 2012). Výpočet anuitních splátek bude proveden pomocí funkce v excelu pod názvem „PLATBA“. Výpočet úroků bude proveden pomocí funkce „PLATBA.ÚROK“.

5.1.11 Odpisy

Zavedení daňových odpisů představuje základní nástroj, který umožňuje podnikům rozprostřít náklady spojené s investicemi do víceletého období. Existují dva hlavní typy daňových odpisů: rovnoměrné a zrychlené. Volba mezi nimi závisí na konkrétní situaci a potřebách podniku. Zrychlené odpisování umožňuje vyšší využití nákladů v počátečních letech, což může být výhodné v určitých případech. Naopak rovnoměrné odpisování umožňuje rozložení nákladů rovnoměrně po celou dobu odpisování. Je důležité správně vybrat typ odpisování, který nejlépe odpovídá specifickým potřebám a cílům podniku. Výši daňových odpisů stanovuje zákon o daních z příjmu. Vzorec pro výpočet rovnoměrného a zrychleného odpisování lze vyjádřit následovně:

$$O_{ro_{x_1}} = \frac{Investice}{2T_x - 1} \quad (5-6)$$

$$O_{ro_{x_n}} = 2 \cdot O_{ro_{x_1}}$$

$$O_{zr_{x_1}} = \frac{\text{Investice}}{T_x}$$

$$O_{zr_{x_n}} = \frac{2 \cdot (T - t + 1)}{T_x^2}$$

kde:

- $O_{ro_{x_1}}$ - Rovnoměrné odpisy x -té položky v prvním roce [Kč]
- $O_{ro_{x_n}}$ - Rovnoměrné odpisy x -té položky v dalších letech, kromě prvního roku odpisování [Kč]
- $O_{zr_{x_1}}$ - Zrychlené odpisy x -té položky v prvním roce [Kč]
- $O_{zr_{x_n}}$ - Zrychlené odpisy x -té položky v t -roku, kromě prvního roku odpisování [Kč]
- T - Doba odpisování x -té položky
- t - Doba od začátku odpisování

Doba odpisování jednotlivých položek je určena podle příslušnosti položky do odpisových skupin. Tyto odpisové skupiny jsou uvedeny v následující tabulce:

Odpisová skupina	Příklad	Počet let odpisování
1	Kancelářské stroje a počítače, televizní kamery	3
2	Obráběcí a tvářecí stroje, stavební stroje, nákladní i osobní automobily	5
3	Mosty, turbíny, el. motory, výměníky tepla, klimatizační zařízení, lodě	10
4	Budovy ze dřeva a plastů, oplocení, stožáry, energetická výrobní díla	20
5	Většina budov a staveb, bytů a nebytových prostor a jednotek, silnice	30
6	Administrativní budovy, velká obchodní domy, muzea, hotely	50

Tabulka 5.5 - Odpisové skupiny [50]

V této práci se nebude počítat s daňovými odpisy investic, které vnikly před rokem 2024 a jsou ve všech variantách stejné. Nemá tedy smysl s nimi počítat. Doba odpisování jednotlivých nových položek, je uvedena v následující tabulce:

Položka	Investice [Kč]	Odpisová skupina [-]	Uvedení do provozu [Rok]	Doba odpisování [Počet let]
Krmný vůz	15 238 659	2	2032	5
Krmný vůz	18 575 840	2	2042	5

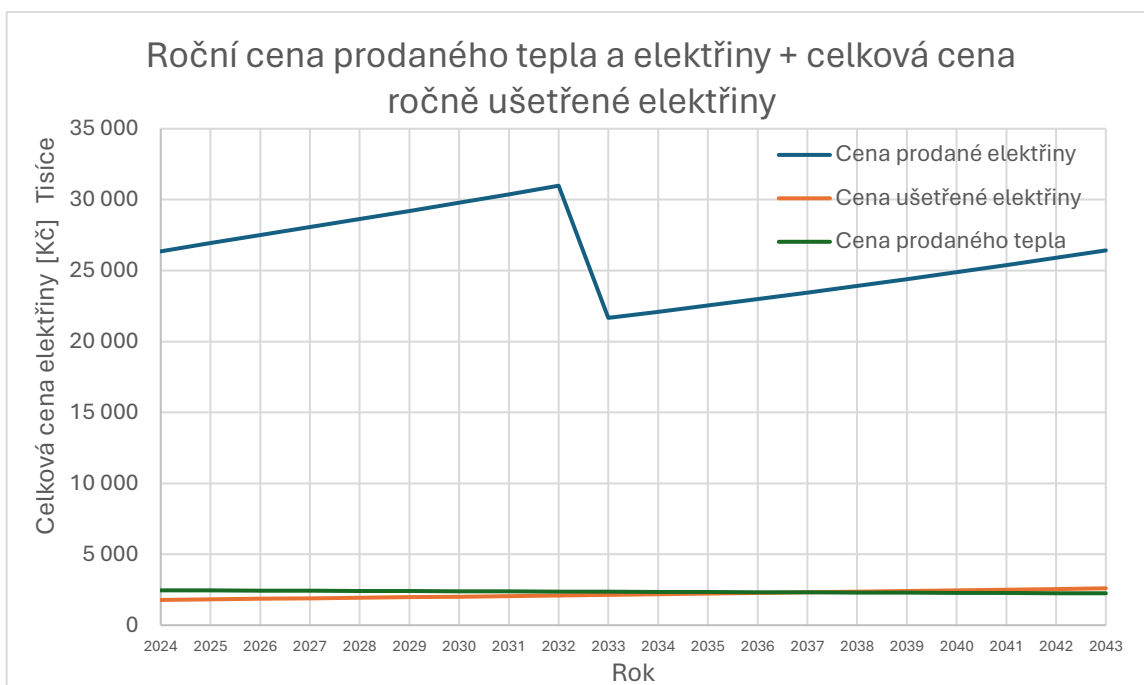
Tabulka 5.6 - Odpisování položek ve společné části

5.2 Varianta 0: Spalování bioplynu za účelem výroby elektřiny a tepla

Tato varianta je označena jako nulová, neboť představuje hypotetický scénář, který není aktuálně proveditelný, avšak slouží jako referenční bod pro porovnání s ostatními variantami. V této variantě je předpokládáno navýšení výroby bioplynu na úroveň, která by byla dostatečná k efektivnímu zásobení kogenerační jednotky s jmenovitým výkonem 1 MW_e.

5.2.1 Elektřina a tepelná energie

Při zvýšení elektrického výkonu bioplynová stanice vyrobí brutto 8 610 MWh elektřiny a 33 286 GJ tepla ročně. Každý rok se určitá část elektřiny, konkrétně 773 MWh, využije na vlastní potřeby stanice, zatímco zbývající část se prodá. Výslední cena prodané elektřiny, elektřiny využitě na vlastní potřebu a cena prodaného tepla za dobu porovnání je zobrazena v následujícím grafu:



Tabulka 5.7 - Celková cena prodaného tepla a elektřiny + celková cena ušetřené elektřiny v nulové variantě

Při tomto porovnání je zřejmé, že příjmy z prodeje elektřiny jsou mnohonásobně vyšší než příjmy z prodeje tepla a úspory na vlastní spotřebě elektřiny. Graf také ukazuje výrazný pokles výsledné ceny za prodanou elektřinu po roce 2032, kdy dojde k vypršení provozní podpory.

5.2.2 Reinvestice, odpisy a financování

Mezi položky, které je s časem nezbytné vyměnit, patří krmný vůz. Jeho životnost se pohybuje kolem 10 let, a proto je v modelu nutné počítat s jeho reinvesticí. Naposledy byl vyměněn v roce 2022 a jeho pořizovací cena činila kolem 10 milionů Kč. Celkem budou v průběhu času provedeny

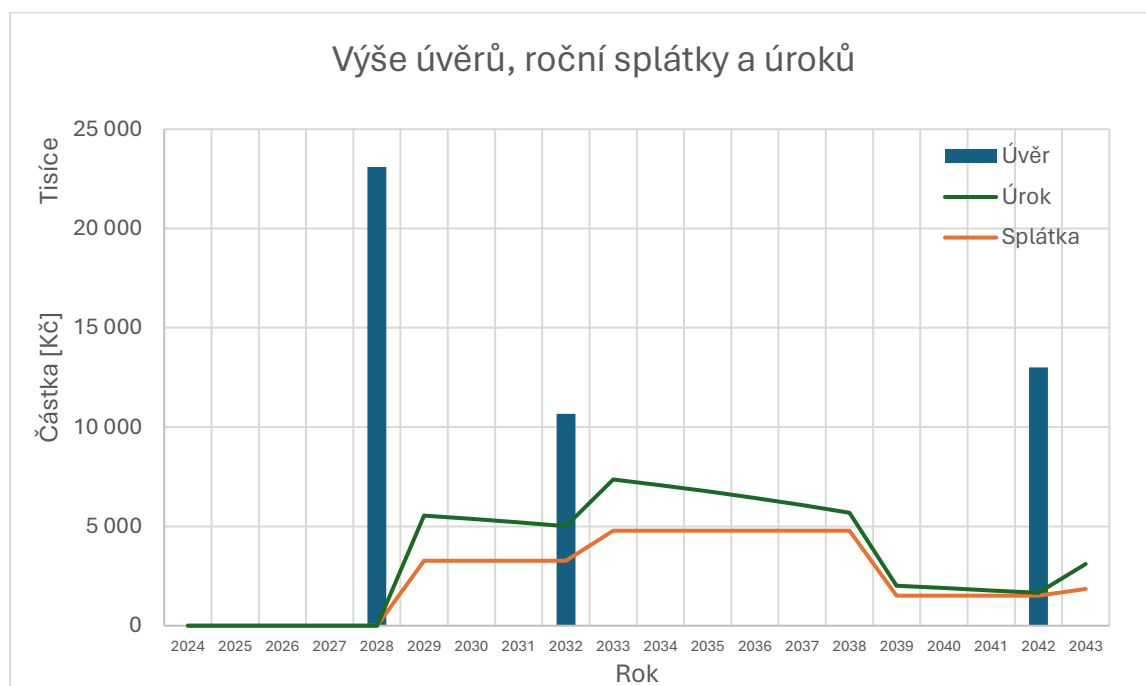
jeho 2 výměny, přičemž cena krmného vozu bude použita z roku 2022 a následně upravena podle inflace za uplynulé roky. Životnost kogenerační jednotky se při pravidelné údržbě pohybuje kolem 15 let [77]. V roce 2028 bude nutné reinvestovat do nové kogenerační jednotky. Na základě informací získaných od techniků pracujících v dotyčné bioplynové stanici je aktuálně možné pořídit novou kogenerační jednotku s jmenovitým výkonem 1 MW_e za 30,2 milionu Kč. Po zohlednění inflace se předpokládá, že v roce 2028 budou investiční výdaje na ni činit přibližně 34 milionů Kč.

V následující tabulce jsou uvedeny informace o potřebné reinvestici do kogenerační jednotky v roce 2028:

Položka	Investice [Kč]	Odpisová skupina [-]	Uvedení do provozu [Rok]	Doba odpisování [Počet let]
Kogenerační jednotka	32 985 995	3	2028	10

Tabulka 5.8 – Specifická reinvestice v nulové variantě

Výsledná výše úvěrů, roční splátky a úroků pro jednotlivé roky průběhu doby porovnání jsou zobrazeny v následujícím grafu:



Graf 5.2 - Výše úvěrů, roční splátky a úroků v nulové variantě

V grafu lze vidět, jak se mění výše splátky a úroků v závislosti na výši úvěru, který byl poskytnut v roce 2028, 2032 a 2042, a to jak pro kogenerační jednotku, tak i dvakrát za sebou pro krmný vůz.

5.2.3 Průměrný roční ekvivalentní tok hotovosti

Pro vyhodnocení z pohledu rozvoje systému je nutné dopočítat provozní výnosy a náklady na jejichž základě bude vypočtena daň z příjmu. Poté budou od sebe odečteny provozní příjmy a výdaje, čímž se získá provozní cash flow. Kvůli velkému množství dat zde tyto hodnoty nebudou ukázány. Veškeré hodnoty lze najít v příloze

Pro výpočet průměrného ročního ekvivalentního toku nulové varianty je zapotřebí ještě určit dobu optimalizačního období. V tomto případě je zvolena hodnota 20 let, protože se nyní rozhoduje, zda bude konverze bioplynu na biometan provedena, nebo zda se zůstane u spalování bioplynu za účelem výroby tepla a elektřiny. Jelikož je doba porovnání u variant, kde se počítá s konverzí bioplynu, 20 let, je optimální období stanoveno právě na 20 let. Nyní lze dosadit do vzorce (4-1) a vypočítat hodnoty průměrných ročních ekvivalentních toků za použití rovnoměrného či zrychleného odpisování:

Výpočet průměrného ekvivalentního toku při rovnoměrném odpisování:

$$CF_{r\phi} = 8\,233\,258 - 4\,372\,834 + 0,08315 \cdot (77\,742\,293) + 142\,755 = 10\,378\,261 \text{ Kč}$$

Výpočet průměrného ekvivalentního toku při zrychleném odpisování:

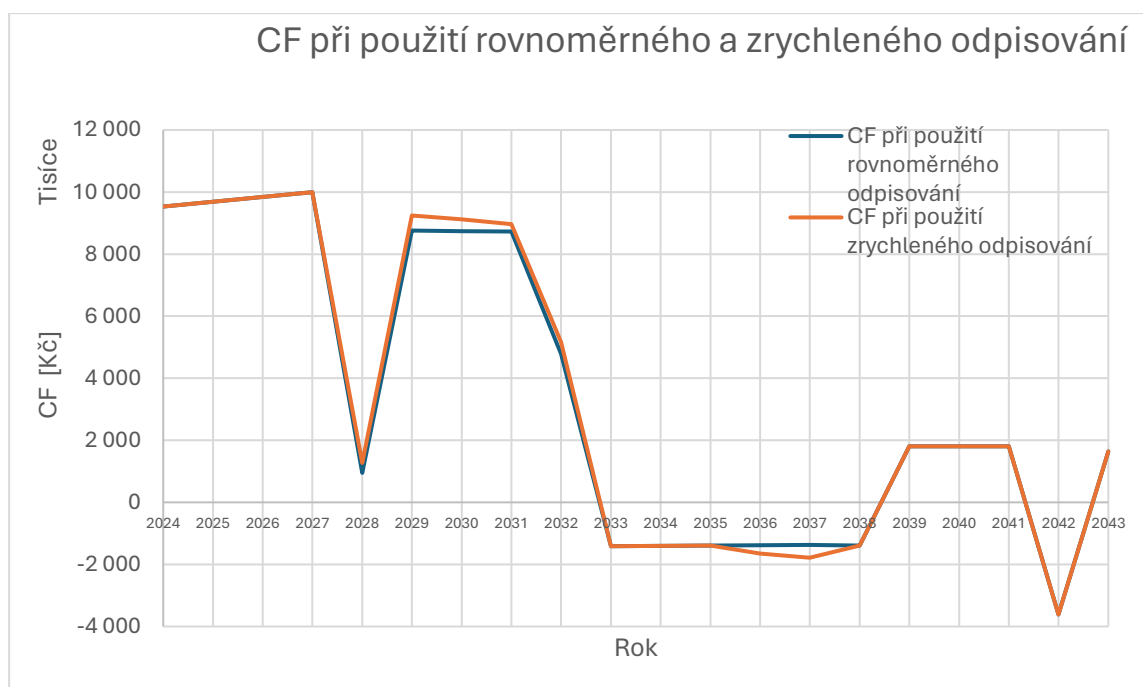
$$CF_{r\phi} = 8\,233\,258 - 4\,372\,834 + 0,08315 \cdot (77\,742\,293) + 142\,755 = 10\,467\,467 \text{ Kč}$$

Poznámka: Modré zvýraznění – Hodnota přežívajících prvků (bioplynová stanice), zelené zvýraznění – hodnota nových prvků (např. nová kogenerační jednotka)

Při využití rovnoměrného odpisování vyšel průměrný ekvivalentní tok na 10 378 261 Kč, zatímco při zrychleném odpisování dosáhl 10 467 467 Kč. Tyto hodnoty budou následně využity pro citlivostní analýzu, konkrétně pro hledání řešení a určení ceny biometanu, v rámci následujících variant.

5.2.4 Hotovostní toky nulové varianty

Pro porovnání ostatních variant s nulovou variantou z pohledu investora je nutné vypočítat cash flow nulové varianty. Nejprve budou dopočítány výnosy a náklady, na jejichž základě bude vypočtena daň z příjmu. Poté budou od sebe odečteny příjmy a výdaje, čímž se získá cash flow. Kvůli velkému množství hodnot bude graficky znázorněno pouze výsledné vypočtené CF při použití rovnoměrného a zrychleného odpisování:



Graf 5.3 - CF nulové varianty

První propad v cash flow je způsoben potřebnou reinvesticí do kogenerační jednotky. Další pokles, který začíná v roce 2031 a trvá až do roku 2038, je důsledkem potřebné investice do krmného vozu a následného vypršení provozní podpory. V roce 2039 následuje další nárůst, který je způsoben splacením úvěru. Další propad cash flow je způsoben další potřebnou investicí do krmného vozu. Nicméně výše splátky této investice není nijak vysoká a cash flow se následně vrátí zpět do kladných hodnot. Tyto vypočtené roční hodnoty budou použity pro ekonomické zhodnocení následujících variant.

5.3 Varianta I: Konverze bioplynu na biometan a jeho následné vtlačení do plynové soustavy

Tato varianta bude také použita pro výpočet potřebných údajů v následujících částech, ale také bude sloužit pro konečné ekonomické zhodnocení. Na rozdíl od varianty 0 zde budou nutné některé změny. Hlavní změnou bude investice do soustavy pro „upgrading“ bioplynu na biometan, což znamená, že bioplynová stanice nebude vyrábět teplo ani elektřinu, ale bude spotřebovávat bioplyn na výrobu biometanu. Proto se bude muset elektřina nakupovat, zatímco pro areál družstva, obecní úřad a hospodu bude nutné zajistit nový zdroj tepla, tak aby pokračovala dosavadní dodávka tepla. Zároveň se v této variantě bude počítat s výstavbou plynovodu a soustavy pro vtlačení biometanu do plynové soustavy. Množství spotřebovaného substrátu, množství vzniklého substrátu, vývoj ceny separátu, doprava substrátu, vývoj ceny silové elektřiny, vývoj výkupní ceny elektřiny, a celkové mzdy

zaměstnanců a jejich vývoj zde nebudou zmíněny, jelikož jsou tyto údaje totožné s předchozí variantou.

5.3.1 Investiční výdaje metod pro konverzi bioplynu

Nejdříve je zapotřebí stanovit investiční výdaje a provozní náklady jednotlivých metod. Investiční výdaje do těchto metod lze stanovit pomocí výpočtu, který vychází z analýzy trhu z roku 2015. Tento výpočet umožňuje určit investiční výdaje na 1 m³ vstupního průtoku bioplynu do soustavy pro konverzi bioplynu [22]:

Metoda střídání tlaku:

$$y = 185034 \cdot x^{-0,67} \quad (5-7)$$

Vodní vypírka:

$$y = 980693 \cdot x^{-0,991} \quad (5-8)$$

Vypírka organickými rozpouštědly:

$$y = 980693 \cdot x^{-0,991} \quad (5-9)$$

Aminová vypírka:

$$y = 239254 \cdot x^{-0,696} \quad (5-10)$$

Membránová separace

$$y = 81046 \cdot x^{-0,534} \quad (5-11)$$

kde:

- x - Vstupní množství průtoku bioplynu [m³/h]
- y - Konkrétní investiční výdaje na 1 m³ průtoku bioplynu [EUR/(m³/h)]

Tyto rovnice lze použít pro hodnotu průtoku bioplynu pro interval mezi 250 m³ a 1400 m³. Výjimkou je metoda střídání tlaku, kdy její analýza byla provedena v intervalu vstupního bioplynu mezi 500 m³ a 1400 m³.

Dle přepočtených hodnot bioplynová stanice dosahuje maximální produkce bioplynu ve výši 438 m³/h. Avšak metody pro konverzi bioplynu budou dimenzovány na 500 m³/h, aby bylo možné využít předchozích rovnic a zároveň zajistit rezervu. Nyní lze dosadit hodnotu do vzorců a dopočítat investiční náklady jednotlivých metod.

Ukázkový výpočet investičních výdajů vodní vypírky pro 1 m³/h průtoku bioplynu:

$$y = 980693 \cdot 500^{-0,991} = 2074 \frac{EUR}{m^3/h}$$

Ukázkový výpočet výsledných investičních výdajů vodní vypírky:

$$C = 2074 \cdot 500 = 1\,037\,107 \text{ EUR}$$

Vzhledem k tomu, že rovnice pochází z roku 2015, je nutné tuto hodnotu dále upravit pomocí inflace a převést ji na české koruny. Výsledné investiční náklady jednotlivých metod pro průtok bioplynu 500 m³/h jsou zobrazeny v následující tabulce:

Metoda konverze bioplynu	Investiční výdaje [EUR/(m ³ /h)]	Vypočtené investiční výdaje [Kč]	Celkové investiční výdaje upravené inflací [Kč]
Metoda střídání tlaku	2 877	36 379 813	53 325 596
Vodní vypírka	2 074	26 228 451	38 445 926
Vypírka organickými rozpouštědly	2 074	26 228 451	38 445 926
Aminová vypírka	3 165	40 021 643	58 664 127
Membránová separace	2 934	37 102 266	54 384 874

Tabulka 5.9 - Vypočtené investiční výdaje metod pro konverzi bioplynu

Lze si všimnout, že investiční náklady na vodní vypírku a vypírku organickými rozpouštědly jsou identické. Toto vyplývá z toho, že se tyto dvě metody liší pouze použitou látkou pro zachycení nežádoucích látek. Jinak jsou úplně stejné z pohledu principu a konstrukce.

5.3.2 Specifické provozní náklady metod pro konverzi bioplynu

S provozem jednotlivých metod jsou spojeny dodatečné spotřeby jednotlivých komodit. V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé komodity. Tyto hodnoty byly převzaty a případně upraveny (např. přepočtené dle inflace) [41][22][59]:

Metoda konverze bioplynu	Spotřeba elektřiny [KWh/m ³ bioplynu]	Spotřeba vody [m ³ /m ³ bioplynu]	Spotřeba tepla [kWh/m ³]	Cena spotřeby rozpouštědla [CZK/ (m ³ /h biometanu)]
Metoda střídání tlaku	0,23 - 0,3	-	-	-
Vodní vypírka	0,25 - 0,3	22(10 ⁻⁵)	-	-
Vypírka organickými rozpouštědly	0,2 - 0,3	-	-	3
Aminová vypírka	0,05 - 0,15	3(10 ⁻⁵)	0,625	-
Membránová separace	0,18 - 0,2	-	-	-

Tabulka 5.10 - Provozní náklady jednotlivých metod pro konverzi bioplynu

Spotřeby komodit jednotlivých metod jsou vypočteny v následující tabulce:

Metoda konverze bioplynu	Roční spotřeba elektřiny [MWh]	Roční spotřeba vody [m ³]	Roční spotřeba tepla [MWh]
Metoda střídání tlaku	1 017	0	0
Vodní vypírka	1 055	844	0

Vypírka organickými rozpouštědly	959	0	0
Aminová vypírka	384	115	2398
Membránová separace	729	0	0

Tabulka 5.11 - Vypočtené množství spotřebovaných komodit

Pro přepočítání na cenu je nejprve zapotřebí stanovit cenu vody, která je odvozena ze skupiny Severočeská voda. Tato skupina každoročně vypočítá průměrnou cenu vody pro obyvatele Ústeckého a Libereckého kraje. Výsledná cena je určena z ceny užitkové vody a stočného, což ve výsledku činí 120 Kč/m³ [60]. V následující tabulce lze vidět cenu provozních výdajů jednotlivých metod pro rok 2024:

Metoda konverze bioplynu	Roční spotřeba elektriny [Kč]	Roční spotřeba vody [Kč]	Roční spotřeba tepla [Kč]	Cena roční spotřeby rozpouštědla [Kč]
Metoda střídání tlaku	6 370 950	0	0	0
Vodní vypírka	6 611 364	101 276	0	0
Vypírka organickými rozpouštědly	6 010 331	0	0	680
Aminová vypírka	2 404	13 810	1 648 850*	0
Membránová separace	4 567 851	0	0	0

Tabulka 5.12 - Provozní náklady jednotlivých metod konverze bioplynu za rok 2024

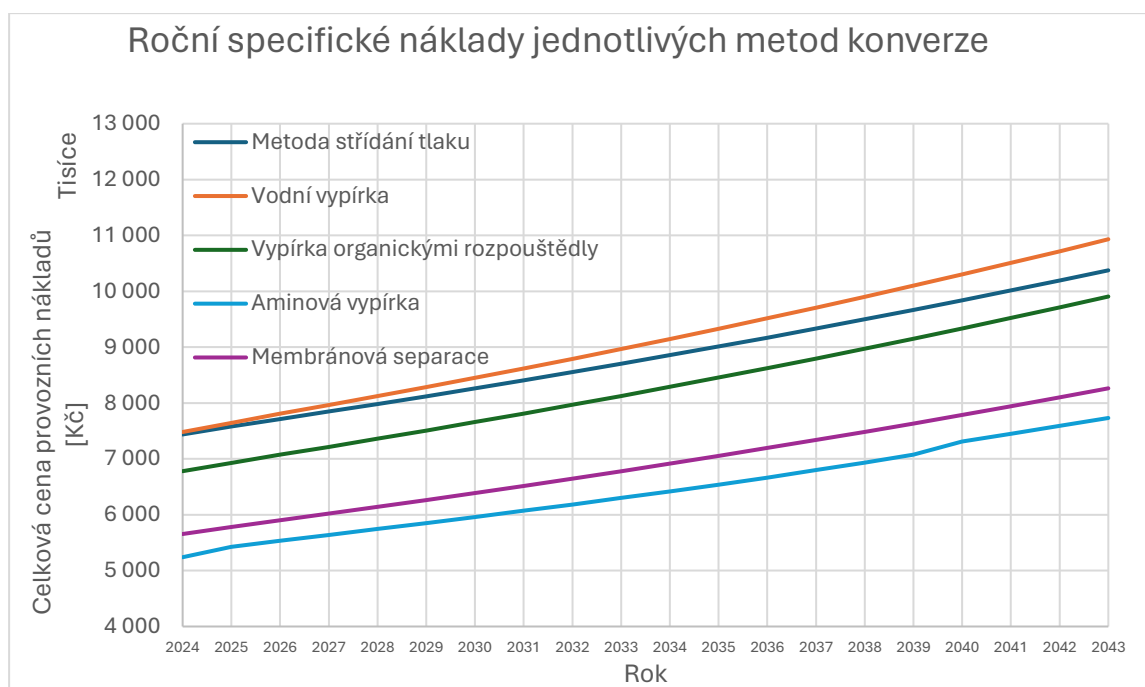
*Při určení ceny u roční spotřeby tepla u aminové vypírky byla tato hodnota stanovena na základě ceny za tunu paliva, výsledné ceny za dopravu paliva a množství potřebného paliva.

K těmto hodnotám je také zapotřebí přičíst cenu za údržbu a opravu. Při tomto stanovení se předpokládá, že budou tyto náklady velmi podobné jako u bioplynové stanice, a proto budou stanoveny stejně:

Metoda konverze bioplynu	Údržba
Metoda střídání tlaku	1 066 518 Kč
Vodní vypírka	768 919 Kč
Vypírka organickými rozpouštědly	768 919 Kč
Aminová vypírka	1 173 283 Kč
Membránová separace	1 087 697 Kč

Tabulka 5.13 - Roční údržba jednotlivých technologií pro konverzi bioplynu

Veškeré provozní náklady budou eskalovány dle inflace. Grafické znázornění vývoje cen specifických provozních nákladů jednotlivých metod pro konverzi bioplynu na biometan v průběhu doby porovnání je zobrazeno na následujícím grafu. V případě aminové vypírky jsou do těchto nákladů ještě připočítány úroky za úvěr na potřebný kotel:



Graf 5.4 – Celkové provozní náklady metod konverze v průběhu doby porovnání

V grafu lze vidět, že nejnižších specifických provozních nákladů dosahuje aminová vypírka.

5.3.3 Vlastní spotřeba

Na základě konzultace se specialistou v oblasti bioplynových stanic je nutné upravit vlastní spotřebu bioplynové stanice, konkrétně ji snížit o 25 %. Tato úprava je nezbytná, protože v této variantě došlo k odstavení kogenerační jednotky, a tudíž není potřeba pokrývat spotřebu této jednotky. Právě 25 % z vlastní spotřeby bioplynových stanic tvoří kogenerační jednotka. Výsledná vlastní roční spotřeba po této úpravě je 579 MWh.

5.3.4 Nový zdroj tepla

Po vyřazení kogenerační jednotky z provozu je nutné investovat do nového zdroje, který dokáže nahradit zdroj tepla v podobě kogenerační jednotky. Byl tedy vybrán kotel s takovým tepelným výkonem, jaký má kogenerační jednotka při maximální výrobě tepla v topné sezoně. Zároveň bylo dbáno na to, aby kotel dokázal spalovat levný a dostupný materiál. Těmto požadavkům odpovídá kotel EG-Multifuel s výkonem 300 kW, který jako palivo využívá dřevní štěpku. Kotel je také vybaven šnekem, který automaticky dodává palivo do kotle. Cena tohoto kotle je 967 000 Kč [62]. Nicméně při volbě aminové vypírky tento zdroj není dostatečný. V tomto případě bude nutné zakoupit dražší typ s výkonem 600 kW, který stojí 1 516 000 Kč [63].

Palivo do kotlů se bude dovážet od dodavatele vzdáleného 33 km, kde 1 tuna štěpky s výhřevností 10,1 GJ/t bude zakoupena za 1867 Kč. Tato cena bude dále eskalována dle inflace. Údaje týkající se paliva jsou zaznamenány v následující tabulce:

Položka	Aminová vypírka	Ostatní metody
Výhřevnost dřevní štěpky	10,1 GJ/t	
Cena dřevní štěpky	1 867 Kč	
Vzdálenost dopravy	33 km	
Množství potřebného paliva	855 t	558 t
Počet dodávek paliva	36x	24x
Celková cena za palivo	1 595 390 Kč	1 041 600 Kč
Celková cena za dopravu paliva	53 460 Kč	35 640 Kč

Graf 5.5 - Údaje spojené s palivem ve variantě I.

V současné době se také v praxi využívají tepelná čerpadla, která využívají teplo z digestátu. V tomto případě, dle experta v oboru, by výstupní tepelný výkon nebyl dostatečný.

5.3.5 Doprava

Předpokládá se, že veškeré potřebné palivo nezbytné pro provoz bude potřeba dopravit. K tomu bude využita externí společnost Multitrans.cz [49], která je schopna najednou přepravit až 24 tun paliva najednou a účtuje si 45 Kč/km. Tato hodnota bude dále eskalována dle inflace.

5.3.6 Biometan

Na rozdíl od nulové varianty bude veškerý bioplyn konvertován na biometan, jehož výsledná čistota se bude měnit v závislosti na použité metodě. Při konverzi také vzniknou metanu ztráty, které se budou lišit podle použité metody. Výslednou čistotu biometanu a procentuální ztráty jednotlivých metod pro konverzi lze vidět v následující tabulce:

Metoda konverze bioplynu	Výsledná čistota biometanu [%]	Ztráty metanu při konverzi bioplynu [%]
Metoda střídání tlaku	96–98	<4 %
Vodní vypírka	96–98	<2 %
Vypírka organickými rozpouštědly	96–98	2-4 %
Aminová vypírka	96–99	<0,01 %
Membránová separace	96–98	<0,6 %

Tabulka 5.14 - Čistota a ztráty biometanu jednotlivých metod

Pro výpočet vyrobeného biometanu se použije vzorec:

$$BM_{t_x} = BP_{t_x} \cdot ((P_m + (1 - V\check{c}_x) - P_m \cdot Z_{m_x}) \quad (5-12)$$

kde:

BM_{t_x}	-	Množství vzniklého biometanu za dobu t při použití metody x [m^3]
BP_{t_x}	-	Množství konvertovaného bioplynu za dobu t při použití metody x [m^3]
P_m	-	Průměrný podíl metanu v bioplynu [%]
$V\check{c}_x$	-	Výsledná čistota biometanu při použití metody x [%]
Z_{m_x}	-	Ztráty metanu při použití metody x [%]
t	-	Rok [-]

Po dosazení do tohoto vzorce vyjde množství vyrobeného biometanu pro jednotlivé metody konverze. Výsledné hodnoty pro jednotlivé metody v průběhu doby porovnání jsou zobrazeny na následujícím grafu:

Ukázkový výpočet vyrobeného biometanu při použití metody střídání tlaku pro první rok produkce:

$$BM_{t_{MST}} = 3\,836\,532 \cdot (0,5058 + (1 - 0,97) - 0,5058 \cdot 0,04) = 1\,977\,943 \text{ m}^3$$

Dle výpočtu metodou střídání tlaku v roce 2024 vzniklo 1 977 943 m^3 biometanu s 97% podílem metanu. Výsledné množství vyrobeného biometanu při použití jednotlivých metod pro konverzi bioplynu lze vidět v následující tabulce:

Metoda konverze bioplynu	Množství vyrobeného biometanu [m^3]
Metoda střídání tlaku	1 977 943
Vodní vypírka	2 016 752
Vypírka organickými rozpouštědly	1 997 347
Aminová vypírka	2 036 185
Membránová separace	2 043 919

Tabulka 5.15 - Množství ročně vyrobeného biometanu za použití jednotlivých technologií

Z tabulky lze vidět, že nejvíce biometanu lze získat pomocí membránové separace.

Dále je zapotřebí určit provozní podporu ve formě zeleného bonusu. Hodnota zeleného bonusu je určena v rámci cenového rozhodnutí na webových stránkách Energetického regulačního úřadu [66], kde je stanovena na 752 Kč/MWh (7,14 Kč/ m^3). Tento bonus bude v průběhu následujících let upraven v souladu s inflací.

5.3.7 Soustava pro vtláčení biometanu do plynové soustavy

Pro stanovení investičních výdajů soustavy pro vtláčení biometanu byla na základě převzatých údajů sestavena rovnice, která umožní vypočítat konkrétní investiční výdaje pro dané množství biometanu. Přehled převzatých údajů je uveden v následující tabulce [64]:

Vtlačované množství biometanu [m ³ /h]	Investiční výdaje [Kč]
125	1 230 000
195	1 259 000
275	1 286 000

Pomocí těchto hodnot byla stanovena funkce:

$$y = 70747 \cdot \ln(x) + 887666 \quad (5-13)$$

kde:

- y - Výsledné investiční výdaje pro vtláčení x množství biometanu za hodinu [EUR]
- x - Množství vtláčeného biometanu [m³/h]

Soustava pro vtláčení bude dimenzována na 260 m³/h, přičemž tato hodnota je vyšší než maximální hodnoty produkce při použití jednotlivých metod konverze biometanu. Zároveň je tímto zajištěna i rezerva pro případné budoucí zvyšování produkce biometanu. Výsledná hodnota investičních výdajů je:

$$y = 70747 \cdot \ln(260) + 887666 = 1\,281\,068 \text{ EUR}$$

Tato hodnota je dále upravena inflací, neboť údaje pocházejí ze zdroje z roku 2021. Výsledná hodnota investičních výdajů, upravená o inflaci a přepočtená na koruny, činí 42,5 milionu Kč. V této hodnotě je obsažen elektrické vybavení, dálkové ovládání, kompresor, dokumentace a další výdaje.

Měřené provozní náklady vtláčení biometanu činí 14 484 Kč na m³ biometanu [64]. Tato hodnota bude dále přepočtena dle inflace, neboť zdroj této hodnoty pochází z roku 2022. Výsledná hodnota měrných provozních výdajů po přepočtu činí 19 156 Kč na m³ biometanu. Roční hodnota provozních nákladů dosahuje 4 980 606 Kč. Tato cena bude dále v průběhu doby porovnání upravována dle inflace.

5.3.8 Plynová přípojka

Nyní je potřeba vypočítat investiční výdaje plynové přípojky, která spojuje bioplynovou stanici s místem, kde probíhá vtláčení. Vzdálenost vzdušnou čarou se pohybuje kolem 2 km. Pro výpočet

bude použita vzdálenost 2,2 km z důvodu možných překážek a komplikací, které délku potřebné přípojky navýší. Cena za plynovou přípojku se skládá z hlavních dvou složek: trubka a výkopové práce. Cena za plynové trubky činí 1800 Kč/m, zatímco cena výkopových prací je stanovena na 1500 Kč/m [65]. Předpokládá se, že plynová přípojka povede skrze pole, které vlastní společnost, tedy se nepočítá s vyplácením věcného břemena. Dále je zapotřebí připočítat přípravu projektu a ostatní výdaje, které vychází na 544 500 Kč [90]. Výsledná cena za plynovou přípojku dosahuje 7,8 milionů korun.

5.3.9 Elektřina

Celkové množství a cena roční spotřebované elektřiny transformované bioplynové stanice v této variantě s využitím jednotlivých metod konverze bioplynu je uvedeno v následující tabulce:

Metoda konverze bioplynu	Roční celková spotřeba elektřiny [MWh]	Celková cena elektřiny za rok 2024 [Kč]
Metoda střídání tlaku	1 596	10 001 666
Vodní vypírka	1 634	10 242 079
Vypírka organickými rozpouštědly	1 539	9 641 046
Aminová vypírka	963	6 034 848
Membránová separace	1 308	8 198 567

Tabulka 5.16 – Celková spotřeba a cena elektřiny v bioplynové stanici při využití jednotlivých technologií

5.3.10 Reinvestice, odpisy a financování

Stejně jako v nulové variantě bude nutné provést reinvestici do krmného vozu, která bude provedena v letech 2032 a 2042 vzhledem k jeho životnosti 10 let. Poslední výměna proběhla v roce 2022 za 10 milionů korun. Tato částka zůstane stejná, pouze bude každý rok upravena o inflaci. Následně bude zapotřebí vyměnit kotel, který distribuuje teplo do prostorů družstva, vesnické hospody a obecního úřadu. Jeho životnost je 15 let, takže bude nutné provést výměnu v roce 2039. V případě použití aminové vypírky pro konverzi bioplynu na biometan bude rovněž třeba v roce 2039 vyměnit kotel, který dodává teplo využívané při této metodě.

V následující tabulce jsou uvedeny informace o potřebných investicích a reinvesticích, včetně doby odpisování jednotlivých položek, v této variantě:

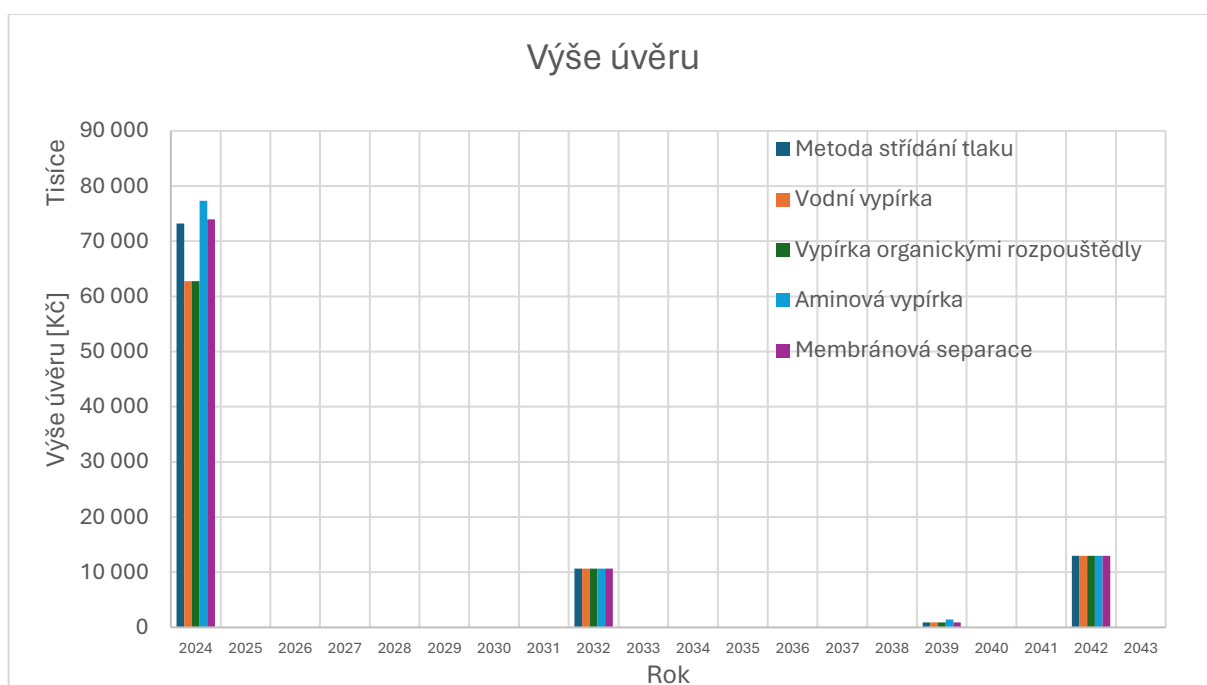
Položka	Investice [Kč]	Odpisová skupina	Uvedení do provozu	Doba odpisování [Počet let]
Systém pro vtažení	42 476 298	4	2024	20
Plynová přípojka	7 804 500	4	2024	40

Metody konverze	x	4	2024	20
Kotel - 600 kW*	1 515 654	3	2024	15
Kotel - 300 kW	966 851	3	2024	15
Krmný vůz	15 238 659	2	2032	10
Kotel - 300 kW	1 308 923	3	2039	15
Kotel - 600 kW*	2 051 891	3	2039	15
Krmný vůz	18 575 840	2	2042	10

Tabulka 5.17 – Doba odpisování, investice a reinvestice varianty I.

*Kotel o výkonu 600 kW bude použit pouze s aminovou vypírkou; *jednotlivé ceny metod konverze lze nalézt v předchozích částech.

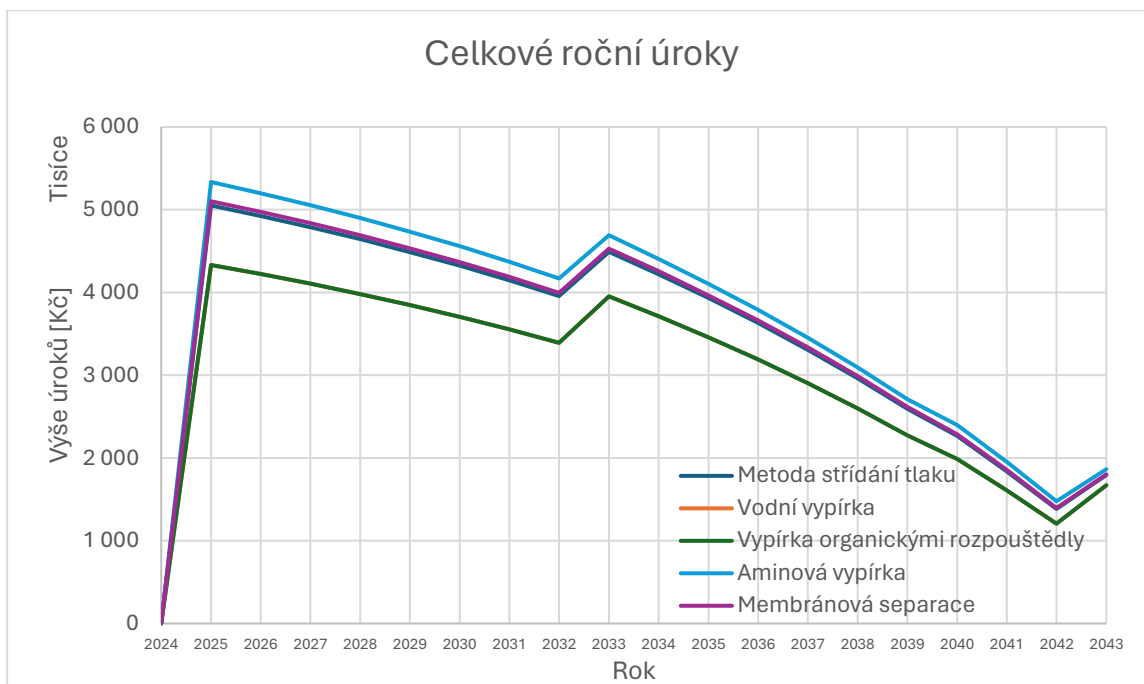
Výše úvěrů v jednotlivých letech při použití jednotlivých metod pro konverzi bioplynu na biometan lze vidět na následujícím grafickém znázornění:



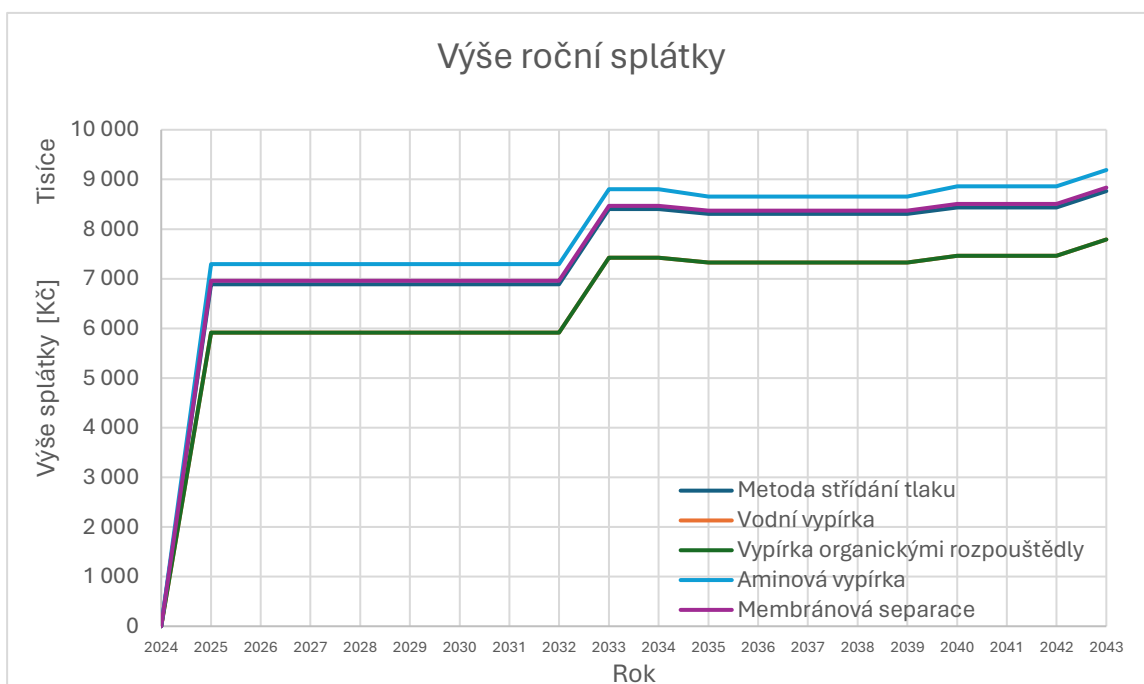
Graf 5.6 - Výše úvěrů ve variantě I.

V grafu lze pozorovat úvěr na pokrytí počátečních investičních výdajů, který je mnohonásobně vyšší než ostatní úvěry. Dále jsou v roce 2032 a 2042 viditelné úvěry na pořízení krmného vozu. V roce 2039 je pak zobrazen úvěr na reinvestici do kotlů.

V následujících grafech budou zobrazeny vypočtené roční úroky a splátky pro jednotlivé možnosti konverze bioplynu:



Graf 5.7 - Výše ročních úroků ve variantě I.



Graf 5.8 – Výše roční splátky ve variantě I.

V předchozích dvou grafech lze vidět, jak se mění výše splátky a úroků v závislosti na výši úvěru, který byl poskytnut v letech 2024,2032,2039 a 2042.

5.3.11 Výsledky z pohledu rozvoje systému

Nyní se postupuje obdobně jako v nulové variantě při určení průměrného ročního ekvivalentního toku hotovosti. Postup však bude mírně odlišný. Podobně jako v nulové variantě se sestaví model, který zahrnuje veškeré změny oproti nulové variantě (nové kotle, absence výroby elektřiny a tepla atd.). Z uvedených hodnot se vypočítají provozní výnosy, provozní náklady, provozní příjmy a provozní výdaje. Kvůli velkému množství dat zde tyto hodnoty nebudou zmíněny, ale přestoupí se hned na výpočet ceny biometanu. Detailní výpočet jednotlivých údajů lze případně nalézt v příloze.

Do modelu se nyní dosadí libovolná hodnota ceny biometanu pro rok 2024 (v dalších letech je použita stejná hodnota akorát navýšena o inflaci) a vypočítá se průměrný roční ekvivalentní tok hotovosti při této zvolené ceně biometanu. Tato hodnota sice nemá přímý význam, ale slouží jako příprava pro další krok, kdy pomocí citlivostní analýzy v Excelu, konkrétně hledáním řešení, se najde taková cena biometanu, při které budou průměrné roční hotovostní toky nulové a této varianty vyrovnané. Tím se získá minimální prodejní cena biometanu, při které lze považovat obě varianty z pohledu rozvoje systému za ekvivalentní.

Tímto výpočtem jsou získány ceny biometanu pro rok 2024 při použití jednotlivých metod pro konverzi biometanu a při rovnoměrném či zrychleném odpisování:

Vypočtená cena biometanu v roce 2024	Rovnoměrné odpisování		Zrychlené odpisování	
	Kč/m ³	Kč/MWh	Kč/m ³	Kč/MWh
Metoda střídání tlaku	23,73	2249	23,66	2243
Vodní vypírka	23,51	2228	23,46	2223
Vypírka organickými rozpouštědly	22,46	2129	22,41	2124
Aminová vypírka	22,37	2121	22,30	2114
Membránová separace	22,20	2104	22,16	2100

Tabulka 5.18 - Vypočtená cena biometanu z pohledu rozvoje systému ve variantě I.

Z výsledků je patrné, že nejnižší cena biometanu, při které jsou varianty I a 0 z pohledu rozvoje systému ekvivalentní, je dosažena při použití metody membránové separace a při použití zrychleného odpisování. Tato hodnota činí 21,16 Kč/m³ (2100 Kč/MWh).

5.3.12 Vyhodnocení z pohledu investora

V této části se postupuje podobně jako v předchozím vyhodnocení z pohledu rozvoje systému s tím rozdílem, že místo porovnávání průměrných ročních ekvivalentních toků hotovosti této varianty s nulovou variantou, se vypočítá rozdílové cash flow a následně z něho NPV.

Nejprve budou vypočítány potřebné hodnoty pro stanovení CF varianty I., přičemž opět bude použita náhodná cena biometanu. Následně budou hotovostní toky této varianty a nulové varianty odečteny

a dopočítá se CF. Následně pomocí citlivostní analýzy bude nalezena cena biometanu, při které je NPV rovno 0, což určí cenu biometanu, při které lze považovat varianty z pohledu investora za ekvivalentní. V této variantě nebudou představeny veškeré výpočty potřebné k získání CF v jednotlivých letech, ale přejde se rovnou k výpočtu výsledné ceny biometanu. Tato část je opět vynechána kvůli velkému množství dat, přičemž detailní výpočty lze nalézt v příloze.

Vypočtená cena biometanu v roce 2024	Rovnoměrné odpisování		Zrychlené odpisování	
	Kč/m ³	Kč/MWh	Kč/m ³	Kč/MWh
Metoda střídání tlaku	23,03	2183	22,95	2175
Vodní vypírka	22,11	2095	22,04	2089
Vypírka organickými rozpouštědly	21,97	2082	21,90	2076
Aminová vypírka	21,59	2047	21,51	2039
Membránová separace	21,52	2040	21,44	2033

Tabulka 5.19 - Vypočtená cena biometanu z pohledu investora při ve variantě I.

Z výsledků je patrné, že z hlediska investora dosahuje cena biometanu nejnižší hodnoty znovu při použití membránové separace a při zrychleném odpisování. Tato hodnota činí 21,44 Kč/m³ 2033 Kč/MWh).

5.4 Varianta II: Konverze bioplynu na biometan a jeho následné stlačení do upravené kontejnerové jednotky a její distribuce

Tato varianta bude téměř identická jako předchozí, s výjimkou způsobu distribuce biometanu. Namísto vtláčení biometanu do plynové soustavy se bude stláčet do speciálních nádob, které budou následně odváženy. Z tohoto důvodu bude nutné investovat do kompresoru, speciálních nádob a plynojemu, který bude sloužit jako buffer před plničkou. Na základě výsledku předchozí varianty se zde bude počítat pouze s konverzí bioplynu pomocí membránové separace.

5.4.1 Stlačení biometanu

V této části bude proveden výpočet soustavy pro stlačení biometanu na tlak 250 bar. Stejně jako v předchozí variantě bude tato soustava dimenzována pro stlačení 260 m³/h biometanu. Pro tento výpočet budou využity hodnoty získané ze zdroje dat z roku 2018 [67], které budou upraveny inflací pro příslušné období pro získání aktuální hodnoty. Přehled použitých hodnot je uveden v následující tabulce:

Položka	Jednotka	Cena [Kč]
Cena kompresoru	Kč/(m ³ /h)	9 279
Plnicí systém	Kč	731 870
Vypočtené celkové investiční výdaje	Kč	3 144 513
Provozní náklady na elektřinu – rok 2024	Kč/rok	2 844 846

Investiční výdaje na soustavu pro stlačení biometanu činí celkově 3 144 513 Kč. Provozní náklady spojené s elektřinou potřebnou k provozu komprese dosahují za rok 2024 částky 2 844 846 Kč. Předpokládaná životnost systému stlačení biometanu je 20 let. Aby systém vydržel tak dlouho, je nezbytná pravidelná údržba, jejíž cena dosahuje 513 tisíc Kč. Tato částka bude v následujících letech upravována o inflaci.

Biometan bude stlačen do speciálně upravené přepravní jednotky, která se skládá z válcových nádob umístěných v kontejneru. V kontejneru je celkem 18 speciálních válců, z nichž každý může pojmout až 362 kg biometanu pod tlakem 250 barů [80]. Celý kontejner tak dokáže pojmout až 6518 kg biometanu, což přibližně odpovídá 1,5násobku denní produkce biometanu při výrobě 260 m³ za hodinu. Pro zajištění nepřetržitého provozu bude nutné pořídit 2 takové kontejnery: jeden bude plněn, zatímco druhý bude odvážen. Cena jednoho kontejneru se pohybuje kolem 356 tisíc eur, což pro dva kontejnery činí po přepočtu 18 milionů Kč.

5.4.2 Plynojem

Předpokládá se, že přepravní jednotky budou odváženy pouze během pracovních dnů a nebudou odváženy například při státních svátcích a podobně. Pro zajištění bezpečnějšího provozu a vytvoření časové rezervy se rovněž počítá s investicí do plynojemu o objemu 12 786 m³, který dokáže pojmout vyprodukované množství biometanu za 2 dny. Cena tohoto plynojemu činí 3,8 milionu Kč [68].

Jako další bezpečnostní prvek bude k plynojemu postavena také fléra, která bude spalovat biometan v případě, že objem v plynojemu přesáhne stanovenou kapacitu. Cena fléry, která dokáže spalovat až 350 m³ biometanu za hodinu, činí 688 tisíc Kč [69].

5.4.3 Transport

Pro transport kontejnerových jednotek se investuje do vozidla schopného manipulace s kontejnery, jehož cena dle aktuální nabídky činí 359 tisíc Kč [70] a předpokládá se, že do vozidla bude reinvestováno jednou za 10 let. Současně se očekává, že cena nafty bude každoročně růst v souladu s inflací. Doprava kontejnerových jednotek, která bude probíhat na vzdálenost do 100 km (s cestou zpátky 200 km). Předpokládá se, že kvůli transportu nebude zapotřebí najmout nového zaměstnance, protože většina zbývajících procesů je zcela automatizovaná a stávající zaměstnanci se mohou případně střídát v transportu. Spotřeba vozidla byla stanovena na 35 litrů na 100 kilometrů [71]. Ročně se ujede přibližně 52 tisíc kilometrů, což za rok 2024 při současných cenách nafty představuje náklady téměř 2 miliony korun. K tomu je nutné přičíst další náklady spojené s provozem vozidla, jako jsou dálniční známka, pojištění a podobně. Výsledná kalkulace těchto dalších nákladů činí 495 tisíc korun [96]. Tato hodnota v dalších letech bude eskalována inflací.

5.4.4 Reinvestice, odpisy a financování

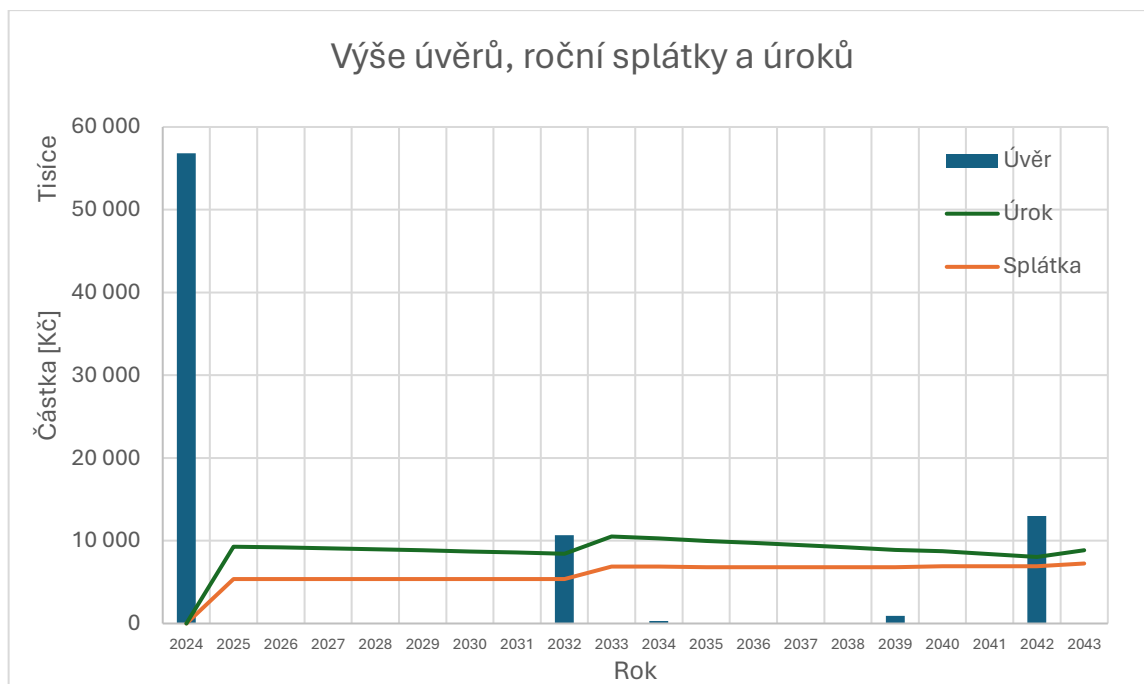
Stejně jako v nulové variantě, bude nutné provést reinvestici do krmného vozu, která bude provedena v letech 2032 a 2042 vzhledem k jeho životnosti 10 let. Poslední výměna proběhla v roce 2022 za 10 milionů korun. Tato částka zůstane stejná, pouze bude každý rok upravena o inflaci. Následně bude zapotřebí vyměnit kotel, který distribuuje teplo do prostorů družstva, vesnické hospody a obecního úřadu. Jeho životnost je 15 let, takže bude nutné provést výměnu v roce 2039. K tomu bude zapotřebí reinvestovat do nového vozidla po deseti letech v roce 2034 za 440 tisíc.

V následující tabulce jsou uvedeny informace o potřebných investicích a reinvesticích, včetně doby odpisování jednotlivých položek, v této variantě:

Položka	Investice [Kč]	Odpisová skupina [-]	Uvedení do provozu [Rok]	Doba odpisování [Počet let]
Kompresor a plnička	3 144 513	4	2024	20
Převozné jednotky	17 849 840	4	2024	20
Plynojem	3 770 528	4	2024	20
Fléra	681 904	3	2024	10
Vozidlo	359 000	2	2024	5
Membránová separace	54 384 874	4	2024	20
Kotel - 300 kW	966 851	3	2024	10
Krmný vůz	15 238 659	2	2032	5
Vozidlo	440 198	2	2034	5
Kotel - 300 kW	1 308 923	3	2039	10
Krmný vůz	18 575 840	2	2042	5

Tabulka 5.21 – Doba odpisování, investice a reinvestice varianty II.

Výsledná výše úvěru, roční splátky a úroků pro jednotlivé roky průběhu doby porovnání jsou zobrazeny v následujícím grafu:



Graf 5.9 - Výše úvěrů, roční splátky a úroků ve variantě II.

V grafu lze zpozorovat viditelné navýšení ročních splátek a úroků po letech 2024, 2032 a 2042, kdy byly poskytnuty úvěry na investiční výdaje a následné reinvestice. Vliv úvěrů z let 2034 a 2039 je v tomto měřítku téměř nepozorovatelný.

5.4.5 Vyhodnocení z pohledu rozvoje systému

Nyní je zapotřebí postupovat úplně stejně jako v předchozí variantě. Pro výpočet ceny biometanu dopočítat z uvedených hodnot provozní výnosy, provozní náklady, provozní zisk, daň z příjmu, provozní příjmy a provozní výdaje. Z těchto údajů lze následně vypočítat průměrné roční ekvivalentní toky a poté pomocí citlivostní analýzy nalézt takovou hodnotu biometanu, při které budou průměrné roční ekvivalentní toky této varianty totožné s hodnotami nulové varianty. Kvůli velkému množství dat zde bude ukázán jenom výsledný výpočet průměrných ročních ekvivalentních toků za použití rovnoměrného či zrychleného odpisování a získané hodnoty biometanu. Detailní výpočet lze případně nalézt v příloze. V následné tabulce lze vidět získané ceny biometanu:

Vypočtená cena biometanu v roce 2024 při použití membránové separace	Cena biometanu	
	Kč/m ³	Kč/MWh
Rovnoměrné odpisování	21,85	2071
Zrychlené odpisování	21,81	2067

Tabulka 5.22 - Vypočtená cena biometanu z pohledu rozvoje systému ve variantě II.

Z výsledků je patrné, že nejnižší cena biometanu, při které jsou varianty II a 0 z pohledu rozvoje systému ekvivalentní, je dosažena při použití zrychleného odpisování. Tato hodnota činí 21,81 Kč/m³ (2067 Kč/MWh).

5.4.6 Vyhodnocení z pohledu investora

Stejným způsobem, jako v předchozí variantě bude vypočtena cena biometanu z pohledu investora. Kvůli velkému množství dat zde budou pouze uvedeny získané hodnoty pomocí citlivostní analýzy. Detailní výpočet lze případně nalézt v příloze. V následné tabulce lze vidět získané ceny biometanu:

Vypočtená cena biometanu v roce 2024 při použití membránové separace	Cena biometanu	
	Kč/m ³	Kč/MWh
Rovnoměrné odpisování	21,35	2024
Zrychlené odpisování	21,30	2019

Tabulka 5.23 - Vypočtená cena biometanu z pohledu investora při zrychleném odpisování ve variantě II.

Z výsledků je patrné, že z hlediska investora dosahuje nejnižší cena biometanu při zrychleném odpisování. Tato hodnota činí 21,30 Kč/m³ (2019 Kč/MWh).

5.5 Vyhodnocení dosažených výsledků

V této části budou porovnány vypočtené ceny biometanu z varianty I a II z hlediska investora a rozvoje systému. Vzhledem k tomu, že ve všech variantách byla dosažena nejnižší cena biometanu při použití membránové separace a zrychleného odpisování, budou porovnávány pouze výsledky této konfigurace.

Pohled	Varianta	Vypočtená cena biometanu	
		Kč/m ³	Kč/MWh
Z pohledu rozvoje systému	Varianta I.	22,16	2100
	Varianta II.	21,81	2067
Z pohledu investora	Varianta I.	21,44	2033
	Varianta II.	21,30	2019

Tabulka 5.24 - Vypočtené ceny biometanu jednotlivých variant pro jednotlivé pohledy

Z výsledků je zřejmé, že jak z pohledu rozvoje systému, tak z pohledu investora, vychází nejmenší vypočtená cena biometanu při použití varianty II. Z toho lze usuzovat, že v tomto případě je výhodnější konvertovat bioplyn na biometan, následně ho stlačit a poté distribuovat pomocí vozidel. Tato cena za biometan je však stále moc vysoká, aby mohla konkurovat zemnímu plynu, který aktuálně dle burzy stojí 10,05 Kč/m³ [97]. Proto je ještě zapotřebí připočítat zelený bonus, který slouží

právě k vyrovnání tohoto rozdílu. Ten je dle cenového rozhodnutí roven 7,93 Kč/m³ (752 Kč/MWh). I přesto, že od minimální vypočtené ceny odečteme zelený bonus, se však nedostaneme na cenu zemního plynu.

Nicméně dosažené výsledky mohou být podstatně ovlivněny získáním investiční dotace na pořízení nové technologie. Proto bude provedena citlivostní analýza ohledně možného procentuálního pokrytí investičních výdajů na transformaci bioplynové stanice. Bude také nezbytné zjistit, jak se budou ekonomické výsledky měnit na základě změny ceny biometanu. Proto bude provedena dvouparametrická citlivostní analýza na tyto dva parametry. Dotace bude v citlivostní analýze navyšována o 10 % a cena biometanu bude zleva ohraničena součtem aktuální ceny zemního plynu a zeleného bonusu a zprava vypočtenými hodnotami z předchozí tabulky (Tabulka 5.24; označení modře v následující tabulce). Výstup těchto citlivostních analýz bude zpracován a na základě jejich výsledků bude vytvořeno doporučení ohledně toho, do které varianty je vhodné investovat. Tyto doporučení lze vidět na následující tabulce:

Z pohledu rozvoje systému		Cena biometanu [Kč/m ³]										
		17,98	18,64	19,30	19,96	20,62	21,28	21,93	22,09	22,23	22,60	22,95
Procentuální pokrytí investičních výdajů na transformaci [%]	0%	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Var.2	Var.2
	10%	X	X	X	X	X	X	X	X	Var.2	Var.2	Var.2
	20%	X	X	X	X	X	X	X	Var.2	Var.2	Var.2	Var.2
	30%	X	X	X	X	X	X	Var.2	Var.2	Var.2	Var.2	Var.2
	40%	X	X	X	X	X	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	50%	X	X	X	X	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	60%	X	X	X	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	70%	X	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	80%	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	90%	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
100%	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	

Tabulka 5.25 – Výsledky citlivostní analýzy provedené na cenu biometanu a investiční dotace z pohledu rozvoje systému

Z pohledu investora		Cena biometanu [Kč/m ³]										
		17,98	18,48	18,97	19,46	19,95	20,44	20,93	21,30	21,44	21,81	22,16
Procentuální pokrytí investičních výdajů na transformaci [%]	0%	X	X	X	X	X	X	X	Var.2	Var.2	Var.2	Var.2
	10%	X	X	X	X	X	X	X	Var.2	Var.2	Var.2	Var.2
	20%	X	X	X	X	X	X	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	30%	X	X	X	X	X	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	40%	X	X	X	X	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	50%	X	X	X	X	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	60%	X	X	X	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	70%	X	X	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	80%	X	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
	90%	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1
100%	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	Var.1	

Tabulka 5.26 - Výsledky citlivostní analýzy provedené na cenu biometanu a investiční dotace z pohledu investora

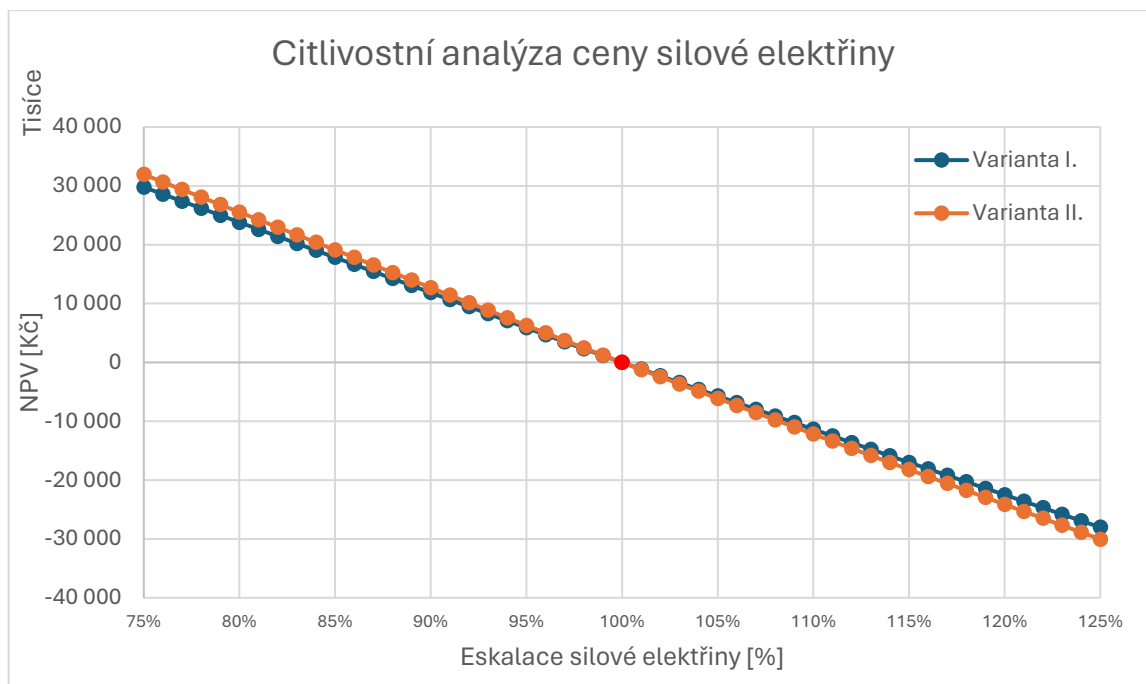
Z tabulek lze vyčíst, že dotace a cena biometanu výrazně ovlivňují ekonomické výsledky. Pokud se zaměříme pouze na poslední 4 sloupce, tedy na hodnoty získané v modelech při výpočtech pomocí nulové varianty, je patrné, že z pohledu investora se vyplatí investovat do druhé varianty pouze

v případě, že investiční dotace nepokryjí více než 10 % z investičních výdajů. Jakmile přesáhne dotace víc jak 10 %, vyplatí se investovat do varianty I.

Z pohledu rozvoje systému je výhodné zvolit druhou variantu pouze tehdy, pokud investiční dotace nepokryjí více než 30 % z investičních výdajů. Jakmile investiční dotace přesáhne 30 %, vyplatí se investovat do varianty I. Z těchto výsledků je patrné, že i když první varianta vyžaduje vyšší investiční výdaje, má v případě poskytnutí dotace vyšší potenciál konkurovat nulové variantě než varianta druhá. Dále lze z tabulky vyčíst, že při počítání s provozem do nekonečna lze očekávat vyšší ekonomickou náročnost v podobě vyšší minimální ceny biometanu z hlediska rozvoje systému. Tento jev je způsoben rychlejší indexací cen vstupů než výstupů, což má výraznější dopad v kontextu rozvoje systému.

Nicméně při zkoumání hodnoty $17,98 \text{ Kč/m}^3$ (cena zemního plynu + zelený bonus) je zřejmé, že pro dosažení ceny zemního plynu po započtení zeleného bonusu by bylo zapotřebí získat investiční dotaci ve výši 80 % z hlediska rozvoje systému a 90 % z hlediska investora, což je velmi nepravděpodobné. Tyto výsledky jsou však významně ovlivněny vysokou cenou zemního plynu v minulých letech. Při stanovení zeleného bonusu se vychází v jedné části z výpočtu aritmetického průměru cen zemního plynu za předchozí roky. Výsledně platí, že čím vyšší je tento průměr, tím nižší jsou zelené bonusy. Právě kvůli vysokým cenám zemního plynu v minulých letech je zelený bonus aktuálně nedostatečný. Na druhou stranu se však očekává, že v příštích letech bude zelený bonus výrazně navýšen [98].

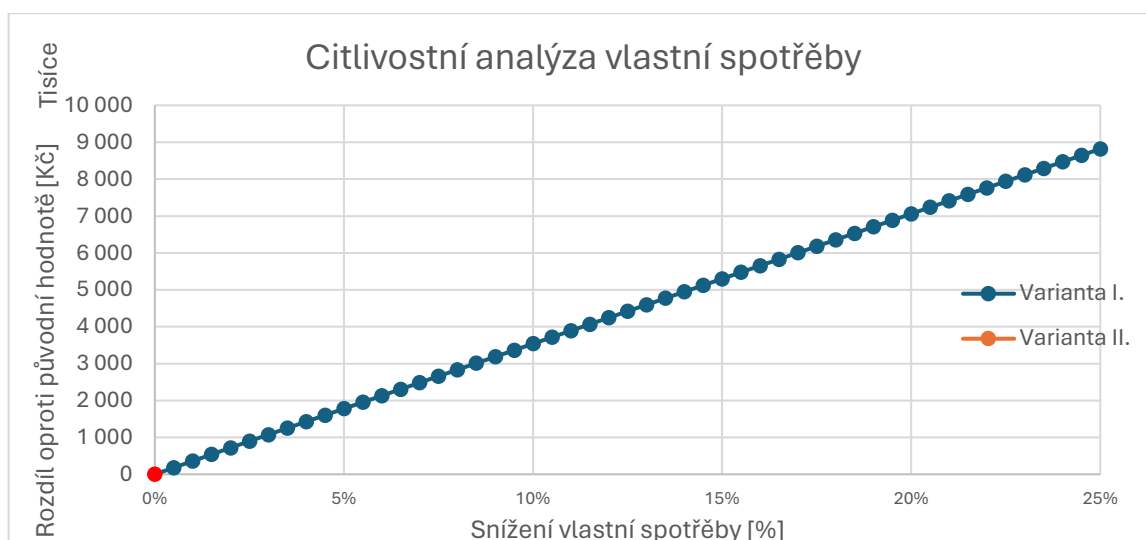
Jelikož cílem je provést hlavně analýzu z hlediska investora, budou v dalších částech provedeny citlivostní analýzy pouze na výsledky z tohoto pohledu. Nejdříve bude provedena citlivostní analýza na cenu silové elektřiny:



Graf 5.10 - Citlivostní analýza na cenu silové elektřiny

Z této citlivostní analýzy lze vyvodit, že obě varianty při porovnávání s nulovou variantou jsou velmi citlivé na cenu silové elektřiny. Pokud cena silové elektřiny klesne pouze o 5 %, obě varianty budou z ekonomického hlediska přibližně o deset milionů korun výhodnější než nulová varianta. Dále je patrné, že varianta II je na tento parametr citlivější než varianta I, což je způsobeno vyšší spotřebou elektrické energie.

V této práci byly při přepočtu vlastní spotřeby bioplynové stanice navýšeny i režijní náklady, které by měly být neměnné. Proto je zapotřebí provést na tento parametr citlivostní analýzu:



Graf 5.11 - Citlivostní analýza na vlastní spotřebu

Z této citlivostní analýzy je zřejmé, že tímto zjednodušením může být výsledek mírně zhoršen. Jak je vidět, mírným snížením vlastní spotřeby dochází k relativně vysokým úsporám. Pokud by, například pomocí energetického auditu, byla stanovena přesná hodnota režijních nákladů, díky které by byla vlastní spotřeba upřesněna a případně snížena o 5 % oproti aktuální vypočtené hodnotě, vedlo by to k úspoře v porovnání s nulovou variantou až o 2 miliony korun.

Dále je zapotřebí provést citlivostní analýzu na procentuální navýšení ceny substrátů a procentuální navýšení množství potřebného substrátu ve fermentoru. Nicméně při současné metodice se tímto nezíská přesný vliv těchto změn, ale pouze rozdíly mezi nulovou a testovanou variantou v závislosti na změně těchto dvou parametrů. Tímto způsobem bude určeno, při jakém procentuálním navýšení bude testovaná varianta lepší či horší než nulová varianta, případně o kolik, ale nebude zjištěn konkrétní číselný ekonomický dopad. Ukázka této citlivostní analýzy při porovnání varianty II a nulové varianty je uvedena v následující tabulce:

Varianta II.		Navýšení ceny substrátů [%]										
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Navýšení potřebného množství substrátů [%]	0%	0	1 280 400	2 256 720	2 828 917	2 880 249	2 742 110	2 478 908	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	5%	139 361	1 431 115	2 403 346	2 888 289	2 864 320	2 723 666	2 292 271	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	10%	289 621	1 570 497	2 491 591	2 913 381	2 831 069	2 697 842	2 085 860	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	15%	474 220	1 702 123	2 576 564	2 916 830	2 777 271	2 627 896	1 856 980	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	20%	671 369	1 871 295	2 666 265	2 902 166	2 760 185	2 550 241	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	25%	868 518	2 036 388	2 747 019	2 887 503	2 743 099	2 427 862	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	30%	1 056 384	2 170 564	2 827 772	2 872 840	2 726 013	2 246 848	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	35%	1 215 133	2 307 933	2 883 326	2 856 177	2 708 927	2 050 182	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	40%	1 359 167	2 426 121	2 909 386	2 811 432	2 647 099	1 838 326	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	45%	1 494 146	2 503 061	2 920 819	2 773 399	2 582 304	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	50%	1 607 096	2 580 001	2 907 422	2 757 671	2 493 691	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	55%	1 735 125	2 661 897	2 894 026	2 741 944	2 340 233	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	60%	1 889 377	2 735 016	2 880 629	2 726 216	2 165 644	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	65%	2 036 466	2 808 135	2 867 232	2 710 489	1 974 033	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	70%	2 156 633	2 867 909	2 851 693	2 658 175	1 800 240	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	75%	2 276 800	2 900 888	2 789 049	2 598 531	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	80%	2 396 674	2 918 688	2 771 459	2 523 586	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	85%	2 470 972	2 915 746	2 757 090	2 407 548	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	90%	2 539 679	2 903 616	2 742 721	2 251 010	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
	95%	2 608 786	2 891 486	2 728 352	2 086 291	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989
100%	2 681 618	2 879 356	2 713 983	1 904 513	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	1 784 989	

Tabulka 5.27 - Citlivostní analýza na cenu substrátu a potřebného množství substrátu – ukázka varianty II.

Z této dvouparametrické analýzy lze zjistit, že varianta II dosahuje nejlepších ekonomických výsledků ve srovnání s nulovou variantou při 20 % navýšením ceny substrátu a 45 % navýšením potřebného množství substrátu ve fermentoru. Dále je možné pozorovat, že při určitých kombinacích navýšení ceny substrátu a potřebného množství substrátu (v tabulce hodnota NPV = 1 784 989) již nemá navýšení těchto parametrů žádný vliv na rozdíl mezi nulovou variantou a variantou II. Proto bude proveden samostatný výpočet, při kterém varianty nebudou porovnávány s nulovou variantou, ale vypočítá se přímý ekonomický dopad změn těchto parametrů.

Varianta I.		Navýšení ceny substrátů [%]										
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Navýšení potřebného množství substrátů [%]	0%	51 869 393	37 565 028	22 751 584	7 284 725	-8 574 935	-24 992 087	-40 797 368	-57 446 837	-74 461 715	-91 700 315	-108 982 793
	5%	49 953 870	35 380 435	20 210 104	4 431 710	-11 741 724	-28 031 731	-44 570 611	-61 577 662	-78 936 934	-96 475 612	-114 029 758
	10%	48 038 346	33 170 452	17 668 623	1 545 150	-14 908 514	-31 481 719	-48 383 813	-65 739 178	-83 425 097	-101 250 910	-119 076 723
	15%	46 122 822	30 931 174	15 123 145	-1 341 410	-18 075 304	-34 931 708	-52 210 980	-69 916 094	-87 928 727	-106 026 208	-124 123 689
	20%	44 207 299	28 691 896	12 530 005	-4 227 970	-21 242 093	-38 388 801	-56 043 102	-74 109 325	-92 432 358	-110 801 506	-129 170 654
	25%	42 276 159	26 452 618	9 925 820	-7 132 842	-24 408 883	-41 903 208	-59 900 186	-78 314 591	-96 935 988	-115 576 804	-134 217 619
	30%	40 326 550	24 213 340	7 321 634	-10 047 854	-27 592 750	-45 420 115	-63 780 361	-82 527 135	-101 439 618	-120 352 101	-139 264 585
	35%	38 376 941	21 927 984	4 717 449	-12 962 866	-30 788 647	-48 980 386	-67 689 143	-86 759 098	-105 943 249	-125 127 399	-144 311 550
	40%	36 427 332	19 626 781	2 081 188	-15 877 878	-33 984 544	-52 545 018	-71 597 925	-90 991 060	-110 446 879	-129 902 657	-149 358 515
	45%	34 458 927	17 325 568	-596 072	-18 792 891	-37 180 441	-56 115 164	-75 532 617	-95 223 023	-114 950 509	-134 677 995	-154 405 481
	50%	32 467 756	15 019 240	-3 193 312	-21 707 903	-40 420 686	-59 707 660	-79 467 929	-99 454 986	-119 454 139	-139 453 293	-159 452 446
	55%	30 462 278	12 670 875	-5 836 209	-24 622 915	-43 676 257	-63 319 873	-83 416 128	-103 686 949	-123 957 770	-144 228 591	-164 499 412
	60%	28 456 801	10 312 885	-8 499 443	-27 554 658	-46 951 608	-66 957 769	-87 376 423	-107 918 911	-128 461 400	-149 003 888	-169 546 377
	65%	26 451 324	7 954 895	-11 162 678	-30 496 463	-50 253 704	-70 598 418	-91 336 718	-112 150 874	-132 965 030	-153 779 186	-174 593 342
	70%	24 445 846	5 596 905	-13 825 912	-33 438 268	-53 555 801	-74 256 371	-95 297 013	-116 382 837	-137 468 661	-158 554 484	-179 640 308
	75%	22 440 198	3 221 107	-16 489 147	-36 380 073	-56 869 260	-77 921 730	-99 257 309	-120 614 800	-141 972 291	-163 329 782	-184 687 273
	80%	20 346 252	833 187	-19 152 381	-39 346 837	-60 197 959	-81 588 445	-103 217 604	-124 846 762	-146 475 921	-168 105 080	-189 734 238
	85%	18 285 396	-1 554 333	-21 815 615	-42 343 272	-63 546 171	-85 277 073	-107 177 899	-129 078 725	-150 979 551	-172 880 378	-194 781 204
	90%	16 224 360	-3 942 653	-24 478 850	-45 342 052	-66 917 571	-88 965 700	-111 138 194	-133 310 688	-155 483 182	-177 655 675	-199 828 169
	95%	14 146 683	-6 341 158	-27 155 177	-48 376 599	-70 290 086	-92 654 328	-115 098 489	-137 542 651	-159 886 812	-182 430 973	-204 875 135
100%	12 034 888	-8 752 615	-29 842 890	-51 416 160	-73 675 993	-96 342 956	-119 058 785	-141 774 613	-164 490 442	-187 206 271	-209 922 100	

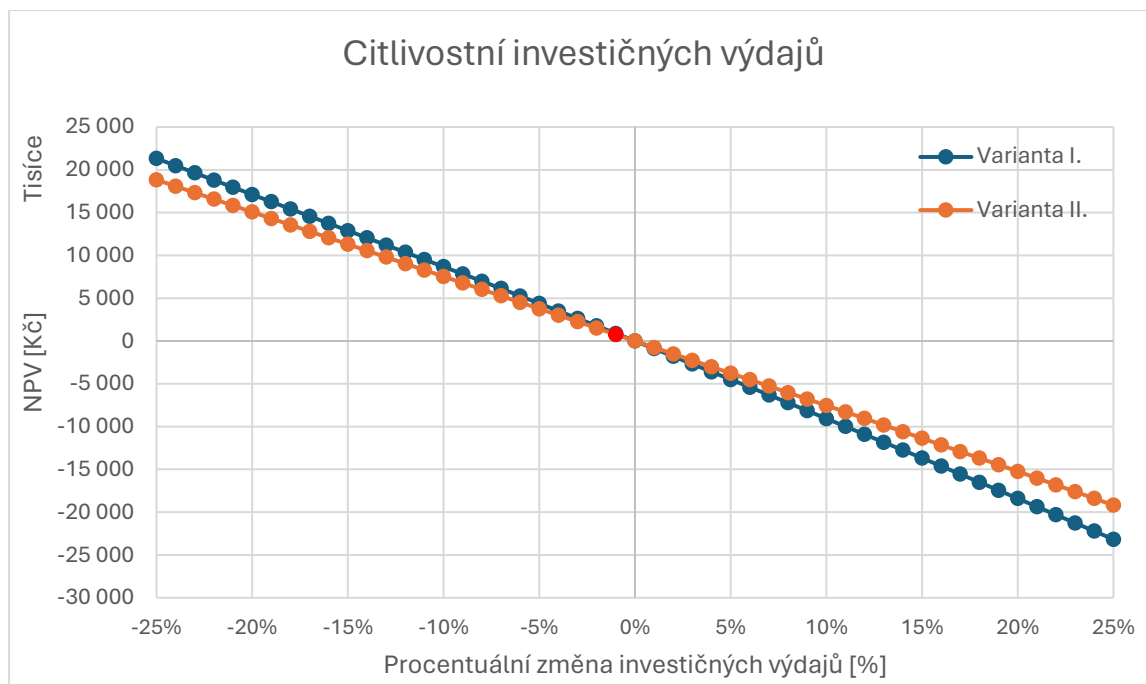
Tabulka 5.28 - Citlivostní analýzy na cenu substrátu a potřebného množství substrátu – Varianta I.

Varianta II.		Navýšení ceny substrátů [%]										
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Navýšení potřebného množství substrátů [%]	0%	51 869 393	38 151 718	23 768 900	8 531 263	-7 353 987	-23 535 918	-39 973 757	-57 102 369	-74 384 847	-91 667 325	-108 949 803
	5%	50 028 484	36 026 754	21 306 813	5 690 286	-10 520 777	-27 006 542	-43 866 827	-61 334 332	-78 888 477	-96 442 623	-113 996 768
	10%	48 187 535	33 890 457	18 778 275	2 815 029	-13 704 888	-30 484 545	-47 779 670	-65 566 294	-83 392 108	-101 217 921	-119 043 734
	15%	46 346 606	31 725 079	16 246 465	-81 871	-16 919 900	-34 006 670	-51 714 862	-69 798 257	-87 895 738	-105 993 219	-124 090 698
	20%	44 505 677	29 559 700	13 705 843	-2 996 883	-20 134 912	-37 536 505	-55 661 072	-74 030 220	-92 399 368	-110 768 516	-129 137 665
	25%	42 664 748	27 387 179	11 136 759	-5 911 895	-23 349 924	-41 111 063	-59 621 367	-78 262 183	-96 902 998	-115 543 814	-134 184 630
	30%	40 814 536	25 183 741	8 567 674	-8 826 907	-26 564 936	-44 744 256	-63 581 662	-82 494 145	-101 406 629	-120 319 112	-139 231 595
	35%	38 935 208	22 980 190	5 973 390	-11 741 919	-29 779 948	-48 393 101	-67 541 957	-86 726 198	-105 910 239	-125 084 410	-144 278 561
	40%	37 041 164	20 728 981	3 349 612	-14 689 013	-33 039 702	-52 058 459	-71 502 253	-90 958 071	-110 413 889	-129 869 708	-149 325 526
	45%	35 138 065	18 436 524	711 208	-17 648 414	-36 302 423	-55 735 062	-75 462 548	-95 190 034	-114 917 520	-134 645 005	-154 372 491
	50%	33 210 951	16 144 067	-1 952 027	-20 607 815	-39 588 963	-59 423 690	-79 422 843	-99 421 996	-119 421 150	-139 420 303	-159 419 457
	55%	31 271 657	13 844 814	-4 615 261	-23 567 215	-42 840 347	-63 112 317	-83 383 138	-103 653 959	-123 924 780	-144 195 601	-164 466 422
	60%	29 332 363	11 518 607	-7 278 496	-26 526 616	-46 312 861	-66 800 945	-87 343 433	-107 885 922	-128 428 410	-148 970 899	-169 513 387
	65%	27 385 905	9 192 400	-9 941 730	-29 486 016	-49 702 399	-70 489 573	-91 303 729	-112 117 885	-132 932 041	-153 746 197	-174 560 353
	70%	25 412 526	6 852 847	-12 607 107	-32 482 004	-53 097 803	-74 178 200	-95 264 024	-116 349 847	-137 435 671	-158 521 495	-179 607 318
	75%	23 439 146	4 486 499	-15 309 590	-35 485 320	-56 509 337	-77 866 828	-99 224 319	-120 581 810	-141 939 301	-163 296 792	-184 654 284
	80%	21 440 323	2 104 972	-18 013 379	-38 503 938	-59 926 297	-81 666 456	-103 184 614	-124 813 773	-146 442 932	-168 072 090	-189 701 249
	85%	19 392 611	-297 297	-20 717 168	-41 563 649	-63 343 257	-84 666 456	-107 144 910	-129 045 736	-150 946 562	-172 847 388	-194 748 214
	90%	17 339 507	-2 708 754	-23 420 957	-44 663 860	-66 760 217	-88 932 711	-111 105 205	-133 277 698	-155 450 192	-177 622 686	-199 795 180
	95%	15 286 403	-5 120 210	-26 124 746	-47 772 252	-70 177 177	-92 621 339	-115 065 500	-137 509 661	-159 953 823	-182 397 984	-204 842 145
100%	13 217 400	-7 531 667	-28 828 935	-50 897 703	-73 954 138	-96 309 966	-119 025 795	-141 741 624	-164 457 453	-187 173 282	-209 889 110	

Tabulka 5.29 - Citlivostní analýzy na cenu substrátu a potřebného množství substrátu – Varianta II.

Z této citlivostní analýzy je již patrné, že zvýšení potřebného množství a ceny substrátu má zásadní dopad na ekonomické výsledky bioplynové stanice. Proto je nezbytné zajišťovat co nejoptimálnější podmínky ve fermentoru, aby byla dosažena co nejvyšší výtěžnost bioplynu a minimalizovalo se potřebné množství substrátů.

Dále bude provedena citlivostní analýza na procentuální změnu investičních výdajů:



Graf 5.12 - Citlivostní analýza na investiční výdaje

Z této citlivostní analýzy lze vyvodit, že obě varianty jsou velmi citlivé na výši investičních výdajů, přičemž nejvíce citlivá je varianta I. To je způsobeno především tím, že varianta I. má vyšší investiční náklady než varianta II.

Závěr

Cílem této diplomové práce byla důkladná analýza modernizace a transformace bioplynové stanice ve Slatinách pod Hazmburkem. V úvodní části bylo nezbytné seznámení s klíčovou teorií týkající se bioplynových stanic, včetně možností konverze bioplynu na biometan a popisu výhod a nevýhod těchto zařízení.

Následně byla představena historie vývoje bioplynových stanic a aktuální stav tohoto odvětví v České republice i ve světě. Rovněž zde byly analyzovány důležité strategické dokumenty a jejich vliv na rozvoj bioplynových stanic. Z těchto dokumentů vyplývá, že lze očekávat výrazný příliv finančních prostředků do sektoru bioplynových stanic, což by mělo motivovat investory k větším investicím a přispět tak k dosažení stanovených cílů.

Další kapitola byla věnována detailní analýze možných variant řešení. Celkem bylo zkoumáno šest variant, z nichž čtyři zahrnovaly konverzi bioplynu na biometan. Na základě výsledků analýzy byly vybrány dvě nejvhodnější varianty, obě založené na konverzi bioplynu na biometan:

- Varianta I: Konverze bioplynu na biometan a jeho následné vtlačení do plynové soustavy.
- Varianta II: Konverze bioplynu na biometan a jeho následné stlačení a distribuce.

Následně byla představena metodika hodnocení ekonomické efektivity. Vhodné varianty byly posuzovány ze dvou perspektiv: z pohledu rozvoje systému, tedy z celkové strategie rozvoje sektoru bioplynových stanic a z pohledu konkrétního investora, tedy provozovatele stávající bioplynové stanice. Výsledkem této kapitoly je, že potenciální varianty řešení budou, v případě rozvoje systému, porovnávány s nulovou variantou na základě průměrných ročních ekvivalentních toků hotovosti, zatímco z pohledu investora budou porovnávány s nulovou variantou za základě hotovostních toků.

Další část práce se zaměřila na sestavení modelů potenciálních variant, včetně nulové varianty. Byly zpracovány vstupní údaje do těchto modelů a na základě výpočtů byly zjištěny minimální ceny biometanu, při kterých lze potenciální varianty považovat za ekvivalentní s nulovou variantou. První varianta byla dále rozdělena na podvarianty s jednotlivými technologiemi pro konverzi bioplynu, konkrétně na vodní vypírku, aminovou vypírku, membránovou separaci, metodu střídání tlaků a vypírku organickými rozpouštědly. Nejlepších výsledků, tedy minimální ceny biometanu, dosáhla konfigurace s membránovou separací při zrychleném odpisování, a to jak z pohledu investora, tak z pohledu rozvoje systému. Na základě tohoto výsledku byla v další variantě zvažována pouze

konfigurace s technologií membránové separace. Jednotlivé vypočtené minimální ceny při použití membránové separace jsou uvedeny v následující tabulce.

Pohled	Varianta	Vypočtená cena biometanu	
		Kč/m ³	Kč/MWh
Z pohledu rozvoje systému	Varianta I.	22,16	2100
	Varianta II.	21,81	2067
Z pohledu investora	Varianta I.	21,44	2033
	Varianta II.	21,30	2019

Z tabulky lze vyčíst, že při zohlednění provozu do nekonečna v kontextu rozvoje systému lze očekávat vyšší ekonomickou náročnost v podobě vyšší minimální ceny biometanu. Tento jev je způsoben rychlejší indexací cen vstupů než výstupů, což má výraznější dopad v dlouhodobém horizontu. Z ekonomického hlediska se jako nejvýhodnější varianta jeví varianta II, která dosahuje nejnižší minimální ceny biometanu z obou pohledů – jak z pohledu investora, tak z pohledu rozvoje systému. Nicméně při porovnání těchto cen s cenou zemního plynu bylo zjištěno, že ani při započítání zeleného bonusu se vypočtené ceny biometanu nedostanou na úroveň ceny zemního plynu.

Vysoké ceny zemního plynu v minulých letech způsobily, že současný zelený bonus je nedostačující. Stanovení zelených bonusů vychází v jedné části z aritmetického průměru ceny zemního plynu za předchozí roky, což má za následek to, že čím vyšší je tento průměr, tím je zelený bonus nižší. Očekává se však, že v příštích letech bude zelený bonus výrazně navýšen.

Tyto výsledky mohou být výrazně ovlivněny investičními dotacemi. Proto byla provedena citlivostní analýza, která ukázala, že i když první varianta vyžaduje vyšší investiční výdaje, má v případě poskytnutí dotace vyšší potenciál konkurovat nulové variantě než varianta druhá. Bylo však zjištěno, že aby se cena biometanu vyrovnala ceně zemního plynu, musela by výše investiční dotace dosáhnout 80 % z hlediska rozvoje systému a 90 % z hlediska investora, což je velmi nepravděpodobné.

Doporučení pro investora

Pro investora se doporučuje v současné době vyčkat s transformací bioplynové stanice a nadále produkovat bioplyn pouze pro zásobování kogenerační jednotky s výkonem 550 kW_e. Mezitím je vhodné podat žádost o investiční dotaci na modernizaci bioplynové stanice. Na základě případné výše získané investiční dotace a výše stanoveného zeleného bonusu pro rok 2025 se poté rozhodnout o provedení modernizace bioplynové stanice.

Použité zdroje

- [1] BOND, Tom a TEMPLETON, Michael R. History and future of domestic biogas plants in the developing world. Online. In: *Energy for Sustainable Development*. 2011, s. 347-354. ISSN 09730826. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>. [cit. 2024-03-16].
- [2] ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE. *Co je bioplyn?* Online. Dostupné z: <https://www.czba.cz/co-je-bioplyn.html>. [cit. 2024-03-16].
- [3] ŠEBKOVÁ, Iva. *Klademe důraz na moderní technologie a spolupráci s obcemi*. Online. 2016. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/sites/default/files/LSaouS6G2xz7yTfda/Sovak781672.pdf>. [cit. 2024-03-16].
- [4] IEA BIOENERGY. *Biogas upgrading technologies – developments and innovations*. Online. PETERSSON, Anneli a WELLINGER, Arthur. 2009. Dostupné z: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2009/10/upgrading_rz_low_final.pdf. [cit. 2024-03-14].
- [5] WORLD BIOENERGY ASSOCIATION. *GLOBAL BIOENERGY STATISTICS 2022*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.worldbioenergy.org/uploads/221223%20WBA%20GBS%202022.pdf>. [cit. 2024-03-16].
- [6] EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION. *EBA Statistical report 2023*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2023/12/EBA-Statistical-Report-2023-Launch-webinar.pdf>. [cit. 2024-03-16].
- [7] BIOENERGY INSIGHT. *JAN 20, 2022 Europe sees record-breaking year for biomethane production*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.bioenergy-news.com/news/europe-sees-record-breaking-year-for-biomethane-production/>. [cit. 2024-03-17].
- [8] ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE. *Mapa bioplynových stanic*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic.html>. [cit. 2024-03-17].
- [9] PETROLMEDIA. *Schválení podpory otevírá cestu investicím*. Online. ADÁMKOVÁ, Alena. 2024. Dostupné z: <https://www.petro.cz/magazin/2023/2023-06/schvaleni-podpory-otevira-cestu-investicim-14768>. [cit. 2024-01-27].
- [10] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Vláda schválila klimaticko-energetický plán. Nastínil cestu dekarbonizace české ekonomiky*. Online. ODBOR KOMUNIKACE 01400. 2023. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/vlada-schvalila-klimaticko-energeticky-plan--nastini-cestu-dekarbonizace-ceske-ekonomiky--277443/>. [cit. 2024-03-17].
- [11] EUR-LEX. *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS REPowerEU Plan*. Online. 2022. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022DC0230>. [cit. 2024-01-27].
- [12] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Aktualizace Vnitrostátního plánu České republiky v oblasti energetiky a klimatu*. Online. Říjen 2023. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/2023/10/Aktualizace_NKEP_10_2023_final.pdf. [cit. 2024-03-17].

- [13] WORLD BIOGAS ASSOCIATION. *Global Potential of Biogas*. Online. JAIN, Sarika. Dostupné z: https://www.worldbiogasassociation.org/wp-content/uploads/2019/07/WBA-globalreport-56ppa4_digital.pdf. [cit. 2024-03-19].
- [14] BIOM.CZ. *Možnosti zpracování obtížně využitelných organických odpadů procesem anaerobní digesce*. Online. KŮČA, Roman a OBROUČKA, Karel. 2011. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-zpracovani-obtizne-vyuzitelnych-organickych-odpadu-procesem-anaerobni-digesce>. [cit. 2024-03-14].
- [15] ORGANICABIOTECH. *Biogas Production*. Online. Dostupné z: <https://www.europeanbiogas.eu/about-biogas-and-biomethane/>. [cit. 2024-03-14].
- [16] BIOM.CZ. *Spolehlivá a ověřená technologie bioplynové stanice*. Online. 2007, 2015. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/spolehliva-a-overena-technologie-bioplynove-stanice>. [cit. 2024-03-14].
- [17] BIOLOGICKÉ METODY ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ. *Produkty anaerobní digesce*. Online. Dostupné z: http://hgfl0.vsb.cz/546/bmzo/pages/Produkty_anaerobni_digesce.html. [cit. 2024-01-28]
- [18] VALECHOVSKÁ, Jana. *Nové možnosti pěstování a hnojení*. Online. 2022. Dostupné z: <https://uroda.cz/nove-moznosti-pestovani-a-hnojeni/>. [cit. 2024-01-28].
- [19] KATEDRA SPECIÁLNÍ ZOOTECHNIKY. *Kejda a její zpracování*. Online. 2010. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20100308063055/http://kchpd.af.czu.cz/cvprprava.php>. [cit. 2024-03-22].
- [20] AGROKRŮT S.R.O. *Výroba elektřiny obnovitelným způsobem*. Online. Dostupné z: <https://agrokrut.cz/technologie/pojmy-bioplyn-substrat-a-jeho-produkce/>. [cit. 2024-01-28].
- [21] MONETA. *Úvěr pro živnostníky*. Online. Dostupné z: <https://www.moneta.cz/pujcky-a-uvery/business-uver-nezajisteny>. [cit. 2024-04-30].
- [22] PATURSKA, Anna; REPELE, Mara a BAZBAUERS, Gatis. *Economic assessment of biomethane supply system based on natural gas infrastructure*. Online. 2015. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215007018?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=87ce9dace8e4b327 [cit. 2024-04-30].
- [23] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Spotřeba tepla klesla meziročně o více než 9 %* Online. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/spotreba-tepla-klesla-mezirocne-o-vice-nez-9>. [cit. 2024-05-17].
- [24] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU TEPLÁRENSKÝCH SOUSTAV ČR ZA ROK 2020*. Online. 2022. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/rocni-zprava-o-provozu-teplarenskych-soustav-cr-za-rok-2020>. [cit. 2024-05-17].
- [25] EUROPEAN COMMISSION. *Food Waste*. Online. 2023. Dostupné z: https://food.ec.europa.eu/safety/food-waste_en. [cit. 2024-03-23].
- [26] DAVIDSON ENVIRONMENTAL. *Composting vs. Anaerobic Digestion*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.davidsonenvironmental.ca/composting-vs-anaerobic-digestion/>. [cit. 2024-03-23].
- [27] ZHU, Xianglu; E. HEALY, Laura; SULLIVAN, Carl; SUN, Da-Wen; TIWARI, Uma et al. Chapter 21 - Biorefinery. Online. In: . ISBN 9780323917391. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91739-1.00021-0>. [cit. 2024-03-23].

- [28] PŘÍRODA.CZ. *Energetické plodiny*. Online. DVOŘÁČKOVÁ, Helena. 2013. Dostupné z: <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=2559>. [cit. 2024-03-23].
- [29] J.W.H OUDE ELFERINK, Stefanie; DRIEHUIS, Frank; GOTTSCHAL, Jan C. a SPOELSTRA, Sierk F. *Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders: Conference Proceedings: Silage fermentation processes and their manipulation*. In: . ISBN 9251045003. Dostupné také z: <https://www.fao.org/3/x8486e/x8486e09.htm>.
- [30] Energie větru, vody, biomasy. Online. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Cover.html> [cit. 2024-01-28]
- [31] OENERGETICE.CZ. *Bioplyn a bioplynové stanice v ČR*. Online. MOLEK, Tomáš. 2015. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/bioplyn-a-bioplynove-stanice-v-cr>. [cit. 2024-03-12].
- [32] PAPEŽ, Karel. Jak fungují bioplynové stanice. Online. 2015. Dostupné z: <https://www.en-viweb.cz/103210>. [cit. 2024-01-28].
- [33] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/an-introduction-to-biogas-and-biomethane>. [cit. 2024-03-24].
- [34] JEŘÁBKOVÁ, Julie. *Metody čištění bioplynu na biometan*. Online. 2011. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-cisten-bioplynu-na-biometan>. [cit. 2024-01-28].
- [35] POWERUP. *Decoding Biogas Plants – The Main Components and Their Significance*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.powerup.at/knowledge/biogas-plant/components/>. [cit. 2024-03-25].
- [36] KÁRA, Jaroslav. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Praha: VÚZT, 2007. ISBN 978-80-86884-28-8. [cit. 2024-03-25].
- [37] Biometan: Nová energie Česka. Online. In: SEDLÁK, Martin; MINDEKOVÁ, Tatiana a SCHWARZ, Martin. S. 13. Dostupné z: https://www.modernienergetika.cz/wp-content/uploads/2023/11/Infolist_Biometan.pdf. [cit. 2024-03-26].
- [38] USMAN KHAN, Muhammad; TIAN EN LEE, Jonathan; AAMIR BASHIR, Muhammad; DULANJA DISSANAYAKE, Pavani; SIK OK, Yong et al. Current status of biogas upgrading for direct biomethane use: A review. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Roč. 2021, č. 149. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111343>. [cit. 2024-03-28].
- [39] ANGELIDAKI, Irini; TREU, Laura; TSAPEKOS, Panagiotis; LUO, Gang; CAMPANARO, Stefano et al. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. In: . S. 452-466. ISSN 0734-9750. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.011>.
- [40] ABU SEMAN, N a HARUN, N. Simulation of pressurized water scrubbing process for biogas purification using Aspen Plus. Online. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, roč. 702, č. 1. ISSN 1757-8981. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/702/1/012040>. [cit. 2024-03-28].
- [41] AHMED, Shams Forruque; MOFIJUR, M.; TARANNUM, Karishma; CHOWDHURY, Anika Tasnim; RAFA, Nazifa et al. *Biogas upgrading, economy and utilization: a review*. Online. Volume 19, 4137–4164. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01292-x>. [cit. 2024-03-29].
- [42] BARTOVSKÁ, Lidmila a ŠIŠKOVÁ, Marie. *Co je co v povrchové a koloidní chemii*. Online. 2005. Dostupné z: https://e-learning.vscht.cz/knihy/uid_es-001/. [cit. 2024-03-29].

- [43] PENTAIR. *MEMBRANE TECHNOLOGY*. Online. Dostupné z: <https://biogas.pentair.com/en/technology/membrane-technology>. [cit. 2024-03-30].
- [44] ZÁKONY PRO LIDI. *Výhláška č. 78/2021 Sb.* Online. 2021. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-78>. [cit. 2024-01-27].
- [45] ASOCIACE SOUKROMÉHO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR. *Bioplyn a biometan mohou nahradit významnou část zemního plynu*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.asz.cz/clanek/11073/bioplyn-a-biometan-mohou-nahradit-vyznamnou-cast-zemniho-plynu/>. [cit. 2024-03-30].
- [46] GASNET. *Připojení výroby biometanu*. Online. Dostupné z: <https://www.gasnet.cz/pripojzeni-k-plynu/nove-pripojzeni/pripojzeni-biometanove-stance>. [cit. 2024-01-25].
- [47] ZÁKONY PRO LIDI. *Výhláška č. 488/2021 Sb.* Online. 2021. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-488#f7342712>. [cit. 2024-04-02].
- [48] STARÝ, Oldřich. *Management energetických soustav: Rozhodování o systémech a subsystémech z hlediska rozvoje*. PDF.
- [49] MULTITRANS.CZ. *Ceník*. Online. Dostupné z: <https://www.multitrans.cz/cs/cenik>. [cit. 2024-04-02].
- [50] VOX. *Daňové tabulky 2024*. Online. 2024. Dostupné z: <https://vox.cz/danove-tabulky-2024/>. [cit. 2024-04-28]. ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA. *Prognóza ČNB*. Online. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/prognoza/>. [cit. 2024-04-26].
- [51] ČESKÁ PELETA. *Vytápění*. Online. Dostupné z: <https://ceska-peleta.cz/vytapeni/>. [cit. 2024-04-26].
- [52] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Předběžné ceny tepelné energie*. Online. 22.06.2023. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/predbezne-ceny-tepelne-energie-v-cr-k-01012023>. [cit. 2024-04-26].
- [53] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *ENERGETICKÝ REGULAČNÍ VĚSTNÍK 8/2023*. Online. 30.11.2023. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/energeticky-regulacni-vestnik-82023>. [cit. 2024-04-27].
- [54] KURZYCZ. *Kurz Eura, Euro EUR, aktuální kurzy koruny a měn*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/nejlepsi-kurzy/EUR-euro/>. [cit. 2024-04-27].
- [55] ZEMĚDĚLSKÝ SVAZ ČESKÉ REPUBLIKY. *Vyjádření ZS ČR k problematice odpisových skupin*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-586#f1459884>. [cit. 2024-04-28].
- [56] ZÁKONY PRO LIDI. *Výhláška č. 79/2022 Sb.* Online. 2022. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2022-79>. [cit. 2024-04-28].
- [57] PENÍZE.CZ. *Kalkulačka čisté mzdy 2024*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.penize.cz/kalkulacky/vypocet-ciste-mzdy>. [cit. 2024-04-29].
- [58] MICIC, Ivica; RADOSAV, Dragica; JOSIMOVIC, Milios; JURIC, Slobodan a NOVAKOV, Vladislav. *Testing the energy efficiency of CHP engines and cost-effectiveness of biogas plant operation*. Online. Dostupné z: <https://doi.org/10.1049/rpg2.12614>. [cit. 2024-04-29].
- [59] CARRANZA-ABAID, Andrés; R. WANDERLEY, Ricardo a POPLSTEINOVA JAKOBSEN, Jana. *Analysis and selection of optimal solvent-based technologies for biogas upgrading: Volume 303*. Online. In: . Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236121012060?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=87d086d9bd40b386. [cit. 2024-05-01].
- [60] SKUPINA SEVEROČESKÁ VODA. *Cena vody pro rok 2024*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.svs.cz/cz/verejnost/cena-vody/>. [cit. 2024-05-02].

- [61] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *ENERGETICKÝ REGULAČNÍ VĚSTNÍK 5/2023*. Online. 2023. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/energeticky-regulacni-vestnik-52023>. [cit. 2024-05-04].
- [62] KOTLY.COM.PL. *Kotel na pelety a dřevní štěpky EG-Multifuel 300 kW*. Online. Dostupné z: <https://kotly.com.pl/produkt-kotel-na-pelety-a-drevni-stepky-eg-multifuel-300-kw-3258.html?!=cz>. [cit. 2024-05-04].
- [63] KOTLY.COM.PL. *Kocioł na pellety i zřebki EG-Multifuel 600 kW*. Online. Dostupné z: <https://kotly.com.pl/produkt-kocioł-na-pellety-i-zrebki-eg-multifuel-600-kw-bez-dopravy-4491.html?!=cz>. [cit. 2024-05-04].
- [64] STEJSKAL, Marek. *Ekonomické vyhodnocení provozu bioplynové stanice*. Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické, 2021.
- [65] FEBIJANTO, Irhan; HERMAWAN, Erwan; IFANDA; ADIARSO, Adiarso; , Siswanto et al. Techno-enviro-economic assessment of bio-CNG derived from Palm Oil Mill Effluent (POME) for public transportation in Pekanbaru City. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755008424000334?via%3Dihub>. [cit. 2024-05-05].
- [66] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Energetický regulační věstník 10/2023*. Online. 2023. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/energeticky-regulacni-vestnik-102023>. [cit. 2024-05-07].
- [67] LUISA ABREU NETTO, Anna, MOUTINHO DOS SANTOS, Edmilson a PEYERL, Driellie (ed.). Opportunities and Challenges of Natural Gas and Liquefied Natural Gas in Brazil. Online. In: . S. 94-97. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/349057826_Opportunities_and_Challenges_of_Natural_Gas_and_Liquefied_Natural_Gas_in_Brazil. [cit. 2024-05-08].
- [68] ZORG BIOGAS. *Double membrane gasholder; Dome shaped 1/2 D*. Online. 2024. Dostupné z: https://zorg-biogas.com/equipment/biogas-gasholders/double-membrane-gasholder-dome-shape-1_2d. [cit. 2024-05-08].
- [69] ZORG BIOGAS. *Enclosed gas flare FAII 300, max. 350 m³/h*. Online. 2024. Dostupné z: https://zorg-biogas.com/equipment/biogas-flare/faii_300. [cit. 2024-05-08].
- [70] TRUCKCENTRE. *MAN TGX 26.480, NOSIČ VÝMĚNNÝCH NÁSTAVEB (BDF), 6X2, EURO 6, ZVEDACÍ NÁPRAVA*. Online. Dostupné z: <https://www.truckcentre.com/nakladni-vozy/nad-7-5-t-nosic-kontejneru/5642-man-tgx-26-480-nosi-vmnch-nstaveb-bdf-6x2-euro-6-zvedac-nprava/?iteration=0>. [cit. 2024-05-08].
- [71] WEBFLEET. *Úspora paliva*. Online. Dostupné z: https://www.webfleet.com/cs_cz/webfleet/industries/transport/fuel-efficiency/. [cit. 2024-05-08].
- [72] GREENREMEDY. *ETANIZACE (POWER TO GAS)*. Online. Dostupné z: <https://www.greenremedy.cz/metanizace-power-to-gas/>. [cit. 2024-05-10].
- [73] ZÁKONY PRO LIDI. *Vyhláška č. 110/2022 Sb. Vyhláška o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů a kritérií udržitelnosti a úspory emisí skleníkových plynů pro biokapaliny a paliva z biomasy*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2022-110>. [cit. 2024-05-10].
- [74] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Přehled dotačních programů*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/dotace-na-uspory-energie/prehled-dotacnich-programu-na-podporu-energeticke-ucinnosti--271831/>. [cit. 2024-05-10].

- [75] EXPORHUB.COM. Online. Dostupné z: <https://www.exporthub.com/>. [cit. 2024-05-11].
- [76] GENTEC. *Technický list kogenerační jednotky*. Online. Dostupné z: https://gentec.cz/wp-content/uploads/2021/09/Technicky-list_KE-MTUNG-1000-BEE_2109.0-2.pdf. [cit. 2024-05-12].
- [77] TEDOM. *Generální oprava kogenerační jednotky ušetřila provozovateli přes 2,5 milionu korun*. Online. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/generalni-oprava-kogeneracni-jednotky-usetrila-provozovateli-pres-25-milionu-korun/>. [cit. 2024-05-12].
- [78] BENATO, Alberto; D'ALPAOS, Chiara a MACOR, Alarico. Possible Ways of Extending the Biogas Plants Lifespan after the Feed-In Tariff Expiration. Online. In: . 2022. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en15218113>. [cit. 2024-05-12].
- [79] *Low Carbon Agricultural Support Project (RRP VIE 45406)*. Online. Dostupné z: <https://www.adb.org/sites/default/files/linked-documents/45406-001-vie-efa.pdf>. [cit. 2024-05-13].
- [80] ZORG BIOGAS. *Biomethane transportation container 40" ISO standard - 6,5 tonne*. Online. Dostupné z: <https://zorg-biogas.com/equipment/transportation-methane/methane-transportation-modules>. [cit. 2024-05-14].
- [81] EVROPSKÁ UNIE. *Konečná spotřeba energie*. Online. Dostupné z: <https://data.europa.eu/data/datasets/jat1a5cjq2xk3yq7cv779g?locale=cs>. [cit. 2024-05-15].
- [82] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Jaký je rozdíl mezi zeleným bonusem a výkupní cenou*. Online. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/jaky-je-rozdil-mezi-zelenym-bonusem-vykupni-cenou>. [cit. 2024-05-15].
- [83] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Jaké subjekty vstoupily do systému podpory podle zákona o podporovaných zdrojích energie?* Online. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/jake-subjekty-vstoupily-do-systemu-podpory-podle-zakona-c-1652012-sb>. [cit. 2024-05-15].
- [84] MINISTERSTVO FINANČÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Emisní kalendář střednědobých a dlouhodobých státních dluhopisů - březen 2024*. Online. Dostupné z: <https://www.mfcr.cz/cs/rozpocetova-politika/rizeni-statniho-dluhu/emise-statnich-dluhopisu/emisni-kalendare-sdd/2024/emisni-kalendar-strednedobych-a-dlouhodobych-statn-54847>. [cit. 2024-05-17].
- [85] DAMODARAN. Online. Dostupné z: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>. [cit. 2024-05-17].
- [86] CORPORATE FINANCE INSTITUTE. *WACC*. Online. Dostupné z: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/what-is-wacc-formula/>. [cit. 2024-05-17].
- [87] OCEPO. *Propočet nákladů vlastního kapitálu pomocí modelu CAPM*. Online. Dostupné z: https://ocepo.cz/okruhy/16_okruh.php. [cit. 2024-05-17].
- [88] KURZYCZ. *EUR průměrné kurzy 2024, historie kurzů měn*. Online. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/historie/EUR-euro/2024/>. [cit. 2024-05-18].
- [89] ČSOB. *Výpočet čisté mzdy zaměstnanců v roce 2024*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.pruvodcepodnikanim.cz/clanek/vypocet-ciste-mzdy-zamestnancu-2024/>. [cit. 2024-05-18].
- [90] THE GLOBAL BANK DISASTER RISK REDUCTION AND RECONSTRUCTION FUND. *HOW MUCH DOES PROJECT PREPARATION COST AND HOW IS IT FINANCED?* Online. Dostupné

- z: <https://gbdrrf.org/faqs/how-much-does-project-preparation-cost-and-how-it-financed>. [cit. 2024-05-18].
- [91] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *CO PŘINÁŠÍ NOVELA ZÁKONA O POZE?* Online. 2021. Dostupné z: https://czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis_Biom_2021_03_WEB.pdf. [cit. 2024-01-27].
- [92] EUR-LEX. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001 ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů (přepracované znění) (Text s významem pro EHP)*. Online. 2018. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32018L2001#d1e3651-82-1>. [cit. 2024-05-18].
- [93] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Kritéria udržitelnosti*. Online. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/kriteria_udrizitelnosti_ovzdusi. [cit. 2024-05-18].
- [94] CZBIOM. *KRITÉRIA UDRŽITELNOSTI*. Online. Dostupné z: <https://www.czbiom.cz/udrizitelnost/>. [cit. 2024-05-18].
- [95] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Metodický pokyn*. Online. Dostupné z: https://www.celnisprava.cz/cz/dane/tiskopisy/Biopaliva/Methodick%C3%BD%20pokyn%20M%C5%BDP%20%C4%8CR_2019.pdf. [cit. 2024-05-18].
- [96] TRUCKPROFI. *VÝPOČET NÁKLADŮ NA 1 KM – DÍL 2*. Online. 2016. Dostupné z: <https://www.truck-profi.cz/183/vypocet-nakladu-na-1-km-2-dil/>. [cit. 2024-05-19].
- [97] KURYCZ. *PXE - Zemní plyn - ceny a grafy PXE zemního plynu, vývoj ceny PXE zemního plynu 1 MWh - 1 rok - měna CZK (17.5)*. Online. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/pxe-zemni-plyn-graf-vyvoje-ceny/1MWh-czk-1-rok>. [cit. 2024-05-20].
- [98] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *NÁVRH AKTUALIZACE METODIKY MEZIROČNÍ ÚPRAVY VÝŠE ZELENÝCH BONUSŮ NA ELEKTRINU (ČÁST ECSE)*. Online. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/navrh-aktualizace-metodiky-mezirocnni-upravy-vyse-zelenych-bonusu-na-elektrinu-cast-ecse>. [cit. 2024-05-20].
- [99] GELOGOGY.CZ. *Zachytávání CO₂*. Online. Dostupné z: <http://www.geology.cz/ccs/technologie-ccs/zachytavani>. [cit. 2024-05-21].
- [100] EUR-LEX. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2023/2413 ze dne 18. října 2023, kterou se mění směrnice (EU) 2018/2001, nařízení (EU) 2018/1999 a směrnice 98/70/ES, pokud jde o podporu energie z obnovitelných zdrojů, a zrušuje směrnice Rady (EU) 2015/652*. Online. 2023. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj>. [cit. 2024-05-22].

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 - Fáze anaerobní digesce [13]	5
Obrázek 1.2 – Zjednodušené schéma bioplynové stanice [33]	12
Obrázek 1.3 - Metody upgradu bioplynu [38]	15
Obrázek 1.4 - Počet biometanových stanic s konkrétní technologií v Evropě [38]	15
Obrázek 1.5 – Schéma vodní vypírky s regenerací vody [39]	16
Obrázek 1.6 - Schéma aminové vypírky [41]	17

Obrázek 1.7 - Schéma metody střídání tlaků [41].....	18
Obrázek 1.8 - Schéma membránové separace [41].....	19
Obrázek 1.9 - Schéma systému pro kryogenní separaci [41].....	20
Obrázek 3.1 - Bioplynová stanice ve Slatinách pod Hazmburkem.....	33
Obrázek 4.1 - Dosavadní a dožívající prvky [48].....	41

Seznam grafů

Graf 1.1 - Výnos m ³ bioplynu na tunu biomasy [17].....	7
Graf 2.1 - Množství vyrobené energie ve Světě [5].....	26
Graf 2.2 - Množství vyrobeného bioplynu ve Světě [5].....	27
Graf 2.3 - Vyrobené množství biometanu a bioplynu v Evropě [6].....	28
Graf 2.4 - Množství biometanových stanic v Evropě [6].....	28
Graf 2.5 - Očekávaná produkce bioplynu v rozdělení na stávající, konvertované a nové bioplynové stanice [12].....	31
Graf 2.6 - Cíle výroby biometanu do roku 2030 [6].....	31
Graf 3.1 - Výroba bioplynu za rok 2023.....	34
Graf 3.2 - Výroba elektřiny a tepla za rok 2023.....	35
Graf 3.3 - Spotřeba substrátu za rok 2023.....	36
Graf 5.1 - Přepočtená denní spotřeba substrátů.....	46
Graf 5.2 - Výše úvěrů, roční splátky a úroků v nulové variantě.....	56
Graf 5.3 - CF nulové varianty.....	58
Graf 5.4 – Celkové provozní náklady metod konverze v průběhu doby porovnání.....	62
Graf 5.5 - Údaje spojené s palivem ve variantě I.....	63
Graf 5.6 - Výše úvěrů ve variantě I.....	67
Graf 5.7 - Výše ročních úroků ve variantě I.....	68
Graf 5.8 – Výše roční splátky ve variantě I.....	68
Graf 5.9 - Výše úvěrů, roční splátky a úroků ve variantě II.....	73
Graf 5.10 - Citlivostní analýza na cenu silové elektřiny.....	77
Graf 5.11 - Citlivostní analýza na vlastní spotřebu.....	77
Graf 5.12 - Citlivostní analýza na investiční výdaje.....	80

Seznam tabulek

Tabulka 1.1 - Zastoupené složky v bioplynu [30].....	6
--	---

Tabulka 1.2 - Požadavky na kvalitu biometanu, podmínky jeho měření a vkládání do plynárenské sítě [44].....	22
Tabulka 2.1 - Licencování výrobci biometanu [9]	29
Tabulka 5.1 – Přepočtené množství substrátů	46
Tabulka 5.2 - Cena substrátů	47
Tabulka 5.3 - Celková cena přepočtených substrátů za rok 2024.....	47
Tabulka 5.4 - Přepočtené množství vzniklého separátu	48
Tabulka 5.5 - Odpisové skupiny [50]	54
Tabulka 5.6 - Odpisování položek ve společné části.....	54
Tabulka 5.7 - Celková cena prodaného tepla a elektřiny + celková cena ušetřené elektřiny v nulové variantě	55
Tabulka 5.8 – Specifická reinvestice v nulové variantě	56
Tabulka 5.9 - Vypočtené investiční výdaje metod pro konverzi bioplynu.....	60
Tabulka 5.10 - Provozní náklady jednotlivých metod pro konverzi bioplynu	60
Tabulka 5.11 - Vypočtené množství spotřebovaných komodit	61
Tabulka 5.12 - Provozní náklady jednotlivých metod konverze bioplynu za rok 2024	61
Tabulka 5.13 - Roční údržba jednotlivých technologií pro konverzi bioplynu	61
Tabulka 5.14 - Čistota a ztráty biometanu jednotlivých metod.....	63
Tabulka 5.15 - Množství ročně vyrobeného biometanu za použití jednotlivých technologií.....	64
Tabulka 5.16 – Celková spotřeba a cena elektřiny v bioplynové stanici při využití jednotlivých technologií.....	66
Tabulka 5.17 – Doba odpisování, investice a reinvestice varianty I.	67
Tabulka 5.18 -Vypočtená cena biometanu z pohledu rozvoje systému ve variantě I.	69
Tabulka 5.19 - Vypočtená cena biometanu z pohledu investora při ve variantě I.	70
Tabulka 5.20 - Ceník systému pro stlačení systému.....	71
Tabulka 5.21 – Doba odpisování, investice a reinvestice varianty II.	72
Tabulka 5.22 - Vypočtená cena biometanu z pohledu rozvoje systému ve variantě II.....	73
Tabulka 5.23 - Vypočtená cena biometanu z pohledu investora při zrychleném odpisování ve variantě II.	74
Tabulka 5.24 - Vypočtené ceny biometanu jednotlivých variant pro jednotlivé pohledy.....	74
Tabulka 5.25 – Výsledky citlivostní analýzy provedené na cenu biometanu a investiční dotace z pohledu rozvoje systému	75
Tabulka 5.26 - Výsledky citlivostní analýzy provedené na cenu biometanu a investiční dotace z pohledu investora	75
Tabulka 5.27 - Citlivostní analýza na cenu substrátu a potřebného množství substrátu – ukázka varianty II.	78

Tabulka 5.28 - Citlivostní analýzy na cenu substrátu a potřebného množství substrátu – Varianta I.....	79
Tabulka 5.29 - Citlivostní analýzy na cenu substrátu a potřebného množství substrátu – Varianta II.....	79