

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Diplomová práce

Využití odpadního tepla bioplynové stanice

Matěj Valenta

© 2020 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Matěj Valenta

Kvantitativní metody v ekonomice
Systémové inženýrství

Název práce

Využití odpadního tepla bioplynové stanice

Název anglicky

Biogas plant waste heat recovery

Cíle práce

Cílem práce je porovnání technologií a doporučení nejvhodnějšího technologického postupu pro řešení problému s odpadním teplem konkrétní bioplynové stanice a zvýšení efektivnosti jejího provozu.

Metodika

- Analýza odborných zdrojů zaměřených na problematiku odpadního tepla a bioplynových stanic
- Analýza odborných zdrojů zaměřených na problematiku rozhodovacího procesu a vícekritériálního rozhodování
- Výběr vhodných metod a matematických modelů pro řešení problému
- Aplikace systémové analýzy pro získání vstupních parametrů do matematického modelu
- Výpočet modelu vícekritériálního rozhodování
- Ekonomické zhodnocení preferované varianty

Doporučený rozsah práce

70 – 80 s.

Klíčová slova

odpadní teplo, bioplynová stanice, rozhodovací proces, analýza variant, vícekriteriální rozhodování, metoda AHP

Doporučené zdroje informací

- BROŽOVÁ, H. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. PROVOZNĚ EKONOMICKÁ FAKULTA, – ZÍSKAL, J. – ŠVASTA, J. *Systémová analýza a modelování II*. Praha: Credit, 2000. ISBN 80-213-0558-4.
- BROŽOVÁ, H. – HOUŠKA, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA OPERAČNÍ A SYSTÉMOVÉ ANALÝZY, – ŠUBRT, T. *Modely pro vícekriteriální rozhodování*. Praha: Credit, 2003. ISBN 80-213-1019-7.
- JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum : kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Professional Publishing, 2004. ISBN 80-86419-42-8.
- SCHULZ, H. – EDER, B. – KRIEG, A. – MITTERLEITNER, H. *Bioplyn v praxi : teorie – projektování – stavba zařízení – příklady*. Ostrava: HEL, 2004. ISBN 80-86167-21-6.
- ŠUBRT, T. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.
- ŠVECOVÁ, L. – FOTR, J. *Manažerské rozhodování : postupy, metody a nástroje*. Praha: Ekopress, 2016. ISBN 978-80-87865-33-0.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Roman Kvasnička, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2020

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2020

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití odpadního tepla bioplynové stanice" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30. 3. 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Romanu Kvasničkoví, Ph.D. za pomoc, trpělivost a vynaložené úsilí při vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat všem odborníkům, které jsem oslovil a kteří mi poskytli informace nutné k sepsání této práce. Nakonec bych rád poděkoval firmě Agrospol s.r.o. za spolupráci a poskytnuté rady.

Využití odpadního tepla bioplynové stanice

Abstrakt

Tato práce využívá metody operačního výzkumu pro zlepšení efektivity provozu bioplynové stanice. V teoretické části práce jsou uvedeny základní informace z oblasti provozu bioplynových stanic a metod využívání odpadního tepla. Dále se v této části uvádí teoretická východiska rozhodovacího procesu, analýzy variant a vybraných modelů. Cílem praktické části je doporučení technologie řešící problém s odpadním teplem. Nejprve je identifikován problém na systému bioplynové stanice. Následně je daný problém zanalyzován a zformulován. Na základě získaných informací jsou stanovena kritéria hodnocení variant. Poté jsou zformulovány varianty rozhodování a pomocí metody analytického hierarchického procesu seřazeny podle preferencí. Na konec je provedeno ekonomické ohodnocení vybraných variant a stanoveno doporučení pro podnik.

Klíčová slova: odpadní teplo, bioplynová stanice, rozhodovací proces, analýza variant, vícekritériální rozhodování, metoda AHP

Biogas plant waste heat recovery

Abstract

This thesis uses operational research methods to improve the efficiency of biogas plant operation. In the theoretical part of the thesis, basic information from the field of biogas plants operation and methods of waste heat utilization are given. Furthermore, the theoretical background of the decision-making process, analysis of variants and selected decision-making models is presented in this part. The aim of the practical part is to recommend technology which can solve the problem with waste of heat. First, the problem on the biogas plant system is identified. Subsequently, the problem is analyzed and formulated. Based on the obtained information, the criteria for evaluating the variants are determined. Then the decision-making variants are formulated and sorted by preference using the analytical hierarchical process method. Finally, the economic evaluation of selected options is made and recommendations for the company are set.

Keywords: waste heat, biogas plant, decision-making process, analysis of variants, multiple criteria decision analysis, AHP method

Obsah

1 Úvod	14
2 Cíl práce a metodika	15
2.1 Cíl práce.....	15
2.2 Metodika.....	15
3 Teoretická východiska	17
3.1 Bioplynové stanice	17
3.1.1 Vznik bioplynu.....	18
3.1.2 Technologie výroby bioplynu	19
3.1.3 Technologie zpracování bioplynu	21
3.1.4 Výroba elektřiny z bioplynu	23
3.2 Odpadní teplo.....	23
3.2.1 Faktory ovlivňující opětovné využití odpadního tepla.....	25
3.2.2 Technologie pro využití odpadního tepla	26
3.3 Operační výzkum	29
3.3.1 Aplikační fáze operačního výzkumu.....	30
3.3.2 Obory operačního výzkumu	32
3.4 Systémový přístup.....	34
3.4.1 Podmínky systémového přístupu	35
3.5 Rozhodovací proces	35
3.6 Vícekriteriální rozhodování	39
3.6.1 Varianta	40
3.6.2 Kritérium	40
3.6.3 Rozhodovatel	41
3.6.4 Dělení úloh vícekriteriálního rozhodování	42
3.6.5 Modelování preferencí mezi kritérii.....	44
3.6.6 Saatyho metoda.....	45
3.6.7 Analytický hierarchický proces	47
3.7 Systémová analýza	48
3.7.1 Systém	49
3.7.2 Okolí systému	50
3.7.3 Model	50
3.7.4 Fáze systémové analýzy	50
3.8 Ekonomické hodnocení	52
4 Vlastní práce	54
4.1 Identifikace rozhodovacího problému.....	54

4.2	Analýza a formulace rozhodovacích problémů	55
4.2.1	Strom kauzálních vztahů	55
4.2.2	Analýza teplotních přenosů v BPS	57
4.2.3	Prvky systému přenosu tepla v BPS	58
4.2.4	Vazby systému přenosu tepla v BPS	59
4.2.5	Okolí systému přenosu tepla v BPS.....	60
4.2.6	Formulace problému	64
4.3	Stanovení kritérií hodnocení variant.....	65
4.3.1	Profil rozhodovatele.....	65
4.3.2	Kritéria hodnocení	66
4.4	Tvorba variant rozhodování a určení jejich důsledků.....	68
4.4.1	Variety technologických možností	68
4.5	Hodnocení důsledků variant rozhodování a výběr varianty určené k realizaci	75
4.5.1	Váhy kritérií	77
4.5.2	Ohodnocení variant.....	79
4.5.3	Hodnocení investice do chladicího kondenzátoru	81
4.5.4	Hodnocení investice univerzálního sušení	82
5	Výsledky a doporučení	86
6	Závěr	88
7	Seznam použitých zdrojů	89
8	Přílohy.....	94

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma rozdělení bioplynových technologií.....	20
Obrázek 2 - Fáze operačního výzkumu	31
Obrázek 3 - Struktura rozhodovacího procesu podle Simona	38
Obrázek 4 - Struktura AHP.....	48
Obrázek 5 - Fáze systémové analýzy	51
Obrázek 6 - Bioplynová stanice Agrospol.....	55
Obrázek 7 - Strom kauzálních vztahů	56
Obrázek 8 - Systém přenosu tepla v BPS	57
Obrázek 9 - Hierarchická struktura problému	76

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Příklady zdrojů a využití odpadního tepla	27
Tabulka 2 - Charakteristiky dobře a špatně strukturovaných problémů.....	36
Tabulka 3 - Rozdělení metod řešení podle preferencí mezi variantami	42
Tabulka 4 - Metody kvantifikace preferencí mezi kritérii a jejich výstupy	44
Tabulka 5 - Stupnice hodnocení Saatyho metody.....	45
Tabulka 6 - Parametry systému přenosu tepla	64
Tabulka 7 - Přehled kritérií a subkritérií	67
Tabulka 8 - Varianta V1	69
Tabulka 9 - Varianta V2	70
Tabulka 10 - Varianta V3	71
Tabulka 11 - Varianta V4	72
Tabulka 12 - Varianta V5	73
Tabulka 13 - Varianta V6	74
Tabulka 14 - Varianta V7	75
Tabulka 15 - Matice S úroveň 2.....	77
Tabulka 16 - Uspořádání variant.....	80
Tabulka 17 - Peněžní toky v 1. roce provozování chlazení.....	82
Tabulka 18 - Energetické dopady investice.....	85

Seznam vzorců

Vzorec 1 - Kriteriaální matice Y	40
Vzorec 2 - Saatyho matice S	46
Vzorec 3 - Index konzistence	46
Vzorec 4 - Geometrický průměr řádků matice S	47
Vzorec 5 - Normalizace hodnot	47

Seznam grafů

Graf 1 - Vývoj energetických nároků BPS během roku	61
Graf 2 - Výroba elektřiny	63
Graf 3 - Rozložení kritérií úrovně 2	78
Graf 4 - Rozložení subkritérií K1	78
Graf 5 - Výsledek metody AHP	80

Seznam příloh

Příloha 1 - Spotřeba zemního plynu v ČR.....	94
Příloha 2 - Průměrné měsíční teploty	94
Příloha 3 - Dostupné odpadní teplo.....	95
Příloha 4 - Průměrná výroba elektřiny 2015 - 2019.....	96
Příloha 5 - Matice S - K1 úroveň 3	97
Příloha 6 - Matice S - K2 úroveň 3	97
Příloha 7 - Matice S - K3 úroveň 3	97
Příloha 8 - Matice S - K1.1 úroveň 4.....	98
Příloha 9 - Matice S - K1.2 úroveň 4	98
Příloha 10 - Matice S - K1.3 úroveň 4	99
Příloha 11 - Matice S - K1.4 úroveň 4	99
Příloha 12 - Matice S - K2.1 úroveň 4	100
Příloha 13 - Matice S - K2.2 úroveň 4	100
Příloha 14 - Matice S - K3.1 úroveň 4	101
Příloha 15 - Matice S - K3.2 úroveň 4	101
Příloha 16 - Matice S - K4 úroveň 4.....	102
Příloha 17 - Matice S - K5 úroveň 4	102
Příloha 18 - Výpočet preferencí	103
Příloha 19 - Splátkový kalendář.....	104
Příloha 20 - Peněžní toky investice za 10 let	105

1 Úvod

Využíváním odpadního tepla je možné redukovat dopady lidské činnosti na své okolí. V současné době se upíná pozornost především na elektrickou energii získanou z obnovitelných zdrojů, jejíž výroba bývá vysoce dotována veřejnými zdroji. Při výrobě elektřiny často vzniká srovnatelné množství tepelné energie, která se ovšem jen výjimečně dále využívá, častěji se bez využití vypouští do prostoru. Podpora tepelné energie je oproti elektrické velmi nízká. Neexistuje universální přístup, kterým by bylo možné problém s přebytečným teplem řešit. Tepelnou energii je možné využívat mnoha různými způsoby a technologiemi. Výběr konkrétního způsob je závislý na zdroji energie a jeho okolí.

Teoretická část práce přibližuje základy technologií a procesů souvisejících s provozem bioplynových stanic. Dále je zde vysvětlena problematika odpadního tepla a jeho využití. Podrobněji se zde uvádí teoretická východiska z oblasti operačního výzkumu, systémového přístupu, rozhodovacího procesu a systémové analýzy.

Praktická část práce se zaměřuje na návrh řešení problému s přebytkem odpadního tepla v bioplynové stanici firmy Agrospol s.r.o. za účelem zvýšení efektivity provozu. Nejprve je identifikován rozhodovací problém, který je následně analyzován nástroji systémové analýzy. Získané poznatky jsou využity ke stanovení dílčích cílů řešení a k formulaci problému. Dalším krokem je stanovení kritérií hodnocení variant možných řešení na základě profilu rozhodovatele. Dále jsou vytvořeny varianty rozhodování a určeny jejich důsledky. Poté probíhá hodnocení důsledků variant a jejich uspořádání podle preferencí. Tento krok je proveden pomocí vybrané metody vícekritériálního rozhodování. U vysoce preferovaných variant je ověřena ekonomická efektivnost realizace řešení a posouzena rizikovost investice.

V závěru práce jsou shrnuty výsledky a je navrženo doporučené řešení problému.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem práce je porovnání technologií a doporučení nejvhodnějšího technologického postupu pro řešení problému s odpadním teplem konkrétní bioplynové stanice a zvýšení efektivnosti jejího provozu.

2.2 Metodika

Teoretická část práce se zakládá na analýze vědeckých a odborných publikací z několika různých oborů. Nejprve se zaměřuje na provoz a technologie bioplynových stanic a na problematiku odpadního tepla. Poté je definován operační výzkum a jeho obory. Zmíněn je rovněž pojem systémového přístupu. Podrobněji je zde popsán rozhodovací proces a metody vícekritériálního rozhodování. V další části jsou rozebrány pojmy a nástroje systémové analýzy. Konec teoretické části se zaměřuje na ekonomické hodnocení investic.

Praktická část se zaměřuje na řešení problému odpadního tepla konkrétní bioplynové stanice. Pro řešení bylo nutné se nejprve reálně seznámit s procesy a technologiemi vybrané stanice a s provozovatelem. Na základě získaných poznatků je vypracována analýza systému přenosu tepelné energie bioplynové stanice. Součástí analýzy je také vliv okolí na systém. Zejména jde o vliv podnebí a elektrické přenosové soustavy. Výsledkem je přesná formulace problému a stanovení dílčích cílů řešení. Dále jsou stanovena kritéria hodnocení variant podle získaných informací z analýzy systému a podle profilu rozhodovatele. Dalším krokem je vytvoření variant rozhodování a stanovení důsledků jejich realizace. Pro hodnocení důsledků jednotlivých variant je použita metoda analytického hierarchického procesu.

Tento proces vychází ze Saatyho metody. Jedná se o párové porovnávání jednotlivých kritérií a variant na několika úrovních podle dané hodnotící škály. Párové porovnávání provádí rozhodovatel.

Nejprve jsou za pomoci matic S zjištěny váhy kritérií. Poté se porovnávají jednotlivé varianty podle každého stanoveného kritéria. Konečné preference jsou součtem dílčích

součinů preferencí přes všechny úrovně rozhodování. Výsledkem této metody je úplné uspořádání variant, které zachovává kardinální informace.

Na závěr se hodnotí ekonomická výhodnost dvou nejlépe hodnocených variant. Toto hodnocení je složeno z odhadu jednorázových nákladů na realizaci řešení a z odhadu budoucích výnosů a rizika investice.

Na základě získaných poznatků je doporučena varianta řešení pro realizaci.

3 Teoretická východiska

3.1 Bioplynové stanice

Biomasa

Jedná se o výraz označující produkty rostlinné výroby. V souvislosti s výrobou bioplynu se většinou jedná o zbytky z brambor, kukuřičné zrno, kukuřičnou a travní siláž (Koudřa 2008).

Anaerobní fermentace

Bioplynový proces (anaerobní digesce, anaerobní vyhnívání, anaerobní stabilizace), ve kterém dochází mikrobiálním rozkladem organických látek bez přístupu kyslíku, ke vzniku bioplynu a digestátu. Tento proces je řízený a kontrolovaný (Koudřa 2008).

Organická hmota, která se skládá především z vody, bílkovin, tuků, uhlovodíků a minerálních látek, se při zániku mění zpět na základní prvky, z kterých byla stvořena. Jedná se o oxid uhličitý, vodu, minerály a energii. Tento děj se nazývá vyhnívání a vzniká při něm bioplyn. Během těžby uhlí, ropy a zemního plynu uniká do atmosféry velké množství nespáleného metanu. Ten je po oxidu uhličitém druhou nejvýznamnější škodlivinou ve vzduchu. Přispívá ke vzniku skleníkového plynu a navíc při oxidaci spotřebovává ozón, čímž se podílí na vzniku ozónových děr. Z těchto důvodů vyplývá, že využívání bioplynu místo spalování uhlí, zemního plynu a podobných energetických zdrojů má ekologický význam. Minimálně se redukuje množství metanu uvolňujícího se do atmosféry z otevřených skládek, hnoje a kejdy (Schulz a Eder 2004).

Rostoucí problémy s dostupností energetických zdrojů v budoucnosti vytváří tlak na přijetí opatření pro ochranu životního prostředí a politiku energetické efektivity. Obnovitelná energie je nejslibnější a nejbezpečnější způsob jak zmírnit znečištění, zlepšit energetickou bezpečnost a snížit spotřebu fosilních paliv. I když se očekává hlavní podíl na vyrobené elektřině ze solárních a větrných zdrojů, významnou roli bude hrát také efektivní přeměna biomasy na elektřinu. Biomasa nabízí možnost uspokojit více druhů energetických potřeb, jako je vytápění, využití tepla ve výrobních procesech, pohánění vozidel a výroba elektřiny. Výhodou je udržitelnost, šetrnost k životnímu prostředí a dobrá adaptabilita (Mao aj. 2015).

Nezbytnost redukovat emise skleníkových plynů a zároveň nutnost přispět k diverzifikaci zemědělské činnosti přispěly v posledních letech v zemědělství k rozvoji bioplynových stanic. Jejich provoz je z pohledu životního prostředí a energetiky výhodný a ekonomický (CZ Biom 2009).

Z dlouhodobého hlediska patří biomasa v podmínkách České republiky k obnovitelným zdrojům s největším potenciálem. K tomu také dopomáhá podpora z fondů EU a pevně stanovené výkupní ceny pro elektřinu z obnovitelných zdrojů. V roce 2009 byl podíl elektřiny z bioplynových stanic na celkové produkci energie z obnovitelných zdrojů 6 % (Švec 2010).

3.1.1 Vznik bioplynu

Proces fermentace organických látek probíhá ve vlhkém prostředí bez přítomnosti kyslíku působením metanových bakterií. Teplotní rozpětí, ve kterém k vyhnívání dochází, je 0 – 70 °C. Během tohoto procesu vzniká hořlavý plyn metan, oxid uhličitý a voda. Tyto procesy se vyskytují přirozeně v přírodě. Například probíhá v usazeninách řek, jezer a moří, v rašeliníštích, bahnitých plochách a na podobných místech (Schulz a Eder 2004).

Výroba bioplynu z biomasy je možná především pomocí dvou hlavních přístupů. Jde o mokrou a suchou fermentaci. V praxi se za mokrou fermentaci označuje skutečnost, kdy se obsah sušiny ve fermentoru pohybuje mezi 12 % až 15 %. To má za následek, že je směs pumpovatelná. Tento způsob výroby je v současnosti nejvyužívanější.

Bioplyn vzniká během biologického procesu. V tomto procesu dochází bez přístupu kyslíku ke vzniku směsi bioplynů z organické hmoty. V přírodě je tento proces široce rozšířený. Vzniklý bioplyn je složen přibližně ze dvou třetin metanu a jedné třetiny oxidu uhličitého. Ve stopovém množství je možné nalézt také vodík, sulfan, amoniak a jiné. Nejdříve jsou pomocí hydrolýzy rozloženy komplexní sloučeniny vstupního materiálu na jednodušší organické sloučeniny. Tento rozklad je zapříčiněn enzymy, které uvolňují přítomné bakterie. Vzniklé meziproducty jsou pomocí acidogeneze rozloženy na nižší mastné kyseliny, oxid uhličitý a vodík. Tyto složky jsou následně autogenezí přeměněny na prekurzory. Následuje proces metanogeneze, při kterém se vytvořený vodík přeměňuje na metan. Pokud všechny kroky probíhají společně v biofermentoru, jedná se o jednostupňové zařízení (CZ Biom 2009).

Účinnost provozu bioplynové stanice je částečně ovlivněna účinností rozkladu organické hmoty. To ovlivňuje množství bioplynu (energie), které je možné dále využívat. Rozklad substrátu je mikrobiální proces, který ovlivňuje mnoho podmínek z okolí. Jde především o reakční parametry (teplota), minerální výživu a enzymy (Česká bioplynová asociace 2014).

Efektivnost vzniku bioplynu ovlivňuje několik faktorů. Množství kyslíku, který se dostane do kontaktu s bakteriemi vytvářejícími metan. Některé typy bakterií ve fermentoru dokáží přežít pouze v anaerobním prostředí. Teplota substrátu ve fermentoru, která má také vliv na přežití a množení bakterií. Optimální teplota se liší pro různé skupiny bakterií. Podobně jako je pro různé bakterie vhodná rozdílná teplota, tak je pro různé bakterii vhodné rozdílné pH. Dalším faktorem je dostatek živin v substrátu a zároveň i jeho dávkování do fermentoru. Pro dosažení vyšší produkce plynu je nutné zajistit intenzivní kontakt mezi bakteriemi a substrátem. To je dosahováno pomocí míchání obsahu fermentační nádrže (CZ Biom 2009).

3.1.2 Technologie výroby bioplynu

Téměř vždy se jedná o biotechnologii, která slouží k likvidaci obtížného odpadu. Její výhodou je získání energie ve formě bioplynu a organické hmoty využitelné k zemědělským účelům (Kára 1988).

Pro zemědělské bioplynové stanice je typické využívání jednostupňové metody. To znamená, že v procesu fermentace nedochází k oddělování jednotlivých fází. Všechny probíhají v jedné nádrži. Přibližně 85 % všech stanic je provozováno na mezofilním principu, takže teplota fermentoru se pohybuje mezi 32 a 38 °C (CZ Biom 2009).

Čím vyšší teplotu potřebují bakterie k životu, tím se stávají citlivějšími na kolísání teplot. Především pokud se jedná o krátkodobé výkyvy. Bakterie mezofilních kmenů dokáží pracovat v denních výkyvech 2 – 3 °C kolem střední hodnoty (Schulz a Eder 2004).

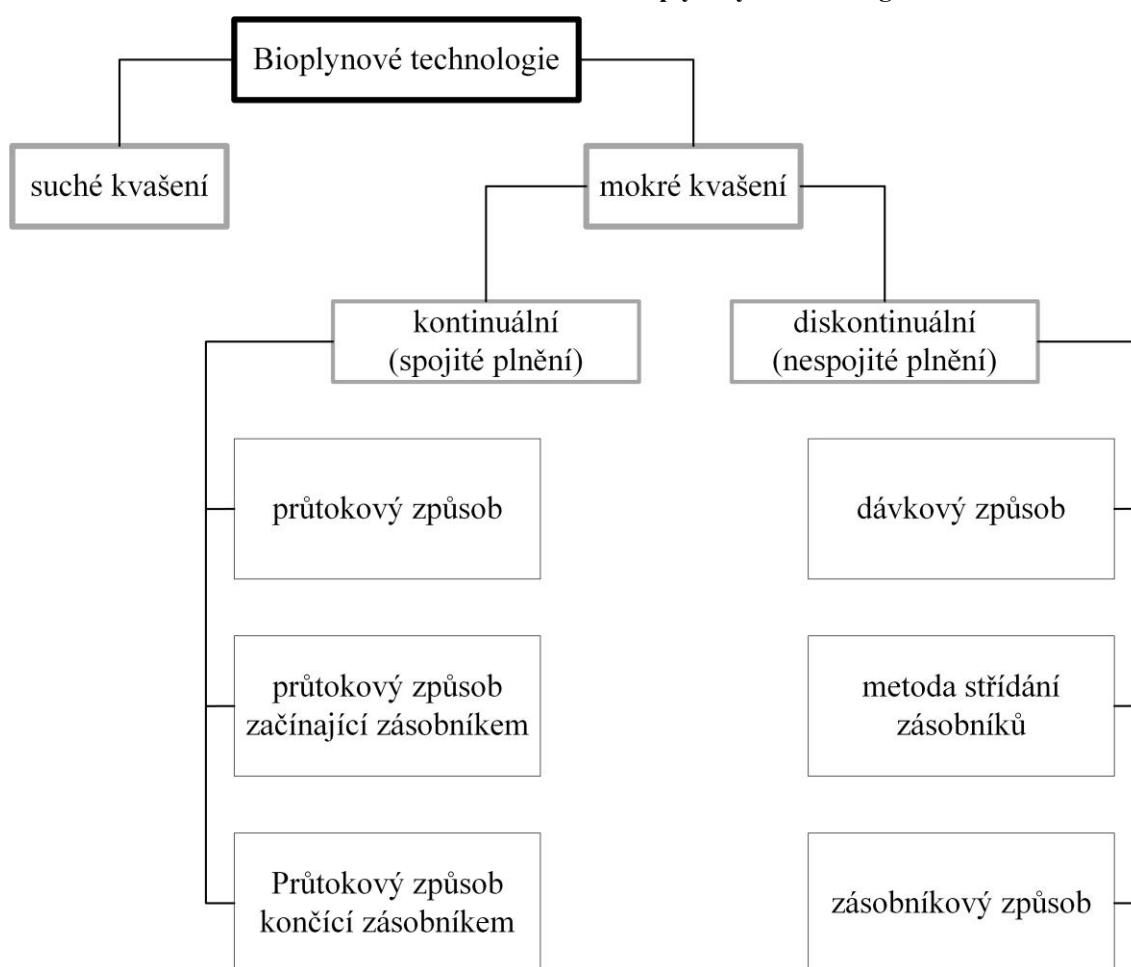
Teplota se může regulovat pro dosažení optimálního výstupu s přihlédnutím ke konkrétnímu substrátu. Pro zajištění potřebné teploty se nejčastěji využívá teplo vyrobené spalováním plynu (CZ Biom 2009).

U bioplynových stanic provozujících kogeneraci, se objevuje tendence ke zvyšování teploty fermentoru nejčastěji přes 40 °C. Důvodem je velké množství odpadního

tepla. U zásobníkových stanic se teploty pohybují mezi 20 – 25 °C. Nejvyšší výtěžnosti bioplynu je ovšem dosahováno při teplotě 32 °C (Schulz a Eder 2004).

Vhodná teplota směsi pro mezofilní proces je minimálně 35 °C a optimálně 38 až 40 °C. Pracovní teplota se udržuje přísunem tepla a redukcí tepelných ztrát. Fermentory se vyhřívají zásadně výměníky tepla. Skoro vždy se jako topné médium používá voda z chlazení motoru. Teplota topné vody by neměla výrazně přesáhnout 60 °C (Koud'a 2008).

Obrázek 1- Schéma rozdělení bioplynových technologií



Zdroj: Schulz a Eder 2004, vlastní zpracování

Typické bioplynové technologie lze rozdělit podle způsobu plnění na dávkové nebo průtokové. Podrobné schéma je vidět na obrázku 1. Hlavní odlišnosti jednotlivých technologických řešení jsou v nákladech na pořízení a v rovnoměrnosti produkce plynu v čase. Bioplynové stanice nejčastěji pracují na průtokovém principu v kombinaci se

zásobníkem plynu. V takovém případě je fermentor neustále naplněn a vyprazdňuje se jen kvůli opravám nebo odstranění usazenin (Schulz a Eder 2004).

Dávkování průtokových stanic se vyznačuje doplňováním substrátu po malých dávkách během celého dne. Dávkování probíhá automatizovaně ze zásobníku s velkou kapacitou (denní/vícedenní) (CZ Biom 2009).

Nevýhodou tohoto přístupu je možnost smíchání čerstvého substrátu s již vyhnílým, a tím pádem možnost jeho částečného odčerpání do skladovací nádrže. To má za následek nižší efektivnost provozu a nižší hygienizační efekt. Výhodou je cenově příznivá a kompatibilní konstrukce s nízkými tepelnými ztrátami.

Podle typu konstrukce lze rozdělit fermentory na horizontální a vertikální. Jejich fungování se liší hlavně způsobem proudění a promíchávání substrátu uvnitř fermentační nádrže. Rozdíl je také v jejich rozměrech a s tím souvisejícími tepelnými ztrátami (Schulz a Eder 2004).

3.1.3 Technologie zpracování bioplynu

V bioplynu je vázáno velké množství energie. Díky tomu má možnost mnohostranného využití. Používá se pro výrobu elektřiny, vaření, vytápění a přípravu teplé vody, k sušení, chlazení a napájení infračervených zářičů. Ze srovnání s jinými energetickými plyny vychází bioplyn v poměru získané výhřevnosti k objemu hůře než zemní plyn, propan a metan, ale dvojnásobně lépe než vodík (Schulz a Eder 2004).

Nejdůležitějším požadavkem pro udržitelný provoz bioplynové stanice je energeticky a ekonomicky efektivní využívání bioplynu. Bioplyn je nekonvenční metanové palivo a má možnosti širokého spektra využití. Jednou z možností může být i využití bioplynu jako surovinového zdroje pro chemický průmysl (Česká bioplynová asociace 2014).

Vzhledem k vlastnostem bioplynu je možné ho využívat místo zemního plynu. Teoreticky by všechna zařízení pracující na zemní plyn mohla fungovat po malých úpravách i na bioplyn (Nová 1982).

Produkování energie z biomasy může probíhat pomocí vnějšího spalování nebo vnitřního spalování (spalovací motor). Použití vnitřního spalování je podmíněno zplynováním biomasy na bioplyn. Proces vnitřního spalování charakterizuje vyšší účinnost než je u vnějšího spalování (Divya aj. 2015).

Z energetické stránky je možné využívat bioplyn pro přímé spalování v plynových kotlích nebo ve vyhřívaných jednotkách absorpčního chlazení pro výrobu chladu. Při přímém spalování se využívá bioplyn v surovém stavu. Další možností je spalování v kogeneračních jednotkách. Ty produkují elektřinu a teplo. Do této skupiny patří i systém trigenerace, který umožňuje produkovat kromě elektřiny a tepla také chlad. V podstatě se jedná o motogenerátory elektřiny, které jsou upraveny pro spalování bioplynu. Zároveň je možné využívat teplo výfukových spalin a teplo motoru k výrobě užitečného tepla. Tento způsob zpracování bioplynu je dominantní v České republice i v Evropě (Česká bioplynová asociace 2014).

Zpracování bioplynu v kogeneračním procesu získalo na významu v České republice z důvodu výkupu takto vyrobené elektřiny za zvýšenou cenu (Schulz a Eder 2004).

Velkou výzvou je především účelné využití tepla produkovaného při kogeneraci. Původně tato technologie sloužila primárně za účelem výroby tepla. Například na plaveckých stadionech nebo nemocnicích. Zároveň dodávala elektřinu provozovateli. V dnešní době podpory produkce elektrické energie z obnovitelných zdrojů je ale primární účel provozu této technologie zaměřen právě na výrobu elektřiny (Česká bioplynová asociace 2014).

Kogenerace dosahuje vysoké účinnosti přeměny energie (80 % až 90 %) obsažené v bioplynu na elektřinu a teplo. Přibližně 30 % energie je přeměněno na elektrickou energii a 60 % na tepelnou energii (Švec 2010).

Elektřina bývá jen z malé části spotřebována provozovatelem a zbytek je dodáván do distribuční sítě. Vyrobené teplo je jen vedlejší produkt výroby elektřiny bez přihlédnutí k možnosti jeho dalšího využití. Na rozdíl od elektrické energie je jeho distribuce problematická.

Třetí možností zpracování bioplynu je jeho přeměna na biometan. Jeho nejčastější využití je v dopravě z důvodu nízké emisní stopy (Česká bioplynová asociace 2014).

Takto zpracovaný plyn by bylo teoreticky možné v budoucnosti dodávat přímo do plynovodní sítě. To by znamenalo pro zemědělské podniky novou příležitost. Další možnou technologií, která by mohla v budoucnu využívat bioplyn, jsou palivové články a Sterlingovy motory (Schulz a Eder 2004).

Na území České Republiky je bioplyn využíván téměř jen pro zpracování v kogeneračních jednotkách. Důvodem je podpůrné schéma výroby energie z obnovitelných zdrojů (Česká bioplynová asociace 2014).

3.1.4 Výroba elektřiny z bioplynu

Produkce elektřiny z bioplynu je možná pomocí dvou metod. První metodou je výroba orientovaná podle potřeby. Výroba se řídí aktuální poptávkou po elektřině v energetické přenosové soustavě. S rostoucí poptávkou roste i výroba. Druhou metodou je rovnoměrná výroba, při které se vyrábí nepřetržitě bez ohledu na potřebu. Motor tak může běžet se stále stejným zatížením. Veškerý vzniklý plyn je okamžitě spotřebován. Tvoří se jen minimální zásoba (Schulz a Eder 2004).

Motory používané v bioplynových stanicích by měly splňovat několik kritérií. Mělo by se jednat o sériově vyráběný motor kvůli nižší pořizovací ceně a dostupným náhradním dílům. Měly by vynikat dlouhou životností při plné zátěži a stálém provozu. Měly by mít vysokou mechanickou účinnost i při částečné zátěži a snadnou údržbu. Měly by mít kapalinové chlazení umožňující využít odpadní teplo.

Nejlépe odpovídají těmto kritériím tři typy motorů. Jde o plynové zážehové (Ottovy) motory, na plynové zážehové motory přestavěné diesellové motory a diesellové motory se vstřikem zapalovacího oleje.

Elektřina je vyráběna většinou pomocí synchronních generátorů. Ty jsou poháněny otáčkami ze spalovacího motoru a propojeny s veřejnou sítí, do které proud dodávají (Schulz a Eder 2004).

3.2 Odpadní teplo

Teplo

Je to tepelná energie, kterou předá objekt svému okolí. Je to jeden ze způsobů reagování objektu se svým okolím. Nejedná se o stavovou veličinu. Je nutné rozlišovat mezi teplotou a teplem. Teplota vyjadřuje stav tělesa a teplo vyjadřuje změnu stavu tělesa. Pro popis množství tepla se používají jednotky joule nebo watt hodiny.

Teplota

Jedná se o stavovou veličinu určující stav termodynamické soustavy. Každému rovnovážnému stavu lze přiřadit určitou hodnotu teploty. Hodnoty teploty je možné uvádět v několika různých jednotkách. Mezi nejpoužívanější patří Celsiova teplota (°C) a Fahrenheitova teplota (°F).

Rekuperace

Je to výměna tepla mezi dvěma oddělenými prostředími. Výměna může probíhat přímo nebo prostřednictvím pomocné tekutiny (Mašek 1988).

Opětovné využívání energie je založeno na principu, který předpokládá, že energie není nikdy skutečně spotřebována, je jen převedena z jedné formy na druhou. Proto existuje možnost ji zachytit a využít znovu jako zdroj energie. Nejlépe to ukazuje uzavřený energetický cyklus v průmyslovém závodě, kde může být energie obnovena (typicky odpadní teplo) a znovu použita do stejného procesu nebo jako dodávka energie pro zařízení. Znovu získaná energie částečně hradí konečnou poptávku po energii výrobního zařízení.

Na rozdíl, od běžného odpadu není odpadní teplo snadno rozpoznatelné a měřitelné. Porozuměním dostupnosti odpadního tepla a schopnosti jeho obnovování je možné snížit náklady na energetickou náročnost průmyslové výroby a snížit tak související dopady na životní prostředí (Woolley aj. 2018).

Asi třetina celkové spotřebované energie ve Spojených státech je spotřebována v průmyslovém sektoru a zároveň je tento sektor zodpovědný za třetinu vyprodukovaných skleníkových plynů spojených s fosilními palivy. Zlepšování efektivity průmyslu se zaměřuje především na snižování množství spotřebovaných paliv nebo na změnu procesů a technik výroby. Odhaduje se, že 20 % až 50 % energie v tomto sektoru je ztraceno jako odpadní teplo ve formě výfukových plynů, chladicí vody a z povrchů výrobních zařízení a výrobků (U. S. Department of Energy 2008).

Množství obnovitelné energie z odpadního tepla je dáno částí energie, která může být použita k vykonávání práce v rámci systému. I když se celková energie v systému nemusí snižovat, podíl energie, která by se dala obnovit, se v procesu výroby snižuje.

Forma energie v odpadním teple je hůře obnovitelná, než například energie ve formě elektřiny nebo ve formě paliva. Proto musí být ztráty odpadního tepla minimalizovány (Woolley aj. 2018).

Při navrhování možností využití odpadního tepla z průmyslových a energetických závodů je nutné vycházet ze základní strategie využití odpadního tepla ve vlastní technologii a v utilizačních zařízeních ve vlastním podniku. Teprve po vyčerpání těchto možností je třeba uvažovat o dodávkách mimo podnik (Adamovský 1988).

Při kogeneraci proudu a tepla z bioplynu je účelem nejen využívání proudu, ale mělo by se spotřebovávat také teplo z motorů. V zimním období to nebývá problém, protože se vyrobené teplo používá pro vytápění, ale v letním období často vzniká přebytek. Proto je součástí každé bioplynové stanice nouzový chladič, který umožňuje odpadní teplo vyfoukat do venkovního ovzduší (Schulz a Eder 2004).

3.2.1 Faktory ovlivňující opětovné využití odpadního tepla

Pro posouzení proveditelnosti recyklace odpadního tepla je nutné charakterizovat určité parametry zdroje tepla. Parametry jsou ovlivňovány několika faktory:

- Množství tepla
- Teplota/kvalita tepla
- Složení
- Minimální přípustná teplota
- Provozní plán, dostupnost, a ostatní logistika

Tyto parametry umožňují analyzovat kvalitu a množství dostupného zdroje a zároveň odhadnout limitní možnosti materiálů/konstrukce (U. S. Department od Energy 2008).

Využívání odpadního tepla z motorů nesmí způsobit příliš velký teplotní rozdíl mezi výstupní teplotou chladicí kapaliny motoru a její vstupní teplotou. Výstupní teplota se většinou pohybuje mezi 85 až 90 °C. Vstupní teplota by neměla klesnout pod 80 °C. Splnit tuto podmínku bývá často obtížné (Schulz a Eder 2004).

3.2.2 Technologie pro využití odpadního tepla

Pro využití odpadního tepla existují tři možné scénáře. První možností je použít výstupní teplo z výrobního procesu znovu ke stejnému účelu, ke kterému bylo vytvořeno nebo jeho přenos do jiného výrobního procesu. Druhou možností je odpadní energii skladovat a poslední možností je použít ji pro výrobu elektřiny (Woolley aj. 2018).

Existuje mnoho technologií a kombinací technologií k využívání odpadního tepla, které jsou komerčně dostupné. Jejich využití ale není v mnoha případech ekonomické nebo vůbec možné. Technologická řešení využití odpadního tepla je možné rozdělit na dva základní přístupy:

- Rozšíření stávajících technologií tak, aby se zlepšila jejich ekonomická stránka a efektivnost provozu.
- Zkoumání nových metod pro využití odpadního tepla, zejména pro netradiční zdroje odpadního tepla.

(U. S. Department of Energy 2008)

Využití technologií pro obnovu energie z odpadního tepla a jejich výzkum je jednou z klíčových oblastí pro snížení spotřeby paliva, snížení škodlivých emisí a zvýšení účinnosti výrobních procesů. Za zdroje odpadního tepla je možné považovat ztráty tepla vznikající přenosem tepla pomocí teplovodu, vyzařováním z výrobků, z průmyslových zařízení a procesů, a uvolňováním tepla ze spalovacích procesů.

Odpadní teplo může být rozděleno na vyšší teploty (přes 400 °C), střední teploty (100 – 400 °C) a nízké teploty (pod 100 °C). Systémy využití odpadního tepla jsou vytvořeny pro každou třídu tak, aby bylo možné co nejoptimálnější využití energie. Teplo přesahující 400 °C produkují především přímé spalovací procesy. Střední teploty pocházejí v největší míře z výfuků spalovacích jednotek. Nízké teploty odpadního tepla nejčastěji produkují výrobky a výrobní zařízení (Jouhara aj. 2018).

Lokální řešení může fungovat při využití odpadního tepla pro předehřátí vstupního materiálu, čímž se sníží následná energetická náročnost procesu. Příkladem může být využití výměníku tepla pro převod energie ze spalin na ohřívání vzduchu potřebného pro sušící troubu. Typické zdroje odpadního tepla a možnosti využití jsou uvedeny v tabulce 1 (U. S. Department of Energy 2008).

Výhodou nízkoteplotního typu zdroje tepla (pod 230 °C) je jeho vysoká četnost výskytu ve výrobních procesech. Typickými zdroji s nízkou teplotou mohou být systémy na kondenzaci páry, zařízení na sušení/pečení a chladicí voda ze vzduchových kompresorů, vnitřních spalovacích motorů, klimatizací a mnoha dalších. Nevýhodou jsou pak například omezené možnosti koncového využití nízkého tepla, nízká účinnost výroby elektřiny a u výfukových plynů s nízkou teplotou je nepraktické využití rekuperace z důvodu kyselé kondenzace a koroze tepelného výměníku.

Tabulka 1 - Příklady zdrojů a využití odpadního tepla

Zdroje odpadního tepla	Využití odpadního tepla
<ul style="list-style-type: none"> • Výfukové plyny: <ul style="list-style-type: none"> Sklářské pece Cementářské pece Incinerátory plynů Kotle pro ohřev vody • Bezplynné procesy: <ul style="list-style-type: none"> Plamenné pece Obloukové pece • Chladicí voda z: <ul style="list-style-type: none"> Vzduchových kompresorů Motorů s vnitřním spalováním • Ztráty způsobené vedením, prouděním a sáláním tepla z výrobního zařízení * • Ztráty způsobené vedením, prouděním a sáláním tepla z výrobků * 	<ul style="list-style-type: none"> • Předehřívání vzduchu při spalování • Předehřívání napájecí vody kotle • Výroba elektřiny • Výroba páry • Vytápění • Ohřev vody
* v současnosti neexistují technologie pro využití těchto zdrojů	

Zdroj: U. S. Department of Energy 2008, vlastní zpracování

Teplota vody z chlazení spalovacích motorů se pohybuje v rozsahu 70 – 120 °C. Typickými příklady využívání tohoto druhu zdroje odpadního tepla jsou vytápění prostor, ohřev vody pro domácnosti, vylepšení tepelného čerpadla pro navýšení koncové teploty a Organický Rankinův cyklus (U. S. Department of Energy 2008).

Teplu vyprodukované kogenerací je přibližně z 36 % využíváno bioplynovou stanicí. Zbylých 64 % by se mělo komerčně využít. Ideálně by se mělo jednat o způsob využití, který by měl rovnoměrnou spotřebu tepla během celého roku (Koudřa 2008).

Teplu vznikající při kogeneraci se využívá pro vytápění. S tím souvisí i další rozšířená možnost použití a to je sušení různých zemědělských produktů. Vyrobene teplo se využívá pro ohřátí vzduchu použitého pro sušení. Složitě je efektivní využívání tepla pro bioplynové stanice s vyšším výkonem, které jsou situovány v odlehlých oblastech. V takových případech není možné teplo pro vytápění používat s dostatečnou efektivitou. Jednou z nejčastějších alternativních možností bývá jeho využití v jiném termodynamickém stroji. Nejčastěji se jedná o organický Rankinův cyklus. Dalším méně rozšířeným řešením bývá využívání tepla pro procesy nesouvisející s energetickou výrobou. U bioplynových stanic se objevují zařízení pro sušení štěpky, ovoce a dalších produktů nebo pro speciální chov ryb (Česká bioplynová asociace 2014).

Jednou z oblastí s velkým potenciálem spotřeby nízkokapacitního tepla je sušárství. V místě s přístupem k stálému zdroji odpadního tepla je možné při sušení ušetřit velké množství paliv. Odpadní teplo může být využito k sušení sena, chmelu, obilovin, cibule a dalších zemědělských produktů. Pro tento proces mohou sloužit univerzální velkokapacitní haly (Adamovský 1988).

V současnosti je vyvíjen tlak na využití obnovitelných zdrojů pro tvorbu alternativních paliv. Teoreticky by bylo možné využívat odpadní teplo pro výrobu briket nebo pelet. Díky tomu by došlo k maximálnímu využití tepla z kogenerace a zároveň k minimalizaci množství zbytkových materiálů (Koudřa 2008).

Rozšířenou metodou recyklace odpadního tepla bývá rovněž vytápění zakrytých pěstebních ploch. Toto využití je vhodné pro topná média o teplotě 60 až 90 °C. Tyto topné systémy mohou být dále rozděleny na půdní a prostorové. S tímto využitím souvisí také použití přebytečného tepla pro ohřívání zálivky rostlin. Správně by teplota zálivky měla být přibližně stejná jako je teplota prostředí. Tento přístup by měl vést k vyšším pěstitelským výnosům (Adamovský 1988).

Mezi méně obvyklé způsoby využití odpadního tepla patří vybudování intenzivního chovu ryb v uzavřeném recirkulačním systému. Zemědělský podnik s bioplynovou stanicí o výkonu 1500 kWh vybudoval chov ryb s objemem vody přibližně 28,4 m³. Podnik dokáže z 1,3 kg krmiva získat 1 kg přírůstků živé váhy ryb. Zhruba 20 % objemu vody je nutné denně měnit. Voda v nádržích musí být neustále ohřívána na 22 až 27 °C. Případné teplotní výkyvy vody jsou pro zdraví a rychlost přírůstků nebezpečné. Podnik odhaduje návratnost investice na 6 let. Konečný produkt je možné prodávat jako tržní rybu, ale také jako násady k zarybňování (Fuka 2015).

Běžným způsobem využití odpadního tepla je vytápění budov během zimního období. Pokud by provozovatel chtěl využívat větší množství tepelné energie i v zimním období, musí maximálně snížit tepelné ztráty z BPS (bioplynové stanice). Ztrátám se zamezuje pomocí silné tepelné izolace pláště fermentoru a často se také přistupuje k izolaci střechy. Bez těchto opatření může být výjimečně problém vytopit fermentor na požadovanou teplotu 38 - 42 °C. Mezi možnosti využití tepla v letním období patří sušení komodit v posklizňovém zpracování, sušení pícnin, štěpky, truhlářského řeziva (Stober 2012).

3.3 Operační výzkum

Jde o vědní disciplínu, která v sobě slučuje několik samostatných oborů, které se zaměřují na analýzu rozhodovacích problémů. Jeho uplatnění je možné všude, kde je potřeba analyzovat a řídit aplikování operací v rámci nějakého systému.

Výsledkem aplikace metod operačního výzkumu by mělo být co možná nejlepší fungování celého systému. Pro určení, zda se chování systému zlepšilo, je nutné stanovit určité měřitelné kritérium nebo kritéria. Operační výzkum se tedy zabývá hledáním optimálního řešení daného problému, za různých omezujících podmínek, které na systém působí (Jablonský 2002).

Operační výzkum je aplikací vědeckých metod na komplexní problémy velkých systémů lidí, strojů, materiálů a peněz v průmyslu, obchodu, vládě a obraně (Sharma 2008).

Operační výzkum, jako samostatná vědní disciplína, se objevil během 2. světové války. Kromě vojenských operací se zabýval ekonomickými a organizačními úlohami. Tato vědní disciplína se zabývá operacemi v organizačních jednotkách. Je charakteristická

především systémovým přístupem, konstrukcí a analýzou matematických modelů. Orientuje se na procesy rozhodování a pro jejich řešení využívá výpočetní techniku. Cílem operačního výzkumu jsou závěry a doporučení, které by měly přispět k lepšímu řízení operací (Dudorkin 2002).

Nejdůležitějším nástrojem operačního výzkumu je matematické modelování. Když se analyzuje nějaký systém pomocí operačního výzkumu, používá se model tohoto systému. Tento přístup přináší mnoho výhod. Často je to také jediná možnost, jak systém zkoumat. Mezi hlavní výhody modelového přístupu patří strukturalizace systému a možnost určení všech možných stavů systému, kterých může být nekonečno. Další výhodou je pozorování procesů ve zkráceném čase. Počítače dokáží namodelovat procesy trvající reálně roky za několik vteřin. Modely také umožňují experimentovat se systémem pomocí změn parametrů, což je u reálných systémů často nemožné. Experimentování s modely je finančně výhodnější (Jablonský 2002).

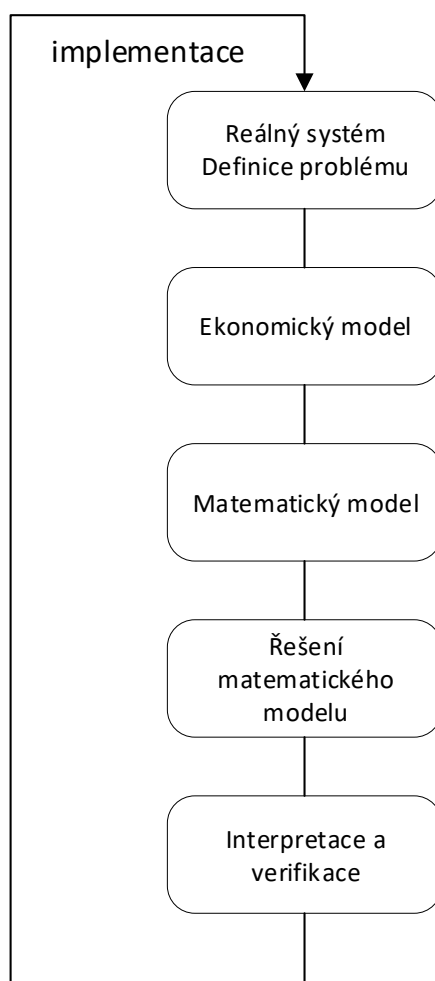
3.3.1 Aplikační fáze operačního výzkumu

Jak na sebe jednotlivé fáze navazují je patrné z posloupnosti jednotlivých kroků na obrázku 2.

1. Prvním krokem by měla být identifikace problému v rámci systému. Klíčovou roli při tom hrají vedoucí pracovníci, kteří musí problém rozpoznat a navrhnout potřebu řešit ho pomocí modelu.
2. Vytvoření ekonomického modelu podle specifikací problému. Model musí obsahovat všechny podstatné prvky a vazby pro řešení. Není žádoucí, aby byl příliš složitý. V ekonomickém modelu by měly být zahrnuty cíle, analýzy, popis procesů probíhajících v systému, popis činitelů, které působí na procesy a popis vzájemného vztahu mezi procesy, činiteli a cílem analýzy.
3. Formulace matematického modelu. Jedná se o převod ekonomického modelu na matematický, který může být řešen pomocí standartních metod. Matematický model obsahuje stejné prvky jako model ekonomický, jen jsou popsány jinou formou.

4. Řešení matematického modelu se hledá pomocí metod navržených jednotlivými obory operačního výzkumu. Uživatel v této fázi pouze vybírá vhodný programový prostředek pro výpočet.
5. V páté fázi musí být výsledky získané z předchozí fáze interpretovány a verifikovány. Pomocí verifikace se zjistí, zda byl použitý ekonomický a matematický model dobře sestaven.
6. V případě, že byl model úspěšně verifikován, může se přejít k poslední fázi, kterou je implementace. Ta by měla samozřejmě přispět ke zlepšení funkcionality systému (Jablonský 2002).

Obrázek 2 - Fáze operačního výzkumu



Zdroj: Jablonský 2002, vlastní zpracování

3.3.2 Obory operačního výzkumu

Matematické programování

Tato disciplína se zabývá hledáním maxima nebo minima účelové funkce. Při řešení úlohy musí být dodrženy omezující podmínky. Podle tvaru účelové funkce se metody matematického programování dělí na lineární a nelineární programování. Lineárním programováním lze řešit úlohy se sortimentním problémem, optimální dělicí plány a distribuční úlohy (Zimola 2009).

Lineární programování patří mezi nejpoužívanější optimalizační metody. Model je složen z proměnných, lineárních omezujících podmínek a lineární omezující funkce. Cílem řešení úloh lineárního programování je zjištění optimálního rozsahu modelovaných procesů s přihlédnutím ke kritériu účelové funkce. Největší výhodou lineárního programování je poměrně snadné sestavení modelu a jeho řešitelnost. Pro řešení se používá nejčastěji simplexový algoritmus s výjimkou distribučních úloh (Šubrt 2011).

Síťová analýza

Síťová analýza v sobě spojuje poznatky z oborů teorie grafů, teorie pravděpodobnosti a matematického programování. Využití síťové analýzy je možné k plánování, koordinaci a kontrole v nejrůznějších oblastech hospodářské činnosti. K základním nástrojům řešení patří metody kritické cesty CPM (Critical Path Method) a plánovací systém PERT (Program Evaluation and Review Technique). Tyto nástroje se nejčastěji využívají v oblasti projektového řízení (Zimola 2009).

Vícekritériální rozhodování

Tento obor se zabývá řešením problémů, ve kterých je možné vybrat řešení z několika možných variant. Jednotlivé varianty jsou ohodnoceny podle několika kritérií. Jednotlivá kritéria mohou u stejné varianty působit i protichůdně. Výsledkem vícekritériální analýzy by mělo být řešení, které bude vzhledem k ostatním variantám nejlepší (Jablonský 2002).

Řízení zásob

Tato disciplína operačního výzkumu se zabývá řešením optimalizace zásob a skladování. V zásobách bývá často vázáno velké množství prostředků, které nepřinášejí žádný zisk, naopak může vést k navyšování nákladů. Optimalizace zásob může vést

k minimalizaci nákladů na zásobovací procesy. Hlavními problémy v řízení zásob je stanovení úrovně, kdy je potřeba objednávkou vytvořit a také stanovení velikosti dané objednávky (Jablonský 2002).

Řízení zásob se zabývá jejich regulací, prognózou, financováním, evidencí a kontrolou. Vznik jednotlivých druhů zásob má různé důvody. Jde o nutnost zabezpečit nepřetržité fungování, rozdíl mezi intenzitou výroby a spotřebou, periodičnost výrobního cyklu, přepravou mezi výrobcem a spotřebitelem, ekonomické důvody a podobné. Podstatou řízení zásob je nalezení bodu, kdy budou celkové náklady na tvorbu, udržování a doplňování zásob včetně ztrát z nedostatku minimální. Pro řešení těchto problémů se používá několik nástrojů. Patří mezi ně například hledání extrému funkce jedné i více proměnných u deterministických úloh, dynamické programování nebo modely teorie front pro stochastické úlohy (Zimola 2009).

Teorie hromadné obsluhy

Systémy hromadné obsluhy jsou velice časté a jejich funkcionalita má velké ekonomické dopady. Tyto systémy realizují obsluhu požadavků jednotek, které tam přicházejí. Systémy hromadné obsluhy jsou tvořeny z požadavků a obslužných linek, které požadavky uspokojují. Funkčnost obslužných linek je dána jejich kapacitou obsluhy a intenzitou přicházejících požadavků. Na těchto dvou kritériích závisí, zda se budou před vstupem do obslužných linek tvořit fronty. Cílem modelování systémů hromadné obsluhy je jejich analýza s ohledem na efektivní fungování (Jablonský 2002).

Modely obnovy

Tato část operačního výzkumu se zabývá systémy, které obsahují části vykazující stochastické fungování. Některé jednotky v těchto systémech mohou po určité době selhat a je nutné je opravit nebo nahradit novými. Doba bez poruchy má podobu náhodné veličiny. Účelem tvorby těchto modelů je potřeba odhadnout pravděpodobnost selhání jednotek a jejich počet. To je zjišťováno pomocí věkové struktury jednotek v systému (Jablonský 2002).

Markovovy rozhodovací procesy

Jedná se o popisování chování dynamických systémů. Ty mohou přecházet v daném časovém úseku mezi konečným počtem různých stavů. Změna stavů se děje náhodně. Pomocí analýzy se odhaduje budoucí chování systému (Jablonský 2002).

Teorie her

Teorie her má velice širokou škálu použití. Uplatňuje se především v oblastech lidské činnosti. Zasahuje do oborů, jako jsou ekonomie, politologie, sociologie a biologie. Teorie her pomáhá najít způsob, jak dosáhnout určitého cíle. Zabývá se řešením konfliktů mezi společnostmi a lidmi. Vzikla jako nástroj pro optimální chování ve společenských hrách. Teorie her hledá pomocí matematických nástrojů řešení konfliktních situací, kterých se účastní alespoň 2 účastníci s různými zájmy (Šubrt 2011).

3.4 Systémový přístup

Jde o způsob myšlení, jednání a hledání řešení problémů při kterém je na jevy nahlíženo komplexně, tedy z pohledu vnitřních i vnějších souvislostí. Systémový přístup se primárně zaměřuje na respektování vazeb mezi prvky, které vstupují do problému (Rais a Doskočil 2011).

Použití systémového přístupu by mělo přispět k pochopení a popsání problému a následně problém i vyřešit (Vytlačil 2007).

Systémový přístup je obecné myšlenkové, vysvětlovací a činnostní schéma jedince ve vztahu k různým činnostem na různých systémech. Lze ho chápat jako jednu z možností, jak přistupovat k realizaci nejrůznějších činností. Využívá se především v činnostech, které jsou spojené s různými druhy analýz složitých objektů a procesů. Systémový přístup by měl zajistit, aby se pracovalo pouze s podstatnými skutečnostmi, které se týkají určitého objektu, a měl by je brát v úvahu vždy, když s daným objektem pracuje (Janíček a Marek 2013).

3.4.1 Podmínky systémového přístupu

Předpoklady aplikace systémového přístupu

Musí být obsahově, logicky i lingvisticky vymezeno co je předmětem zájmu. Dále je nutné správně obsahově a významově definovat používané pojmy. Pokud je možné, že používané pojmy nemusí být všeobecně známé, je nutné je nejdříve vysvětlit. Dalším předpokladem je jasné vymezení a formulace řešeného problému. Nejdříve je nutné problémovou situaci analyzovat, zjistit podstatné a následně formulovat problém.

Přístup k analyzovanému objektu

Výchozím předpokladem využití systémového přístupu je strukturovanost zájmového objektu a pohled na něj musí být komplexní. Při definování systému je důležité brát v úvahu účel definování.

Vlastnost posuzovaného systému

Za důležité vlastnosti se považuje otevřenost, dynamičnost, cílové chování, úroňová vyváženost, stochastičnost, determinističnost a synergičnost (Janíček a Marek 2013).

3.5 Rozhodovací proces

Problém je stav, ve kterém nastává rozdíl mezi žádoucím stavem a skutečným stavem. Některé problémové situace je možné označit za potenciální problémy. Ty mohou znamenat pro firmu příležitost nebo ohrožení. Reakce na tyto potencionální problémy má také charakter rozhodovacího procesu (Fotr a Švecová 2016).

Je to proces volby nebo výběru rozhodnutí. Celý proces je složen z několika kroků, které musí být před konečným rozhodnutím ukončeny. Výsledné řešení problému (více řešení) se volí z dostatečného množství možností. Z množiny možností není explicitně jasné řešení problému, protože nevíme, jaké důsledky pro rozhodovatele jednotlivé varianty budou mít (Brožová aj. 2007).

Rozhodovací proces je složen ze dvou stránek, věcné a procedurální. Věcná stránka je vymezena oblastí řešeného problému. Procedurální stránka se zaměřuje na metody řešení (Šubrt 2011).

Procedurální stránka ukazuje, že jednotlivé rozhodovací procesy mají společné vlastnosti a rysy bez ohledu na věcnou stránku procesu. Pro všechny rozhodovací procesy je stejný určitý rámcový postup řešení. Ten se skládá z identifikace problému, hledání příčin problému, stanovení cílů řešení až po hodnocení variant a volbu varianty určené k realizaci. Mezi další společné rysy různých rozhodovacích procesů můžeme zařadit také specifické přístupy, metody a modelové nástroje (Fotr a Švecová 2016).

Rozhodovací problémy je možné rozlišovat z mnoha různých hledisek. Například podle času na statické a dynamické, podle počtu rozhodovacích kritérií na jednokriteriální a vícekriteriální, podle úrovně řízení na strategické, taktické a operativní. Podle struktury problému je možné rozlišovat mezi dobře strukturovanými problémy a špatně strukturovanými problémy. Dobře strukturované problémy jsou charakteristické svou jednoduchostí a snadnou algoritimizovatelností. Často se jedná o rutinní postupy, které jsou dobře známy. Špatně strukturalizované problémy jsou charakteristické svou jedinečností a neopakovatelností. Většinou se řeší ve vyšších úrovních řízení. Podrobněji jsou odlišnosti mezi dobře strukturovanými problémy a špatně strukturovanými problémy popsány v tabulce 2 (Rais a Doskočil 2011).

Tabulka 2 - Charakteristiky dobře a špatně strukturovaných problémů

Charakteristika	Dobře strukturované problémy	Špatně strukturované problémy
Frekvence řešení	opakovaně	jednorázově
Úroveň řízení	operativní	vrcholová
Postupy řešení	rutinní	inovativní, tvůrčí
Využívané proměnné	kvantifikovatelné	obtížně kvantifikovatelné
Faktory ovlivňující řešení	málo faktorů	velký počet, některé neznámé
Vazby mezi faktory	jednoduché závislosti	složité a proměnlivé vazby
Kritéria hodnocení	jedno, kvantitativní	více většinou kvantitativních
Charakter prostředí	stabilní	proměnlivé, náhodné změny
Přístup k informacím	dobry	špatný a obtížná interpretace

Zdroj: Fotr a Švecová 2016, vlastní zpracování

Pokud rozhodovatel zná možné budoucí situace, ale neví, s jakou pravděpodobností nastanou, jedná se o rozhodování za nejistoty. V praxi je nejistota chápána jako nemožnost spolehlivého stanovení budoucích hodnot rizikových faktorů ovlivňujících dopady a účinky volby variant (Fotr a Švecová 2016).

Výsledek, který by měl rozhodovací proces přinést, může být normativní nebo deskriptivní. Normativním výsledkem se rozumí volba normy řešení pro jednotlivé situace. Deskriptivním výsledkem se rozumí podrobný popis řešení problémové situace. Ke správné analýze problémové situace a k volbě kvantitativních metod a exaktních postupů řešení je nutné nejdříve popsat jednotlivé složky rozhodovacího procesu.

- subjekt rozhodování
- objekt rozhodování
- varianty rozhodování
- cíl rozhodování
- kritéria rozhodování
- stavy okolností
- jistota, riziko, nejistota

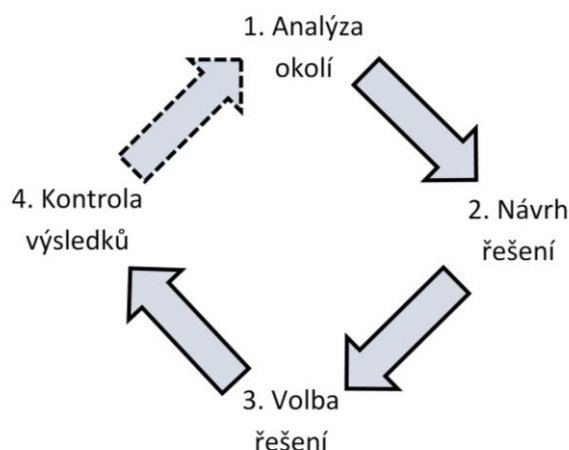
(Brožová aj 2007)

Existuje více způsobů jak rozdělit rozhodovací proces do jednotlivých etap. Některé způsoby jsou podrobné a některé více agregované. Příkladem agregovaného rozdělení rozhodovacího procesu do jednotlivých etap je struktura podle Simona, která je zobrazena na obrázku 3.

- analýza okolí
- návrh řešení
- volba řešení
- kontrola výsledků

(Fotr a Švecová 2016)

Obrázek 3 - Struktura rozhodovacího procesu podle Simona



Zdroj: Fotr a Švecová 2016, vlastní zpracování

Proces rozhodování je charakterizován třemi hlavními fázemi. První je integrační fáze. V této fázi je problém zkoumán, analyzován a popisován. Druhou je fáze projektování. V té jde o navrhování možných variant řešení a jejich analýzy. V poslední fázi se vybírá a realizuje nejlepší řešení (Brožová aj. 2007).

Podrobnější způsob rozdělení fází rozhodovacího procesu pak může vypadat takto:

1. Identifikace rozhodovacího problému

Získávání, analýza a vyhodnocování informací o firmě a jejím okolí. Pomocí těchto procedur by mělo dojít k identifikaci problémové situace. Tím je zahájen rozhodovací proces.

2. Analýza a formulace rozhodovacích problémů

Zde by mělo dojít k prohloubení znalostí o problému a určení základních prvků problémové situace. Určení příčin problému a také cílů jeho řešení. Výsledkem by měla být jasná formulace problému.

3. Stanovení kritérií hodnocení variant

Výsledkem této fáze by mělo být vytyčení, podle jakých kritérií se budou varianty hodnotit.

4. Tvorba variant rozhodování

V této části jde o nalezení a formulaci činností a jejich kombinací, jejichž realizace by měla zajistit dosažení cílů řešení.

5. Určení důsledků variant rozhodování

V této etapě jsou zjištěny předpokládané účinky jednotlivých rozhodovacích variant vzhledem ke stanoveným kritériím.

6. Hodnocení důsledků variant rozhodování a výběr varianty určené k realizaci

Poslední fází je výběr nejvýhodnější varianty nebo preferenční uspořádání variant.

Někdy může být proces rozhodování doplněn ještě dvěma fázemi. Realizace zvolené varianty a kontrola výsledků zvolené varianty (Fotr a Švecová 2016).

3.6 Vícekriteriální rozhodování

Je to proces postupu řešení rozhodovacích problémů, kterým se vybírá jedno řešení z množiny alternativ. Vybrané řešení by mělo být pro danou situaci nejlepší možné řešení problému. Jednotlivé alternativy mohou přinést různý užitek pro rozhodovatele. Množství užítku plynoucí z realizace jednotlivých variant není možné explicitně určit a závisí na budoucí situaci, kterou rozhodovatel nemůže ovlivnit. Je možné v rozhodovacím procesu rozlišit dvě složky. Jednou je proces uvažování, ve kterém člověk zkoumá závislosti a souvislosti problematické situace. Druhou je proces porovnávání, ve kterém se zaměřuje na zjišťování subjektivních souvislostí, jak možné alternativy vyhovují požadavkům (Šubrt 2011).

Pro určení správné metody vícekriteriálního rozhodování je nutné znát několik okolností rozhodovacího problému.

- o čem se má rozhodovat
- jaké cíle mají být splněny (jakých cílů má být dosaženo a za jakých podmínek)
- z jakých hledisek se má rozhodovat (jaká hlediska má rozhodovací subjekt respektovat)
- k jakému časovému horizontu bude výsledek rozhodování působit

(Píšková 1993)

3.6.1 Varianta

Je to konkrétní rozhodovací možnost, jedno z možných řešení problému, předmět vlastního rozhodování. Varianta musí být realizovatelná a nesmí to být logický nesmysl. Varianty jsou ohodnoceny podle jednotlivých kritérií. Varianta x dominuje variantu y , jestliže je varianta x podle všech kritérií stejná nebo lepší než varianta y a zároveň existuje alespoň jedno kritérium, podle kterého je varianta x lepší než varianta y . Pak je varianta y dominována variantou x . Ne vždy takové řešení v množině řešení existuje. Takové varianty se označují za vzájemně nedominované. Pokud existuje varianta, která není dominována žádnou jinou variantou, označuje se taková varianta za efektivní nebo paretoovskou variantu. Pro lepší znázornění kritériálního rozpětí množiny řešení je někdy vhodné stanovit pro tuto množinu ideální a bazální variantu. Ideální varianta je taková, která je podle všech kritérií nejlepší možná. Bazální varianta je taková, která je podle všech kritérií nejhorší možná. Pokud by v množině řešení skutečně ideální varianta existovala, byla by to jediná nedominovaná varianta a tudíž nejlepší možné řešení. Většinou v množině řešení ideální ani bazální varianta neexistuje. Většina postupů řešení vícekritériální analýzy variant vede k nalezení kompromisní varianty. To je taková varianta, která je nedominována a je doporučena jako řešení problému. Výběr takové varianty závisí na použité metodě řešení (Šubrt 2011).

3.6.2 Kritérium

Kritérium je hledisko ohodnocení varianty. Pokud je množina variant ohodnocena kvantitativními kritérii, je možné tuto množinu zapsat ve formě kritériální matice Y , která je zobrazena ve vzorci 1.

Vzorec 1 - Kritériální matice Y

$$Y = \begin{matrix} & f_1 & f_2 & \cdots & f_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Zdroj: Šubrt 2011, vlastní zpracování

Kritériální matice je tvořena prvky y_{mn} , kde takový prvek vyjadřuje ohodnocení m -té varianty podle n -tého kritéria. To znamená, že řádky matice jsou tvořeny jednotlivými variantami a sloupce jednotlivými kritérii.

Kritéria je možné podle jejich povahy rozdělit na maximalizační a minimalizační. Maximalizační kritérium je lepší s jeho rostoucím ohodnocením. Nejlepší varianta podle tohoto kritéria je taková, která má v tomto kritériu nejvyšší hodnotu. Minimalizační kritérium je lepší s jeho klesajícím ohodnocením. Nejlepší varianta podle tohoto kritéria je taková, která má v tomto kritériu nejnižší hodnotu. Často bývá vhodné pracovat s kritérii stejné povahy. Všechna kritéria jsou maximalizační nebo minimalizační. Pokud to tak není, je možné minimalizační kritérium převést na maximalizační a naopak vhodnou metodou. Dalším možným rozdělením je podle kvantifikovatelnosti kritéria. Kvantitativní (objektivní) kritérium je takové, které lze objektivně změřit. Kvalitativní (subjektivní) kritérium je takové, které nelze objektivně změřit. Většinou jde o subjektivní odhad rozhodovatele. Pro subjektivní ohodnocení kritérií se často využívají různé bodovací stupnice nebo relativní hodnocení variant. Preference kritéria definuje důležitost tohoto kritéria v porovnání s ostatními kritérii. Preference může být vyjádřena pomocí aspirační úrovně, váhy a kompenzací kritériálních hodnot. Aspirační úroveň určuje hodnotu kritéria, které má být dosaženo. Čím přísněji je aspirační úroveň nastavena, tím důležitější kritérium je. Váha kritéria je hodnota v intervalu $<0;1>$. Určuje relativní důležitost kritéria v porovnání s ostatními kritérii. Suma vah kritérií se musí rovnat 1. Kompenzace hodnot kritérií znamená, jak je možné substituovat jedno kritérium jiným. Pokud nějaká varianta dosahuje špatného ohodnocení v určitém kritériu, je možné vykompenzovat toto špatné ohodnocení dobrým ohodnocením té varianty v jiném kritériu (Brožová aj. 2003).

3.6.3 Rozhodovatel

Je to osoba nebo skupina osob, která má za úkol učinit rozhodnutí (Brožová aj. 2003).

Rozhodovatel by měl k procesu výběru přistupovat maximálně objektivně, což je zčásti zajištěno postupy a metodami analýzy variant. Je možné, aby byly různá osoby zadavatelem problému a jiné řešitelem. Výhodou pak je dosažení větší objektivity, ale za cenu rizika nedostatečného posouzení. Bylo zjištěno, že člověk se při rozhodování nechová vždy striktně ekonomicky. Manažeři dávají často přednost dostatečně dobrým

a vyhovujícím alternativám než těm nejlepším. Příčinou je vliv osobnosti konkrétního manažera. Rozhodovatel je často přesvědčen, že pro své rozhodnutí nemá dostatek informací. Ovšem ne vždy vede více informací k lepšímu rozhodnutí. Mysl dokáže přijímat a analyzovat jen určité množství informací. Pokud je hranice tohoto množství překročena, dojde k selhání analytických procesů. Rozhodovatel se proto rozhodne pro jednodušší řešení, které nemusí být nutně optimální (Brožová 2007).

3.6.4 Dělení úloh vícekriteriálního rozhodování

Základní rozdělení jednotlivých úloh je podle zadání přípustné množiny variant. Pokud je množina přípustných variant ve formě konečného seznamu variant, jedná se o úlohy vícekriteriálního hodnocení variant. Pokud je množina řešení zadaná formou omezujících podmínek, které varianty musí splňovat, jde o úlohy vícekriteriálního programování (Fiala aj. 1994).

Tabulka 3 - Rozdělení metod řešení podle preferencí mezi variantami

Metoda	Informace o preferencích mezi variantami					
	Aspirační úrovně	Ordinální informace	Kardinální informace			
			Funkce užitku	Vzdálenost variant od ideální a bazální varianty	Preferenční relace	Mezní míra substituce
Metoda PEIAM	Lexikografická	Metoda váženého součtu	Metoda TOPSIS	Metoda AHP	Metoda postupné substituce	
	ORESTE			Metoda PROMETHEE		
	Permutační			Metoda ELECTRE		

Zdroj: Šubrt 2011, vlastní zpracování

Rozdělení je také možné podle typu preferenčních informací o kritériích a variantách. Přehled příkladů vhodných metod řešení podle druhu informací je zobrazen v tabulce 3 (Brožová aj. 2003).

- **Žádná informace**

To znamená, že neexistuje žádná informace o vzájemné důležitosti kritérií. Preference mezi variantami musí existovat. Je to podmínka řešitelnosti vícekritériálních úloh.

- **Nominální informace**

Opět se jedná o možnost přípustnou pouze pro kritéria a ne jednotlivé varianty. Tento typ informace rozděluje množinu variant na akceptovatelné a neakceptovatelné varianty. Nominální informace o kritériu vyjadřuje aspirační úroveň tohoto kritéria. To znamená, že určuje jeho nejhorší možnou hodnotu, ve které je varianta ještě akceptovatelná.

- **Ordinální informace**

Tento typ informace popisuje uspořádání kritérií podle důležitosti nebo uspořádání variant podle určitého kritéria.

- **Kardinální informace**

Jedná se kvantitativní druh informace. U kritérií jsou to váhy jednotlivých kritérií a u variant je to konkrétní číselná hodnota varianty podle konkrétního kritéria.

(Brožová aj. 2003)

Podle cíle řešení úloh vícekritériálního rozhodování je možné dělit úlohy na tři skupiny. Do první skupiny úloh patří úkoly, jejichž cílem je výběr jedné kompromisní varianty. Z množiny řešení je vybráno jedno řešení, které se podle ohodnocení jednotlivými kritérii jeví jako nejlepší možné. V druhé skupině jsou úlohy s cílem uspořádat množinu řešení od nejlepšího po nejhorší. Tato skupina úloh se z určitého pohledu překrývá s tou předchozí. Úplného uspořádání množiny řešení je možné i pomocí metod řešení úloh první skupiny. Poslední skupinou jsou úlohy, ve kterých je nutné rozdělit varianty na akceptovatelné a neakceptovatelné (Brožová aj. 2007).

3.6.5 Modelování preferencí mezi kritérii

Volba metody pro modelování preferencí mezi kritérii závisí především na typu informací, kterými rozhodovatel disponuje. Jedná se o informace typu nominální informace o kritériích, ordinální informace o kritériích a kardinální informace o kritériích. Základní přehled metod modelování preferencí mezi kritérii a jejich závislosti na typu informace je zobrazen v tabulce 4 (Fiala aj. 1994).

Tabulka 4 - Metody kvantifikace preferencí mezi kritérii a jejich výstupy

Informace o preferencích mezi kritérii		
Informace	Metoda	Výstup
Žádná	Entropická metoda	Vektor vah kritérií
Nominální	Metoda aspiračních úrovní	Aspirační úrovně kritérií
Ordinální	Metoda pořadí	Vektor vah kritérií
	Fullerova metoda	
Kardinální	Bodovací metoda	
	Saatyho metoda	

Zdroj: Šubrt 2011, vlastní zpracování

Nominální informace

S nominálními informacemi o kritériích pracuje metoda aspiračních úrovní. To znamená, že musí být známy minimální hodnoty jednotlivých kritérií, kterých má varianta alespoň dosáhnout. Pokud varianta dosahuje hodnot aspirační úrovně nebo lepších je považována za akceptovatelnou pro řešení. Rozhodovatel může zpřesňovat upravováním aspirační úrovně své preference a dojít až k výsledné kompromisní variantě (Fiala aj. 1994).

Ordinální informace

Metoda pořadí má často využití při hodnocení několika experty. Každý z nich uspořádá kritéria od nejvýznamnějšího po nejméně významné. Každé kritérium je následně ohodnoceno n body a následující $n-1$ body. Poslední kritérium získá 1 bod. Je možné použít pro stejně důležitá kritéria průměr jejich pořadí. Váha kritéria je určena sumou bodů od všech hodnotitelů vydělená všemi rozdělenými body.

K metodám pracujícím s ordinálními informacemi lze řadit také metodu Fullerova trojúhelníku.

Kardinální informace

Váhy kritérií mohou být určeny podle několika různých metod. Tyto metody se dělí na přímé a nepřímé. Přímé metody patří k těm postupově jednodušším. Pracují na principu přímého ohodnocení jednotlivých kritérií podle předem dohodnuté bodovací stupnice. Výsledné ohodnocení vah je tedy zcela subjektivní. Nejznámější metoda této skupiny je metoda bodovací, z jejíchž základů vychází i další metody. Je vhodné každou bodovací stupnici podrobně popsat, aby bylo zřejmé, jaký význam má konkrétní bodové ohodnocení. Ze skupiny nepřímých metod patří mezi nejpoužívanější metody párové srovnávání a strom cílů. Párové srovnávání pracuje na principu porovnání a posouzení každého kritéria se všemi ostatními kritérii. Jedná se například o Fullerovu metodu a Saatyho metodu. Metoda stromu cílů spočívá na postupné dekompozici nejjobecnějších kritérií na jednodušší subkritéria, která musí varianta splňovat. Dekompozice probíhá až na úroveň, kdy je možné kritéria jednoduše kvantifikovat. Váhy jsou pak spočteny pro jednotlivé skupiny kritérií na dané hierarchické úrovni. Jejich vynásobením přes všechny úrovně se získají relativní váhy jednotlivých kritérií (Píšková 1993).

3.6.6 Saatyho metoda

Tabulka 5 - Stupnice hodnocení Saatyho metody

Stupně	Význam
1	rovnocenná kritéria i a j
3	slabě preferované kritérium i před j
5	silně preferované kritérium i před j
7	velmi silně preferované kritérium i před j
9	absolutně preferované kritérium i před j

Zdroj: Brožová aj. 2003, vlastní zpracování

Stanovení vah jednotlivých kritérií touto metodou je vhodné, pokud kritéria hodnotí pouze jeden expert. Metoda využívá párového porovnávání se všemi ostatními kritérii. Kritéria se hodnotí podle stupnice v tabulce 5 (Brožová aj. 2003).

Je možné využívat také mezistupně 2, 4, 6 a 8. Ohodnocení dvojice kritérií se zapisuje do Saatyho matice $S=(s_{ij})$. Její tvar je ve vzorci 2. Saatyho matice S je čtvercová o rozměrech $n \times n$ a je reciproční. Na diagonále matice jsou vždy hodnoty 1 (Brožová aj. 2003).

Vzorec 2 - Saatyho matice S

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ 1/s_{12} & 1 & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/s_{1k} & 1/s_{12} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

Zdroj: Brožová aj. 2003, vlastní zpracování

Jelikož matice často nevykazuje dostatečnou konzistenci, využívá se pro její ověření index konzistence I_s . Matice je považována za dostatečně konzistentní, jestliže $I_s < 0,1$. Vzorec pro výpočet indexu konzistence je ve vzorci 3. Ve vzorci je l_{max} nejvyšším vlastním číslem matice a n je počet kritérií (Brožová aj. 2003).

Vzorec 3 - Index konzistence

$$I_s = \frac{l_{max} - n}{n - 1}$$

Zdroj: Brožová aj. 2003, vlastní zpracování

Váhy v_j se ze Saatyho matice S získávají pomocí výpočtu vah jako normalizovaného geometrického průměru řádků Saatyho matice. Podle vzorce 4 se vypočítá geometrický průměr řádků. Váhy se zjistí podle vzorce 5 normalizací hodnot b_i (Brožová aj. 2003).

Vzorec 4 - Geometrický průměr řádků matice S

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n s_{ij}}$$

Zdroj: Brožová aj. 2003, vlastní zpracování

Vzorec 5 - Normalizace hodnot

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i}$$

Zdroj: Brožová aj. 2003, vlastní zpracování

3.6.7 Analytický hierarchický proces

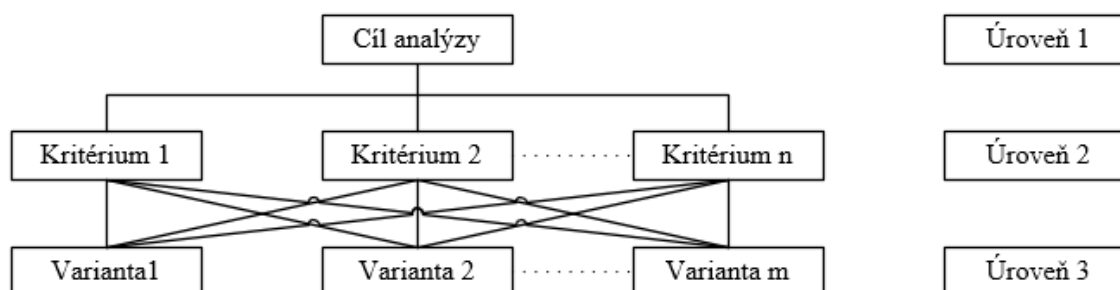
Metoda AHP se využívá při komplikovaných rozhodovacích problémech pro nalezení účinného řešení. AHP pomáhá zefektivnit přirozený proces rozhodování. Princip metody spočívá v rozkladu složité nestrukturalizované situace na jednodušší komponenty. Výsledkem tohoto procesu je hierarchický systém problému. Jednotlivé úrovně hierarchické struktury se řeší pomocí Saatyho metody kvantitativního párového porovnávání. Jednotlivým prvkům je přiřazována důležitost na základě subjektivního párového porovnávání, které je kvantitativně vyjádřeno. Následná syntéza hodnocení určí prvek s nejvyšší důležitostí.

Velkou výhodou metody AHP je možnost použití pro jakýkoli typ informace o preferenčních vztazích mezi prvky modelu. Rozhodovatel musí být schopen určit z preferenčního vztahu směr a intenzitu mezi všemi srovnávanými páry (Šubrt 2011).

Hierarchická struktura je tvořena více úrovněovou lineární strukturou, ve které každá úroveň obsahuje několik prvků. Jednotlivé úrovně ve struktuře přechází od obecného uspořádání ke konkrétnímu. Obecnější prvky v hierarchii se nacházejí výše a přecházejí k méně obecným. Intenzita působení mezi jednotlivými prvky může být kvantifikována. Nejvyšší prvek v hierarchii definuje cíl analýzy. Lze mu přiřadit hodnotu jedna, která se následně dělí mezi prvky náležící v hierarchii níže. Stejným způsobem se postupuje na

dalších úrovních až po nejnižší úroveň, která je tvořena variantami. Typická hierarchická struktura je zobrazena na obrázku 4 (Brožová aj. 2003).

Obrázek 4 - Struktura AHP



Zdroj: Brožová aj. 2003, vlastní zpracování

3.7 Systémová analýza

Elementárním východiskem systémové analýzy je předpoklad, že každý existující systém lze zdokonalit, a každý nově projektovaný lze zkonstruovat tak, aby uspokojoval požadavky uživatele. Tento přístup k řešení problémů se řadí k takzvaným tvrdým systémovým metodologiím, které se zaměřují spíše na hledání optimálních řešení bez přihlídnutí k sociálním aspektům. Tvrdé systémové metodologie se zabývají především systémovým popisem problému, řešením problému pomocí modelů a volbou řešení (Brožová 2007).

Analýza je metodický postup poznání, který postupuje od celku k částem. Předpokládá, že pokud systém jako celek vykazuje určité chování, je možné toto chování vysvětlit pomocí chování jednotlivých prvků v systému a vazeb mezi nimi. Mezi základní analytické metody patří:

- **Hodnotová analýza**

Zaměřuje se na funkci systému a jeho prvků z hlediska celkové hospodárnosti.

- **Regresní analýza**

Zabývá se hledáním závislostí mezi jednotlivými prvky systému a jejich podmíněností.

- **Faktorová analýza**

Zkoumá, jakou váhu mají jednotlivé faktory ovlivňující chování systému.

(Rais a Doskočil 2011)

Systémová analýza vychází z poznatků teorie systémů a systémového modelování. Jedná se o soubor logických a formalizovaných principů a postupů, který napomáhá řešení rozhodovacích problémů (Získal aj. 1999).

Jde o metodickou disciplínu, která pomocí rozkladu systému na subsystemy a jejich prvky zjišťuje poznatky o struktuře a vazbách systému. Rozklad systému probíhá do takové úrovně, ve které je u získaných prvků jasná funkce a vazebnost. Systémová analýza se rovněž zabývá chováním systému jako celku a vnějšími podněty, které systém ovlivňují. Zaměřuje se na poznávání objektivní reality (Rais a Doskočil 2011).

3.7.1 Systém

Systém je účelově definovaná množina prvků a množina vazeb mezi nimi, která jako celek vykazuje určitou funkci. Prvkem je myšlena část systému, která na dané rozlišovací úrovni tvoří celek, který už není možné nebo nutné dělit. Systém, který je možné chápat jako prvek nadřazeného systému, se nazývá subsystem. Systémy lze popsat pomocí jejich struktury a chování. Struktura je tvořena množinou prvků a jejich vazeb. Chování systému tvoří soubor reakcí, které jsou vyvolány podněty působícími na systém (Rais a Doskočil 2011).

Systémy lze dělit podle jejich vlastností do několika skupin. Podle jejich chování v čase na systémy statické a dynamické. Stav statických systémů jsou v čase neměnné, kdežto stavy dynamických systémů se v čase mění. Podle vztahu mezi chováním systémů a podněty chování lze dělit systémy na deterministické a stochastické. Chování deterministických systémů je jednoznačně určeno konkrétním podnětem. Chování stochastických systémů může ve stejných podmínkách vykazovat různé chování. Podle samotného chování lze systémy dělit na systémy s cílovým chováním. Takový systém konverguje k žádanému cílovému stavu. Na systémy bez cílového chování, u kterých závisí stav pouze na vnějších podnětech. A na systémy adaptivní, které jsou schopny přizpůsobovat své cílové chování údajům získaným ze svého okolí (Rais a Doskočil 2011).

3.7.2 Okolí systému

Jedná se o množinu prvků, která nepatří přímo do systému, ale má na jeho chování významný vliv. Tento vliv je realizován pomocí vazeb. Při identifikaci systému na objektu je zároveň identifikováno jeho okolí (Vytlačil 2007).

Okolí systému je účelově definovaná množina prvků, které nejsou přímo prvky systému, ale mají s ním důležité vazby z hlediska zájmu subjektu. Okolí systému je možné dále rozdělit na bezprostřední okolí, které je složeno z prvků s přímou vazbou na systém. A na vzdálené okolí, které působí na systém zprostředkovaně přes bezprostřední okolí. Hranice systému je pak tvořena hraničními prvky systému a hraničními prvky okolí (Janíček a Marek 2013).

3.7.3 Model

Model je explicitním vyjádřením části reality tak, jak ji vidí lidé, kteří chtějí modelu rozumět, měnit, ovládat a řídit tuto část reality. Model je reprezentací reality pro konkrétní účel (Vytlačil 2007).

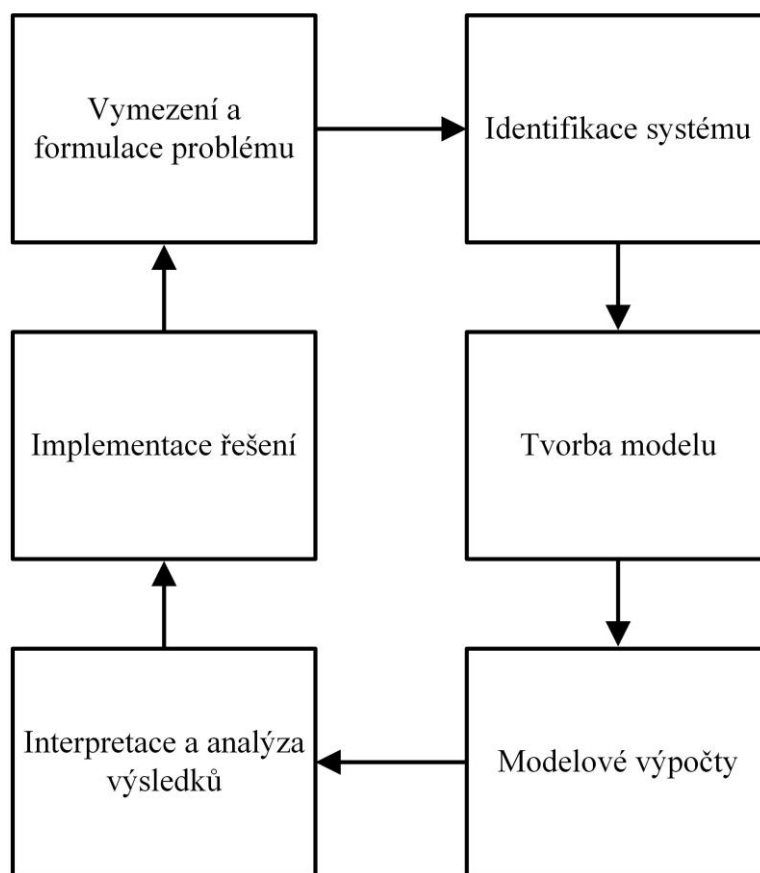
3.7.4 Fáze systémové analýzy

Mezi základní nástroje systémové analýzy patří tvorba a aplikace modelů. Základní kroky systémové analýzy obsahují kombinaci exaktních a intuitivních postupů. Řešení problémů pomocí systémové analýzy probíhá v několika fázích. Jejich propojení je znázorněno na obrázku 5 (Získal aj. 1999).

- **Vymezení řešeného problému**

Důležité je především zaměření se na účel řešení problému. V průběhu hledání řešení nesmí dojít k odchýlení se od původních otázek. Postup, který přihlíží k účelu hledaného řešení, umožňuje redukovat mnohotvárnost reálného objektu na důležité stránky z pohledu řešeného problému. Díky této metodě systémové analýzy je možné zúžit a identifikovat systém na reálném objektu a pro něj vhodný model. Toto zúžení se týká také oblasti řešení problému (Získal aj. 1999).

Obrázek 5 - Fáze systémové analýzy



Zdroj: Získal aj. 1999, vlastní zpracování

- **Identifikace systému na zkoumaném objektu**

Dalším krokem je nalézt správnou rozlišovací úroveň reálného objektu a při ní na objektu zavést systém. Identifikace tohoto systému je systematickým vyhledáváním reálných ekvivalentů pro pojmový aparát systémové analýzy. Nutné je také daný systém zanalyzovat z kvalitativního hlediska a prověřit definování jeho podstatných rysů.

- **Tvorba modelu a jeho testování**

Definovaný systém je první formalizací zkoumaného objektu. Dalším stupněm je vytvoření modelu daného systému. Ten je vytvořen pomocí zobrazení složek identifikovaného systému modelovými prostředky. Výsledný model musí co nejlépe odpovídat vymezenému systému. Případné zjednodušené části systému se nesmějí týkat jeho podstatných rysů. Důležitou částí této fáze je kvantifikace a testování vytvořeného modelu. Za jednotlivé parametry modelu jsou dosazeny

konkrétní hodnoty. Ty jsou získány z evidence měřením nebo kvalifikovaným odhadem. Při testování modelu se sleduje jeho chování a porovnává se se skutečností.

- **Modelové výpočty a experimenty**

Tato část se zabývá chováním modelu. Především jde o reakce modelu na různé podněty. Získávají se tak informace pro řešení daného problému. Je možné měnit podmínky nastavení modelu i samotný model. To slouží k ověření si, jak rozhodnutí ovlivní skutečné chování.

- **Interpretace a analýza výsledků**

Tato část slouží k analýze provedených experimentů a získaných informací. Z nich je odvozeno řešení problému. Při navrhování řešení je nutné vycházet z reality a návrhy posuzovat vzhledem k vymezenému problému.

- **Implementace a realizace řešení problému v praxi**

Zároveň s návrhem řešení by měl být navržen také způsob jeho realizace. Je nutné, aby vytvořený model byl dostatečně blízký realitě a výsledné řešení se poté do reality dalo implementovat.

(Získal aj. 1999)

3.8 Ekonomické hodnocení

Podle původu kapitálu se financování investičních projektů dělí na interní zdroje financování a externí zdroje financování. Interní zdroje jsou tvořeny nejčastěji ziskem firmy po zdanění, odpisy, přírůstky rezerv a odprodejem. Externí zdroje tvoří nejčastěji původní vklady vlastníků, účasti a různé druhy úvěrů (Fotr aj. 2011).

Metody hodnocení investic se rozlišují na statické a dynamické podle jejich vztahu k času. Statické metody nejsou ovlivňovány faktorem času, dynamické jsou. Statické metody se využívají v případech, kdy se jedná o jednorázové investice s krátkou životností. Jejich velkou výhodou je jejich jednoduchost, kvůli které se v praxi často využívají.

Dynamické metody hodnocení se využívají pro posouzení investic s delší dobou ekonomické životnosti (vice než 2 roky). Dynamické metody je dále možné rozdělit podle efektů plynoucích z investic.

- Nákladové hodnocení investic - očekávaná úspora nákladů
- Ziskové hodnocení - očekávaný účetní zisk
- Čistý peněžní příjem z investice - očekávaný peněžní tok

(Valach 2001)

Pro hodnocení ekonomické efektivity se často využívají ukazatele rentability celkového kapitálu, doba návratnosti nebo úhrady a další ukazatele vycházející z diskontování (Fotr aj. 2011).

V současnosti se jednoznačně upřednostňují metody opírající se o peněžní příjem z investice. Mezi takové metody patří:

- Čistá současná hodnota a index rentability
- Vnitřní výnosové procento
- Průměrná výnosnost
- Doba návratnosti

(Valach 2001)

4 Vlastní práce

4.1 Identifikace rozhodovacího problému

Firma Agropol s.r.o. podniká v zemědělství od roku 1992. Hospodaří přibližně na 550 ha a k tomu chová přibližně 500 kusů dobytku. Počet zaměstnanců se během roku pohybuje od 12 do 15 osob podle sezonních prací. Organizační struktura podniku je složena pouze ze dvou úrovní. Ve vedení jsou tři zaměstnanci, kteří jsou zároveň spoludávajícími firmy. Ostatní zaměstnanci jsou rozděleni do sekcí živočišné výroby a rostlinné výroby.

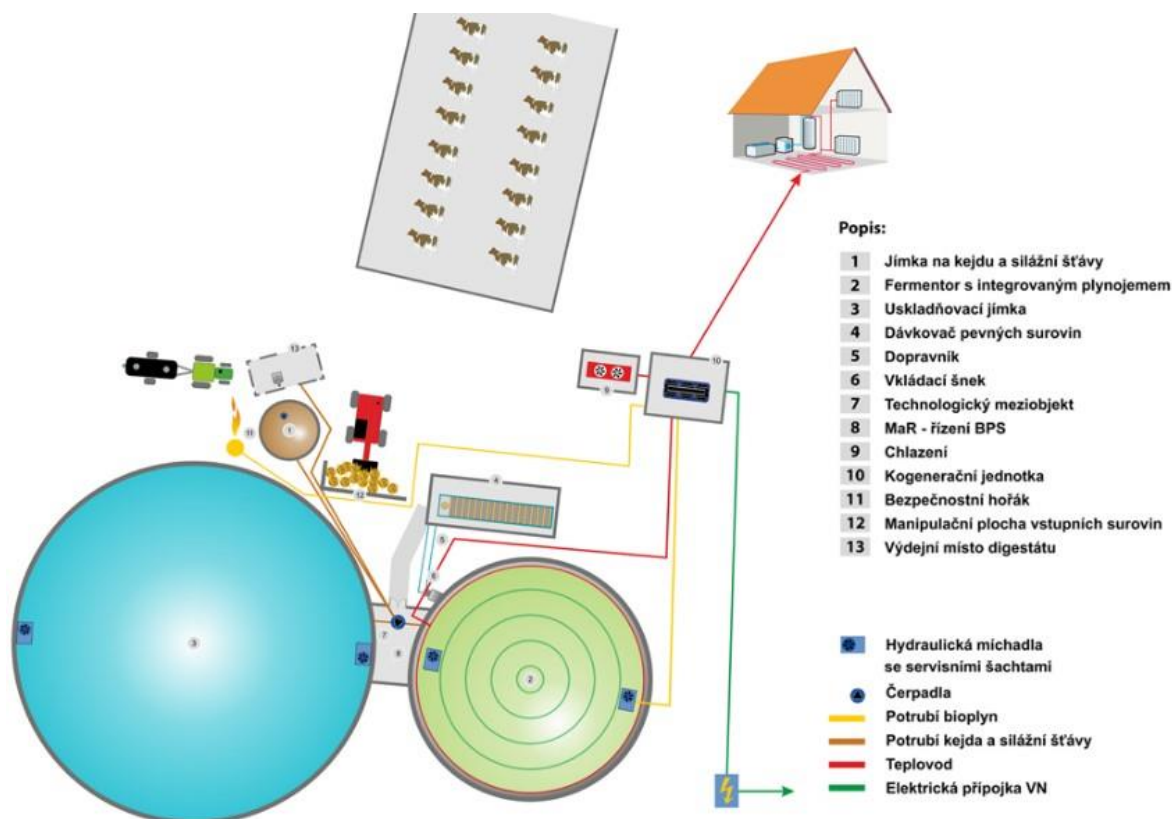
Od roku 2012 firma rozšířila svou činnost o provoz bioplynové stanice (BPS). Podrobné informace o technologiích a uspořádání BPS jsou zobrazeny na obrázku 6. O její běžný provoz se stará vedení firmy, takže po uvedení do provozu nebylo nutné najmout dodatečné pracovní síly. Hlavním důvodem pro vybudování stanice byla možnost získat finanční dotace na produkci elektřiny z obnovitelných zdrojů. V hlavních vstupních surovinách nutných pro chod BPS je firma soběstačná. Zisk z provozu BPS tvoří přibližně polovinu celkového zisku firmy.

BPS je vybavena kogenerační jednotkou o tepelném výkonu 423 kW a elektrickém výkonu 370 kW. Podle těchto parametrů se jedná spíše o menší stanici. Vyrobena elektřina je dodávána do distribuční sítě. Vyrobené teplo je přibližně z 30 % využíváno pro vytápění fermentoru a z 20 % se využívá pro ohřev vody a vytápění firemních prostor. Uvedený poměr využití tepla je průměr za kalendářní rok. Zbylé teplo není nijak využíváno.

Užitečné teplo je získáváno prostřednictvím tepelného výměníku, ve kterém je předáváno teplo z motoru a výfukových plynů do topného okruhu. Množství takto získané tepelné energie ovšem v současnosti převyšuje firemní potřeby.

Pro fungování kogenerační jednotky je nutné udržovat teplotu v chladicím okruhu pod 100 °C. Proto je nutné přebytečné teplo z topného okruhu odbourávat využitím třech chladicích kondenzátorů. Tím se z potenciálně užitečného tepla stává teplo odpadní. Nevyužívání energie v odpadním teple a spotřeby elektřiny chladicími kondenzátory snižuje energetickou účinnost BPS.

Obrázek 6 - Bioplynová stanice Agrospol



Zdroj: Agrospol s.r.o., vlastní zpracování

V letním období dochází k občasnému záměrnému snižování výkonu kogenerační jednotky z důvodu nedostatečného odbourávání tepla. To znamená ušlý zisk plynoucí z produkce elektřiny.

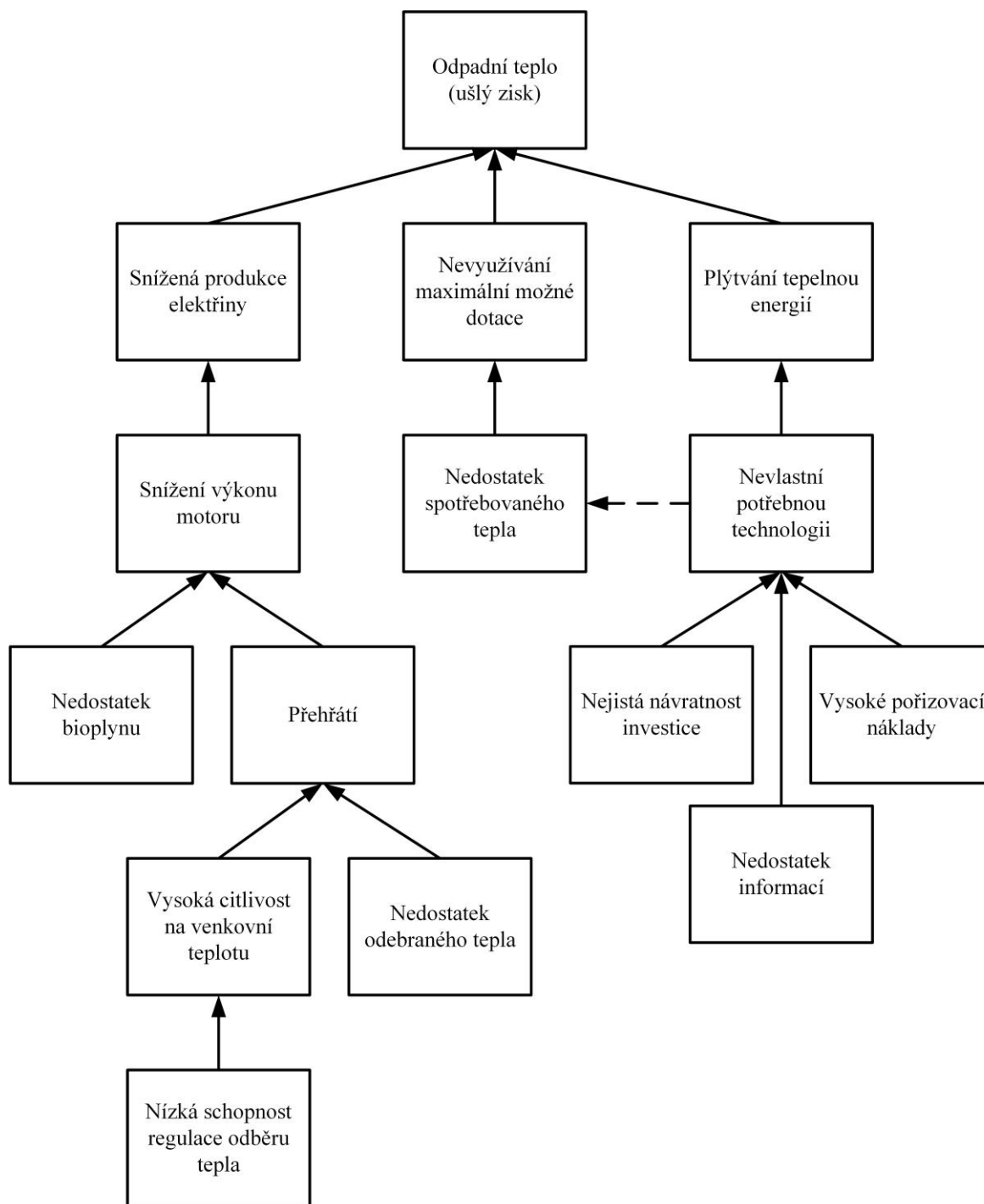
Za ušlý zisk je možné považovat rovněž možnost čerpání dotací na kombinovanou výrobu elektřiny a tepla (KVET). Její výše závisí na množství tepla, které firma dokáže využít v jiných technologických procesech (transformovat odpadní teplo na užitečné).

4.2 Analýza a formulace rozhodovacích problémů

4.2.1 Strom kauzálních vztahů

Pro rozklad problémové situace na základní příčiny problému je využita metoda zobrazení problému pomocí stromu kauzálních vztahů. Rozklad je zobrazen na obrázku 7.

Obrázek 7 - Strom kauzálních vztahů



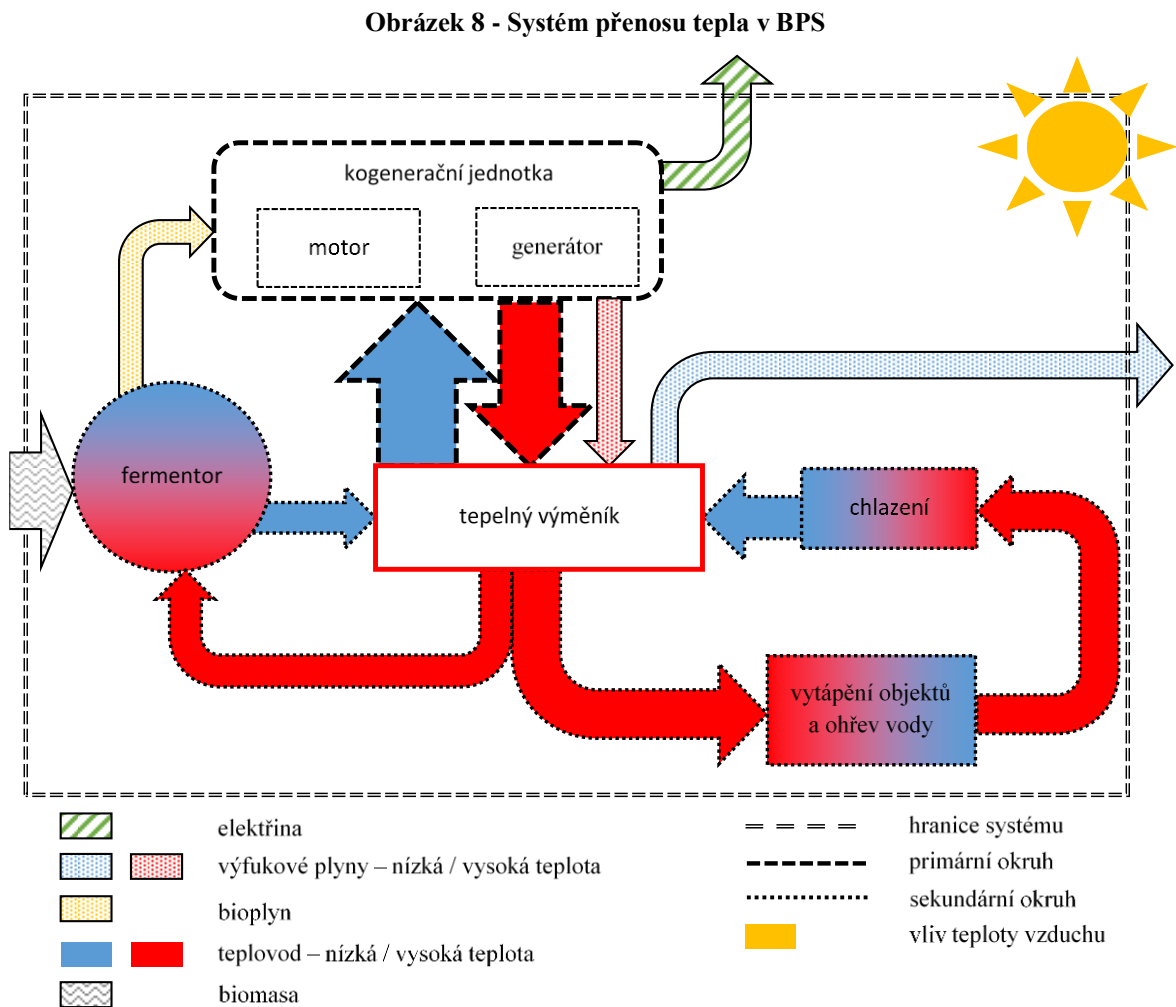
Zdroj: vlastní zpracování

Z uvedeného kauzálního větvení vyplývá, že problémovou situaci ovlivňuje několik různých příčin. Ty jsou nejčastěji spojovány se systémem přenosu tepla v BPS.

Příčiny úspěšného zisku z provozu BPS:

- Nízká schopnost regulace odběru tepla
- Nedostatek odebraného tepla
- Vysoké pořizovací náklady na novou technologii
- Nejistá návratnost investice do nové technologie
- Nedostatek informací o technologických možnostech řešení

4.2.2 Analýza teplotních přenosů v BPS



Zdroj: vlastní zpracování

Účelem této analýzy je vymezení systému, který se podílí na procesech výroby, spotřeby a přenosu tepelné energie v rámci BPS. Na obrázku 8 je znázorněn systém pohybu tepla v rámci BPS se svými prvky a vazbami. Zároveň ukazuje, jaké vnější vlivy na systém působí a jak systém působí na své okolí.

4.2.3 Prvky systému přenosu tepla v BPS

Kogenerační jednotka

Hlavním zdrojem tepla v systému je motor kogenerační jednotky. Motor pracuje na principu čtyřtakového Ottova plynového motoru. Má dvanáct válců uspořádaných do V a je osazen dvěma turbodmyčadly. Součástí kogenerační jednotky je také elektrický generátor. Tepelný výkon kogenerační jednotky je 423 kW a elektrický výkon je 370 kW. Tepelný spád topného systému je 90/70 °C. Poměr mezi elektrickým výkonem a tepelným výkonem je 0,86. Celková účinnost jednotky je potom 84 %. Při plném výkonu dosahuje motor jednotky 1500 otáček za minutu.

Tepelný výměník

Tento prvek slouží k přenosu tepla mezi dvěma soustavami, kde každá má různé parametry. Jedná se o jediný prvek společný pro primární i sekundární okruh. Chladicí okruh motoru zde předává topnému okruhu teplo vzniklé spalováním. Zároveň přes tepelný výměník prochází i výfukové potrubí, takže je zde předáváno do topného okruhu rovněž teplo z výfukových plynů.

Fermentor

V současnosti je nejvíce vyprodukovaného tepla spotřebovááno ve fermentoru. Jeho optimální teplota je 40 °C a žádoucí jsou jen minimální odchylky od optimální teploty. Daná teplota ve fermentoru je nutná pro tvorbu bioplynu. Fermentor spotřebuje přibližně 30 % tepelného výkonu motoru. Tato tepelná energie je ale využívána zpětně v procesu výroby elektřiny a tepla. Z tohoto důvodu není možné získat na tuto část energie dotaci KVET.

Vytápění objektů a ohřev vody

Jde o technologie, které využívají vyrobené teplo v dalších procesech. Jedná se o bojler, ústřední topení v kancelářských prostorách, ústřední topení ve dvou bytových jednotkách a vytápění servisní haly pro zemědělské stroje. Díky tomu je tepelná energie spotřebovávána a teplota sekundárního okruhu klesá. Na teplo využívané tímto způsobem je možné uplatnit dotaci KVET.

Chlazení

Chlazení je používáno z důvodu odstranění nevyužívaného tepla ze sekundárního okruhu, aby bylo možné chladit primární okruh. Tento prvek je složen ze třech jednotek chladicích kondenzátorů Neostar, každý o příkonu 1,94 kW. Tento způsob odbourávání tepla není podporován dotacemi.

4.2.4 Vazby systému přenosu tepla v BPS

Topný okruh

Topný okruh představuje nejdůležitější typ vazeb systému. Je to potrubí propojující jednotlivé prvky systému, kterým je vyrobené teplo odváděno od motoru dalším prvkům, které ho dokáží využít. Přenosové médium, na které se teplo navazuje, je voda s příměsí látek, které zabraňují zmrznutí. Topný okruh je možné rozdělit na dva samostatné okruhy. Primární a sekundární. Primární okruh odvádí teplo od motoru do tepelného výměníku. Sekundární okruh získává tepelnou energii ve výměníku a vede ji k dalším prvkům systému, poté se teplotní médium vrací zpět do výměníku jiným potrubím. Za výměníkem se sekundární okruh rozděluje na dvě samostatné větve. Jedna větev vede teplo do fermentoru a druhá větev vede teplo k ostatním prvkům systému. Průtok v části vedoucí skrz fermentor dosahuje 11 m³/s a průtok v druhé větvi dosahuje 45 m³/s.

Zásadní nevýhodou tohoto způsobu transportu tepelné energie je omezená vzdálenost, na kterou lze účinně teplo přepravovat. S rostoucí přepravní vzdáleností stoupají tepelné ztráty, které jsou odečítány z KVET.

Výfukové potrubí

Jde o další způsob odvodu tepelné energie od motoru. Při spalování bioplynu vznikají kromě tepla také výfukové plyny. Na ty je navázáno velké množství tepelné energie. Proto vede výfukové potrubí rovněž přes tepelný výměník, kde se teplo z velké části předává sekundárnímu okruhu. Teplota výfukových plynů před výměníkem dosahuje při plném výkonu motoru 692 °C a na konci výfukového potrubí už je to jen 190,3 °C. Průtok výfukových plynů v potrubí je 0,719 M³/s. Výfukové plyny jsou vypouštěny do atmosféry.

Plynovod

Tato vazba zajišťuje přepravu bioplynu vytvářeného ve fermentoru do motoru. Množství a kvalita bioplynu je závislá z části na úrovni vytápění fermentoru. Pokud by byla vazba přerušena, dojde k zastavení motoru a tudíž i výroby tepla, což by vedlo k vychladnutí fermentoru a přerušení produkce bioplynu.

4.2.5 Okolí systému přenosu tepla v BPS

Biomasa

Výchozím palivem BPS je biomasa. Jedná se o směs především kukuřičné siláže a kravského hnoje. Během roku jsou do biomasy přidávány dočasně travní a jetelové siláže. Složení a dávkování biomasy má významný vliv na kvalitu a množství produkovaného bioplynu.

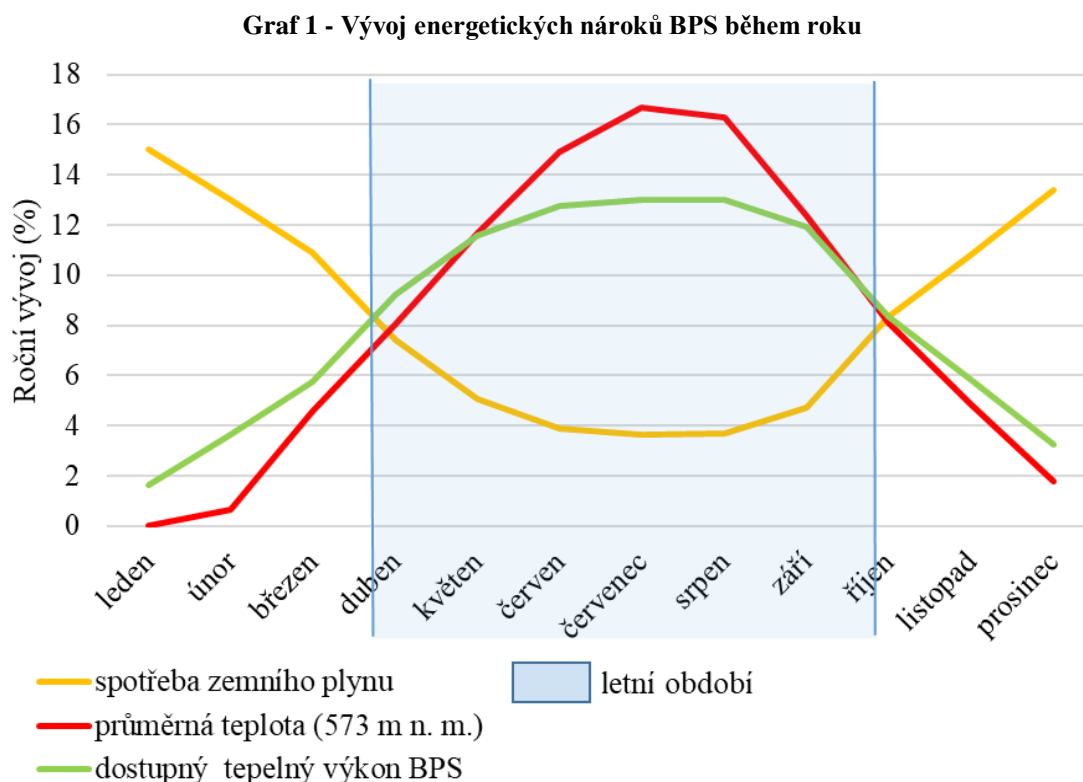
Teplota vzduchu

Významný vliv na provoz celé BPS má v této podnební oblasti vývoj teploty vzduchu během roku. Zatímco v zimním období bývá často problém dosáhnout ve fermentoru požadované teploty, v letním období nastávají situace, ve kterých je nemožné dostatečně efektivně odvádět vyrobené teplo od motoru.

Nižší teplota uvnitř fermentoru má za následek zhoršenou účinnost fermentačního procesu, což se projevuje sníženou produkcí bioplynu, při stejných vstupních nákladech. V krajních případech může docházet ke snižování výkonu kogenerační jednotky z důvodu nedostatku bioplynu.

Závažnější dopady má přehřívání primárního okruhu během letního období. Kvůli vysokým venkovním teplotám se snižuje účinnost odbourávání vyrobeného tepla ze sekundárního a tudíž i primárního okruhu. To umocňuje nevyužívání vytápění během tohoto období. V současnosti je to řešeno snižováním výkonu kogenerační jednotky a vytápěním servisní haly i v letním období.

Intenzita citlivosti BPS na vývoj venkovní teploty je částečně dána samotnou technologickou konstrukcí stanice. Uvedené procentní nároky na vyrobené teplo pro fermentor, ohřev vody a vytápění jsou průměrné hodnoty z celého roku. Z toho vyplývá, že se množství opětovně využitelné tepelné energie bude v jednotlivých částech roku lišit. Pro odhad skutečně dostupného množství tepla během roku jsou využita data o spotřebě zemního plynu v ČR a průměrných měsíčních teplot vzduchu.



Zdroj: ERÚ, Český hydrometeorologický ústav, vlastní zpracování

Podle dat Českého hydrometeorologického úřadu (příloha 2) a Energetického regulačního úřadu (příloha 1) z let 2010 až 2017 je v letním období (od začátku dubna do konce září) spotřebováno v průměru pouze 28,5 % celkové roční spotřeby zemního plynu a zároveň venkovní teploty dosahují nejvyšších hodnot. Průměrný vývoj venkovní teploty, zemního plynu spotřebovaného k vytápění a dostupné energie BPS pro další využití je zobrazen v grafu 1.

Z celkového tepelného výkonu BPS tvoří nyní odpadní teplo polovinu. Využitelný tepelný výkon BPS se v letním období pohybuje v rozmezí 235 až 330 kW. Celkově je to 71,5 % z celkového ročního výkonu. Mimo toto období je to pouze 212 až 42 kW. Tyto hodnoty vycházejí z předpokladu, že nároky technologie BPS na teplo kopírují přibližně vývoj spotřeby zemního plynu v ČR. Výchozí data a výpočty jsou v příloze 3.

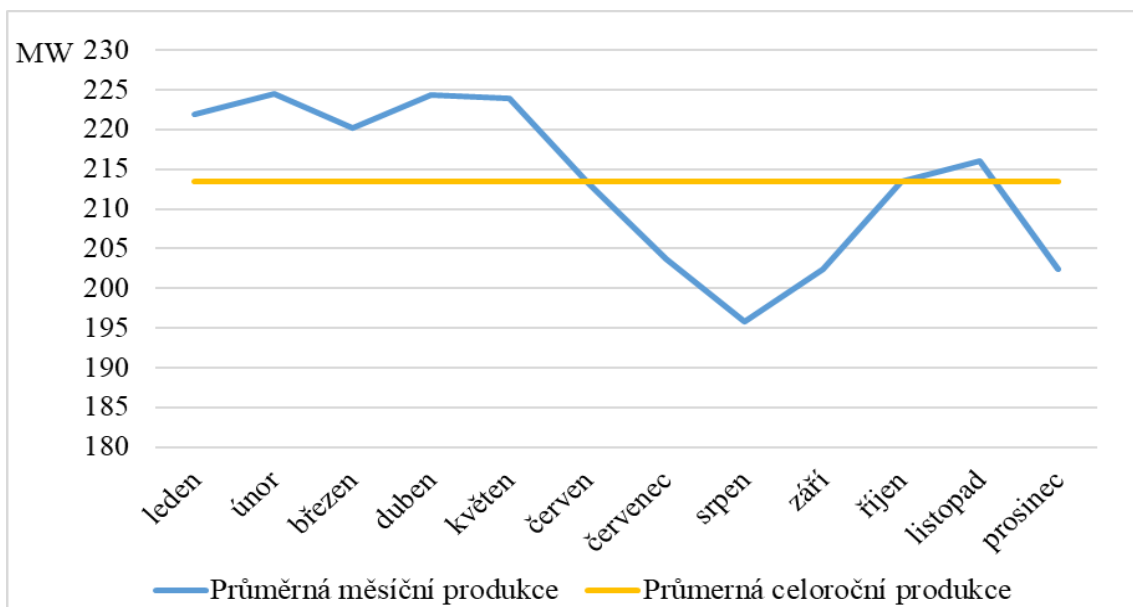
Produkce elektrické energie

Hlavní ekonomický příjmem z provozu bioplynové stanice plyne z dodávání elektrické energie do přenosové soustavy. To je zajištěno elektrickým vedením od kogenerační jednotky k transformátoru, přes který je firma napojena na přenosovou soustavu. Část vyrobené elektřiny spotřebuje technologie BPS a část firma sama ve svém areálu. Zbytek elektrické energie je dodán od sítě za dotovanou cenu. Proto lze chápat cenu spotřebované elektřiny rovnu prodejní ceně elektřiny z BPS, která je v roce 2019 4 463 Kč za MWh. Tato částka je složena z výkupní ceny a zeleného bonusu.

Průměrný vývoj dodávek elektrické energie do sítě je zobrazen na grafu 2. Průměry jsou vypočítány z dat z let 2015 až 2019. Hodnoty zobrazené v grafu jsou upraveny tak, aby nebyly ovlivněny rozdílnou délkou měsíců. Data pocházejí od firmy Agrospol s.r.o. a jsou zobrazena v příloze 4.

Za ztráty způsobené přehříváním BPS je možné považovat pokles produkce oproti průměrné celoroční produkci v rozmezí začátku června až konce září.

Graf 2 - Výroba elektřiny



Zdroj: Agropol s.r.o., vlastní zpracování

Shrnutí důležitých kvantitativních vlastností systému přenosu tepla v BPS je v tabulce 6. Z uvedeného popisu prvků, vazeb a okolí systému je zřejmé, že se jedná o otevřený, dynamický a dobře strukturovaný systém. Cílem řešení problémové situace by měla být minimalizace, případně úplné odstranění příčin neefektivního provozu BPS. Tohoto cíle by mohlo být dosaženo změnou struktury systému přenosu tepla v BPS.

Dílčí cíle řešení problému odpadního tepla v provozu BPS:

- Zvýšit možnost regulace odběru tepla
- Zvýšit celkový odběr tepla
- Navrhnout finančně výhodné řešení problému
- Zvýšit informovanost firmy o problematice odpadního tepla

Tabulka 6 - Parametry systému přenosu tepla

Zařízení	Vlastnosti	Hodnoty
Kogenerační jednotka	Elektrický výkon	370 kW
	Tepelný výkon	423kW
	Celková účinnost	84 %
	Tepelná účinnost	45,2 %
	Elektrická účinnost	38,8 %
	Poměr výroby elektřina : teplo	0,86
	Výhřevnost plynu	18,2 MJ/kg
	Spotřeba plynu (plný výkon)	4500 m ³ /den
	Doba provozu během roku	98 %
Topný okruh	Tepelný spád topného okruhu	90/70 °C
	Průtok vody v topném okruhu (max)	25 m ³ /h
	Odpadní teplo v letním období	235 - 330 kW
	Odpadní teplo mimo letního období	212 - 42 kW
Fermentor	Spotřeba tepla z tepelného výkonu	~ 30 %
	Cílová teplota	40 °C
Chlazení	Příkon	3 x 1,94 kW
Vytápění a ohřev vody	Spotřeba tepla z tepelného výkonu	~ 20 %

Zdroj: vlastní zpracování

4.2.6 Formulace problému

Provoz BPS je pro firmu Agrosopol jednou z klíčových oblastí vytváření zisku. Proto je důležité, aby bylo fungování stanice maximálně efektivní. Tomu brání přenos a využití produkované tepelné energie, která není využívána za účelem vytváření dodatečného zisku a její hromadění v letním období může vést ke snížení produkce elektřiny. Tyto faktory navíc ovlivňují výši možných dotací z elektřiny i tepla.

4.3 Stanovení kritérií hodnocení variant

4.3.1 Profil rozhodovatele

Hlavní motivací podniku změnit současné provozní nastavení BPS je maximalizování možného zisku plynoucího z jejího provozu. Toho by mělo být dosaženo pomocí výše stanovených cílů. Těchto cílů by ovšem mělo být dosaženo přiměřenými prostředky a s přihlédnutím k dalším zájmům podniku.

Jedná se o menší zemědělskou firmu, pro kterou jsou další investice do BPS spojeny s rizikem vysoké závislosti na bezproblémovém provozu BPS. I když je podnik proti ztrátám, které vnikají, když není BPS v provozu, pojištěn, snaží se tyto ztráty minimalizovat. Pokud by na provozu stanice byl závislý další výrobní proces bez možnosti pracovat na BPS nezávisle, znamenal by případný výpadek zvýšené riziko pro celý podnik. Možnost nezávislého provozu nové technologie je důležitá i vzhledem k omezené životnosti BPS. Dotovaný výkup elektřiny je podle smluvních podmínek zaručen jen do roku 2032, poté není jisté, že se provoz BPS vyplatí.

Dále by při výběru výsledného řešení mělo být zohledněno, jaké personální nároky bude mít vybraná technologie na obsluhu a jestli podnik disponuje potřebnými znalostmi pro provoz nové technologie.

Zásadní faktor pro výběr optimální technologie je možnost jejího využití během roku. Ta je ovlivněna na jedné straně provozními parametry BPS v konkrétním okamžiku a na druhé straně poptávkou po tepelné energii technologií samotnou v konkrétním okamžiku. Hlavním determinantem tohoto faktoru je vývoj venkovní teploty během roku a způsob zpracování tepelné energie vybranou technologií. Z výše uvedených informací a stanovených cílů je důležité především odebírání tepla během letního období, kdy je intenzita produkce odpadního tepla nejvyšší.

Z fyzikálního hlediska je důležité zohlednit rovněž možnost geografického umístění vybrané varianty vzhledem ke zdroji odpadního tepla, protože účinnost transportu tepelné energie silně klesá s rostoucí vzdáleností. Energie ztracená přenosem není dotovaná.

4.3.2 Kritéria hodnocení

K1 - Spotřeba tepla

Kritérium K1 spotřeba tepla zahrnuje několik klíčových vlastností, které mají na celkovou spotřebu energie klíčový vliv. Proto je kritérium rozděleno na několik subkritérií, hodnotících podrobněji tyto klíčové vlivy. Celkový přehled subkritérií je v **tabulce** níže.

Hodnotí možnost využitelnosti varianty technologie při vysokých venkovních teplotách. Využití odpadního tepla při vysokých venkovních teplotách je klíčové z hlediska využitelného objemu energie a zároveň kvůli zamezení přehřívání motoru. Vybraná technologie musí být využívána především v letním období, aby jejím provozem mohl být regulován systém přenosu tepla BPS.

Rovněž je v tomto kritériu zahrnuta schopnost technologie pracovat s teplem o nízké kvalitě. Kvalita produkovaného odpadního tepla se během roku mění především podle venkovních teplot. Toto kritérium je sledováno, protože kvalita tepla má na různé technologie rozdílný vliv.

Dalším faktorem zahrnutým v kritériu K1 je doba provozu během roku. Jednotlivá technologická řešení se velice liší. Celková doba provozu během roku je důležitá pro účinnost odbourávání tepla a také z hlediska návratnosti investice a její rizikovosti. Čím delší dobu je možné technologii během roku využívat, tím nižší jsou rizika spojená s krátkodobými výpadky BPS a s ovlivněním návratnosti investice.

Poslední faktor obsažený v kritériu rozlišuje druh transformace odpadní energie. Zda je získaná energie využita k další produkci nebo bez využití vypuštěna do prostoru. To je významné hlavně z hlediska životního prostředí a celkové energetické efektivity BPS.

K2 - Umístění

Toto kritérium hodnotí nejkratší možnou vzdálenost mezi existujícím místem napojení a předpokládaným umístěním nové varianty technologie a prostorové nároky nutné pro výstavbu a provoz. Celkový přehled subkritérií je v **tabulce** níže.

Varianty technologií se rozměrově významně liší, zároveň je nutné brát v úvahu prostor nutný pro bezproblémovou obsluhu.

S rostoucí vzdáleností od zdroje tepla klesá technologická účinnost a zároveň se zvyšují náklady na vybudování a údržbu přenosové soustavy.

K3 - Personální nároky

Počet zaměstnanců v zemědělství dlouhodobě klesá a mzdy jsou podprůměrné. Proto není pro podnik jednoduché získat dodatečné pracovní síly. Stávající zaměstnanci jsou již značně vytíženi a to především v letním období. Proto je důležité, aby řešení problému nevyžadovalo vysoké nároky na dodatečné lidské zdroje a množství pracovních hodin nutných pro provozování během jednoho roku.

Toto kritérium také hodnotí náročnost technologie z hlediska znalostí, které jsou potřeba pro řízení provozu. Pokud jsou potřebné znalosti pro podnik snadno dosažitelné, jsou nároky na obsluhu hodnoceny jako nižší a opačně. Přehled subkritérií je v tabulce.

Tabulka 7 - Přehled kritérií a subkritérií

K1	Spotřeba tepla	
	K1.1	Provoz při vysokých teplotách
	K1.2	Nízká kvalita tepla
	K1.3	Doba provozu během roku
	K1.4	Druh transformace odpadního tepla
K2	Umístění	
	K2.1	Plocha
	K2.2	Vzdálenost
K3	Personální nároky	
	K3.1	Znalostní nároky
	K3.2	Časové nároky
K4	Spolupráce	
K5	Využití bez BPS	

Zdroj: vlastní zpracování

K4 - Spolupráce

Kritérium spolupráce hodnotí dostupnost doplňujících technologií a surovin nutných pro provozování vybrané varianty. Pokud má podnik všechny části nově budovaného výrobního řetězce k dispozici bez omezení a ve svém vlastnictví, je kritérium hodnoceno maximálně kladně. Pokud by nová technologie vyžadovala navázání trvalé spolupráce

s jiným podnikem, je kritérium hodnoceno hůře. Podrobné ohodnocení tohoto kritéria je zobrazeno v tabulce.

K5 - Využití bez BPS

Toto kritérium zohledňuje možnost samostatného provozu bez součinnosti s BPS. Tato vlastnost technologické varianty by snížila závislost podniku na provozu BPS a zároveň umožnila využívání technologie po životnosti BPS. Další výhodou by byla možnost provozu při krátkodobém výpadku BPS.

4.4 Tvorba variant rozhodování a určení jejich důsledků

Neexistuje úplný výčet možných technologických řešení nebo univerzální postup jak problém řešit. Problém s využitím odpadního tepla se obvykle řeší podle konkrétních podmínek jednotlivých případů. V této práci jsou uvažovány nejběžnější dostupné a zároveň pro místní podnebí využitelné technologie. Vzhledem k nadmořské výšce přes 550 m n. m. není zahrnuta varianta vytápění skleníků.

4.4.1 Varianty technologických možností

V1 - ORC

Varianta ORC je možné řešení problému, které zvyšuje celkovou spotřebu tepla během roku a potenciálně je možné ho provozovat nepřetržitě. Další velkou předností je, že jeho výstupním produktem je elektrická energie, kterou je možné snadno transportovat odběrateli. Technologie ORC nevyžaduje žádné dodatečné investice. Napojení a umístění ORC je možné přímo na existující vedení. Personální nároky pro provoz jsou nízké, jedná se pouze o běžnou údržbu v rozsahu přibližně 24 hodin ročně. Provozovat ORC je podnik schopen zcela samostatně, bez nutnosti spolupráce s jinými firmami. Mezi hlavní nevýhody patří nízká účinnost a omezená schopnost reagovat na výkyvy v kvalitě a kvantitě dostupného tepla. Vysoké venkovní teploty budou na ORC působit stejně jako na kogenerační jednotku. Naopak pro provoz je nutné dodávat teplo o určité minimální kvalitě a kvantitě, což znamená, že v zimním období je riziko úplného odstavení pro zachování fermentačního procesu. ORC je technologie využitelná pouze pro odpadní teplo

a její provoz bez součinnosti s BPS nedává smysl. Podnik nedisponuje potřebnými znalostmi pro provoz ORC, ale na základě zkušeností s kogenerační jednotkou nebude obtížné je získat. Přehled o vlastnostech varianty V1 je v tabulce 8.

V současnosti není možné čerpat dotace na elektřinu vyrobenou touto technologií. Elektřina by se prodávala za běžnou tržní cenu. Z tohoto důvodu by musela být ORC technologie zapojena do elektrické sítě odděleně od areálu podniku a BPS.

Na spotřebovanou tepelnou energii by bylo možné dotace čerpat.

Tabulka 8 - Varianta V1

Kritérium	Vlastnosti
K1.1	Snížená spotřeba při vysoké venkovní teplotě
K1.2	Při nízké kvalitě tepla je technologie nefunkční
K1.3	Celoroční provoz
K1.4	Energie je využita k další produkci
K2.1	Velice nízké prostorové nároky
K2.2	Přímé napojení
K3.1	Znalosti částečné a jejich doplnění bude snadné
K3.2	Náklady denní práce jsou velice nízké
K4	Veškeré doplňující technologie podnik vlastní a jsou volně k dispozici
K5	Neexistuje využití bez přístupu k odpadnímu teplu

Zdroj: vlastní zpracování

V2 - Sušení obilí

Varianta sušení obilí je pro podnik zajímavá především kvůli provázanosti na jejich výrobní řetězec. Její aplikace by mohla mít vliv, kromě provozu BPS, i na rostlinnou výrobu podniku. Tuto technologii je možné používat i při vysokých venkovních teplotách, ale objem využitelného tepla je omezen na dobu žní (cca 2 měsíce). Snížená kvalita dodávaného tepla nebrání v provozu, jen je snížena jeho efektivita. Napojení této varianty vyžaduje vybudování přibližně 50 m dlouhého teplovodu. Podnik disponuje základními znalostmi o sušení obilí, pouze by musely být doplněny informace o konkrétním výrobku a jeho provozu. Výhodou by mělo být, že technologie sušáren je možné efektivně využívat i bez přístupu k odpadnímu teplu. Pro provoz sušárny je nutná obsluha, která se bude starat

o provoz. Pořízení této technologie vyžaduje další investice do zařízení, které je pro provoz nutné, ale podnik nemusí využívat služby dalších firem. Přehled o vlastnostech varianty V2 je v tabulce 9.

Tabulka 9 - Varianta V2

Kritérium	Vlastnosti
K1.1	Zvýšená spotřeba při vysoké venkovní teplotě
K1.2	Nízká kvalita tepla snižuje efektivitu produkce
K1.3	2 měsíce
K1.4	Energie je využita k další produkci
K2.1	Střední prostorové nároky
K2.2	50 m od napojení
K3.1	Znalosti částečné a jejich doplnění bude snadné
K3.2	Náklady denní práce jsou méně než 2 hodiny
K4	Veškeré doplňující technologie podnik vlastní a jsou volně k dispozici
K5	Existuje využití bez přístupu k odpadnímu teplu

Zdroj: vlastní zpracování

V3 - Univerzální sušení

Dalším způsobem využití sušárenské technologie, je vybudování univerzální sušičky, která umožňuje sušení více různých produktů. Díky tomu získává oproti sušičce obilí výhodu v možné době využitelnosti během celého roku. Provoz tohoto typu technologie vyžaduje větší pracovní nároky než sušení obilí. Odhadem by mohlo jít o 2 hodin práce denně. Při vysokých venkovních teplotách je možné zvýšit odběr tepla. V případě, že je kvalita dostupného tepla snížena, snižuje se i efektivita sušení. Na rozdíl od sušení obilí zabírá tato technologie větší prostor, proto je nutné zvolit jiné místo pro umístění. Nejbližší možné místo napojení je vzdáleno do 100 m. Nevýhodou této varianty je nutnost dodatečných investic, které jsou pro provoz nezbytné. Nutné je rovněž navázání spolupráce s dodavateli a odběrateli produkovaných výrobků. Znalosti tohoto typu sušení podnik nemá k dispozici. Velkou výhodou je možnost využití i bez přístupu k odpadnímu teplu. Přehled o vlastnostech varianty V3 je v tabulce 10.

Tabulka 10 - Varianta V3

Kritérium	Vlastnosti
K1.1	Zvýšená spotřeba při vysoké venkovní teplotě
K1.2	Nízká kvalita tepla snižuje efektivitu produkce
K1.3	Celoroční provoz
K1.4	Energie je využita k další produkci
K2.1	Velké prostorové nároky
K2.2	100 m od napojení
K3.1	Podnik potřebnými znalostmi nedisponuje
K3.2	Náklady práce jsou 2 hodiny denně
K4	Technologie vyžaduje trvalou spolupráci s dalším podnikem
K5	Existuje využití bez přístupu k odpadnímu teplu

Zdroj: vlastní zpracování

V4 - Vytápění a ohřev vody mimo podnik

Podobnou technologii už firma využívá v rámci svého podnikového areálu. Tato varianta řešení ovšem předpokládá její využití mimo podnik. Pro její realizaci by bylo nutné dovést teplovod do vzdálenosti přibližně 450 – 500 m, kde se nachází nejbližší nemovitosti. Potenciálními zákazníky by mohly být domácnosti nebo výrobní závod. Bez přístupu k odpadnímu teplu by se provoz nevyplatil. Odhadovaná doba provozu během roku je 6 měsíců, kdy probíhá topná sezóna. Pro realizaci je technologie poměrně nenáročná (10 hodin práce ročně). Největšími nevýhodami jsou nutnost dodávat energii z jiného zdroje při nízké kvalitě tepla a skutečnost, že během vysokých venkovních teplot se topení nevyužívá. Konkrétní hodnocení varianty je v tabulce 11.

Tabulka 11 - Varianta V4

Kritérium	Vlastnosti
K1.1	Při vysoké venkovní teplotě bez využití
K1.2	Nízká kvalita tepla vyžaduje dodatečný zdroj energie
K1.3	6 měsíců
K1.4	Energie je využita k další produkci
K2.1	Velice malé prostorové nároky
K2.2	500 m od napojení
K3.1	Znalosti částečné a jejich doplnění bude snadné
K3.2	Náklady denní práce jsou velmi nízké
K4	Technologie vyžaduje trvalou spolupráci s dalším podnikem
K5	Neexistuje využití bez přístupu k odpadnímu teplu

Zdroj: vlastní zpracování

V5 - Absorpční chlazení

Absorpční chlazení je technologie využívající vyrobené teplo, k energeticky nenáročné produkci chladu. V tomto případě je možné využít tuto technologii k chlazení mléka. Velkou předností je, že při běžném provozu není téměř nutné využívat lidské zdroje a podnik nepotřebuje pro provoz další znalosti nebo dodatečné investice. Technologie dokáže využívat jako zdroj pouze odpadní teplo. Připojení je možné ve vzdálenosti 50 m. Absorpční chlazení není možné využívat, pokud kvalita tepla klesne pod minimální hodnotu. Výjimečně by proto mohlo v zimním období docházet k přerušení chlazení. Předpoklad je, že je možné využívat technologii celoročně s rovnoměrnou spotřebou odpadního tepla. Podrobné hodnocení varianty je v tabulce 12.

Tabulka 12 - Varianta V5

Kritérium	Vlastnosti
K1.1	Rovnoměrná spotřeba nezávisle na venkovní teplotě
K1.2	Při nízké kvalitě tepla se snižuje účinnost
K1.3	Celoroční provoz
K1.4	Energie je využita k další produkci
K2.1	Velice nízké prostorové nároky
K2.2	50 m od napojení
K3.1	Znalosti částečné a jejich doplnění bude snadné
K3.2	Náklady denní práce jsou velmi nízké
K4	Veškeré doplňující technologie podnik vlastní a jsou volně k dispozici
K5	Neexistuje využití bez přístupu k odpadnímu teplu

Zdroj: vlastní zpracování

V6 - Intenzivní chov ryb

Tato varianta řešení je poměrně neobvyklá. Energie z odpadního tepla je využívána k ohřevu vody pro intenzivní chov ryb. Oproti ostatním technologiím spotřebovává provoz každodenně vodu. Mělo by se jednat o celoroční provoz s potřebou každodenní práce (5 hodin). Při vyšších venkovních teplotách je odběr energie z vody snížen, naopak při nedostatku energie je nutné pro provoz zajistit náhradní energetický zdroj, aby voda v sádkách příliš nevychladla. Dostatečně velké volné místo pro umístění je ve vzdálenosti do 100 m. Chov ryb je možné využívat i bez dostupného odpadního tepla. Znalosti potřebné k provozu firma nemá k dispozici. Vybudování chovu a jeho provozování vyžaduje dodatečné investice do nemovitostí a spolupráci s dalšími firmami. Vlastnosti varianty V6 jsou podrobně popsány v tabulce 13.

Tabulka 13 - Varianta V6

Kritérium	Vlastnosti
K1.1	Snížená spotřeba při vysoké venkovní teplotě
K1.2	Nízká kvalita tepla vyžaduje dodatečný zdroj energie
K1.3	Celoroční provoz
K1.4	Energie je využita k další produkci
K2.1	Velké prostorové nároky
K2.2	100 m od napojení
K3.1	Podnik potřebnými znalostmi nedisponuje
K3.2	Náklady práce jsou 5 hodin denně
K4	Technologie vyžaduje trvalou spolupráci s dalším podnikem
K5	Existuje využití bez přístupu k odpadnímu teplu

Zdroj: vlastní zpracování

V7 - Chladicí kondenzátor

Varianta chladicího kondenzátoru, na rozdíl od ostatních variant, netransformuje odpadní teplo na užitečné, ale pouze ho uvolňuje do prostoru. Stejnou technologii už podnik využívá a má pro provoz potřebné znalosti. Technologie vyžaduje jen malou roční údržbu (14 hodin ročně). Napojení je možné přímo a pro realizaci nejsou nutné dodatečné investice ani spolupráce s jinými firmami při provozu. Bez odpadního tepla je technologie nevyužitelná. Změny v kvalitě tepla nemají na technologii dopad. Při vysoké venkovní teplotě je možné zvýšit odbourávání tepla. Vlastnosti varianty V7 jsou podrobně popsány v tabulce 14.

Tabulka 14 - Varianta V7

Kritérium	Vlastnosti
K1.1	Zvýšená spotřeba při vysoké venkovní teplotě
K1.2	Nízká kvalita tepla neovlivňuje funkci technologie
K1.3	Celoroční provoz
K1.4	Energie není využívána k další produkci
K2.1	Velice nízké prostorové nároky
K2.2	Přímé napojení
K3.1	Podnik disponuje potřebnými znalostmi
K3.2	Náklady denní práce jsou velmi nízké
K4	Veškeré doplňující technologie podnik vlastní a jsou volně k dispozici
K5	Neexistuje využití bez přístupu k odpadnímu teplu

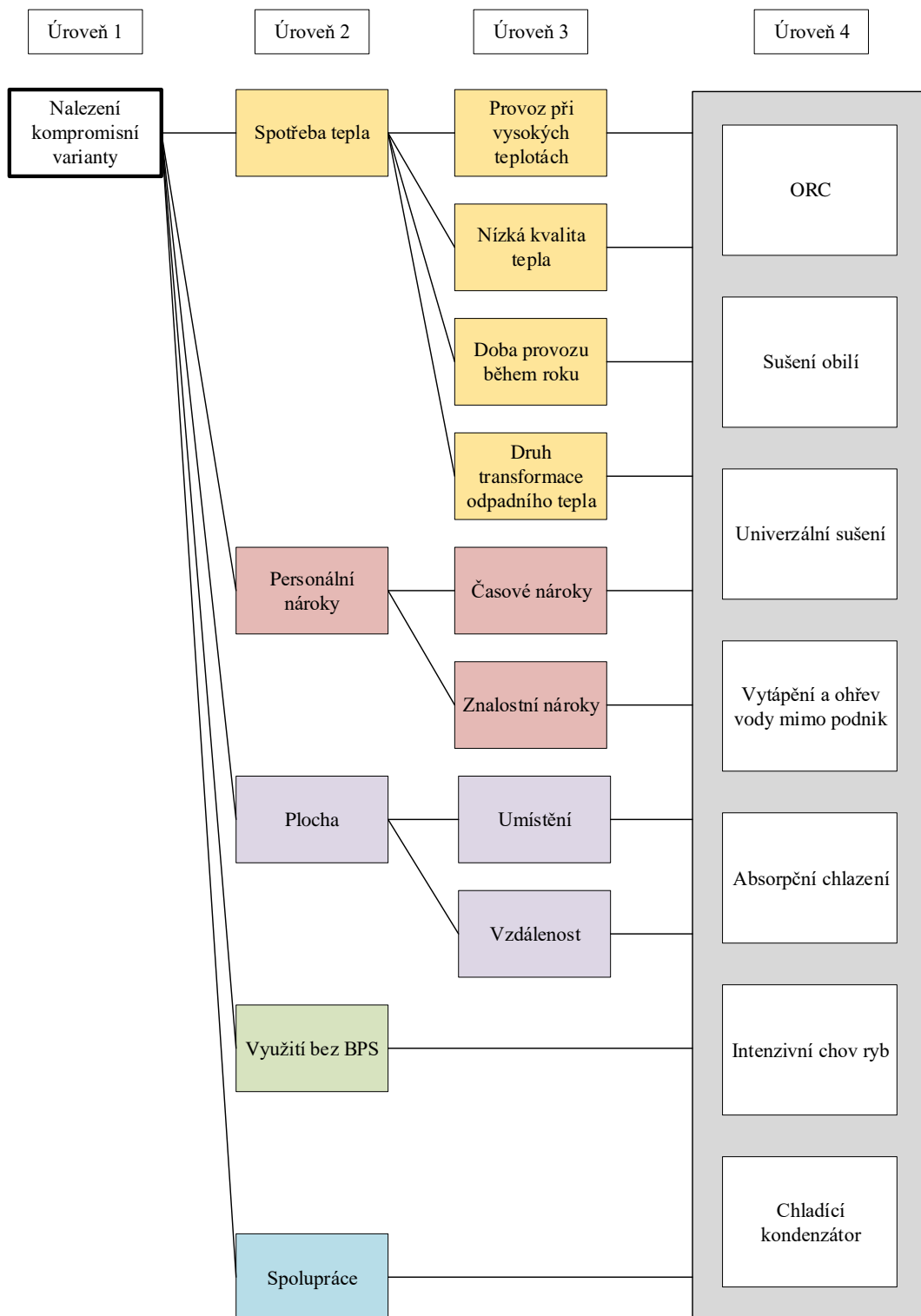
Zdroj: vlastní zpracování

4.5 Hodnocení důsledků variant rozhodování a výběr varianty určené k realizaci

Porovnání variant řešení je provedeno pomocí vícekritériální analýzy variant metodou analytického hierarchického procesu. Metoda AHP byla zvolena z důvodu obtížně kvantifikovatelných kritérií a kvůli velice obtížně strukturovatelnému rozhodovacímu problému. Rozhodovací struktura je graficky znázorněna na obrázku 9.

Jednotlivé párové porovnávání provádí na základě zjištěných informací v teoretické části práce a subjektivních zkušenostech s provozem BPS jednatel podniku Agrospol s.r.o. společně s autorem diplomové práce.

Obrázek 9 - Hierarchická struktura problému



Zdroj: vlastní zpracování

4.5.1 Váhy kritérií

Váhy jednotlivých kritérií na úrovni 2 jsou určeny Saatyho metodou. Hodnocení kritérií provádí jednatel firmy podle stupnice v tabulce 5. Matice S s výslednými váhami a postupem výpočtu je v tabulce 15. Index konzistence $I_s = 0,057$ takže matici lze považovat za dostatečně konzistentní.

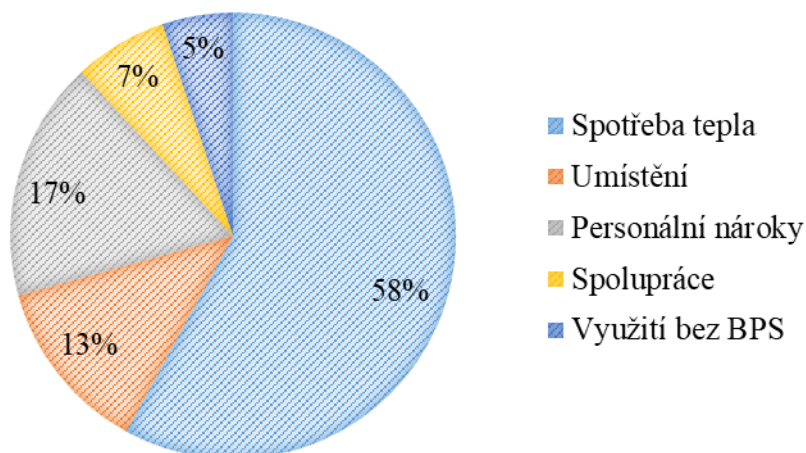
Tabulka 15 - Matice S úroveň 2

	K1	K2	K3	K4	K5	b_i	v_i
K1	1	6	5	7	7	4,300	0,580
K2	0,167	1	0,5	3	3	0,944	0,127
K3	0,2	2	1	3	3	1,292	0,174
K4	0,143	0,333	0,333	1	2	0,502	0,068
K5	0,143	0,333	0,333	0,5	1	0,380	0,051
					Σ	7,418	1

Zdroj: vlastní zpracování

V grafu 3 sestaveném podle výsledných vah z úrovně 2 hierarchického procesu je vidět významnost jednotlivých kritérií. Nejdůležitějším kritériem je z 58 % spotřeba tepla. Toto kritérium se ovšem na další úrovni rozděluje na 4 subkritéria. Jako 2. nejdůležitější kritérium jsou vyhodnoceny personální nároky se 17 %. Kritérium se dále rovněž dělí na subkritéria. Jen o 4 % méně významné je kritérium umístění, které se také dále dělí. Jako nejméně významná byla vyhodnocena kritéria spolupráce s 7 % a využití bez BPS s 5 %. Tato dvě kritéria se už ovšem na další úrovni nedělí.

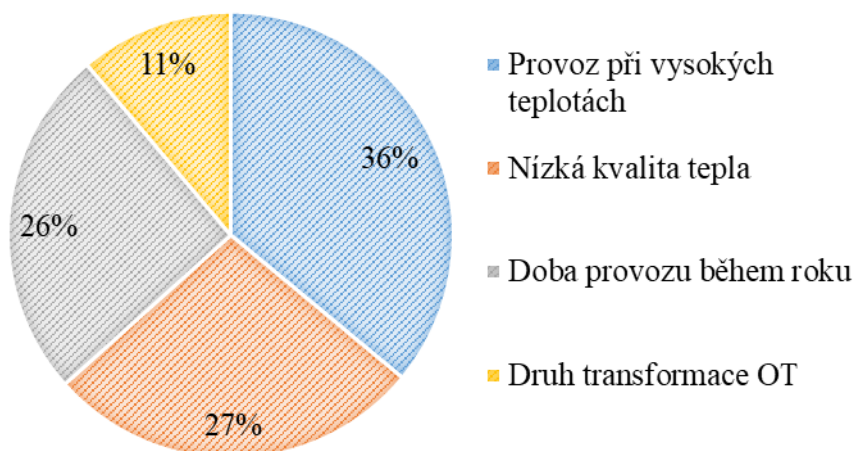
Graf 3 - Rozložení kritérií úrovně 2



Zdroj: vlastní zpracování

Na další úrovni se zjišťují váhy stanovených subkritérií rozkladem příslušných kritérií. Postup pro jejich výpočet je stejný jako na úrovni 2. Každé subkritérium je nutné porovnat s ostatními v rámci svého kritéria a ohodnotit podle dané stupnice. Poté se ze získaného hodnocení sestaví matice S a jsou vypočítány konečné váhy subkritérií. Matice S se sestavuje zvlášť pro každé porovnávání. Podrobné výpočty Saatyho matic na úrovni 3 jsou v příloze 5, 6 a 7.

Graf 4 - Rozložení subkritérií K1



Zdroj: vlastní zpracování

Důležitost jednotlivých subkritérií K1 je zobrazena v grafu 4. Nejdůležitějším subkritériem je K1.1 - Provoz při vysokých teplotách s významností 36 %. Další 2 subkritéria získala velice podobné ohodnocení, liší se pouze o 1 %. K1.2 - Nízká kvalita tepla má 27 % a K1.3 - Doba provozu během toku 26 %. Nejméně významné je K1.4 - Druh transformace odpadního tepla.

Kritérium K2 - Umístění se dále rozložilo pouze na 2 subkritéria. Z 80 % je tvořeno subkritériem K2.2 - Vzdálenost a z 20 % subkritériem K2.1 - Plocha.

Kritérium K3 - Personální nároky se rozkládá na subkritérium K3.1 - Znalostní nároky s významností 75 % a subkritérium K3.2 - Časové nároky s významností 25 %.

Další kritéria K4 a K5 se na subkritéria nerozdělují a zůstávají jim váhy z úrovně 2.

4.5.2 Ohodnocení variant

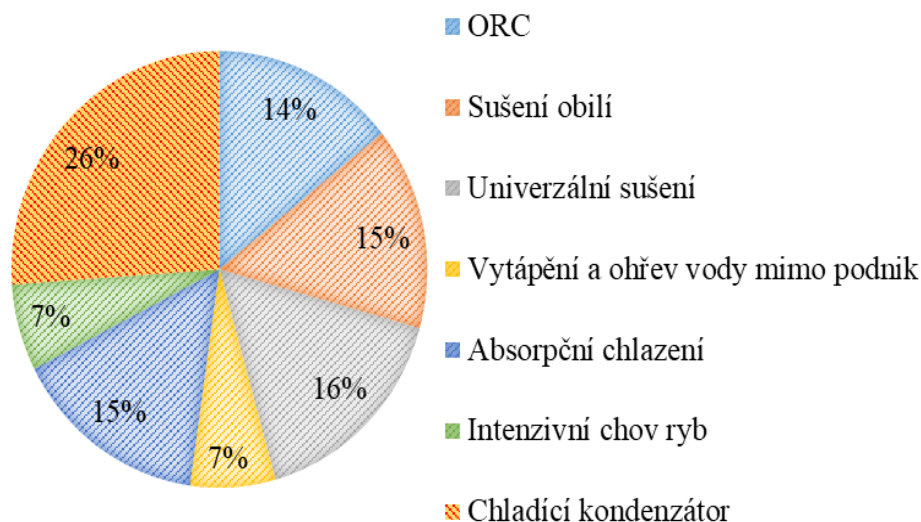
Poslední úrovní metody AHP je párové porovnání všech variant podle každého kritéria (subkritéria) z předchozích úrovní hierarchie. Porovnávání variant se provádí opět Saatyho metodou. Pro každou sestavenou matici byl vypočítán index konzistence a všechny splňovaly požadované pravidlo $I_s < 0,1$. Sestavené a vypočítané matice jsou v příloze 8 až 17.

Po získání vah z úrovně 4 všech variant podle všech kritérií syntetizujeme získané informace pro zjištění konečného rozdělení významnosti jednotlivých variant. Syntéza probíhá přes všechny úrovně součinem zjištěných vah po větvích hierarchie.

Výsledné součiny se následně sčítají pro každou variantu zvlášť. Podrobný postup výpočtu je v příloze 18.

Konečným výstupem je ohodnocení variant od nejméně významné po nejvíce významnou z hlediska všech kritérií. Podle těchto informací lze varianty uspořádat a nejlépe hodnocenou variantu doporučit k realizaci. Významnost variant je graficky znázorněna v grafu č. 6. Jejich uspořádání od nejvíce vyhovující varianty po nejméně vyhovující je pak zachyceno v tabulce 16.

Graf 5 - Výsledek metody AHP



Zdroj: vlastní zpracování

Varianta s nevyšším ohodnocením je varianta V7 - Chladicí kondenzátor. O 10 % hůře je ohodnocena varianta V3 - Univerzální sušení. Další v pořadí jsou varianty V5 a V2, které získaly téměř stejné hodnocení 15 % a jsou jen o 1 % hůře hodnoceny než varianta V3. Na 5. místě je varianta V1 - ORC se 14,3 %. Poslední 2 místa obsadily varianty V4 a V6 s velice podobným ohodnocením 6,61 % a 6,42 %.

Tabulka 16 - Uspořádání variant

Pořadí	Varianta	Technologie	Významnost
1.	V7	Chladicí kondenzátor	26,11 %
2.	V3	Univerzální sušení	16,30 %
3.	V5	Absorpční chlazení	15,21 %
4.	V2	Sušení obilí	15,05 %
5.	V1	ORC	14,30 %
6.	V4	Vytápění a ohřev vody mimo podnik	6,61 %
7.	V6	Intenzivní chov ryb	6,42 %

Zdroj: vlastní zpracování

Seřazení variant metodou AHP vychází především z parametrů konkrétní BPS a podniku. Pro realizaci nejlepší varianty je podstatná návratnost investice. Proto je potřeba ověřit, zda by se navržené řešení vyplatilo i z ekonomického hlediska.

4.5.3 Hodnocení investice do chladicího kondenzátoru

Nejlépe hodnocenou technologickou variantou je chladicí kondenzátor. Z důvodu servisu zařízení a provozních nároků je nejvhodnější vybrat výrobek NEOSTAR POWER, který v současnosti BPS už využívá.

Jelikož tato technologie nevyužívá tepelnou energii pro další produkci a zároveň sama spotřebovává elektrickou energii, jediným jejím přínosem je zvýšení účinnosti kogenerační jednotky a s tím spojené zvýšení příjmů z provozu BPS.

Odhad jednorázových nákladů investice

Jedná se o navýšení výkonu současného chladicího systému. Výrobek firmy NEOSTAR POWER model PN 06D L01 A2. Pořizovací cena je 54 000 Kč bez DPH. Cena instalace a dopravy se odhaduje na 4 000 Kč bez DPH. Pro uvedení do provozu není nutné dělat další investice. Tyto náklady je možné uhradit z interních zdrojů firmy.

Odhad budoucích výnosů a rizika

Instalací dodatečného chlazení dojde k navýšení celkového chladicího výkonu o 20 %. Toto navýšení eliminuje přehřívání motoru kogenerační jednotky během letního období a zvýší celkové množství vyrobené elektřiny. Tato technologie samostatně žádný produkt nevyrábí.

Navýšení elektrického výkonu během letního období by oproti současnému stavu mohlo vyprodukovat dodatečných 31,74 MWh elektřiny. Tato hodnota je vypočítána na základě dat o dodávkách elektřiny do sítě v období od dubna do října. Jde o sumu průměrné celoroční měsíční výroby bez průměrné měsíční výroby v daném období. Podprůměrná výroba v tomto období je zachycena v grafu 2.

Výkupní cena elektřiny pro rok 2019 je 1 473 Kč za MWh a výše zeleného bonusu je 2990 Kč MWh. Navýšené chlazení ovšem zvýší i odběr elektřiny o 1,94 kW.

Předpokládané dopady investice za 1. rok provozu jsou shrnuty v tabulce 17. Výpočet zvýšené spotřeby elektřiny předpokládá, že by nová chladicí jednotka byla v provozu v letním období nepřetržitě a při maximálním výkonu. Mimo toto období by byla mimo provoz. Předpokládaný finanční příjem z této investice tedy za jeden rok činí 109 884 Kč.

Průměrná hrubá hodinová mzda v zemědělství činila v roce 2019 170 Kč (Český statistický úřad). Běžná údržba zabere 12 hodin za rok. To je 2 040 Kč. Přepočítáno na superhrubou mzdu 2 730 Kč.

Riziko spojené s realizací této varianty lze hodnotit jako zanedbatelné. Výše vynaložených prostředků nepředstavuje pro podnik velké riziko ani v případě, že by se řešení ukázalo jako nefunkční. Dalším faktorem snižujícím riziko realizace je současné využívání třech identických chladicích jednotek v BPS. Nová jednotka by mohla sloužit jako záložní chlazení při poruše stávajících chladičů.

Tabulka 17 - Peněžní toky v 1. roce provozování chlazení

	MWh	Kč
Zvýšení výkonu BPS	+ 31,74	+ 141 677
Investiční náklady		- 58 000
Zvýšený odběr elektřiny	- 7,12	- 31 793
Personální nároky		- 2 730
Celkem	+ 24,62	+ 49 154

Zdroj: vlastní zpracování

Doba úhrady investice je 98 průměrných dnů v letním období. Během jednoho roku by bylo možné z navýšených příjmů BPS uhradit dvě jednotky chlazení. Během prvního roku provozování bude příjem 49 154 Kč. V každém dalším roce bude příjem 107 154 Kč.

4.5.4 Hodnocení investice univerzálního sušení

Varianta univerzálního sušení je preferována jako druhá nejlepší. Její hlavní přínos spočívá ve skutečném využití tepelné energie.

Podle parametrů systému přenosu tepla v BPS je možné využívat během letního období 235 - 330 kW a během zimního období 42 - 212 kW tepelné energie. Těmto

vstupním hodnotám nejlépe vyhovuje technologie univerzálního sušení od německé firmy STELA Laxhuber GmbH model pásové sušičky BTL 1/2000. Aktivní sušicí povrch je 8m² a pracovní rozpětí sušičky se pohybuje mezi 212 a 296 kW tepelné energie. Tato modelová řada je nejmenší možná s minimálními nároky na množství tepelné energie. Z těchto údajů vyplývá, že sušičku by bylo možné provozovat především v letním období, kdy BPS dosahuje dostatečného tepelného výkonu.

Výrobce sušičky uvádí jako příklad sušených produktů kůru, dřevěné piliny, dřevěnou štěpku, digestát z BPS a pelety.

Veškerý digestát, který je odpadním produktem BPS, využívá podnik jako hnojivo obdělávaných pozemků. S výrobou pelet jsou spojeny další investice do peletizační linky a zvýšená spotřeba elektrické energie. Dobře dostupnou surovinou v okolí sídla podniku je dřevní štěpka. Její sušení nevyžaduje dodatečné úpravy suroviny před nebo po sušení. Proto se nenavýšuje spotřeba elektřiny.

Vstupní surovinou je dřevní štěpka o vlhkosti 50 - 70 %. Vlhkost výstupní suroviny závisí na době sušení a množství dodané tepelné energie. Nižší obsah vody ve výstupní surovině zajišťuje vyšší tepelnou výhřevnost a zvyšuje její tržní hodnotu.

Odhad jednorázových nákladů investice

Standartní cena sušičky typu BTL 1/2000 je v přepočtu 4 347 750 Kč bez DPH (kurz 25,575 Kč za 1 euro). V ceně je zahrnuta instalace a napojení na tepelný systém. Další náklady představuje doprava sušičky. Při ceně 25,5 Kč za 1 km a vzdálenosti 305 km do místa výroby jsou náklady na dopravu 15 555 Kč bez DPH. Celkové jednorázové náklady na pořízení technologie univerzálního sušení se odhadují na 4 363 305 Kč bez DPH. Pro uhrazení této částky bude nutné využít externí zdroje financování.

Odhad budoucích výnosů a rizika

Finanční příjem plynoucí z provozu sušičky plyne z navýšení výkonu BPS, z dotací na využitou tepelnou energii a z prodeje usušeného produktu. S provozem jsou spojeny personální náklady na obsluhu, náklady na nákup vstupní suroviny, náklady na spotřebovanou elektřinu a náklady na cizí kapitál.

Předpokládané navýšení výkonu BPS je stejné jako u chladicího kondenzátoru o 31,74 MWh za rok. Množství spotřebovaného tepla se odhaduje na 1298,22 MWh. Tento odhad

vychází z předpokladu, že sušicí linka dokáže spotřebovat veškerou přebytkovou tepelnou energii produkovanou během letního období. To je 71,5 % z celkového tepelného výkonu BPS. Na takto využitě teplo je možné získat dotaci 45 Kč na MWh, což je celkem 58 419 Kč.

Množství usušeného materiálu za hodinu je možné odhadnout pouze na základě podobných projektů realizovaných výrobcem v minulosti. Tento typ sušičky by měl být schopen usušit 115 kg dřevní štěpky za hodinu a snížit její vlhkost z 50 % na 10 %. Tím se zvýší výhřevnost materiálu z 2,23 kWh na 4,56 kWh. Ceny na trhu dřevní štěpky pro energetické využití se stanovují podle výhřevnosti produktu. Značný vliv na cenu má také lokalita produkce štěpky. V kraji Vysočina vychází cena 1 MWh ve dřevní štěpce přibližně na 48,9 Kč bez DPH. Za jeden den by tak tato sušička dokázala vyprodukovat 6,43 MWh. V provozu by mohla být minimálně 184 dnů v letním období. Není jisté, kolik dalších dní v roce bude produkce tepla dostatečná pro sušení. Celkem je tedy možné s jistotou získat za jeden rok sušením dřevní štěpky 56 242, 27 Kč bez DPH.

Při provozu 184 dnů v roce a nutnosti 2 hodin práce denně u sušicí linky jsou personální náklady ve výši 83 706 Kč.

Tato technologie má vyšší nároky na spotřebu elektrické energie než v současnosti využívané chladicí kondenzátory. Celková spotřeba za rok je 47,22 MWh. Od této spotřeby je ale možné odečíst úsporu elektřiny za odstavené chladicí kondenzátory. Rozdílem je navýšená spotřeba o 22,23 MWh elektřiny oproti provozu s chladicími kondenzátory.

Externí zdroj financování investice znamená pro firmu dodatečné náklady v podobě ceny cizího kapitálu. Jednorázové náklady jsou celkem 4 378 860 Kč. Současné podmínky prodeje elektřiny z BPS platí do roku 2032, takže úvěr musí být splacen do tohoto roku.

Podmínky úvěrů v částkách nad 2 milióny Kč jsou stanovovány obvykle podle individuálního investičního záměru. V tomto případě jsou podmínky úvěru stanoveny na základě statistických údajů veřejné databáze ARAD České národní banky. Průměrná úroková sazba u úvěrů do 7,5 miliónů Kč pro nefinanční podniky v ČR byla v letech 2015 až 2019 3,63 %. Jedná se o úvěry s fixací sazby nad 5 let.

Jednalo by se tedy o úvěr ve výši 4 378 860 Kč s pevnou úrokovou sazbou 3,63 %, s měsíční frekvencí splátek a dobou splácení 10 let. Podnik bude splácet měsíčně 43 557,90 Kč. Celkem na úrocích zaplatí 849 288,59 Kč.

Každoroční celkové příjmy z investice budou 256 801 Kč, ale čistý peněžní tok bude - 448 953,5 Kč. Kumulovaný peněžní tok za 10 let bude - 4 489 535 Kč.

Celý splátkový kalendář je v příloze 19. Přehled finančních dopadů investice během 10 let je v příloze 20. Přehled energetických dopadů během 1 roku provozu je v tabulce 18.

Tabulka 18 - Energetické dopady investice

	MWh
Zvýšení výkonu BPS	+ 31,74
Energie získaná sušením	+ 1 159,60
Zvýšený odběr elektřiny	- 22,23
Celkem	+ 1 159,11

Zdroj: vlastní zpracování

Investice s dobou životnosti 10 let a více je vysoce riziková. Dalším rizikem je financování externími zdroji. Produkce musí být nepřetržitá, aby bylo možné pravidelně splácet úvěr. Případný výpadek provozu BPS nebo univerzálního sušení v letním období by znamenalo celoroční ztrátu.

Příjem plynoucí z investice závisí především na faktorech mimo podnik. Z těchto faktorů je nejvýznamnější dotační politika obnovitelných zdrojů a vývoj trhu s dřevní štěpkou.

5 Výsledky a doporučení

Na základě informací o vývoji venkovních teplot během roku, dostupnosti tepelného výkonu BPS a dodávek elektřiny do sítě za posledních 5 let se odhaduje, že BPS vyrobí za rok o 31,74 MWh více elektřiny, pokud bude problém s odpadním teplem vyřešen. Toto navýšení výkonu představuje zvýšení ročního příjmu o 141 677 Kč.

Nejlépe ohodnocenou variantou řešení problému s využitím odpadního tepla v BPS je technologie chladičového kondenzátoru s preferencí 26,11 %. S velkým rozdílem, téměř 10 %, je na druhém místě technologie univerzálního sušení s preferencí 16,30 %. Mezi zbylými variantami už v preferencích příliš velký rozdíl není. Nejhůře byly ohodnoceny technologie ohřevu vody a vytápění mino podnik a intenzivní chov ryb s preferencemi okolo 6,5 %.

Na základě ekonomického hodnocení investice do chladičového kondenzátoru je vhodné přistoupit k realizaci tohoto řešení. V prvním roce bude příjem 49 154 Kč a v každém dalším roce 107 154 Kč. Pokud výkon navrhovaného chladičového kondenzátoru nebude pro odstranění problému dostačující, je stále výhodné pořídit a zapojit další jednotku chlazení. Riziko investice do tohoto řešení je velice nízké. Výhodné je toto řešení i z energetického hlediska. Produkce energie vzroste o 24,62 MWh za rok.

Technologie univerzálního sušení je nejlépe hodnocenou variantou, která skutečně využívá odpadní teplo. Z energetického a ekologického hlediska je toto řešení úspěšnější než předešlé. BPS by produkovala ročně ze stejných vstupů o 1 169,11 MWh více. To je navýšení o 36,81 %. Nejedná se ovšem jen o elektrickou energii, ale hlavně o energii v dřevní štěpce. V této hodnotě není započítané spotřebované odpadní teplo.

Navýšení elektrického výkonu BPS bude stejné jako při využití chladičového kondenzátoru, ale samotná technologie spotřebuje o 22,23 MWh více než by spotřebovali současné 3 chladičí kondenzátory.

Z ekonomického hlediska je tato varianta řešení velice nevýhodná. Celkové každoroční příjmy jsou odhadnuty na 256 801 Kč. Přesto je ale roční čistý finanční tok ztrátový. Firma bude každoročně prodělávat 448 953,5 Kč. Po 10 letech, kdy bude investiční úvěr splacen, bude kumulovaná ztráta 4 489 535 Kč. Současné podmínky výkupu elektřiny z BPS platí pouze do roku 2032.

Riziko investice do univerzálního sušení je velice vysoké, kvůli délce investičního horizontu a také kvůli mnoha faktorům, které není možné predikovat a ovlivnit. Realizace tohoto řešení se nedoporučuje.

6 Závěr

Tato práce byla zaměřena na řešení problému s využitím odpadního tepla v konkrétní BPS. Hlavním cílem bylo posouzení možností technologických řešení využití odpadního tepla a zvýšení finanční efektivity provozu BPS. Dílčími cíli bylo zvýšení možnosti regulace odběru tepla, zvýšení celkového množství odebraného tepla, navržení finančně výhodného řešení problému a zvýšení informovanosti firmy ohledně problematiky odpadního tepla.

Teoretická část práce se zabývala provozem bioplynových stanic, dále problematikou odpadního tepla a jeho využitím. V další části byl definován obor operačního výzkumu a pojem systémového přístupu. Podrobněji byl vysvětlen rozhodovací proces a metody vícekritériálního rozhodování a s tím související pojmy. Vysvětlen byl také pojem systémové analýzy. Poznatky získané v teoretické části byly využity pro zvolení vhodné metody řešení problémové situace v praktické části.

V praktické části byla nejprve provedena identifikace rozhodovacího problému. Ten byl následně analyzován a na základě analýzy byly stanoveny dílčí cíle řešení problému. Dalším postupem bylo stanovení kritérií rozhodování při výběru řešení a tvorba variant rozhodování. Následně byly jednotlivé varianty ohodnoceny podle stanovených kritérií a byly seřazeny podle preferencí rozhodovatele. Uspořádání variant bylo provedeno metodou analytického hierarchického procesu. Nejpreferovanější variantou byla technologie chladicího kondenzátoru, následovaná technologií univerzálního sušení. Poté bylo provedeno ekonomické ohodnocení těchto dvou variant. Na základě hodnocení bylo podniku doporučeno realizovat řešení problému využitím technologie chladicích kondenzátorů.

Na závěr je nutné konstatovat, že získané řešení platí pouze pro konkrétní BPS a je silně ovlivněno preferencemi rozhodovatele. Pro tento konkrétní podnik není za stávajících podmínek ekonomicky výhodné využívat tepelnou energii pro další účely, ačkoli z energetického hlediska by se jednalo o významné úspory. Velký vliv na řešení má především instalovaný výkon kogenerační jednotky a dotační politika ohledně kombinované výroby elektřiny a tepla.

7 Seznam použitých zdrojů

Tištěné dokumenty

ADAMOVSKÝ, Radomír, KÁRA a Antonín MAŠEK. *Využití netradičních zdrojů energie ve vytápění - sluneční, geotermální, bioplyn, odpadní teplo*. Praha: Dům techniky ČSVTS, 1988.

BROŽOVÁ, Helena, Milan HOUŠKA a Tomáš ŠUBRT. *Modely pro vícekriteriální rozhodování*. Praha: Credit, 2003. ISBN 9788021310193.

BROŽOVÁ, Helena, Tomáš ŠUBRT a Milan HOUŠKA. *Modely pro řízení znalostí a podporu rozhodování*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 9788021316331.

DIVYA, D., L.R. GOPINATH a P. Merlin CHRISTY. A review on current aspects and diverse prospects for enhancing biogas production in sustainable means. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, (42), 690-699. ISSN 1364-0321.

DUDORKIN, Jiří. *Operační výzkum*. Vyd. 4. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 8001024695.

FIALA, Petr a Miroslav MAŇAS. *Vícekriteriální rozhodování: Určeno pro stud. všech fak.* Praha: Vysoká škola ekonomická, 1994. ISBN 8070797487.

FOTR, Jiří a Ivan SOUČEK. *Investiční rozhodování a řízení projektů: jak připravovat, financovat a hodnotit projekty, řídit jejich riziko a vytvářet portfolio projektů*. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 9788024732930.

FOTR, Jiří a Lenka ŠVECOVÁ. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. Třetí, přepracované vydání. Praha: Ekopress, 2016. ISBN 9788087865330.

FUKA, Vladislav. Ryby rostou jako z vody. *Zemědělec: odborný a stavovský týdeník*. Profi Press, 2015, 23(28), 33-34. ISSN 1211-3816.

JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: Kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha 4: professional publishing, 2002. ISBN 80-86419-42-8.

JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. *Expertní inženýrství v systémovém pojetí*. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 9788024741277.

JOUHARA, Hussam, Navid KHORDEHGAH, Bertrand ALMAHMOUD, Amisha CHAUHAN a Savvas TASSOU. Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2018, 6, 268-289. ISSN 2451-9049.

KABELE, Karel. *Energetické a ekologické systémy I: zdravotní technika, vytápění*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 8001033279.

KOUŘA, Jaroslav. *Bioplynové stanice s mokrým procesem*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2008. Metodické pomůcky k činnosti autorizovaných osob. ISBN 9788087093337.

MAO, Guozhu, Hongyang ZOU, Guanyi CHEN, Huibin DU a Jian ZUO. Past, current and future of biomass energy research: A bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, (52), 1823-1833. ISSN 1364-0321.

NOVÁ, Drahomíra. *Bioplyn - zdroje a možnosti praktického využití*. Praha: ÚVTEI, 1982. Publikace SIVO.

PÍŠKOVÁ, Věra. *Vícekritériální hodnocení variant: (Příručka pro uživatele)*. Praha: Výzkumný ústav výstavby a architektury, 1993. ISBN 808512484x.

RAIS, Karel a Radek DOSKOČIL. *Operační a systémová analýza I: studijní text pro prezenční a kombinovanou formu studia*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4364-8.

SHARMA, Anand. *Operations Research*. Mumbai: Global Media, 2008. ISBN 9788178668949.

SCHULZ, Heinz a Barbara EDER. *Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady*. Ostrava: HEL, 2004. ISBN 8086167216.

STOBER, Karel. Využití tepla z bioplynových stanic. *Zemědělec: odborný a stavovský týdeník*. Profí Press, 2012, **20**(51), 29. ISSN 1211-3816.

ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.

ŠVEC, Jan. *Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství - zemědělské bioplynové stanice*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2010. ISBN 9788086832494.

VALACH, Josef. *Investiční rozhodování a dlouhodobé financování*. Praha: Ekopress, 2001. ISBN 80-86119-38-6.

VYTLAČIL, Dalibor. *Systémová analýza a syntéza*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03637-2.

WOOLLEY, Elliot, Luo YANG a Alessandro SIMEONE. Industrial waste heat recovery: A systematic approach. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2018, (29), 50-59. ISSN 2213-1388.

ZIMOLA, Bedřich. *Operační výzkum*. 5. Zlín, 2009. ISBN 978-80-7318-878-8.

ZÍSKAL, Jan, Jaroslav ŠVASTA a Helena BROŽOVÁ. *Systémová analýza a modelování*. Praha: Credit, 1999. ISBN 80-213-0558-4.

Elektronické zdroje

Česká národní banka, ARAD - *Systém časových řad: Tabulka B1.1.3: Úrokové sazby korunových úvěrů poskytnutých bankami nefinančním podnikům v ČR - nové obchody (%)* [online]. Praha: Česká národní banka, ©2003-2020 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cnb/STAT.ARADY_PKG.PARAMETRY_SESTAVY?p_strid=AAA_BAA&p_sestuid=58843&p_tab=1&p_lang=CS.

Český hydrometeorologický ústav: *Územní teploty* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>.

Český statistický úřad: *Mzdy, náklady práce - časové řady* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2020 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/pmz_cr.

Energetický regulační úřad: *Zprávy o provozu plynárenské soustavy* [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, ©2014-2020 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zpravy-o-provozu-plynarenske-soustavy>.

KRATOCHVÍLOVÁ, Zuzana, Jan HABART, Václav SLADKÝ, František JELÍNEK, Tomáš ROSENBERG, Vladimír STUPAVSKÝ a Tomáš DVOŘÁČEK, ed. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. Drnovská 507, 161 06 Praha 6: CZ Biom – České sdružení pro biomasu, 2009. Dostupné také z: <https://biom.cz/cz/knihovna/pruvodce-vyrobou-a-vyuzitim-bioplynu>.

Strategická výzkumná agenda oboru bioplyn: 2014. České Budějovice: Česká bioplynová asociace o.s., 2014. Dostupné také z: http://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/SVA_CzBA_2014_FINAL.pdf. Tento dokument vznikl jako výstup projektu „TP Bioplyn II“ (5.1 SPTP02/021) spolufinancovaného prostředky Evropské unie z Operačního programu Podnikání a inovace – program Spolupráce.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY - INDUSTRIAL TECHNOLOGIES PROGRAM. *Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry*. 2008, 112 s. Dostupné také z:

https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf.

8 Přílohy

Příloha 1 - Spotřeba zemního plynu v ČR

Rok	GWh									%
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Průměrně	Průměrně
Leden	14 821,60	13 072,40	12 184,10	12 900,70	11 367,90	11 492,80	12 664,40	15 543,10	13 005,88	15,01844
Únor	12 064,20	12 126,60	14 288,90	11 206,60	9 518,20	10 525,40	9 546,80	10 896,80	11 271,69	13,0159
Březen	10 411,40	9 778,70	8 642,70	11 519,90	7 950,70	9 201,90	9 564,30	8 577,80	9 455,93	10,91916
Duben	6 575,50	5 512,30	6 634,10	6 893,00	5 679,20	6 626,10	6 448,90	7 075,00	6 430,51	7,425587
Květen	5 002,80	4 230,70	3 701,30	4 319,70	4 628,70	4 332,10	4 457,60	4 549,70	4 402,83	5,084129
Červen	3 485,00	3 215,10	3 204,60	3 529,60	3 288,30	3 367,30	3 350,60	3 646,30	3 385,85	3,909785
Červenec	2 868,40	3 140,40	2 958,50	3 059,20	3 237,30	3 182,40	3 178,10	3 705,90	3 166,28	3,656233
Srpen	3 163,70	3 110,90	2 960,90	3 076,30	3 202,70	2 969,40	3 513,10	3 471,10	3 183,51	3,676137
Září	4 705,70	3 309,20	3 607,70	4 244,90	3 885,60	3 772,10	4 308,00	4 919,40	4 094,08	4,727603
Říjen	8 076,50	7 007,20	7 162,20	6 815,80	6 020,80	7 391,60	8 214,40	7 004,40	7 211,61	8,327556
Listopad	9 115,00	10 265,90	8 922,50	9 446,40	8 146,50	8 590,00	10 409,80	10 095,20	9 373,91	10,82446
Prosinec	14 848,80	10 876,10	12 058,20	10 956,40	10 483,30	9 616,80	12 587,20	11 511,80	11 617,33	13,41502

Zdroj: data Energetického regulačního úřadu, vlastní zpracování

Příloha 2 - Průměrné měsíční teploty

Rok	°C									%
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Průměrně	Průměrně
Leden	-5,20	-1,20	0,00	-1,70	0,80	0,9	-0,7	-5,70	-1,60	0,00
Únor	-2,40	-3,10	-5,30	-1,50	2,10	-0,2	2,8	1,00	-0,83	0,65
Březen	2,30	3,90	5,80	-0,40	6,60	4,1	2,9	5,80	3,88	4,56
Duben	7,60	10,10	8,10	8,20	9,50	7,5	7,3	6,40	8,09	8,07
Květen	10,90	12,70	14,20	11,80	11,60	12,1	12,8	13,40	12,44	11,70
Červen	15,80	16,40	16,60	15,50	15,70	15,8	16,7	17,70	16,28	14,90
Červenec	19,40	15,70	17,80	19,30	18,60	20,3	18,4	18,00	18,44	16,70
Srpen	16,70	18,20	18,30	17,80	15,70	21,2	17	18,70	17,95	16,29
Září	10,90	14,90	13,50	12,20	13,70	13	16,2	11,60	13,25	12,38
Říjen	5,90	8,10	7,40	9,20	9,90	7,8	7,2	9,70	8,15	8,13
Listopad	4,40	2,70	4,90	3,90	5,80	6,1	2,4	3,60	4,23	4,85
Prosinec	-5,20	2,20	-0,50	1,50	1,80	4,6	-0,6	0,40	0,53	1,77

Zdroj: data Českého hydrometeorologického ústavu, vlastní zpracování

Příloha 3 - Dostupné odpadní teplo

Rok	kWh			%
	Průměrná spotřeba tepla BPS	Skutečná spotřeba tepla BPS	Dostupné odpadní teplo	Dostupné odpaní teplo
Leden	211,50	381,17	41,83	1,65
Únor	211,50	330,34	92,66	3,65
Březen	211,50	277,13	145,87	5,75
Duben	211,50	188,46	234,54	9,24
Květen	211,50	129,04	293,96	11,58
Červen	211,50	99,23	323,77	12,76
Červenec	211,50	92,80	330,20	13,01
Srpen	211,50	93,30	329,70	12,99
Září	211,50	119,99	303,01	11,94
Říjen	211,50	211,35	211,65	8,34
Listopad	211,50	274,72	148,28	5,84
Prosinec	211,50	340,47	82,53	3,25

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 4 - Průměrná výroba elektřiny 2015 - 2019

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Den	kWh											
1	7351	6937	7242	7207	7138	7018	6839	6547	6685	6242	6869	6963
2	7372	7351	7260	7250	7066	7161	7132	6596	6717	6256	6806	6869
3	7290	7336	6945	7301	7264	7134	7120	6395	6556	6161	6897	6946
4	7175	7374	6813	7253	7342	6988	6917	6401	6597	6387	6917	6297
5	7127	7213	6739	7341	7328	6668	6720	6415	6782	6700	6973	5993
6	7148	7127	7106	7325	7357	6684	6899	6406	6993	6722	7054	6009
7	7056	6682	7259	7293	7317	6747	6629	5997	6896	6699	7086	5454
8	6991	6986	7270	7206	7355	6692	6785	5932	6888	6595	6959	5523
9	6618	7320	7023	7230	7231	6955	6783	5920	7005	6784	7042	5623
10	6531	6985	7170	7115	7301	6980	6390	5858	6917	6816	7068	6009
11	7141	6982	7210	7164	7151	6892	6756	6128	6799	6710	7085	6330
12	7188	7336	7189	7217	7333	6749	6685	6376	6871	6782	7127	6115
13	7301	7391	7044	7235	7244	6890	6482	6293	7039	6892	7073	5850
14	7254	7315	7020	7277	7306	6818	5978	6168	6967	6887	7028	5855
15	7292	7323	7187	7260	7224	6644	5797	6159	6947	7068	7050	6031
16	6965	7302	7008	7277	7200	6926	5710	6343	6608	7023	6946	6171
17	7254	7417	7033	7222	7070	6825	5878	6340	6377	7019	7005	6262
18	7243	7347	7025	7297	7111	6777	6472	5849	6469	6986	7005	6257
19	7257	7358	7062	7366	7335	6560	6754	5896	6530	7093	7075	6797
20	7360	7303	7018	7231	7229	6896	6616	6150	6502	7143	7086	6924
21	7319	7194	6910	7268	7204	6677	6436	6238	6299	7276	7002	6950
22	7019	7242	7215	7328	7318	6998	6401	6425	6348	7220	6969	7198
23	6989	7315	7202	7267	7153	7078	6705	6474	6321	7309	6905	7076
24	7171	7321	7219	7218	7285	7088	6658	6492	6211	7294	7037	7091
25	7199	7407	7201	7245	7330	6923	6388	6480	5994	7244	6967	7030
26	7258	7398	7124	7237	7372	7080	6569	6585	5637	7296	6910	7051
27	7290	7220	7107	7108	7124	7153	6454	6840	5758	7090	6760	7060
28	7214	7313	7295	7163	7122	6966	6679	6673	5955	7187	6916	7035
29	7144		7245	7269	7023	6835	6355	6466	6134	6403	6768	7267
30	7161		7229	6998	7110	6669	6827	6595	6069	7029	6669	7240
31	7250		6790		7056		6857	6340		7167		7192

Zdroj: data podniku Agrospol s.r.o., vlastní zpracování

Příloha 5 - Matice S - K1 úroveň 3

	K1.1	K1.2	K1.3	K1.4	b_i	v_i
K1.1	1,00	1,00	2,00	3,00	1,565	0,360
K1.2	1,00	1,00	1,00	2,00	1,189	0,274
K1.3	0,50	1,00	1,00	3,00	1,107	0,255
K1.4	0,33	0,50	0,33	1,00	0,485	0,112
	Σ				4,346	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 6 - Matice S - K2 úroveň 3

	K2.1	K2.2	b_i	v_i
K2.1	1,00	0,25	0,5	0,2
K2.2	4,00	1,00	2	0,8
	Σ		2,5	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 7 - Matice S - K3 úroveň 3

	K3.1	K3.2	b_i	v_i
K3.1	1,00	3,00	1,732	0,75
K3.2	0,33	1,00	0,577	0,25
	Σ		2,309	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 8 - Matice S - K1.1 úroveň 4

K1.1	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	b_i	v_i
V1	1,00	0,50	0,50	4,00	1,00	3,00	0,50	1,060	0,122
V2	2,00	1,00	0,33	5,00	2,00	4,00	0,50	1,448	0,167
V3	2,00	3,00	1,00	5,00	2,00	5,00	1,00	2,259	0,261
V4	0,25	0,20	0,20	1,00	0,25	0,50	0,20	0,306	0,035
V5	1,00	0,50	0,50	4,00	1,00	4,00	0,50	1,104	0,128
V6	0,33	0,25	0,20	2,00	0,25	1,00	0,25	0,414	0,048
V7	2,00	2,00	1,00	5,00	2,00	4,00	1,00	2,065	0,239
	$I_s = 0,039$						Σ	8,655	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 9 - Matice S - K1.2 úroveň 4

K1.2	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	b_i	v_i
V1	1,00	0,20	0,25	0,50	1,00	0,50	0,17	0,414	0,042
V2	5,00	1,00	2,00	5,00	5,00	5,00	0,33	2,367	0,239
V3	4,00	0,50	1,00	5,00	6,00	5,00	0,50	2,046	0,206
V4	2,00	0,20	0,20	1,00	0,50	1,00	0,17	0,489	0,049
V5	1,00	0,20	0,17	2,00	1,00	3,00	0,17	0,615	0,062
V6	2,00	0,20	0,20	1,00	0,33	1,00	0,20	0,473	0,048
V7	6,00	3,00	2,00	6,00	6,00	5,00	1,00	3,504	0,354
	$I_s = 0,069$						Σ	9,908	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 10 - Matice S - K1.3 úroveň 4

K1.3	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	b_i	v_i
V1	1,00	6,00	1,768	3,00	1,00	3,00	1,00	1,768	0,207
V2	0,17	1,00	0,256	0,25	0,25	0,25	0,17	0,256	0,030
V3	1,00	6,00	1,768	3,00	1,00	3,00	1,00	1,768	0,207
V4	0,33	4,00	0,651	1,00	0,33	1,00	0,33	0,651	0,076
V5	1,00	4,00	1,669	3,00	1,00	3,00	1,00	1,669	0,196
V6	0,33	4,00	0,651	1,00	0,33	1,00	0,33	0,651	0,076
V7	1,00	6,00	1,768	3,00	1,00	3,00	1,00	1,768	0,207
	$I_s = 0,020$						Σ	8,530	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 11 - Matice S - K1.4 úroveň 4

K1.4	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	b_i	v_i
V1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,00	1,369	0,164
V2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,00	1,369	0,164
V3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,00	1,369	0,164
V4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,00	1,369	0,164
V5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,00	1,369	0,164
V6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,00	1,369	0,164
V7	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	1,00	0,152	0,018
	$I_s = 0$						Σ	8,365	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 12 - Matice S - K2.1 úroveň 4

K2.1	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	b_i	v_i
V1	1,00	4,00	6,00	1,00	1,00	6,00	1,00	2,034	0,220
V2	0,25	1,00	4,00	0,20	0,20	3,00	0,20	0,587	0,063
V3	0,17	0,25	1,00	0,20	0,20	1,00	0,20	0,319	0,034
V4	1,00	5,00	5,00	1,00	1,00	5,00	1,00	1,993	0,215
V5	1,00	5,00	5,00	1,00	1,00	5,00	1,00	1,993	0,215
V6	0,17	0,33	1,00	0,20	0,20	1,00	0,20	0,332	0,036
V7	1,00	5,00	5,00	1,00	1,00	5,00	1,00	1,993	0,215
	$I_s = 0,040$						Σ	9,251	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 13 - Matice S - K2.2 úroveň 4

K2.2	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	b_i	v_i
V1	1,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	1,00	2,863	0,302
V2	0,33	1,00	3,00	6,00	0,33	3,00	0,33	1,104	0,116
V3	0,20	0,33	1,00	5,00	0,25	1,00	0,25	0,575	0,061
V4	0,14	0,17	0,20	1,00	0,20	0,25	0,14	0,230	0,024
V5	0,33	3,00	4,00	5,00	1,00	3,00	0,33	1,534	0,162
V6	0,20	0,33	1,00	4,00	0,33	1,00	0,33	0,605	0,064
V7	1,00	3,00	4,00	7,00	3,00	3,00	1,00	2,578	0,272
	$I_s = 0,083$						Σ	9,488	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 14 - Matice S - K3.1 úroveň 4

K3.1	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	b_i	v_i
V1	1,00	0,25	2,00	2,00	0,33	4,00	0,20	0,828	0,086
V2	4,00	1,00	3,00	4,00	0,50	5,00	0,20	1,575	0,164
V3	0,50	0,33	1,00	2,00	0,50	5,00	0,25	0,799	0,083
V4	0,50	0,25	0,50	1,00	0,33	4,00	0,25	0,575	0,060
V5	3,00	2,00	2,00	3,00	1,00	5,00	0,33	1,795	0,187
V6	0,25	0,20	0,20	0,25	0,20	1,00	0,11	0,247	0,026
V7	5,00	5,00	4,00	4,00	3,00	9,00	1,00	3,769	0,393
	$I_s = 0,097$						Σ	9,587	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 15 - Matice S - K3.2 úroveň 4

K3.2	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	b_i	v_i
V1	1,00	3,00	5,00	0,50	0,33	5,00	0,33	1,226	0,130
V2	0,33	1,00	3,00	0,33	0,25	3,00	0,20	0,652	0,069
V3	0,20	0,33	1,00	0,33	0,20	1,00	0,20	0,367	0,039
V4	2,00	3,00	3,00	1,00	0,33	5,00	0,33	1,389	0,148
V5	3,00	4,00	5,00	3,00	1,00	5,00	1,00	2,643	0,281
V6	0,20	0,33	1,00	0,20	0,20	1,00	0,17	0,332	0,035
V7	3,00	5,00	5,00	3,00	1,00	6,00	1,00	2,800	0,298
	$I_s = 0,065$						Σ	9,409	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 16 - Matice S - K4 úroveň 4

K4	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	b_i	v_i
V1	1,00	3,00	6,00	4,00	0,50	6,00	0,33	1,842	0,193
V2	0,33	1,00	4,00	2,00	0,33	4,00	0,25	0,983	0,103
V3	0,17	0,25	1,00	0,25	0,20	1,00	0,17	0,320	0,034
V4	0,25	0,50	4,00	1,00	0,33	3,00	0,33	0,774	0,081
V5	2,00	3,00	5,00	3,00	1,00	6,00	0,50	2,225	0,233
V6	0,17	0,25	1,00	0,33	0,17	1,00	0,17	0,325	0,034
V7	3,00	4,00	6,00	3,00	2,00	6,00	1,00	3,074	0,322
	$I_s = 0,065$						Σ	9,544	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 17 - Matice S - K5 úroveň 4

K5	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	b_i	v_i
V1	1,00	0,17	0,20	4,00	4,00	0,20	0,50	0,658	0,064
V2	6,00	1,00	2,00	7,00	6,00	3,00	5,00	3,582	0,347
V3	5,00	0,50	1,00	6,00	6,00	2,00	4,00	2,560	0,248
V4	0,25	0,14	0,17	1,00	0,50	0,17	0,25	0,277	0,027
V5	0,25	0,17	0,17	2,00	1,00	0,17	0,25	0,345	0,033
V6	5,00	0,33	0,50	6,00	6,00	1,00	5,00	2,046	0,198
V7	2,00	0,20	0,25	4,00	4,00	0,20	1,00	0,850	0,082
	$I_s = 0,088$						Σ	10,316	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 18 - Výpočet preferencí

	K1.1	K1.2	K1.3	K1.4	K2.1	K2.2	K3.1	K3.2	K4	K5	preference
V1	0,026	0,007	0,031	0,011	0,006	0,031	0,011	0,006	0,013	0,003	0,143
V2	0,035	0,038	0,004	0,011	0,002	0,012	0,021	0,003	0,007	0,018	0,151
V3	0,054	0,033	0,031	0,011	0,001	0,006	0,011	0,002	0,002	0,013	0,163
V4	0,007	0,008	0,011	0,011	0,005	0,002	0,008	0,006	0,005	0,001	0,066
V5	0,027	0,010	0,029	0,011	0,005	0,016	0,024	0,012	0,016	0,002	0,152
V6	0,010	0,008	0,011	0,011	0,001	0,006	0,003	0,002	0,002	0,010	0,064
V7	0,050	0,056	0,031	0,001	0,005	0,028	0,051	0,013	0,022	0,004	0,261
										Σ	1

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 19 - Splátkový kalendář

Pořadí	Kč				Pořadí	Kč			
	Splátka	Úrok	Úmor	Úvěr		Splátka	Úrok	Úmor	Úvěr
1	43567,9	13246,05	30321,85	4348538	61	43567,9	7221,52	36346,38	2350933
2	43567,9	13154,33	30413,58	4318125	62	43567,9	7111,57	36456,33	2314477
3	43567,9	13062,33	30505,58	4287619	63	43567,9	7001,29	36566,61	2277910
4	43567,9	12970,05	30597,86	4257021	64	43567,9	6890,68	36677,23	2241233
5	43567,9	12877,49	30690,42	4226331	65	43567,9	6779,73	36788,17	2204445
6	43567,9	12784,65	30783,25	4195547	66	43567,9	6668,45	36899,46	2167545
7	43567,9	12691,53	30876,37	4164671	67	43567,9	6556,83	37011,08	2130534
8	43567,9	12598,13	30969,77	4133701	68	43567,9	6444,87	37123,04	2093411
9	43567,9	12504,45	31063,46	4102638	69	43567,9	6332,57	37235,34	2056176
10	43567,9	12410,48	31157,43	4071480	70	43567,9	6219,93	37347,97	2018828
11	43567,9	12316,23	31251,68	4040229	71	43567,9	6106,95	37460,95	1981367
12	43567,9	12221,69	31346,21	4008883	72	43567,9	5993,64	37574,27	1943793
13	43567,9	12126,87	31441,04	3977442	73	43567,9	5879,97	37687,93	1906105
14	43567,9	12031,76	31536,14	3945905	74	43567,9	5765,97	37801,94	1868303
15	43567,9	11936,36	31631,54	3914274	75	43567,9	5651,62	37916,29	1830387
16	43567,9	11840,68	31727,23	3882547	76	43567,9	5536,92	38030,99	1792356
17	43567,9	11744,7	31823,2	3850723	77	43567,9	5421,88	38146,03	1754210
18	43567,9	11648,44	31919,47	3818804	78	43567,9	5306,48	38261,42	1715948
19	43567,9	11551,88	32016,02	3786788	79	43567,9	5190,74	38377,16	1677571
20	43567,9	11455,03	32112,87	3754675	80	43567,9	5074,65	38493,25	1639078
21	43567,9	11357,89	32210,01	3722465	81	43567,9	4958,21	38609,69	1600468
22	43567,9	11260,46	32307,45	3690158	82	43567,9	4841,42	38726,49	1561742
23	43567,9	11162,73	32405,18	3657752	83	43567,9	4724,27	38843,64	1522898
24	43567,9	11064,7	32503,2	3625249	84	43567,9	4606,77	38961,14	1483937
25	43567,9	10966,38	32601,53	3592648	85	43567,9	4488,91	39079	1444858
26	43567,9	10867,76	32700,15	3559948	86	43567,9	4370,7	39197,21	1405661
27	43567,9	10768,84	32799,06	3527148	87	43567,9	4252,12	39315,78	1366345
28	43567,9	10669,62	32898,28	3494250	88	43567,9	4133,19	39434,71	1326910
29	43567,9	10570,11	32997,8	3461252	89	43567,9	4013,9	39554	1287356
30	43567,9	10470,29	33097,62	3428155	90	43567,9	3894,25	39673,65	1247683
31	43567,9	10370,17	33197,74	3394957	91	43567,9	3774,24	39793,67	1207889
32	43567,9	10269,74	33298,16	3361659	92	43567,9	3653,86	39914,04	1167975
33	43567,9	10169,02	33398,89	3328260	93	43567,9	3533,12	40034,78	1127940
34	43567,9	10067,99	33499,92	3294760	94	43567,9	3412,02	40155,89	1087784
35	43567,9	9966,65	33601,26	3261159	95	43567,9	3290,55	40277,36	1047507
36	43567,9	9865,01	33702,9	3227456	96	43567,9	3168,71	40399,2	1007108
37	43567,9	9763,05	33804,85	3193651	97	43567,9	3046,5	40521,4	966586,2
38	43567,9	9660,79	33907,11	3159744	98	43567,9	2923,92	40643,98	925942,2
39	43567,9	9558,23	34009,68	3125734	99	43567,9	2800,98	40766,93	885175,3
40	43567,9	9455,35	34112,56	3091622	100	43567,9	2677,66	40890,25	844285
41	43567,9	9352,16	34215,75	3057406	101	43567,9	2553,96	41013,94	803271,1
42	43567,9	9248,65	34319,25	3023087	102	43567,9	2429,89	41138,01	762133,1
43	43567,9	9144,84	34423,07	2988664	103	43567,9	2305,45	41262,45	720870,6
44	43567,9	9040,71	34527,2	2954136	104	43567,9	2180,63	41387,27	679483,3
45	43567,9	8936,26	34631,64	2919505	105	43567,9	2055,44	41512,47	637970,9
46	43567,9	8831,5	34736,4	2884768	106	43567,9	1929,86	41638,04	596332,8
47	43567,9	8726,42	34841,48	2849927	107	43567,9	1803,91	41764	554568,8
48	43567,9	8621,03	34946,88	2814980	108	43567,9	1677,57	41890,33	512678,5
49	43567,9	8515,31	35052,59	2779927	109	43567,9	1550,85	42017,05	470661,4
50	43567,9	8409,28	35158,62	2744769	110	43567,9	1423,75	42144,15	428517,3
51	43567,9	8302,93	35264,98	2709504	111	43567,9	1296,26	42271,64	386245,7
52	43567,9	8196,25	35371,66	2674132	112	43567,9	1168,39	42399,51	343846,1
53	43567,9	8089,25	35478,65	2638654	113	43567,9	1040,13	42527,77	301318,4
54	43567,9	7981,93	35585,98	2603068	114	43567,9	911,49	42656,42	258662
55	43567,9	7874,28	35693,63	2567374	115	43567,9	782,45	42785,45	215876,5
56	43567,9	7766,31	35801,6	2531572	116	43567,9	653,03	42914,88	172961,6
57	43567,9	7658,01	35909,9	2495662	117	43567,9	523,21	43044,7	129916,9
58	43567,9	7549,38	36018,53	2459644	118	43567,9	393	43174,91	86742,02
59	43567,9	7440,42	36127,48	2423516	119	43567,9	262,39	43305,51	43436,51
60	43567,9	7331,14	36236,77	2387280	120	43567,9	131,4	43436,51	0

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 20 - Peněžní toky investice za 10 let

Rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zvýšení výkonu BPS	141,7	141,7	141,7	141,7	141,7	141,7	141,7	141,7	141,7	141,7
Spotřeba odpadního tepla	58,4	58,4	58,4	58,4	58,4	58,4	58,4	58,4	58,4	58,4
Energie získaná sušením	56,7	56,7	56,7	56,7	56,7	56,7	56,7	56,7	56,7	56,7
Příjmy celkem	256,8	256,8	256,8	256,8	256,8	256,8	256,8	256,8	256,8	256,8
Zvýšený odběr elektřiny	-99,2	-99,2	-99,2	-99,2	-99,2	-99,2	-99,2	-99,2	-99,2	-99,2
Personální náklady	-83,7	-83,7	-83,7	-83,7	-83,7	-83,7	-83,7	-83,7	-83,7	-83,7
Splátky	-522,8	-522,8	-522,8	-522,8	-522,8	-522,8	-522,8	-522,8	-522,8	-522,8
Čistý peněžní tok	-449,0	-449,0	-449,0	-449,0	-449,0	-449,0	-449,0	-449,0	-449,0	-449,0
Kumulovaný peněžní tok	-449,0	-897,9	-1346,9	-1795,8	-2244,8	-2693,7	-3142,7	-3591,6	-4040,6	-4489,5

v tisících Kč

Zdroj: vlastní zpracování