



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

DODÁVKA ENERGIE PRO SKLENÍKOVOU PRODUKCI

ENERGY SUPPLY FOR GREENHOUSE PRODUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zuzana Najbrtová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Bc. Zuzana Najbrtová**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Energetické inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

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

Dodávka energie pro skleníkovou produkci

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na problematiku dodávky energie pro skleníkovou produkci. V rámci práce bude představena problematika energetických nároků skleníkové produkce v ČR, možné způsoby zajištění požadovaného množství energie a významu rekuperace. Pro konkrétní skleníkový komplex budou posouzeny různé možnosti zajištění energie a detailně zhodnoceno vybrané řešení.

Cíle diplomové práce:

1. Představte problematiku skleníkové produkce z pohledu energetické náročnosti.
2. Uvedte možná řešení zajištění energetických potřeb skleníků.
3. Pro zadaný konkrétní případ posudte možné způsoby zásobování energiemi a vyberte vhodné řešení.
4. Posudte možnost spolupráce energetického zásobování skleníku a CZT, vyjádřete se k rozsahu využitelné regenerace tepla pro vybrané řešení.

Seznam doporučené literatury:

DVORSKÝ, E. a HEJTMÁNKOVÁ, P. , Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 8073001187.

PAVELEK, M., Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 9788021443006.

LUTZ, a., Pařeniště, fóliové kryty a skleníky, 1985. ISBN 07-018-87.

POKLUDA, R. a KOBZA, f.. Skleníky, fóliovníky, využití a pěstební technologie. Praha: Profi Press, 2011. ISBN 978-80-86726-46-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Dovoz zeleniny do České republiky dlouhodobě převažuje nad vlastní produkcí. Tato skutečnost vede, společně s požadavky obyvatel na kvalitnější potraviny, k výstavbě produkčních skleníků. S výstavbou a provozem těchto objektů se pojí potřeba zajištění tepla, chladu a elektřiny pro celoroční provoz.

Teoretická část práce představuje možné způsoby pokrytí spotřeby energií pro zvolený modelový skleník v Kožichovicích na Třebíčsku. Pro zvolený model byly následně stanoveny tepelné ztráty a roční spotřeba tepla. Ta byla porovnána se zaslánými hodnotami z Kožichovic. Na základě vypočtené spotřeby byly zvoleny následující způsoby dodávky energie, a to samostatná kogenerační jednotka, spolupráce více kogeneračních jednotek, bioplynová stanice, tepelné čerpadlo a odběr tepla z CZT. Tyto způsoby dodávky energií byly následně podrobeny technickému a ekonomickému porovnání.

Klíčová slova

Skleník, dodávka energie, tepelné ztráty, teplo, elektřina, chlad, kogenerační jednotka, kotel, tepelné čerpadlo, bioplynová stanice, CZT

ABSTRACT

The import of the vegetable has prevailed in the long run over the own production. In connection with this reality and increasing demand for the food with higher quality the production greenhouse is more often built. The providing heat, cold and electricity for the year-round operation is related to the construction and working of these objects.

The theoretical part of this theses describes possible ways how to cover energy consumption for the model greenhouse in Kožichovice, Třebíč region. The heat losses and the year-round heat consumption were stated for the selected model and compared with the exact values from Kožichovice.

The following method of energy supply was selected based on the calculated energy consumption - the separate cogeneration unit, cooperation of several cogeneration units, a biogas station, a heat pump and central heating system. These methods of energy supply were subjected to technical and economical comparison.

Key words

Greenhouse, energy supply, heat losses, heat, cold, electricity, cogeneration unit, boiler, heat pump, biogas plant, central heating system

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NAJBRTOVÁ, Zuzana. Dodávka energie pro skleníkovou produkci [online]. Brno, 2021. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132244>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Dodávka energie pro skleníkovou produkci** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Dále děkuji panu Leoši Zahradkovi a panu Ondřeji Šimoníkovi za poskytnuté informace a rady.

OBSAH

| | |
|--|----|
| ÚVOD..... | 11 |
| 1 Skleník..... | 12 |
| 1.1 Rozdělení skleníků..... | 12 |
| 1.2 Konstrukce skleníků..... | 13 |
| 1.3 Skleníková produkce..... | 14 |
| 1.3.1 Způsoby pěstování rostlin..... | 14 |
| 1.3.2 Zemědělská produkce v České republice..... | 15 |
| 2 Dodávka tepelné a elektrické energie..... | 17 |
| 2.1 Vytápění a zdroje tepla..... | 17 |
| 2.1.1 Kotle..... | 18 |
| 2.1.2 Kogenerační jednotky..... | 18 |
| 2.1.3 Další způsoby vytápění..... | 21 |
| 2.2 Chlazení..... | 21 |
| 2.3 Větrání..... | 22 |
| 2.4 Osvětlení..... | 23 |
| 3 Tepelné ztráty skleníku Kožichovice..... | 25 |
| 3.1 Popis objektu..... | 25 |
| 3.2 Výpočtové parametry..... | 27 |
| 3.3 Tepelné ztráty prostupem tepla..... | 27 |
| 3.3.1 Tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ | 29 |
| 3.3.2 Tepelný tok prostupem do země $H_{T,ig}$ | 30 |
| 3.3.3 Celková tepelná ztráta prostupem..... | 31 |
| 3.4 Ztráty větráním..... | 32 |
| 3.5 Tepelné zisky..... | 33 |
| 3.6 Tepelný výkon..... | 33 |
| 4 Roční spotřeba energie..... | 34 |
| 4.1 Teplo..... | 34 |
| 4.2 Chlad..... | 36 |
| 4.3 Elektrina..... | 37 |
| 4.4 Celková roční spotřeba..... | 38 |
| 5 Návrh systémů dodávky energie pro skleník..... | 39 |
| 5.1 Chladicí zařízení..... | 39 |
| 5.2 Akumulační nádrž..... | 41 |
| 5.3 Kogenerační jednotka..... | 41 |
| 5.3.1 Samostatná jednotka na zemní plyn..... | 43 |
| 5.3.2 Průmyslové centrum Kožichovice..... | 44 |
| 5.3.3 Bioplynová stanice s kogenerační jednotkou..... | 50 |
| 5.4 Tepelné čerpadlo/klimatizační jednotka..... | 52 |
| 5.5 Kotel na zemní plyn..... | 53 |
| 5.5.1 Samostatný kotel..... | 54 |
| 5.5.2 Soustava dvou kotlů..... | 55 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.6 | Teplo z CZT | 55 |
| 5.6.1 | Spolupráce skleníku s CZT..... | 57 |
| 5.7 | Regenerace tepla..... | 57 |
| 6 | Ekonomické zhodnocení systémů | 58 |
| 6.1 | Podpora státu | 58 |
| 6.2 | Kogenerační jednotka..... | 59 |
| 6.2.1 | Samostatná jednotka | 60 |
| 6.2.2 | Areál Kožichovice | 61 |
| 6.2.3 | Bioplynová stanice..... | 62 |
| 6.3 | Tepelné čerpadlo | 63 |
| 6.4 | Kotel na zemní plyn | 64 |
| 6.5 | CZT | 65 |
| 6.6 | Ekonomické srovnání | 65 |
| 7 | Shrnutí jednotlivých systému zásobování | 68 |
| | ZÁVĚR | 69 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 71 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK | 74 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ | 75 |

ÚVOD

V produkci zeleniny patří Česká republika dlouhodobě k nejhorším v Evropě. Roční obchodní bilance v oblasti zeleniny je již několik let záporná a má tak přímý vliv na ekonomiku země a životní úroveň obyvatel. S touhou po samostatnosti v oblasti zemědělství se pojí i potřeba kvalitnější stravy a trend lokálních a bio potravin. Tento trend přispěl k rozvoji výstavby produkčních skleníků.

Produkční skleníky jsou prosklené objekty o rozloze několika hektarů, které slouží k celoročnímu pěstování zeleniny, převážně rajčat. Ta jsou nejvíce konzumovanou zeleninou v České republice. Pro zajištění nejchutnějších plodů a jejich stálé dodávky jsou používány nejmodernější technologie a způsoby pěstování.

Nejdůležitějšími podmínkami stálé produkce je udržování konstantní teploty po dobu celého roku a dostatečné množství světla. K zajištění těchto potřeb je nutné zvolit ten nejlepší způsob dodávky energie s ohledem na ekonomické náklady, technické parametry a životní prostředí.

S budováním skleníků se tedy pojí velké náklady na dodávku tepla, chladu a elektřiny, které je nutné pokrýt. V historii byly skleníky nejčastěji vytápěny kotli na pevná paliva, které byly umístěny v těsné blízkosti samotného objektu. Tento způsob je dnes stále rozšířen ve starších typech skleníků, nicméně využití některých paliv je, s ohledem na budoucí energetickou koncepci země, nežádoucí.

S přihlédnutím ke skutečnosti, že pro samotné pěstování rostlin jsou využívány nejmodernější technologie, se začaly pro pokrytí potřeb skleníku používat kogenerační jednotky a tepelná čerpadla. Výhodou těchto zařízení je jejich vysoká efektivnost. V případě volby kogenerační jednotky je možné použít jako palivo bioplyn vyráběný v bioplynových stanicích. Bioplynové stanice bývají budovány v areálu zemědělských podniků, jejíž součástí mohou být i produkční skleníky, a pro výrobu plynu využívají procesu fermentace organických odpadů. Náklady na palivo pro kogenerační jednotku jsou tedy spojeny s odstraňováním odpadů, které je v této době podporované státem a značí tak významnou úsporu provozních nákladů.

Tato diplomová práce porovnává různé způsoby dodávky energie pro skleníky v Kozichovicích na Třebíčsku na základě jeho roční spotřeby. Realizace srovnávané v této práci byly vybrány na základě používaných způsobů zajištění tepla a elektřiny v České republice a Evropě [1, 3, 22].

1 Skleník

Skleníky jsou stavby sloužící k ochraně pěstovaných rostlin před klimatickými vlivy, a zároveň k optimalizaci podmínek pro stabilní produkci. Jejich výstavba tedy umožňuje pěstování plodin z různých podnebných pásů, bez ohledu na vnější vlivy.

Funkcí skleníků může být několik. V minulosti plnily spíše okrasnou roli, dnes jsou používány spíše v zemědělství. Vzhledem k jejich jednoduché konstrukci a technologickému pokroku nejde o trvalé stavby, jejich životnost je přibližně 20 - 30 let [1].

Při volbě vhodné lokality pro stavbu skleníku je nutné dbát na dobrou dostupnost, vhodnou půdu a přírodní podmínky. Nesmí být zapomenuta dobrá přístupnost slunečního záření, zajištění dostatečného množství světla, tepla, vody a živin pro zvolené rostliny. Nejideálnější lokací je rovné podloží v bezvětrné oblasti v dobré dopravní vzdálenosti. Pro výstavbu produkčního skleníku je zapotřebí získat stavební povolení nejen pro samotný skleník, ale i pro další technické budovy.

1.1 Rozdělení skleníků

Skleníky lze rozdělit podle několika různých kritérií – podle konstrukce, vytápění, pěstovaných rostlin atd. Mezi nejzákladnější patří rozdělení z hlediska účelu. Podle něj dělíme skleníky na produkční (obr. 1.1) a neprodukční (obr. 1.2).

Produkční jsou budovány za účelem co nejlepších zisků, spojených s co nejvyšší produkcí plodin. Jedná se o velké a vysoké objekty, které zaujímají plochu minimálně 0,5 hektarů [2,3]. Výška budovy výrazně zvětšuje množství slunečního světla, které je dodáváno pěstovaným rostlinám a má tedy podstatný vliv na produkci.

Typickým znakem je použití nejmodernějších technologií za účelem co nejefektivnějšího a neekologičtějšího pěstování. Toho je dosaženo např. používáním organických hnojiv, snižováním množství potřebné vody nebo eliminací ztrát. Významná je i vysoká míra automatizace například ve větracích systémech nebo při kontrole růstu rostlin [2,3,4]. Tato technická vybavenost značně zvyšuje investiční náklady, nicméně vzhledem k plánovanému zisku z produkce je pořád výhodná.

V České republice je tento typ skleníků více budován v posledních letech, a to za účelem pěstování rajčat, která patří mezi nejhojněji konzumovanou zeleninu [1,5]. V menší míře je využito i pro pěstování květin a ovoce.



Obr. 1.1 Produkční skleník [3,6]

Neprodukční skleníky slouží spíše k uchování a trvalému pěstování zvolených druhů, převážně květin. Jedná se o výstavní, prodejní či sbírkové objekty. Typickým příkladem jsou

historické skleníky, botanické skleníky či zimní zahrady. Jejich funkce je spíše výzkumná, vzdělávací, dále ochranná (zachování vzácných druhů) a v neposlední řadě i dekorativní [2].



Obr.1.2 Historický skleník v Lednici [7]

1.2 Konstrukce skleníků

Tvar skleníku může být téměř libovolný. Volí se dle doby pěstování, typu rostlin, přístupu světla či osobních preferencí. Mezi nejrozšířenější tvary patří A-typ a obloukový (gotický oblouk, tunel) (obr.1.3).



Obr.1.3 Tvary skleníků [9]

Z konstrukčního hlediska je skleník poměrně jednoduchou stavbou tvořenou nosnou konstrukcí a pláštěm. Kostra je samonosná vaznicová ze žárově zinkované oceli s dobrými antikorozními vlastnostmi, zbylé nosné prvky jsou z hliníkových slitin. Dříve byly využívány i dřevěné prvky, ty mají ale výrazně nižší životnost. Nejdůležitějšími požadavky na nosnou konstrukci je klimatická odolnost, dobré pevnostní vlastnosti a co nejmenší zastíněná plocha¹ a tepelné ztráty.

Plášť je tvořen střechem a štítovými a bočními stěnami. Materiálem pláště je sklo nebo umělé hmoty, volené dle nejlepších termofyzikálních vlastností pro danou instalaci. Jeho volba závisí na tvaru skleníku.

Průmyslové sklo se volí o tloušťce 3 – 6 mm s propustností kolem 85 – 95 % při slunném dni. Výhodou je jeho dobrá propustnost a možnost různých úprav pro konkrétní realizaci. Nežádoucím faktorem je jeho křehkost, životnost a zanášení. Pro snížení tepelných ztrát je možné použít na boční stěny vícevrstvé sklo, které je snižuje až o 70 %. Pro menší podíl

¹ Světelné ztráty konstrukce tvoří kolem 10 %

tepelných ztrát je výhodnější volit co nejméně členité plochy. K eliminaci světelných ztrát přispívá zvlněné sklo na vnitřní straně [1,2].

Z umělých materiálů je nejvíce využíváno polykarbonátové sklo (PC). Má dobré izolační vlastnosti, vysokou pevnost, odolnost a dobrou propustnost. Jeho velkou výhodou je nízká hmotnost. Desky z polykarbonátu se nejčastěji volí o tloušťce 4 – 6 mm a bývají opatřeny UV filtrem. Tloušťka desek je přímo úměrná tepelné izolaci, pevnosti a ceně [1,10].

1.3 Skleníková produkce

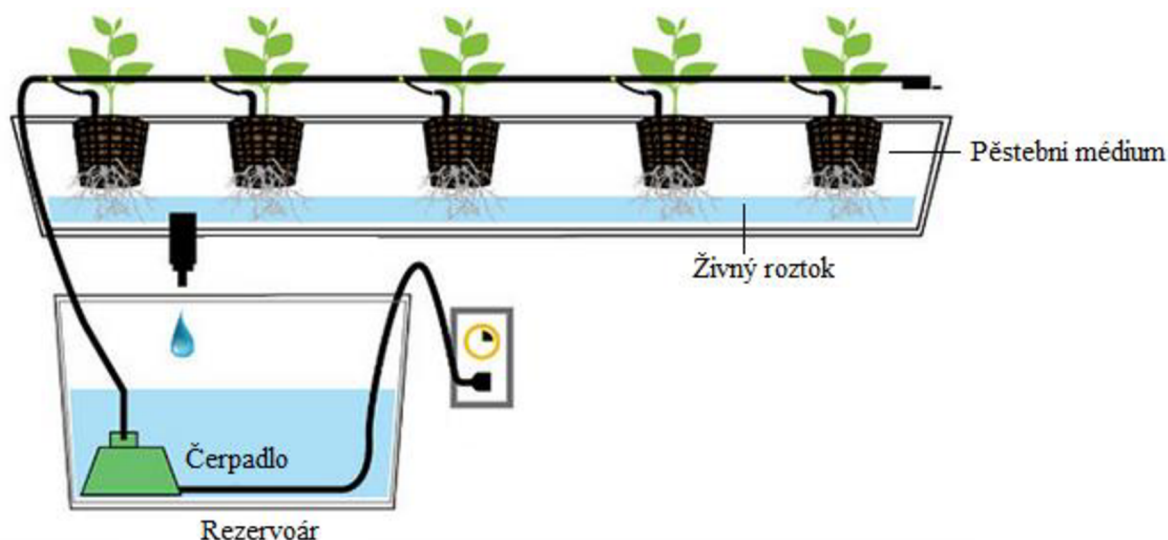
1.3.1 Způsoby pěstování rostlin

Při plánování rozvržení skleníků je snaha využít co největší pěstební plochu. S tím souvisí i volba způsobu pěstování. Mezi nejrozšířenější systémy patří hydroponie a využití pěstebních substrátů. Obě metody mají své výhody a doporučení ohledně zvolených rostlin.

1.3.1.1 Hydroponie

Hydroponie je pro pěstování rostlin používána od období druhé světové války, z důvodu potřeby zajištění velkého množství potravy. V následujících letech její význam rostl a dnes je více než polovina plodin v obchodech pěstována hydroponicky [11].

Hlavním rysem hydroponického systému je absence jakékoliv zeminy. Metoda je založena na průtoku živinového roztoku pěstebním médiem. Jde tedy o jakýsi neustálý oběh živin, který zajišťuje zvýšení produkce (obr.1.4). Tento oběh může být uzavřený a otevřený. V uzavřeném oběhu je živný roztok neustále obohacován a kontinuálně cirkuluje pomocí čerpadla. Tímto způsobem dochází ke snížení nákladu na vodu, případně lze využívat vody dešťové. Otevřený systém má větší požadavky na množství potřebné vody a živin, nicméně jeho zvolením snižujeme riziko přenosu zárodků škůdců [1,11,12].



Obr.1.4 Hydroponické pěstování

Pěstební médium je voleno tak, aby obsahovalo co nejmenší množství živin. Nejčastěji se jedná o keramzit, kokosové vlákno, písek atd. Smyslem této struktury je ukotvení rostliny a zajištění volného průtoku živinového roztoku.

Nejdůležitější složkou tohoto typu pěstování je živinový roztok. Rostliny totiž získávají vše potřebné ze živin přítomných ve vodě. Z tohoto důvodu není nutná zemina. Roztok je tedy vlastně přesně namíchané hnojivo pro danou rostlinu. Hlídá se v něm míra okysličení, která mimo jiné zabraňuje uhnívání, a pH. Roztok se v oběhu mění v intervalech 7 - 10 dní a může být nadále využit.

Hydroponický systém je často využíván v produktivních sklenících z důvodu rychlého a pravidelného růstu. V praxi se využívají i různě modifikované postupy [11,12].

Tab.1 Výhody a nevýhody hydroponie

| Výhody | Nevýhody |
|--|--|
| Přesný poměr živin pro rostliny | Spotřeba hnojiv |
| Menší riziko chorob a škůdců | Potřeba energie pro pohon čerpadla, ohřátí roztoku |
| Opakované využití vody a živného roztoku | Kolísavé pH v roztoku |
| Rychlý a pravidelný růst | Potřeba kvalitní vody |

1.3.1.2 Pěstební substrát

Pěstování v substrátu patří v zahradnictví k tradičním způsobům. Jeho principem je zasazení rostlin nebo semen do zeminy, která dodává živiny pro růst. Základním předpokladem úspěchu je zajištění dostatečného přísunu vody. Voda absorbuje živiny se substrátu a ty následně vstřebává rostlina.

Při volbě této metody je kladen důraz na výběr vhodného substrátu. Ten se liší podle pěstované rostliny, klimatických podmínek nebo osobních požadavků pěstitele. Základními požadavky jsou zajištění dobrého růstu, dobrá absorpce vody a množství živin. Pro odlehčení substrátu je podstatný obsah minerálních látek, ty zlepšují jeho průchodnost a dostatečnou dodávku vzduchu. Poměr živin v substrátu je neznámý a ve většině případů je nutné jej dohnojit. Výhodou je využití čistě organických hnojiv a substrátů (rašelina, kůrová drť, kokosová drť, hnůj).

Zajištění dostatečného množství vody je pro růst klíčové. Při pěstování ve větším provozu je vhodné zvolit automatizovaný systém zavlažování, jinak stačí manuální zalévání. Nevýhodou tohoto způsobu pěstování je riziko přelití, které může vést až k uhnutí kořenů [1,12]

Tab.2 Výhody a nevýhody substrátového pěstování

| Výhody | Nevýhody |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Možnost využití přírodních hnojiv | Riziko chorob a škůdců |
| Větší odolnost vůči suchu | Pomalejší růst |
| Nízké náklady | Neznámý poměr živin |
| | Nebezpečí přelití a uhnutí rostlin |

1.3.2 Zemědělská produkce v České republice

Zemědělská produkce je výrazně ovlivněna klimatickými podmínkami. Ty mají vliv na další faktory jako je cena a kvalita produktů. Další z nezanedbatelných položek je i zohlednění potřeb obyvatel, kteří stále více požadují výživově a chuťově hodnotnější potraviny. Jedním ze způsobů zajištění trvalé produkce je pěstování plodin ve sklenících.

Produkce z krytých ploch je v České republice již tradičním odvětvím zemědělství, které se v posledních letech znovu dostává do popředí. V současnosti je ve sklenících obhospodařováno přibližně 90 hektarů, které slouží převážně k pěstování rajčat. Ty jsou nejvíce konzumovaným druhem zeleniny u nás. Jejich roční spotřeba se pohybuje kolem 12 kilogramů rajčat na člověka.

Tab. 3 Světová produkce rajčat [14]

| Rok | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Tisíc tun | 39 896 | 41 374 | 38 072 | 37 797 | 34 830 | 37 266 |

Česká republika je převážně dovozcem zeleniny, a to jak čerstvé, tak i tepelně zpracované. Ročně je přivezeno přibližně 60 % zeleniny, pocházející nejčastěji z Polska, Německa a Itálie. Vývoz je soustředěn převážně na Slovensko [1,14].

Tab. 4 Bilance zahraničního obchodu se zeleninou za rok 2018 [14]

| | m [t] | Cena [mld Kč] |
|-------|--------------|----------------------|
| Dovoz | 183300 | 3,9 |
| Vývoz | 68800 | 1,7 |
| Saldo | -114 502 | -2,2 |

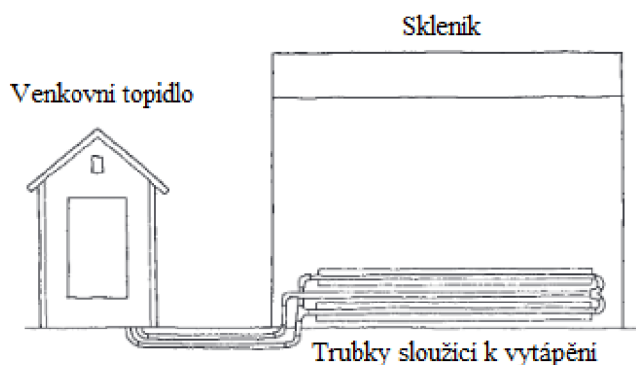
2 Dodávka tepelné a elektrické energie

Z ekonomického hlediska představuje nejnáročnější položku množství potřebného tepla a světla. Pro růst rostlin je klíčových několik faktorů, které se vzájemně ovlivňují. Jedná se o teplotu, dodané světlo, vlhkost, množství kyslíku a oxidu uhličitého. Tyto faktory mají vliv na volbu typů vytápění, větrání a osvětlení.

2.1 Vytápění a zdroje tepla

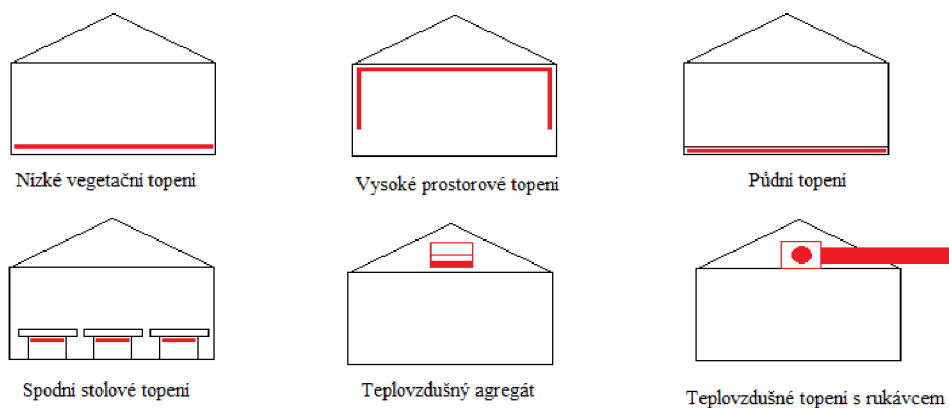
Pro zajištění co největších výnosů rostlin, je nutné udržovat po celý rok stálé klimatické podmínky. Jedním z nejdůležitějších růstových faktorů je teplo, jehož množství tvoří významnou položku nákladů. V současnosti je tedy trend tuto spotřebu snížit, a to s využitím odlišných způsobů vytápění a zdrojů tepla. Nejpoužívanějším způsobem je teplovodní vytápění, v případě příznivých podmínek lze využívat i vytápění parní či horkovzdušné. Pro menší skleníky jsou vhodné zdroje tepla i infrazářiče a solární energie.

Teplovodní systém vytápění skleníků je jednoduchý. V podstatě je tvořen zdrojem tepla, ze kterého je teponosné médium vedeno trubkami a nadále cirkuluje (obr. 2.1) tak, aby byl zajištěn teplotní spád 90/70 °C. Materiál trubek by měl mít dobré tepelné vlastnosti a příznivou cenu. Pro zlepšení přestupu tepla mohou být trubky tvarované. Nejčastěji je volena ocel, hliník či plast.



Obr. 2.1 Systém teplovodního vytápění [9]

Rozvody tepla mohou být umístěny podle konstrukčních a pěstebních požadavků (obr. 2.2). Základním obvodem je topení vrchní a obvodové, v případě potřeby je možné dodat i podlahové, vegetační či stolové. Při návrhu vytápěcího systému je vhodné dbát na co nejlepší množství spotřebovaného tepla a pro požadované množství zvolit vhodné rozvody a počty trubek.



Obr. 2.2. Rozvody tepla [1]

Výhodou použití vody jako teplonosného média je její vysoká tepelná kapacita, dostupnost, cena a možnost znovuvyužití [1,9].

Při volbě zdroje tepla je brán ohled na jeho výkon, palivo, investiční a provozní náklady a šetrnost k životnímu prostředí. Dříve byly pro vytápění využívány převážně kotle, dnes se objevují i jiné způsoby zisku tepla jako například kogenerační jednotky či tepelná čerpadla. Zdroj je možné umístit přímo do skleníků nebo v jeho blízkosti, což vede k omezení tepelných ztrát přenosem.

2.1.1 Kotle

Použití kotlů pro dodávku tepla do skleníku je velmi rozšířený způsob. Využíván byl hojně v minulosti, ale setkat se s ním je možné i dnes, zejména v menších sklenicích. Využití kotle je poměrně levné a konstrukčně méně náročné.

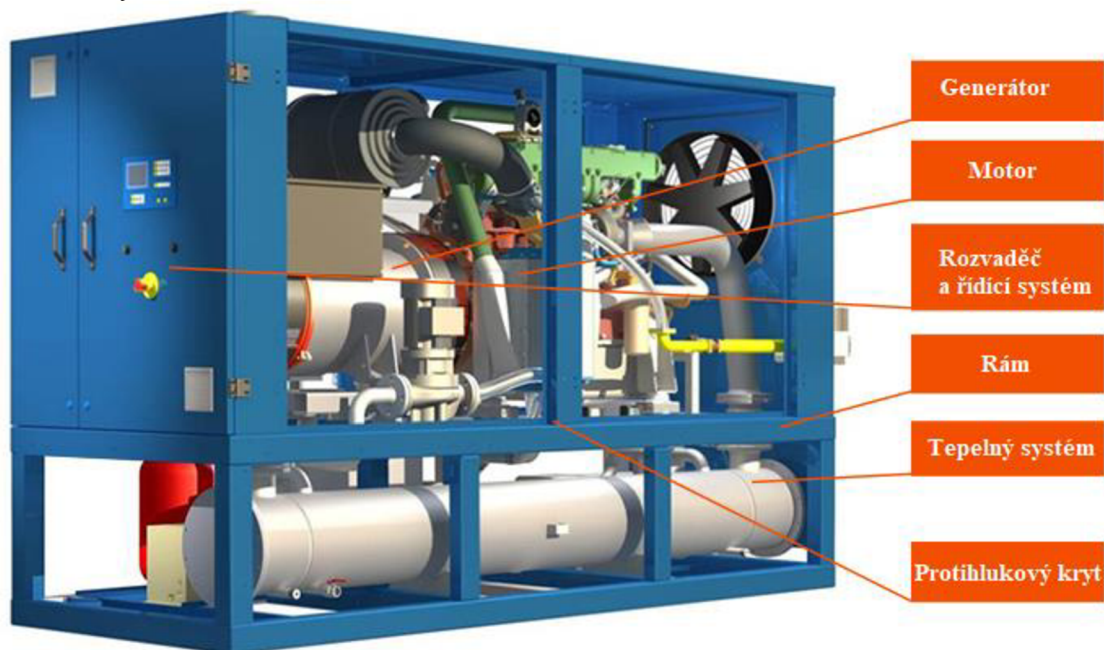
Kotle jsou zařízení sloužící k tvorbě tepelné energie z dodaného paliva. Základním principem je spalování paliva v ohništi, odkud odchází spaliny o vysoké teplotě přes teplosměnné plochy, které jim teplo odebírají a předávají dále.

Množství tepelné energie ovlivňuje výhřevnost zvoleného paliva. V zemědělství se využívají kotle na plynná (zemní plyn), kapalná (lehké topné oleje) i pevná (uhlí, dřevo, sláma) paliva v několika možných provedeních [1].

2.1.2 Kogenerační jednotky

S rozvojem technologií používaných ve sklenicích souvisí i zhodnocení nových způsobů vytápění s ohledem na životní prostředí. Jedním z těchto způsobů je využívání kogenerace, kdy dochází ke společné výrobě tepla a elektřiny. Jako palivo se využívá zemního plynu nebo produktu bioplynových stanic. Pro lepší ekonomické zhodnocení je přebytek tepla a elektřiny dodáván i jiným spotřebitelům [1,3].

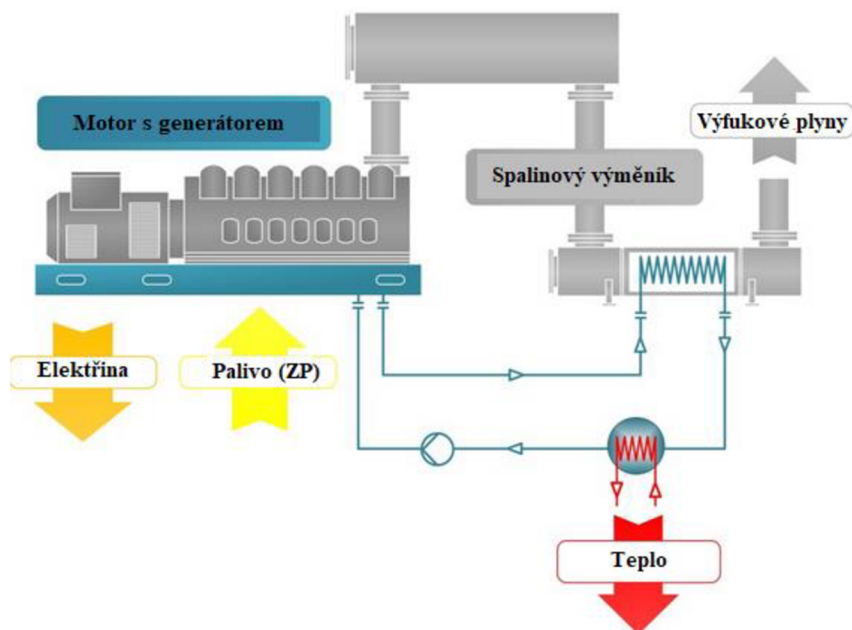
Principem kogenerace je tvorba dvou druhů energie, nejčastěji elektrické a tepelné, a to buď současně nebo za sebou. Zařízení, které tento jev koná se nazývá kogenerační jednotka (obr. 2.3). Ta je tvořena ze zařízení pro primární úpravu zdroje energie, primárního motoru či jiného zařízení, zařízení pro výrobu a úpravu elektřiny a zařízení pro rekuperaci energie. Kogenerační jednotka je pak součástí celého systému dodávky tepla a energie tzv. kogeneračního systému.



Obr. 2.3 Kogenerační jednotka [17]

Pro vytápění skleníků jsou dostačující malé kogenerační jednotky o výkonech v řadě kW_e , případně jednotek MW_e a vysoké účinnosti. Tvorba energie začíná dodávkou paliva, nejčastěji zemního plynu nebo bioplynu, do zařízení na jeho úpravu. Tam může být upraveno jeho složení nebo může dojít ke zvýšení jeho energie pro co nejlepší účinnost. Palivo je dále vedeno do primárního zařízení, což bývá nejčastěji tepelný motor². Zde dochází spalováním k uvolnění energie.

Primární energie, elektrická, je následně upravována dle požadavků spotřebitele a odváděna do sítě. Druhá vzniklá energie, tepelná, je předávána teponosnému médiu pro další využití. Tímto médiem může být teplá voda, horká voda, pára a vzduch (obr. 2.4).



Obr. 2.4 Princip dolního kogeneračního systému [17]

Při tvorbě energie má jeden ze zvolených typů přednost. V případě primární výroby tepla hovoříme o horním kogeneračním systému, u elektřiny pak o dolním kogeneračním systému. Ten je dnes více využíván.

Rozdělení kogeneračních jednotek je možné podle několika kritérií, např. provedení, použité palivo atd. Nejčastějším způsobem je vymezení podle zařízení, které vyrábí elektrickou energii. Podle tohoto kritéria se kogenerační jednotky dělí na čtyři druhy.

Prvním zařízením, které může být použito je **pístový motor**. Tyto kogenerační jednotky jsou voleny pro jejich vysokou účinnost a relativně nízké náklady. Motor je poháněn generátorem, který vyrábí elektřinu a při tom produkuje odpadní teplo, které je možné dále využívat.

Pro velké odběry tepla jsou instalovány kogenerační jednotky s parní nebo plynovou turbínou. Kogenerace s **parní turbínou** funguje na principu Rankin - Clausiova cyklu, kdy je část páry po expanzi nebo během expanze na turbíně odváděna jako zdroj tepla. U **plynových turbín** je teplo pro kogeneraci získáváno ze spalín. Parní turbíny je možné použít i při spalování biomasy v organickém Rankin - Clausiově cyklu.

² V České republice se využívají pouze zážehové motory

Nejnovější metodou používanou v kogeneračních jednotkách je výroba energie pomocí **palivového článku**, který pracuje v součinnosti s plynovým kondenzačním kotlem. Jako palivo pro toto zařízení je nutný zisk vodíku. Vodík pak reaguje s kyslíkem za vzniku obou energií.

V České republice jsou využívána plynná paliva, nejčastěji zemní plyn. Ten je vhodný díky dobré výhřevnosti, jednoduché dopravě a ceně. Dalšími palivy jsou bioplyn, skládkový důlní a kalový plyn či LPG. Výhodou těchto paliv je, že vznikají samovolně a nejsou jinak využívány.

Pokud je jako zdroj tepla a elektřiny zvolena kogenerační jednotka, může být dodána ve dvou provedeních – kontejnerovém a blokovém. **Kontejnerové jednotky** bývají umístěny mimo objekt a jsou schopny odolávat klimatickým změnám. **Blokové** jsou odhlučněny a umístěny v objektu [16,18].

V současnosti se pro vytápění skleníků často využívají **bioplynové stanice** (obr. 2.5). Ty jsou tvořeny vstupní a výstupní jímkou, plynojemem a fermentorem. V něm dochází zahříváním bez přístupu vzduchu k rozkladu organického odpadu a následnému uvolňování hořlavých plynů, které jsou po úpravě vhodným palivem pro kogenerační jednotku [3,15,17].



Obr. 2.5 Bioplynová stanice a skleník ve Smržicích [5]

Plynný produkt (bioplyn) je tvořen převážně metanem a oxidem uhličitým. Poměr těchto dvou látek závisí na složení vstupního odpadu, a tím ovlivňuje výhřevnost plynu, která se pohybuje v rozmezí $18 - 26 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$.

Výhodou bioplynových stanic je schopnost využívat organický odpad pro tvorbu energie a hnojiva. Díky tomu jsou často situovány do zemědělských areálů. Nároky na palivo tvoří pouze teplo, které je důležité pro proces fermentace [3,16,17].

Tab. 5 Výhody a nevýhody kogenerace

| Výhody | Nevýhody |
|--|--------------------------|
| Účinnost využití energie v palivu (nad 90 %) | Nároky na kvalitu paliva |
| Nižší spotřeba paliva | Častý servis |
| Snížen emise | Hlučnost |
| Bez přenosových ztrát | Investiční náklady |
| Využití tepla vzniklého výrobou elektřiny | |

2.1.3 Další způsoby vytápění

Volba vhodného zdroje je závislá na vlastnostech paliva, výši nákladů, rozměrech a funkcích skleníků. Klasické zahradní skleníky bývají často nevytápěné nebo jsou jako zdroj využity kotle či kamna. S rostoucím zájmem o životní prostředí a obnovitelné zdroje se objevují i další způsoby vytápění. Nejčastěji jsou využívány energie solární a geotermální.

Jedním z novějších způsobů je použití tepelných čerpadel. **Tepelná čerpadla** jsou stroje, které převádí nízkopotenciální energii okolí na teplotně využitelnou. Zdroji tepla (vzduchu, vodě, geotermální energii) je pomocí teplotního média odebráno teplo, které je následně upraveno na teplo využitelné k ohřevu vody a vytápění. V souvislosti s dodávkou tepla do skleníku je možné využívat geotermální energii. Její výhodou je tepelná stálost. Nevýhodou vysoké pořizovací náklady na zavedení kolektorů nebo vrtů tepelného čerpadla [1,17].

Jako zdroj tepla je možné využít i **solární kolektory** umístěné na střeše skleníku. Toto řešení je vhodnější pro zahradní skleníky, vzhledem k nižší akumulaci tepla a silné závislosti na klimatických podmínkách [1,9].

Zajímavým způsobem dodávky tepla pro skleník je využití **tepelných elektráren či průmyslových závodů**. V České republice je tímto způsobem vytápěn produkční skleník v Dolní Lutyni (obr. 2.6). Zdrojem tepla a elektřiny je nedaleká tepelná elektrárna Dětmarovice, ze které je veden horkovod přímo do areálu farmy. Dětmarovice ročně vyrobí kolem 2 TWh elektrické energie a 650 TJ tepla. To je využíváno pro vytápění přilehlých měst a skleníku [3,17].



Obr. 2.6 Skleník v Dolní Lutyni a elektrárna Dětmarovice [3]

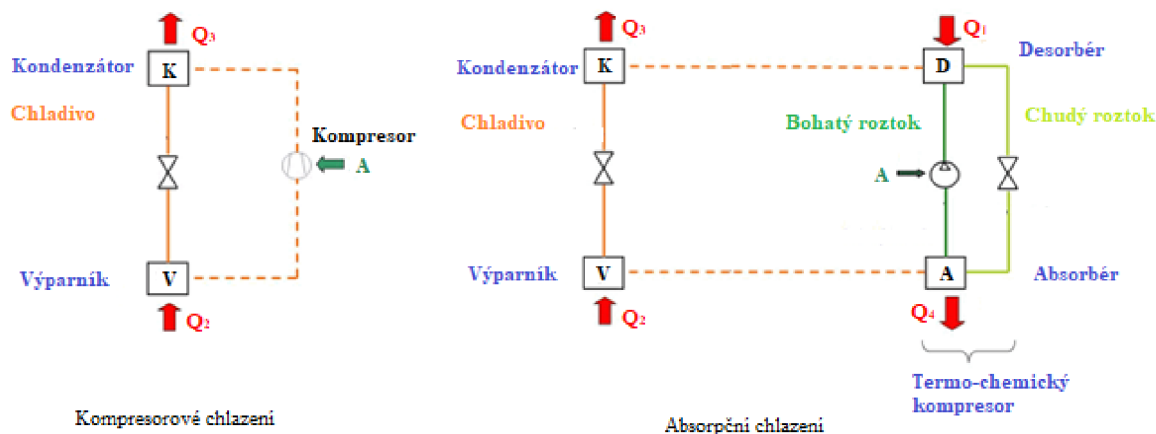
2.2 Chlazení

Vytvoření ideálního klimatu je pro rostliny stěžejní. Skleník musí tedy zajistit celoroční konstantní teplotu, a to dodávkou tepla a chladu. Pro chlazení je využívána voda, nejčastěji o teplotním spádu 14/7 °C, která zajistí komplexní chlazení celého objektu. Teplota vody je měněna v chladicích jednotkách, které mohou být dvojího provedení – kompresorové a absorpční (obr. 2.7.).

Základním principem je odvod tepla látkám pomocí jiných médií. Absorpční chlazení je, jak jeho název napovídá, založené na vstřebávání plynu (absorbátu) do kapaliny (absorbentu) za účelem snížení teploty kapaliny. V absorpčních zařízeních se nejčastěji vyskytují dvojice médií voda – vodný roztok LiBr a NH₃ – voda. Jako hnací energie slouží teplo. Volba dvojice látek závisí na použití absorpční jednotky. Pokud je požadována teplota pod nula stupňů Celsia,

volí se pracovní dvojice s amoniakem. Pro přípravu vody sloužící ke klimatizaci o teplotním spádu např. 14/7 °C se využívá dvojice voda – vodný roztok LiBr.

V kompresorových chladicích jednotkách dochází dodáním elektrické energie ke stlačování par chladiva. Z kompresoru je chladivo vedeno do kondenzátoru, kde dochází ke skupenské přeměně. Kapalně chladivo se poté přes škrtkovací ventil dostává do výparníku, kde se postupně odpařuje. Pro tuto změnu fáze je potřeba dodat teplo, které je v tomto případě odebráno chlazené látce.



Obr. 2.7 Princip kompresorového a absorpčního chlazení [25]

V souvislosti s rostoucím trendem využívání kogeneračních jednotek se rozšířila i trigenerace. Jedná se o společnou výrobu tepla, elektřiny a chladu. V praxi jde o výstavbu kogenerační jednotky s absorpční chladicí jednotkou, která využívá produktů kogenerace.

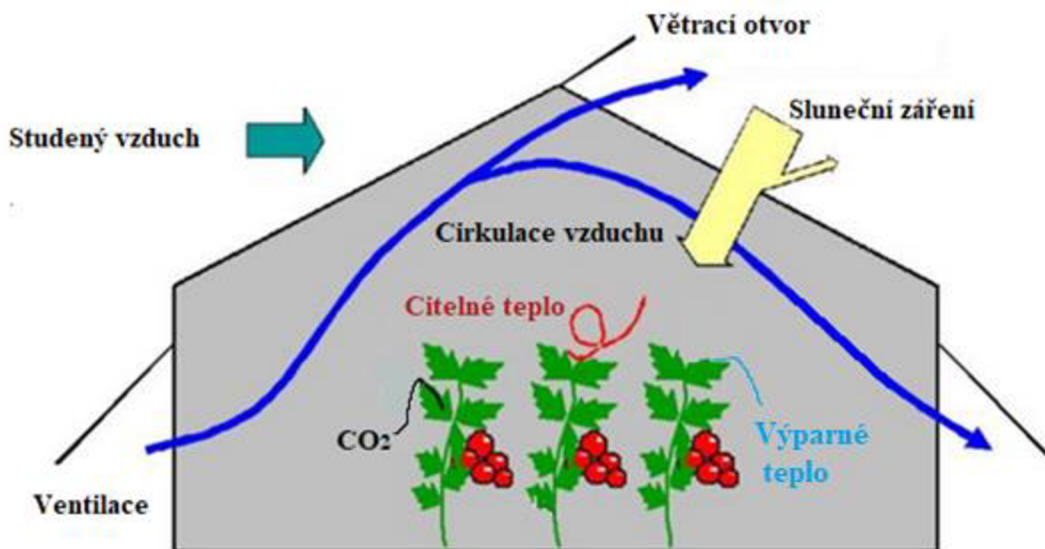
Další možností chlazení objektu je dálkové zásobování chladem. To funguje na podobném principu jako centrální zásobování teplem, jenom s tím rozdílem, že přenášenou energií je chlad.

2.3 Větrání

Dalším důležitým růstovým faktorem rostlin je kyslík. Jeho přísun je zajištěn ventilačními systémy. Ty jsou tvořeny větracími klapkami či srolovací střešou v kombinaci s okny. Ve větších objektech je ventilační systém plně automatizován a řídí se okamžitými parametry vzduchu.

Odvod vzduchu neslouží pouze k dodání kyslíku, ale také k odvodu oxidu uhličitého a snížení přebytečné vlhkosti. Spousta skleníků si vystačí pouze s přirozeným větráním pomocí velkých střešních oken, pro větší objekty a náročnější rostliny je doplněno ventilátory. Pro správnou výměnu vzduchu by větrací plocha měla zaujímat 18 – 24 % z celkové plochy skleníku.

Přirozená ventilace je uskutečňována pomocí velkých oken umístěných v plášti (střešní a boční okna). Hnací silou je zde rozdílná hustota teplého a studeného vzduchu, která zajišťuje plynulou cirkulaci. Teplý vzduch je vytlačován střešními okny vzduchem studeným, který do skleníku vstupuje okny bočními (obr. 2.8). Výměnou vzduchu mezi vnitřním a vnějším prostředím nedochází jenom ke snížení tepla a přísunu kyslíku, ale také k odvodu přebytečné vlhkosti. Ta je obsažena v teplém vzduchu [1,2,19].



Obr. 2.8 Princip větrání skleníku [20]

Při specifických potřebách rostlin nebo v případě velké cirkulace vzduchu je větrací systém doplňován ventilátory. Ty pomáhají s ideálním promísením vzduchu, odstraněním velkého množství vlhkosti a podpoře přirozeného větrání. Mezi jejich výhody patří možnost dobré a přesné regulace, podpora vytápěcího systému a, v případě nutnosti, chlazení³. Nevýhodou jsou pořizovací a provozní náklady [1,19].

2.4 Osvětlení

Základní schopností zelených rostlin je fotosyntéza. Tento jev je popsán jako přeměna světelné energie a oxidu uhličitého na složitější organické látky⁴ a kyslík. Pro její správný průběh je tedy nutné dodat světlo, vzduch a vodu.

Dodávka dostatečného množství světelné energie je řešena již samotnou myšlenkou skleníku, jelikož se jedná o stavbu tvořenou převážně dobře propustným materiálem s co nejmenší stínící plochou konstrukce. V případě produktivních skleníků je však množství přirozeně získaného světla nedostačující, proto jsou v nich instalovány světelné systémy. Ty dovedou zajistit v kombinaci, nebo naprosto samostatně, požadovanou hodnotu světelného záření po celý rok, a tím zvýšit produkci.

Množství potřebného světla je dáno typem zvolené rostliny a je žádoucí udržovat množství dopadajícího světla podle potřeb pěstování. Toho je možné dosáhnout využitím elektrického osvětlení v případě nedostatku světla, nebo pomocí různých regulačních clon, pokud je světla přebytek.

Volba vhodného osvětlení je jak z ekonomického, tak pěstebního hlediska klíčová. Na výběr je několik typů svítidel, které se liší materiálem, produkovaným světlem, cenou a funkcí. Při výběru je tedy nutné vycházet z jejich výkonu, světelného spektra, výšky, velikosti osvětlené plochy a rozměrů [1,2,21].

Mezi nejčastěji využívaná svítidla v produkčních sklenících patří sodíkové výbojky (obr. 2.9). Jejich instalace je výhodná zejména velkým a stabilním světelným výkonem,

³ Pro pěstování sadby či specifických rostlin.

⁴ Glukóza

dlouhou životností a nízkými pořizovacími náklady. Neméně důležitým faktorem je i dobré využití pro růst i v období květu rostlin, a to díky žlutooranžovému světlu, které vyzařují.

Sodíkové vysokotlaké výbojky šíří více tepla, než je běžné u jiných typů osvětlení. Jejich tepelné zisky tedy ovlivňují potřebné teplo pro vytápění, a to i v negativním smyslu, kdy je díky nim nutné chlazení objektu [21]. Pokud dochází k nestálému dopadu slunečního záření na rostliny, zvyšuje se množství rostlin, které budou použity pro naplnění produkčního cíle a dochází k nárůstu nákladů.



Obr. 2.9 Sodíková výbojka [21]

3 Tepelné ztráty skleníku Kožichovice

Pro posouzení a návrh konkrétních způsobů dodávky energie byl zvolen modelový produkční skleník v Kožichovicích. Následující kapitoly se věnují konkrétnímu výpočtu jeho energetických spotřeb a realizaci jejich zajištění.

Důležitou položkou pro provoz skleníku jsou tepelné a světelné ztráty. Náklady na vytápění tvoří významnou provozní položku, je tedy žádané zvolit vhodný způsob výroby tepla a co nejvíce omezit jeho úniky.

K tepelným únikům dochází netěsnostmi v konstrukci, těsněním, samotným materiálem konstrukce a větráním. Vliv na ně má poměr vnitřní a venkovní teploty, velikost skleníků, vlastnosti materiálů a další. Pro správný provoz je důležité správné dimenzování potřebného tepelného výkonu a vhodná volba tepelného zařízení. Ztráty je možné snížit i pomocí energetických clon izolujících teplo.

Zatímco v případě tepelných ztrát je zásadní zamezit úniku tepla do okolí skleníku, u světelných ztrát je důležité dovést co nejvíce světla dovnitř. Světlo je pro růst rostlin nepostradatelné. Na ztrátách se podílí i míra znečištění pláště a úhel dopadu slunečních paprsků. V případě použití umělých světel roste riziko vzniku světelného smogu, který má negativní ekologický a sociální dopad. Pro jeho eliminaci je tedy vhodné instalovat i stínící clony [1,4].

3.1 Popis objektu

Skleník v Kožichovicích u Třebíče (obr. 3.1) je jedním z v posledních letech zbudovaných produkčních skleníků⁵ sloužící k pěstování rajčat. Svoji činnost zahájil v roce 2019 s produkcí 1 200 tun rajčat ročně. Důvodem výstavby objektu je snaha o zvýšení vlastní produkce rajčat a snížení jejich dovozu do České republiky. Celková pěstební plocha zabírá 2,53 hektarů, samotný skleník má zastavěnou plochu 3,3 ha.



Obr.3.1 Skleník Kožichovice [3]

Pro co nevyšší produkci je skleník vybaven těmi nejmodernějšími technologiemi. Jako zdroj tepla a elektřiny je využívána kogenerační jednotka spalující zemní plyn, která případně

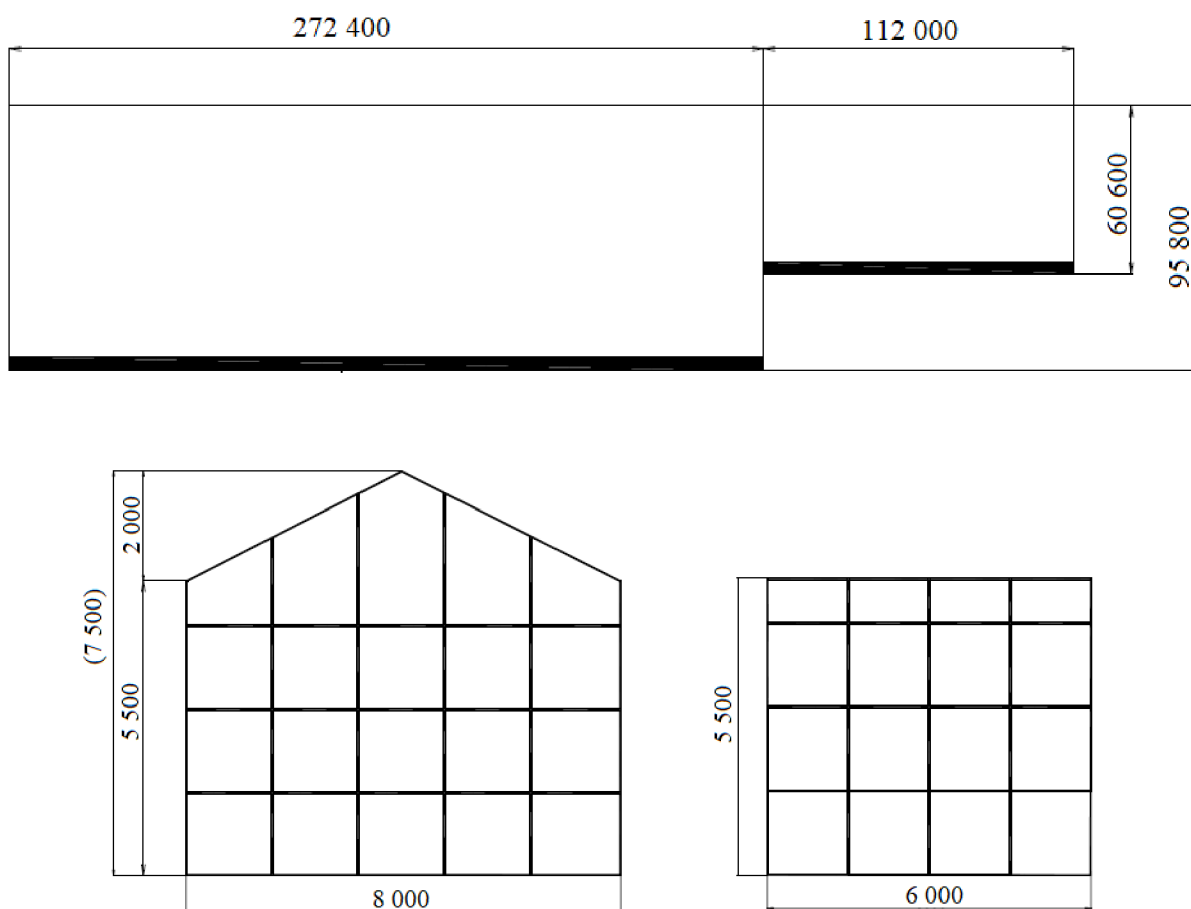
⁵ Stavitelem je firma NWT a.s.

přebytečné teplo odvádí do CZT. Skleník se snaží o co nejmenší ztráty a znovuvyužití použitých zdrojů např. schraňováním dešťové a zavlažovací vody a kompostováním substrátu.

Výnosnost skleníku je zlepšena využíváním hydroponie. K ukotvení rostlin slouží rohože z kokosových vláken, kterými protéká živný roztok. Rostliny jsou následně opylovány speciálním druhem čmeláků. Cílem vytápění a větrání je zajistit celoroční vnitřní teplotu 23,5 °C, která je pro pěstování daného typu rajčat nejideálnější. Pro stálý přísun světla je využito 3 000 sodíkových lamp [22].

Farma v Kožichovicích se nachází poblíž průmyslové oblasti města Třebíč, se kterou je propojena. Objekt zahrnuje několik budov sloužících pro distribuci a jako technická podpora.

Nejdůležitější a největší stavbou je produkční skleník. Ten se skládá ze dvou částí – osvětlené a neosvětlené. Neosvětlená plocha má rozměry 60,6 x 112 m² a skládá se z 10 x 14 úseků. Osvětlená část má 95,8 x 272,4 m² a 16 x 34 úseků. Výška skleníku je 7,5 m (obr. 3.2).



Obr. 3.2. Rozměry skleníku

Kostru skleníku tvoří ocelová konstrukce třídy zatížení A15, sloupy jsou od sebe vzdáleny v rastru 6 x 8 m a jejich šířka je 12 cm. Střecha je tvořena vaznicovými nosníky, které vytváří její sedlovitý tvar o sklonu 27 °. Na kostru jsou připevněny duté hliníkové profily o šířce 4 cm sloužící k upevnění skla pláště. Plášť objektu se skládá z dvojitého temperovaného difúzního skla o tloušťce 4 mm. Sklo je opatřeno vertikálními a horizontálními clonami, které snižují tepelné ztráty, zabráňují světelnému smogu a rozptylují sluneční záření.

Podlaha skleníku je tvořena hlinou pokrytou netkanou textílií. V obou objektech je položen 4 metry široký železobetonový chodník o tloušťce 150 mm, sloužící pro pohyb vozíků s rajčaty. Parametry skleníku jsou uvedeny v tabulce 6 [23].

Tab. 6 Rozměry skleníku

| | Osvětlená část | Neosvětlená část |
|--------------------------|----------------|------------------|
| Strana a [m^2] | 448,344 | 283,608 |
| Počet úseků strany a | 16 | 10 |
| Strana b [m^2] | 1274,832 | 524,16 |
| Počet úseků strany b | 34 | 14 |
| Střecha [m^2] | 29180,16 | 7509,6 |
| Podlaha [m^2] | 25006,32 | 6339,2 |
| Chodník [m^2] | 1089,6 | 448 |
| Celková plocha [m^2] | 26095,92 | 6787,2 |
| Objem [m^3] | 144896,92 | 38232 |

3.2 Výpočtové parametry

K výpočtu tepelných ztrát byla použita norma ČSN EN 12 831-1 *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu*. Ta již v současnosti nenabývá platnosti, nicméně úpravy provedené v současně platné normě nejsou o moc odlišné.

Pro získání výsledného tepelného výkonu norma využívá zisku tepelných ztrát prostupem tepla a větráním, zátopového výkonu a tepelných zisků, dle rovnice 3.2.1 [24].

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i} \quad (3.2.1)$$

kde:

| | |
|-----------------|--|
| $\Phi_{HL,i}$ | Návrhový tepelný výkon prostoru [W] |
| $\Phi_{T,i}$ | Návrhová tepelná ztráta prostupem [W] |
| $\Phi_{V,i}$ | Návrhová tepelná ztráta větráním [W] |
| $\Phi_{hu,i}$ | Volitelný dodatečný zátopový výkon [W] |
| $\Phi_{gain,i}$ | Trvalé tepelné zisky [W] |

Při výpočtu tepelných ztrát hrají důležitou roli teplota a klimatické podmínky. Ty jsou proměnné dle ročního období a lokality, ve které se stavba nachází. Nejdůležitějšími hodnotami jsou výpočtová venkovní teplota θ_e a průměrná roční teplota $\theta_{m,e}$ [25].

Tab. 7 Klimatické údaje Třebíč

| Klimatické údaje | Označení | Hodnota |
|----------------------------|----------------|---------|
| Venkovní výpočtová teplota | θ_e | -15 °C |
| Průměrná roční teplota | $\theta_{m,e}$ | 3,1 °C |
| Počet dní topné sezony | d | 263 dní |

3.3 Tepelné ztráty prostupem tepla

Vedení tepla se uskutečňuje třemi mechanismy, případně jejich kombinací. Jedná se o přestup tepla vedením, konvekcí a sáláním. Každý princip popisuje jiný způsob šíření tepla a má své specifické veličiny.

Přestup tepla vedením udává, jaké množství tepla se šíří převážně mezi pevnými materiály s rozdílnou teplotou mechanismem difúze. Tepelný tok je veden z místa o vyšší teplotě do míst o teplotě nižší a je vyjádřen pomocí Fourierova zákona:

$$\dot{q} = -\lambda \frac{dT}{dx} = \frac{Q}{S} \quad (3.3.1)$$

kde:

| | |
|-----------|--|
| \dot{q} | Měrný tepelný tok [$W \cdot m^{-2}$] |
| λ | Součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] |
| dT | Teplotní diference [$^{\circ}C$] |
| dx | Tloušťka ve směru tepelného toku [m] |
| Q | Tepelný tok [W] |
| S | Plocha [m^2] |

Součinitel tepelné vodivosti λ vyjadřuje fyzikální vlastnost látky vést teplo daným materiálem. Jeho velikost je závislá na změně teploty, nicméně při výpočtech se počítá s konstantní hodnotou uvedenou v tabulkách. Hodnota součinitele tepelné vodivosti je důležitým faktorem pro volbu materiálu a výrazně ovlivňuje velikost tepelných ztrát. Pro co nejmenší ztráty je tedy vhodné volit materiály s co nejnižší hodnotou.

Na základě zvoleného materiálu o daných fyzikálních vlastnostech a rozměrech stěn objektu je možné vyjádřit tepelně izolační vlastnosti tzv. **tepelný odpor R_T** [$m^2 \cdot K^1 \cdot W^{-1}$]. Tato veličina udává míru neschopnosti materiálu vést teplo. S rostoucí hodnotou odporu tedy rostou tepelně izolační vlastnosti materiálu dle rovnice:

$$R_T = \frac{t}{\lambda} \quad (3.3.2)$$

Pro určení tepelných ztrát prostupem tepla je důležitým parametrem hodnota **součinitele prostupu tepla U** [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$]. Ten je vyjádřen jako převrácená hodnota tepelného odporu konstrukce [25]:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (3.3.3)$$

Jednotlivé hodnoty součinitele prostupu tepla použitých ve skleníku jsou uvedeny v tabulce 8.

Tab. 8 Hodnoty součinitele přestupu tepla

| Objekt | U [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$] |
|---------|---------------------------------------|
| Okno | 2,357 |
| Rám | 1,357 |
| Podlaha | 1,342 |
| Chodník | 1,307 |

Pro určení tepelných ztrát objektu jsou nejpodstatnější dvě ztráty, a to ztráta prostupem tepla a ztráta větráním. Ztráta prostupem tepla je vztahena k vlastnostem použitých materiálů, konstrukci a teplotním podmínkám. Její výpočet je uveden v rovnici 3.3.4. Základní hodnotou ovlivňující velikost tepelných ztrát je průměrná vnitřní výpočtová teplota $\theta_{int,i}$. Ta se volí na základě požadavků na daný objekt. Pro výpočet je uvedeno $\theta_{int,i} = 23,5^{\circ}C$.

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (3.3.4)$$

3.3.1 Tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$

Největší podíl na ztrátě prostupem tepla $\Phi_{T,i}$ má tepelný tok prostupem do venkovního prostředí z vytápěného. Jeho hodnota je ovlivněna velikostí plochy, přes kterou dochází k úniku tepla. Nejvyšších hodnot obvykle nabývá ztráta střechou [24].

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k} \quad (3.3.5)$$

kde:

| | |
|-----------------|---|
| A_k | Plocha stavební části [m^2] |
| U_k | Součinitel prostupu tepla [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$] |
| ΔU_{TB} | Přirážka na vliv tepelných vazeb, dle normy volena $\Delta U_{TB} = 0,05 W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$ |
| $f_{U,k}$ | Opravný čítnel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování U-hodnot, volen $f_{U,k} = 1$ |
| $f_{ie,k}$ | Teplotní opravný čítnel, volen $f_{ie,k} = 1$ |

Zvolený objekt je tvořen sedmi typy oken s odlišnými rozměry skel a ráků. Ve zvolené normě je počítáno s jejich obsahy, které jsou uvedeny v tabulkách 8 a 9. Výpočet byl uvažován při zatažené obloze a s úplným zatažením tepelných a světelných clon.

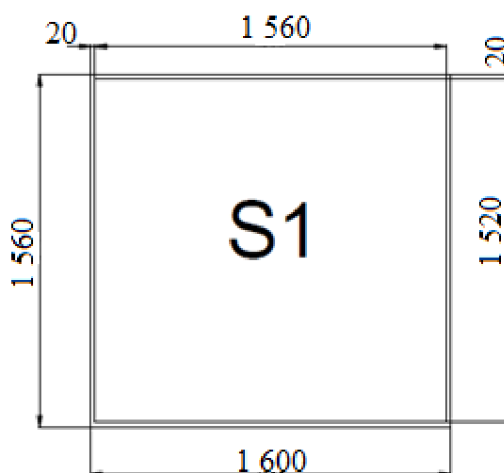
Tyto clony významně snižují tepelné ztráty a slouží také při regulaci množství přirozeného světa. V osvětlené části skleníku jsou instalovány horizontální clony pohlcující 51 % tepla a vertikální clony, které pohltí až 70 % tepla. V neosvětlené části jsou instalovány pouze horizontální clony, pohlcující teplo z 47 %. Dále je v tabulce 10 uveden vzorový výpočet pro sklo S1 u osvětlené části objektu (Obr. 3.3).

Tab. 8 Rozměry skel

| Sklo | Obsah [m^2] |
|------|-----------------|
| S1 | 2,371 |
| S2 | 1,872 |
| S3 | 3,143 |
| S4 | 4,064 |
| S5 | 6,470 |
| S6 | 2,219 |
| S7 | 1,139 |

Tab. 9 Rozměry ráků

| Rám | Obsah [m^2] |
|-----|-----------------|
| S1 | 0,125 |
| S2 | 0,096 |
| S3 | 0,129 |
| S4 | 0,142 |
| S5 | 0,235 |
| S6 | 0,121 |
| S7 | 0,091 |



Obr. 3.3 Rozměry okna S1

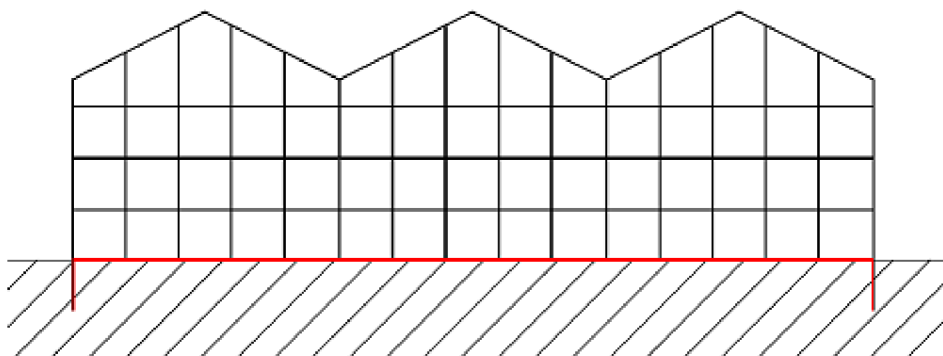
Tab.10 Tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí pro sklo S1 u osvětlené části skleníku

| | A_k [m ²] | $(U_k + \Delta U_{TB})$ | $H_{T,ieS1}$ [W·K ⁻¹] | $H_{T,ie,S1celkové}$ [W·K ⁻¹] |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|
| okno | 2,371 | 2,4067 | 1,7121 | 1746,315 |
| rám | 0,13 | 1,4069 | 0,1756 | 179,0960 |

3.3.2 Tepelný tok prostupem do zeminy $H_{T,ig}$

Při výpočtu tepelných ztrát skleníku je významná hodnota prostupu tepla do zeminy, a to z důvodu samotného konstrukčního řešení, kdy je podlaha tvořena pouze hlínou a netkanou textílií, v menší míře je zde železobetonový chodník.

Pro zajištění menší tepelné ztráty a stability teploty hlíny jsou dva způsoby. Prvním je umístění izolace po celé ploše podlahy objektu. Toto řešení je sice účinné, ale velice nákladné, vzhledem k životnosti skleníku. Druhým řešením, zvoleným v této realizaci, je využití svislé izolace, která je součástí základů jdoucích do hloubky jeden metr. V této hloubce je již stálá teplota hlíny a nedochází k jejímu zamrzání (obr. 3.4) [24, 25].



Obr. 3.4 Podlaha skleníku

V konečné koncepci je teplota zeminy výrazně ovlivněna topením položeným v těsné blízkosti podlahy. Výpočet je proveden dle rovnice:

$$H_{T,ig} = f_{\theta ann} \cdot \sum_k (A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}) \quad (3.3.6)$$

Kde:

| | |
|------------------|---|
| $f_{\theta ann}$ | Opravný činitel zohledňující vliv teploty v průběhu roku, volen $f_{\theta ann} = 1,45$ |
| $U_{equiv,k}$ | Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části v kontaktu se zemínou [W·K ⁻¹ ·m ⁻²] |
| $f_{ig,k}$ | Teplotní opravný činitel [-] |
| $f_{GW,k}$ | Opravný činitel zohledňující vliv spodní vody, volen $f_{GW,k} = 1$ |

Určení ekvivalentního součinitele prostupu je dáno normalizovaným výpočtem dle rovnice 3.3.7 a tabulky 11. Vzorový výpočet je uveden v tabulce 12 [24].

$$U_{equiv,k} = \frac{a}{b + (c_1 + B')^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{TB})^{n_3}} + d_1 \quad (3.3.7)$$

Tab. 11a Parametry pro výpočet $U_{equiv,k}$

| a | b | c ₁ | c ₂ | c ₃ | n ₁ | n ₂ | n ₃ | d ₁ |
|--------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0,9671 | -7,455 | 10,76 | 9,773 | 0,0265 | 0,5532 | 0,6027 | -0,9296 | -0,0203 |

Tab. 11b Parametry pro výpočet $U_{equiv,k}$

| z | B' | U_k | ΔU_{TB} | $U_{equiv,k}$ |
|---|--------|-------|-----------------|---------------|
| 1 | 68,455 | 1,342 | 0,05 | 0,091 |

Teplotní opravný činitel je vypočten dle rovnice 3.3.8:

$$f_{ig,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (3.3.8)$$

$$f_{ig,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{23,5 - 3,1}{25,3 - (-15)} = 0,5299$$

Tab. 12 Tepelný tok prostupem do zeminy pro podlahu osvětleného skleníku

| | A_k | $U_{equiv,k}$ | $A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}$ | $H_{T,ig} [W \cdot K^{-1}]$ |
|---------|----------|---------------|---|-----------------------------|
| Podlaha | 25006,32 | 0,091 | 1206,11 | 1748,869 |

3.3.3 Celková tepelná ztráta prostupem

V tabulce 13 jsou uvedeny tepelné toky prostupem tepla do venkovního prostředí v obou sklenících. Ve výpočtu je také zahrnuta ocelová konstrukce, která se nachází uvnitř objektu a zvyšuje tak odpor. Vzhledem ke komplikovanému stanovení byla tato hodnota volena jako 10 % celkového tepelného toku prostupem.

Tab.13 Tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$

| Okno ⁶ | $H_{T,ie, osvětlený} [W \cdot K^{-1}]$ | $H_{T,ie, neosvětlený} [W \cdot K^{-1}]$ | $H_{T,ie} [W \cdot K^{-1}]$ |
|-------------------|--|--|-----------------------------|
| S1 | 1 925,4105 | 2 470,6481 | 4 396,0590 |
| S2 | 345,1646 | 259,8692 | 605,0337 |
| S3 | 767,5563 | 433,7952 | 1 201,3510 |
| S4 | 535,6447 | 279,4309 | 815,0756 |
| S5 | 34 645,3193 | 9 613,6889 | 44 259,0100 |
| S6 | 467,9184 | 661,3008 | 1 129,2190 |
| S7 | 83,6490 | 114,7652 | 198,4143 |
| | 38 770,6628 | 13 833,4984 | 52 604,16 |
| Konstrukce | | | -5 260,416 |
| | | $H_{T,ie}$ | 47 343,7450 |

⁶ Okno = sklo + rám

Tab.14 Tepelný tok prostupem do zeminy $H_{T,ig}$

| Plocha | $H_{T,ig, osvětlený} [W \cdot K^{-1}]$ | $H_{T,ig, neosvětlený} [W \cdot K^{-1}]$ | $H_{T,ig} [W \cdot K^{-1}]$ |
|------------------------------|--|--|-----------------------------|
| Podlaha | 1 748,8692 | 685,3213 | 2 158,1226 |
| Chodník | 409,2533 | 169,5075 | 854,8288 |
| $H_{T,ig}$ | | | 3 012,9513 |

Celková ztráta prostupem tepla je dána dle rovnice 3.3.4. Při dosazení daných hodnot dostáváme celkovou ztrátu prostupem 2 027 745 W.

$$\begin{aligned}\Phi_{T,i} &= (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \\ \Phi_{T,i} &= (47\,343,7450 + 0 + 0 + 0 + 3\,012,9513) \cdot [23,5 - (-15)] \\ \Phi_{T,i} &= \mathbf{1\,938\,733,95\,W}\end{aligned}$$

3.4 Ztráty větráním

Podstatnou položku tepelných ztrát tvoří ztráty větráním. Ty jsou závislé na lokalitě, typu a využití stavby a teplotních podmínkách. Podle zvolené normy se ztráta vypočítá dle rovnice:

$$\Phi_{V,i} = q_{v,min,i} \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (3.4.1)$$

Kde:

| | |
|---------------|---|
| $q_{v,min,i}$ | Minimální objemový průtok vzduchu místností [$m^3 \cdot h$] |
| ρ | Hustota vzduchu [$kg \cdot m^3$] |
| c_p | Měrná tepelná kapacita vzduchu [$Wh \cdot kg^{-1}K^{-1}$]. |
| | Ve výpočtu je použita hodnota $\rho \cdot c_p = 0,34$ |

Minimální objemový průtok vzduchu místností je vyjádřen jako součin vnitřního objemu místnosti V_i a minimální intenzity větrání místností $n_{min,i}$, která je pro skleník volena 1,5. Výpočet $q_{v,min,i}$ je uveden v rovnici 3.4.2 [24].

$$q_{v,min,i} = V_i \cdot n_{min,i} \quad (3.4.2)$$

Celková ztráta větráním tedy závisí na velikosti objemu místností zvoleného objektu a minimální intenzitě větrání místností. Významný vliv mají i klimatické podmínky dané stavby.

V případě skleníků musí být uvažován i nezanedbatelný podíl vlhkosti, která musí být odstraňována. Z tohoto důvodu jsou tepelné ztráty větráním naddimenzovány o 10 %. Výsledné hodnoty ztráty větráním jsou uvedeny v tabulce 15. Celková ztráta větráním je 3 955 310 W.

Tab.15 Tepelná ztráta větráním

| Skleník | $V_i [m^3]$ | $q_{v,min,i} [m^3 \cdot h]$ | $\Phi_{V,i} [W]$ |
|--------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|
| Osvětlený | 144 896,92 | 217 345,38 | 2 845 051,02 |
| Neosvětlený | 38 232,00 | 57 348,00 | 750 685,32 |
| | | | 3 595 736,34 |
| Vlhkost | | | 359 573,63 |
| $\Phi_{V,i}$ | | | 3 955 309,98 |

3.5 Tepelné zisky

Tepelné zisky budov dělíme na vnitřní a vnější. Vnější jsou způsobeny vlivem slunečního záření a mohou nabývat vysokých hodnot. Ve výpočtu jsou tyto zisky zanedbány, a to v důsledku využití stínících clon, které je eliminují. Zanedbán je i vliv lidí vyskytujících se v objektu, jehož hodnota je v souvislosti s velikostí skleníku a počtem pracovníků minimální. Nejvýznamnějším vnitřním zdrojem jsou sodíkové lampy.

V případě využití umělého osvětlení dochází k poklesu hodnoty potřebného výkonu v závislosti na zvoleném typu světel. Do produkčních skleníků jsou zpravidla používány vysokotlaké sodíkové výbojky, mezi jejichž vlastnosti patří uvolňování většího množství tepla.

Teplo vyprodukované těmito světly je vypočteno podle rovnice 3.5.1 [25]. Celkový tepelný zisk osvětlení je 840 000 W.

$$Q_{SV} = c_s \cdot c_{zb} \cdot P_o \cdot n \quad (3.5.1)$$

Kde:

| | |
|----------|--|
| P_o | Příkon osvětlení, pro skleník P = 400 W |
| c_s | Součinitel současnosti používání svítidel, volen $c_1 = 0,7$ |
| c_{zb} | Zbytkový součinitel, volen $c_2 = 1$ |
| n | Počet světel, n = 3 000 |

3.6 Tepelný výkon

Tepelný výkon potřebný pro zajištění dostatečné dodávky tepla do zvoleného objektu se vyjádří pomocí rovnice 3.2.1. Hodnoty použité ve výpočtu jsou zaznamenány v tabulce 16 [24].

Tab. 16 Tepelný výkon

| | |
|---|--------------|
| Ztráta prostupem tepla $\Phi_{T,i}$ [W] | 2 027 744,46 |
| Ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W] | 3 955 309,98 |
| Trvalé tepelné zisky $\Phi_{gain,i}$ [W] | 840 000,00 |
| $\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i}$ $= 1 938 733,95 + 3 955 309,98 - 840 000,00 =$ $= 5 042 442,93 \text{ W} = 5 042,44 \text{ kW}$ | |

Důležitou úlohu pro tuto koncepci hrají tepelné clony. Ty velice významně snižují potřebný tepelný výkon, čímž zlepšují ekonomičnost celého projektu. V případě jejich odstranění by výsledný tepelný výkon vzrostl o 33,5 %. Vypočtené hodnoty pro tento případ jsou v tabulce 17.

Tab.17 Tepelný výkon bez vlivu tepelných clon

| | |
|--|--------------|
| Měrný tepelný tok prostupem do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ [W·K] | 101 308,30 |
| Měrný tepelný tok prostupem do zeminy $H_{T,ig}$ [W·K] | 3 012,95 |
| Ztráta prostupem tepla $\Phi_{T,i}$ [W] | 3 614 731,46 |
| Ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W] | 3 955 309,98 |
| Trvalé tepelné zisky $\Phi_{gain,i}$ [W] | 840 000,00 |
| $\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i}$ $= 3 614 731,46 + 3 955 309,98 - 840 000 =$ $= 6 730 041,44 \text{ W}$ | |

4 Roční spotřeba energie

4.1 Teplo

Produkční skleníky jsou provozovány celoročně. Je tedy důležité zjistit požadované množství tepla pro provoz v době topné sezony, ve zvolené lokaci trvající 263 dní. V letních měsících bývají prováděny údržbářské práce, případně je skleník ochlazován vodní mlhou. Není tedy potřeba dodávat teplo, jehož roční spotřeba se vypočte podle rovnice 4.1.1 [25].

$$Q_{VYT} = \frac{e_i \cdot e_t \cdot e_d}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot D \cdot \Phi_{HL,i}}{(\theta_{int,i} - \theta_{m,e})} \quad (4.1.1)$$

Pro výpočet byly zvoleny následující hodnoty v tabulce 18. Parametr D je závislý na počtu dní otopné sezony a teplot objektu a lokality [25].

Tab. 18 Výpočet roční spotřeby tepla na vytápění

| | |
|--|------|
| Nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem e_i | 0,9 |
| Snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci e_t | 0,85 |
| Zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu e_d | 0,98 |
| Účinnost možnosti regulace soustavy η_o | 0,95 |
| Účinnost rozvodu vytápění η_r | 0,98 |
| $D = d \cdot (\theta_{min,t} - \theta_{m,e}) = 263 \cdot (23,15 - 3,1) = 5\,365,2 \text{ K} \cdot \text{dny}$ | |
| $Q_{VYT} = \frac{0,9 \cdot 0,85 \cdot 0,98}{0,95 \cdot 0,98} \cdot \frac{24 \cdot 5\,365,2 \cdot 5\,042,44}{[23,5 - (-15)]} = 13\,042\,696,87 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ | |
| Přepočteno na $\text{GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$ | |
| $Q_{VYT} = Q_{VYT} [\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}] \cdot 3600 \cdot 10^{-6} = 46\,953,71 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$ | |

Roční spotřeba tepla na vytápění je $46\,954 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$. Na obr. 3.5. je znázorněn podíl požadovaného tepla v jednotlivých měsících. Ten je stanoven na základě vytápěcích denostupňů stažených k teplotě $23,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a vypočtené roční spotřebě tepla. Na základě výpočtu dle rovnice 4.1.2. [25] bylo pro topné období určeno $4\,467,3$ vytápěcích denostupňů.

$$D_{V23,5} = (\theta_{int,i} - \theta_{m,avg}) \cdot N_m \quad (4.1.2)$$

Kde:

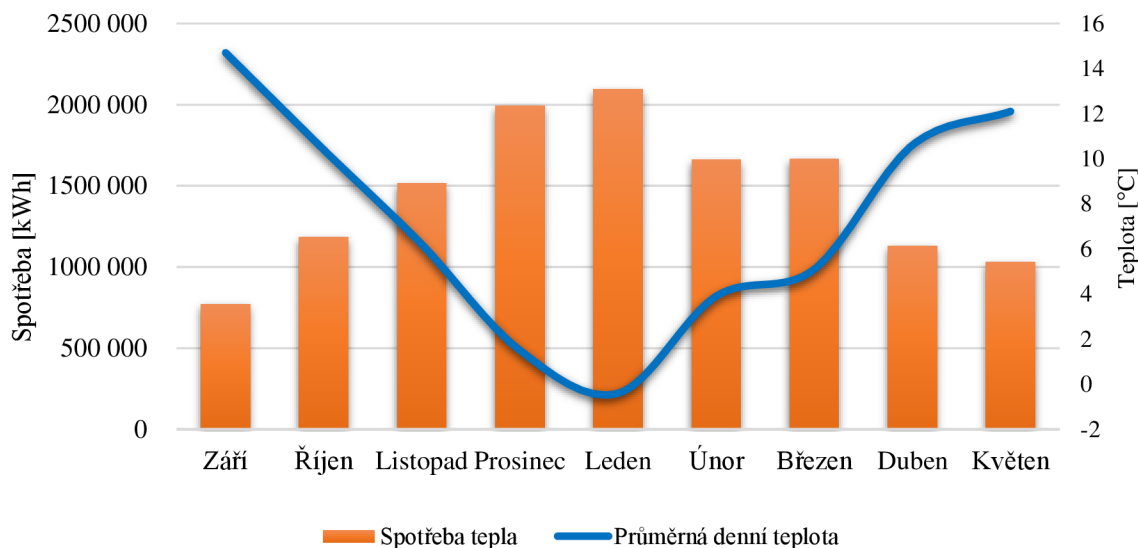
$\theta_{m,avg}$ Průměrná měsíční teplota [$^\circ\text{C}$], hodnoty voleny dle [26]
 N_m Počet dnů v měsíci [den]

Výsledná roční spotřeba tepla u zvoleného objektu je velice proměnná. Vzhledem k samotné funkci a použitým materiálům je patrné, že v případě změn počasí bude spotřeba kolísat. V tabulce 19 je uvedeno srovnání roční spotřeby vypočtené a dodané provozovatelem skleníku v Kožichovicích.

Tab. 19 Srovnání vypočtené a skutečné spotřeby tepla

| Spotřeba | Q_{VYT} [$\text{GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$] |
|-----------|---|
| Skutečná | 51 000 |
| Vypočtená | 46 954 |

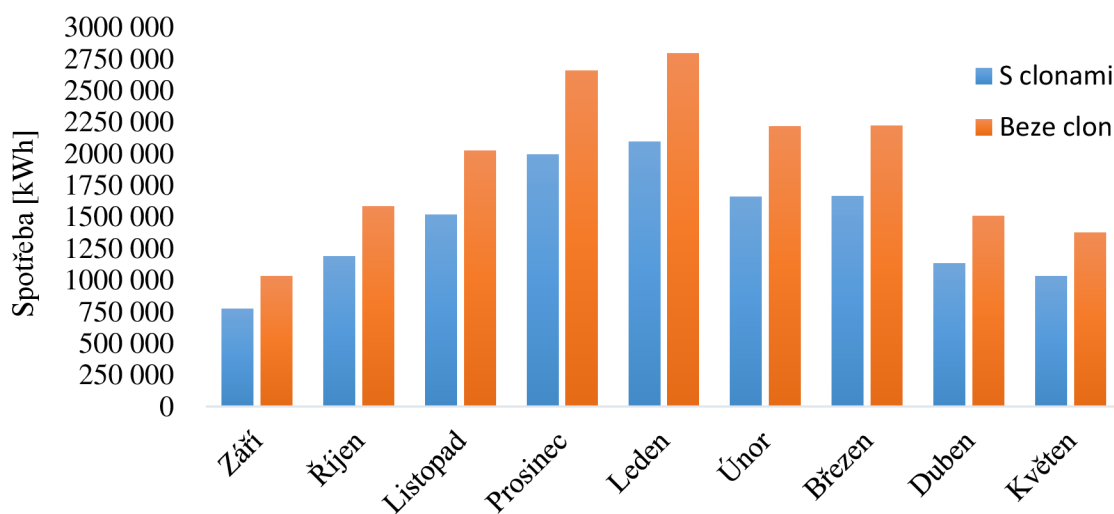
Z uvedeného grafu 4.1 vyplývá, že nejvyšší podíl tepla byl potřeba v měsíci lednu, kdy spotřeba přesáhla hodnotu 2 000 MWh, a to vzhledem k nejnižší průměrné teplotě během topného období 2019/2020 naměřené ve stanici Dukovany. Naopak nejméně tepla, kolem 750 MWh, bylo spotřebováno v září.



Obr. 4.1 Spotřeba tepla v jednotlivých měsících

Od provozovatele dodaná roční spotřeba tepla uvedená v tabulce 19 nabývá v porovnání s vypočtenou hodnotou vyšších hodnot. Tato skutečnost může být způsobena odlišnými klimatickými podmínkami, odlišnými parametry stavby či nedostatečností zvolené normy. Rozdíl mezi oběma hodnotami je nižší než 10 %, což by na výslednou realizaci nemělo mít podstatný vliv vzhledem k tomu, že skleník je velice citlivý na změnu venkovních teplot a při volbě vytápěcího systému je nutné k této skutečnosti přihlédnout.

Roční spotřeba tepla v případě neuvažování clon je vypočtena podle rovnice 4.1.1 a vypočtených hodnot z tabulky 17. Po dosazení je výsledek $Q_{VYT} = 62\,668,12 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$. Srovnání obou výsledných ročních spotřeb tepla je znázorněno v obr. 4.2.



Obr. 4.2 Srovnání spotřeby tepla v jednotlivých měsících v případě použití a nepoužití clon

4.2 Chlad

V teplých dnech, kdy je venkovní teplota vyšší než teplota uvnitř skleníku, dochází ke chlazení skleníku pomocí vodní mlhy. V následující kapitole je uveden zjednodušený výpočet spotřeby chladu. Ten je vztažen na hodnotu průměrné maximální venkovní teploty v letních měsících pro Třebíč $\theta_{c,e} = 25$ °C. Použité hodnoty jsou v tabulce 20. Rozměry a objemy objektu použité ve výpočtu jsou uvedeny v tabulkách 8, 9 a 15.

Tab. 20 Hodnoty použité pro výpočet chladicího výkonu

| | |
|--|-------|
| Teplota venkovního vzduchu $\theta_{c,e}$ [°C] | 25 |
| Vnitřní výpočtová teplota $\theta_{int,i}$ [°C] | 23,5 |
| Minimální intenzita větrání místnosti $n_{min,i}$ [-] | 1,5 |
| Součinitel prostupu tepla oknem U_{okno} [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$] | 2,357 |
| Součinitel prostupu tepla rámem $U_{rám}$ [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$] | 1,357 |

Konečný chladicí výkon je dán součtem tepelných toků prostupem stěnou $\Phi_{Tc,i}$, větráním $\Phi_{Vc,i}$ a slunečního záření $\Phi_{Sc,i}$ (3.8.1) V důsledku zatažení stínících clon je sluneční záření zanedbáno, případně je jeho teplo vyvětráno.

$$\Phi_{C,i} = \Phi_{Tc,i} + \Phi_{Vc,i} + \Phi_{Sc,i} \quad (4.2.1)$$

Tepelný tok prostupem stěnou se vypočítá jako součin plochy a součinitele prostupu tepla stejnou plochou podle rovnice 4.2.2. Výpočet pro okno S1 je uveden v tabulce 21 a jeho průběh je shodný s výpočtem v kapitole 3.3.1, liší se pouze použitými teplotami.

$$\Phi_{Tc,i} = U \cdot A_k \cdot (\theta_{c,e} - \theta_{int,i}) \quad (4.2.2)$$

Tab.21 Výpočet tepelného toku prostupem oknem S1 u osvětleného skleníku

| | A_k [m^2] | $(U_k + \Delta U_{TB})$ | $\Phi_{Tc,i,S1}$ [W] | $\Phi_{Tc,i,celkové}$ [W] |
|------|-----------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|
| Sklo | 2,371 | 2,4067 | 2,5682 | 2 619,473 |
| Rám | 0,13 | 1,4069 | 0,2634 | 268,644 |

Pro tepelný tok větráním jsou důležité intenzita výměny vzduchu, velikost objektu a klimatické podmínky. Ve výpočtu jsou použity stejné výpočetní parametry jako v kapitole 3.4, rozdílná je opět diference teplot. Tepelný tok větráním se vypočte podle rovnice 4.2.3.

$$\Phi_{Vc,i} = 0,34 \cdot V_i \cdot n_{min,i} \cdot (\theta_{c,e} - \theta_{int,i}) \quad (4.2.3)$$

Potřebné hodnoty tepelných toků stěnou a větráním jsou uvedeny v tabulce 22, jejíž součástí je i výpočet chladicího výkonu. Celkový chladicí výkon je 219 kW.

Tab.22 Celkový chladicí výkon

| | |
|---|--|
| Tepeľný tok stěnou osvětleného skleníku [W] | 58 155,9942 |
| Tepeľný tok stěnou neosvětleného skleníku [W] | 20 750,2476 |
| | $\Phi_{Tc,i}$ 78 906,24 |
| Tepeľný tok větráním osvětleného skleníku [W] | 110 846,1438 |
| Tepeľný tok větráním neosvětleného skleníku [W] | 29 247,4800 |
| | $\Phi_{Vc,i}$ 140 093,62 |

$$\begin{aligned} \Phi_{C,i} &= \Phi_{Tc,i} + \Phi_{Vc,i} + \Phi_{Sc,i} \\ &= 78\,906,242 + 140\,093,624 + 0 = \\ &= \mathbf{218\,999,8\,W = 219\,kW} \end{aligned}$$

Pro vyjádření celkové spotřeby chladu ročně je nutné znát počet chladících dnů. Ten můžeme stanovit z délky topného období. Pro Třebíč je tedy délka chladícího období 102 dní. Pro určení množství potřebného chladu je použita rovnice 4.2.4, následný výpočet spotřeby chladu je uveden v tabulce 23 [27].

$$Q_{CHLAD} = N_z \cdot y \cdot \Phi_{C,i} \quad (4.2.4)$$

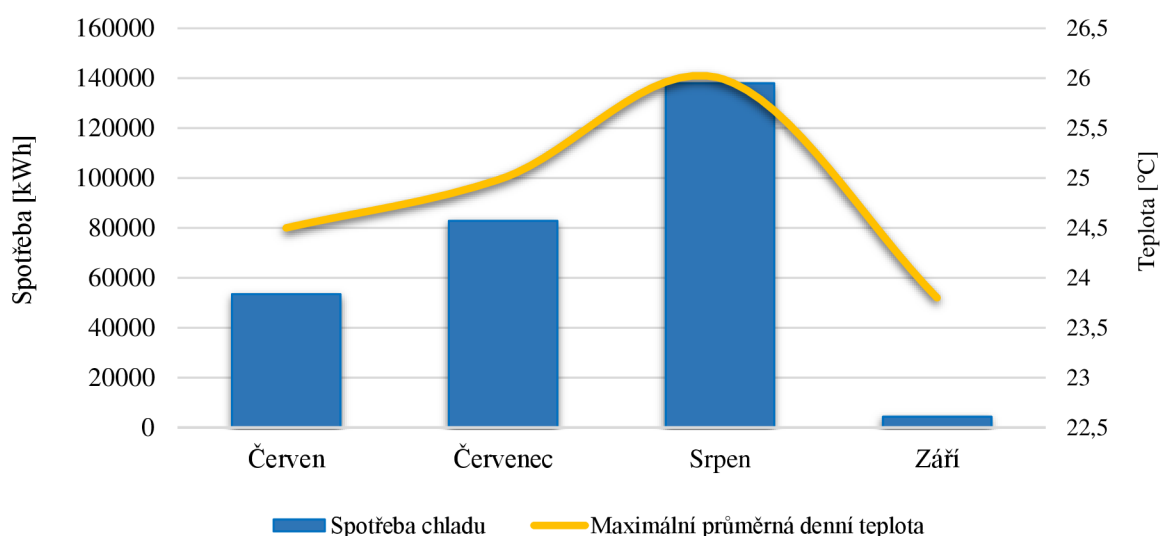
Kde:

N_z Počet chladících dní
 y Počet provozních hodin, voleno $z = 10$ hodin

Tab. 23 Spotřeba chladu

$$\begin{aligned} Q_{CHLAD} &= N_z \cdot z \cdot \Phi_{C,i} \\ &= 102 \cdot 10 \cdot 218,999 \\ &= 223,38 \text{ MW} \cdot \text{rok}^{-1} \end{aligned}$$

Spotřeba chladu v letních měsících vychází z průměrné maximální denní teploty pro okolí Třebíče [26]. Na grafu 4.3 je zobrazena spotřeba chladu, která je potřebná pro zajištění konstantní teploty ve skleníku. Ve skutečném provozu je potřeba chladu četnější a nepravidelnější. Tento graf je vztažen k délce topného období, pro které neuvažujeme klimatizování.



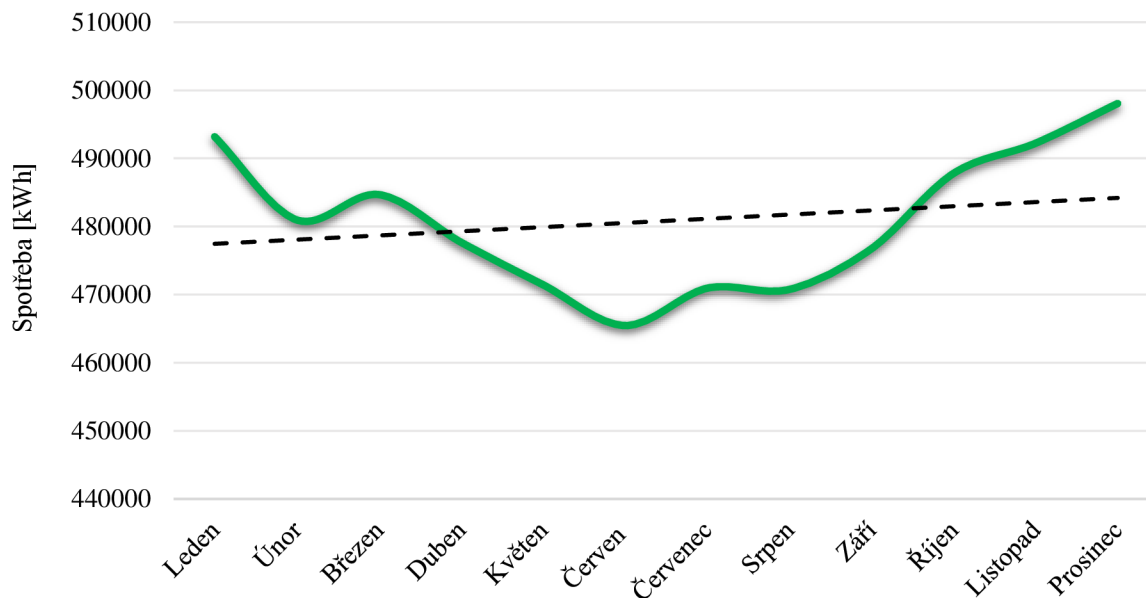
Obr. 4.3 Spotřeba chladu v létě

4.3 Elektřina

Porovnáním energií potřebných pro provoz skleníku je patrné, že nejpotřebnější je teplo. Nicméně vzhledem k potřebám pěstovaných rostlin a dalšího zpracování produktů je důležitá i elektrická energie. Potřebný elektrický výkon byl určen na základě roční spotřeby elektřiny zaslané provozovatelem skleníku. Ta dosáhla v období 2019/2020 na hodnotu $5\,770\,000 \text{ kW} \cdot \text{rok}^{-1}$. Požadovaný výkon byl stanoven na $1\,129,2 \text{ kW}$.

Pro ekonomické zhodnocení je stěžejní údaj o denní spotřebě elektřiny. Ta se liší v závislosti na délce slunečního svitu, času východu slunce, teplotě a době provozu [26]. Na

obrázku 4.4 je zobrazen průběh spotřeby elektřiny během měsíců. Nejméně elektřiny je odebíráno v létě, a to v důsledku vysoké intenzity slunečního záření. Naopak s přibývajícím množstvím chladných dnů, spotřeba podle grafu roste.



Obr. 4.4 Roční spotřeba elektřiny

4.4 Celková roční spotřeba

Tab.24 Celková roční spotřeba tepla, chladu a elektřiny pro skleník

| Měsíc | Teplo [kWh] | Chlad [kWh] | Elektřina [kWh] |
|---------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Leden | 2 093 348 | 0 | 493 186,35 |
| Únor | 1 659 497 | 0 | 480 971,07 |
| Březen | 1 665 336 | 0 | 484 688,36 |
| Duben | 1 129 882 | 0 | 477 696,20 |
| Květen | 1 031 784 | 0 | 471 451,67 |
| Červen | 0 | 24 105,65 | 465 470,17 |
| Červenec | 0 | 74 727,50 | 470 945,98 |
| Srpen | 0 | 124 545,83 | 470 767,20 |
| Září | 770 772 | 0 | 476 737,95 |
| Říjen | 1 185 647 | 0 | 487 795,01 |
| Listopad | 1 515 269 | 0 | 492 228,10 |
| Prosinec | 1 991 162 | 0 | 498 061,95 |
| Celkem | 13 042 697 | 223 378,98 | 5 770 000,00 |

5 Návrh systémů dodávky energie pro skleník

Produkční skleníky jsou velké objekty, pro jejichž provoz je dodávka tepla a elektřiny zásadní. Při výběru vhodného zdroje je důležité zvolit co nejefektivnější a nejlevnější způsob výroby. V současnosti je většina těchto skleníků v České republice zásobována energií z bioplynových stanic, jejíž součástí jsou kogenerační jednotky. Dalšími způsoby je přímé napojení na elektrárnu, kdy je teplo vedeno horkovodem přímo do skleníku, a kogenerační jednotka na zemní plyn.

Součástí každého vytápěcího systému těchto objektů je i záložní zdroj. Obvykle se jedná o kotel nebo kogenerační jednotku na zemní plyn. S ohledem na nestabilitu tepelných potřeb skleníků je pořízení záložní jednotky nutné [3].

Výběr vhodného způsobu zajištění dodávky energií je vždy posuzován pro konkrétní případ, který bývá ovlivněn rozdílnými faktory. Mezi důležité ukazatele schopnosti realizace patří:

- schopnost zajistit dostatečné množství energie,
- účinnost výroby,
- palivo,
- proveditelnost,
- potřebné stavební úpravy,
- životnost,
- náklady,
- údržba a servis,
- podpora státu.

V následujících kapitolách budou představeny způsoby vytápění a dodávky elektřiny do zvoleného skleníku, a to jak po technické, tak ekonomické stránce. Pro porovnání je zvoleno využití kogenerační jednotky využívající jako palivo zemní plyn a bioplyn, tepelné čerpadlo, kotel na zemní plyn a využití centrálního zásobování teplem⁷.

5.1 Chladicí zařízení

Cílem produkčních skleníků je co největší a nejvýnosnější produkce plodin bez ohledu na okolní podmínky. Z tohoto důvodu je nutné zajistit stálost vnitřní teploty po dobu celého roku. Pro provoz skleníku je nutné zařadit chladicí zařízení. Pro volbu tohoto stroje je stěžejní hodnota vypočteného chladicího výkonu, který je 212 kW a teplotní spád vody 14/7 °C. Skutečný chladicí výkon může nabývat i výrazně vyšších hodnot, a to v závislosti na klimatických podmínkách.

Pro výběr nejlepšího ze zvolených způsobů dodávky jsou pro chlazení uvažovány dvě varianty. Jedná se o absorpční jednotku a chlazení kompresorovou jednotkou.

V případě volby absorpčního chlazení je nutné zajistit celoroční dodávku tepla. Absorpční jednotky používají jako svoji hnací sílu tepelnou energii, kterou je nutné dodat. Množství potřebného tepla je voleno dle chladicího koeficientu, který je po konzultaci s vedoucím zvolen jako $COP_{CH} = 0,75$. S přihlédnutím na tuto skutečnost je podle rovnice 5.1.1. hodnota potřebného tepla na výrobu 212 kW chladu 283 kW tepla.

$$P_{MT} = \frac{P_{CH}}{COP_{CH}} \quad (5.1.1.)$$

⁷ Dále CZT

Pro dodávku chladu do skleníku byla zvolena absorpční jednotka BROAD BDH 21 XII 80/90-32/27-7,5/14,5-30 (obr.5.1), jejíž parametry jsou uvedeny v tabulce 25 [28].



Obr.5.1 Absorpční chladicí jednotka BROAD [28]

Tab.25 Pracovní parametry absorpční chladicí jednotky

| Parametry | Hodnoty parametrů |
|-----------------------|----------------------|
| Chladicí výkon | 240 kW |
| Účinnost chlazení COP | 0,75 |
| Spotřeba tepla | 320 kW |
| Teplota chlazená voda | 14,5/7,5 °C |
| Teplota chladicí voda | 27/32 °C |
| Teplota topná voda | 90/80 °C |
| Pracovní média | Voda – Bromid lithný |

Jako zdroj chladu je možné využívat i kompresorové chladicí jednotky. Ty pro svůj pohon potřebují elektrickou energii a jsou zcela nezávislé na dodávce tepla. Toto řešení je ideální, pokud je při provozu kogenerační jednotky větší přebytek elektrické energie oproti tepelné nebo je finančně výhodnější. Potřeba elektřiny dodané na provoz tohoto zařízení je stanovena na základě SEER a spotřeby chladu. Pro chlazení skleníku byla vybrána kompresorová jednotka NEPTUN TECH NET 110 (obr. 5.2) o parametrech uvedených v tabulce 26. Jedná se o vodou chlazené zařízení vhodné pro využití v průmyslových instalacích či pro větší potřebu chladu při stálých parametrech [29].



Obr.5.2 Kompresorová chladicí jednotka NEPTUN TECH NET 110 [29]

Tab.26 Pracovní parametry kompresorové chladicí jednotky

| Parametry | Hodnoty parametrů |
|-----------------------|-------------------|
| Chladicí výkon | 266 kW |
| SEER ⁸ | 6,3 |
| Vstupní teplota vody | 14 °C |
| Výstupní teplota vody | 7 °C |
| Typ kompresoru | SCROLL |
| Chladivo | R410A |

5.2 Akumulační nádrž

Akumulační nádrže slouží k uskladnění přebytku energie v případě nadbytečné produkce a jejímu uvolnění v době mimo provoz topného zařízení. Z konstrukčního hlediska se jedná o válcovou dobře izolovanou nádobu o vhodném objemu. Objem nádrže je obvykle volen jako padesátinásobek tepelného výkonu v kilowattech. To by v uvažovaném případě znamenalo instalaci nádrže o objemu 2 521 122 l, která by byla na základě porovnání s ostatními akumulacími nádržemi schopná nahromadit přibližně 86,98 MWh tepelné energie.

Pořízením akumulacích nádrží se snižují nároky na další doplňkové zdroje tepla. Takto uložené teplo je totiž možné využívat k vykrytí vysokých výkonů. K nabíjení nádrže dochází v případě přebytku energie, čímž umožňuje spalovacímu zařízení efektivnější chod [25,28].

5.3 Kogenerační jednotka

V případě volby kogenerační jednotky jako zdroje energie je důležité zvolit její primární a sekundární energii, podle kterých je výsledně dimenzována. To znamená, že může být volena na základě elektrického nebo tepelného výkonu, který vyrobí. Jelikož jsou skleníky stavěny s využitím nejnovějších metod a poznatků, je snaha využít veškerou energii s co nejmenším odpadem. Proto většina realizací využívá odpadní teplo vzniklé spalování.

Pro lepší využití kogenerační jednotky je možné ji instalovat jako součást většího celku, kde může být využita pro více objektů. Neobvyklá není ani instalace kogenerační jednotky společně s akumulací nádrží, v té dochází k uchování tepla po dobu, kdy zařízení nepracuje např. z důvodu nižších tarifů za elektřinu [3,16].

V realizaci s nestálou spotřebou tepla během roku je možné zvolit více kogeneračních jednotek o nižších výkonech. Toto uspořádání snižuje provozní náklady, neboť umožňuje snížení výroby energie podle dané situace.

Pro aplikaci v souvislosti s produkčními skleníky jsou využívány kogenerační jednotky s plynovými motory. Ty dosahují nejlepšího využití paliva a jejich konstrukce nevyžaduje turbínu, která má vliv na výslednou cenu. Jejich primární energií je elektrická energie, obvykle je tedy udán elektrický výkon [3,16,17].

Při volbě kogenerační jednotky je nutné stanovit počet provozních hodin zařízení. Provozní hodiny se stanovují v závislosti na roční spotřebě energie tak, aby byla výsledně zvolena kogenerační jednotka co nejefektivnější a zároveň bylo dosaženo nejlepších sazeb pro výkup energie. Tyto sazby jsou nejvýhodnější pro provoz 3 000 a 4 400 hodin ročně [25,30], což je ideální doba provozu daného zařízení. Vzájemný vztah mezi výkonem a provozními hodinami je vyjádřen rovnicí 5.4.1.

⁸ SEER = sezónní koeficient energetické efektivity

$$P_T = \frac{Q_{VYT}}{\tau} \quad (5.4.1)$$

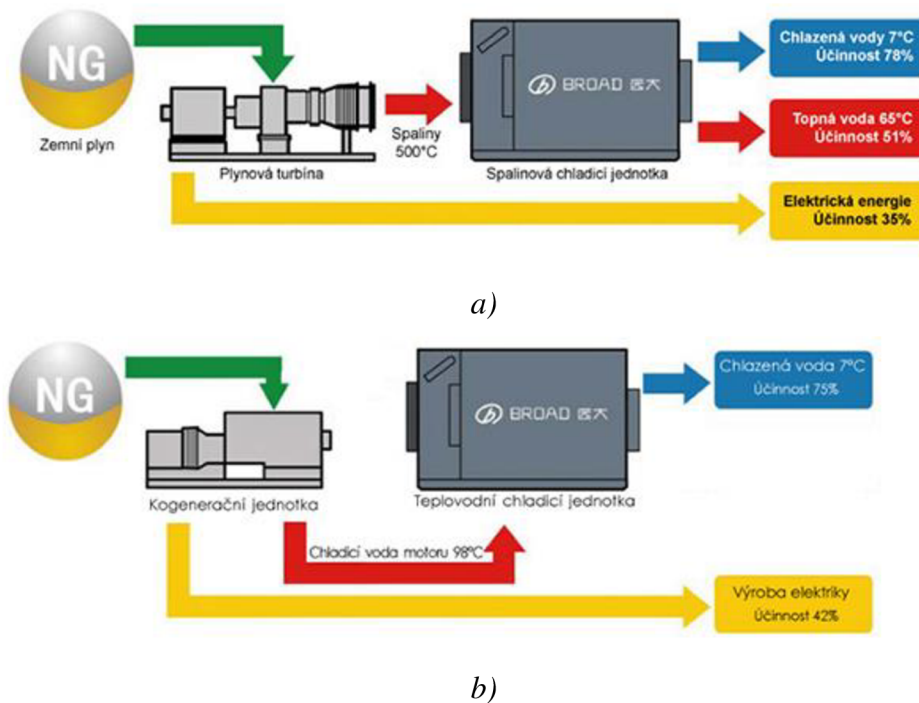
Kde:

P_T Tepelný výkon [kW]
 Q_{VYT} Spotřeba tepla na vytápění [kWh]
 τ Doba provozu [h]

Na základě provozních hodin je následně podle rovnice 5.4.2 stanoveno množství vyrobené elektřiny a tepla P_{VYR} , s čímž přímo souvisí výše výnosů z prodeje.

$$P_{VYR} = P \cdot \tau \quad (5.4.2)$$

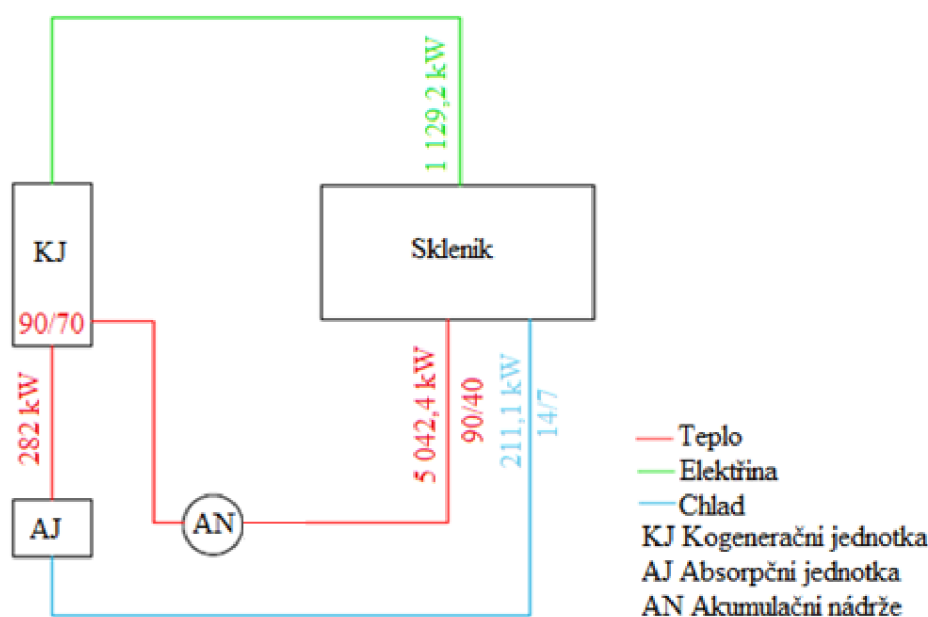
Chlazení v soustavě s kogenerační jednotkou je výhodnější v rámci tzv. trigenerace. Tento způsob uvažuje začlenění absorpční jednotky využívající buď teplo nebo spaliny z kogenerační jednotky (obr.5.3). Tato koncepce umožňuje jednotkám lepší provozní podmínky v letních měsících, kdy vyrobeným množstvím tepla zásobují chladicí zařízení.



Obr. 5.3. Schéma trigenerace využívající pro výrobu chladu a) spaliny b) teplo [28]

5.3.1 Samostatná jednotka na zemní plyn

Prvním řešením zásobování skleníku je využití kogenerační jednotky dimenzované čistě pro jeho potřeby (obr. 5.4). Ta je volena v kontejnerovém provedení a umístěna v těsné blízkosti objektu, čímž dochází k eliminaci ztrát. Součástí vytápění je akumulční nádoba, která poskytuje teplo v případě, že je kogenerační jednotka mimo provoz. Vzhledem k nestálosti dodávky tepla zvláště v letních měsících je přebytek tepla a elektřiny odváděn do centrálních sítí.



Obr. 5.4 Schéma zapojení kogenerační jednotky

Pro modelový případ byla po konzultaci zvolena kogenerační jednotka TEDOM QUANTO 2 000 SE o výkonu 2 MW (obr. 5.5). Jedná se o zařízení s plynovými motory, jehož palivem je zemní plyn. S ohledem na životní prostředí a růstové podmínky rajčat jsou využívány spaliny oxidu uhličitého.



Obr. 5.5 Kogenerační jednotka TEDOM QUANTO [30]

Tabulka 27 udává parametry navržené jednotky. V případě volby kogenerační jednotky o vyšších pracovních parametrech by sice došlo k pokrytí roční spotřeby ovšem za zhoršených pracovních podmínek, proto je tato varianta nevhodná. V tabulce 26 jsou uvedeny parametry obou zařízení [30].

Tab. 27 Parametry TEDOM QUANTO 2 000

| Parametr | Hodnota |
|----------------------------------|---------|
| Elektrický výkon [kW] | 2 000 |
| Tepelný výkon [kW] | 2 076 |
| Elektrická účinnost [%] | 43,7 |
| Tepelná účinnost [%] | 49,6 |
| Celková účinnost [%] | 93,2 |
| Spotřeba plynu [$m^3 \cdot h$] | 484,816 |
| Doba provozu [h] | 4 400 |

Zvolená kogenerační jednotka je navržena tak, aby dosáhla nejlepších hodnot pro výkup elektřiny, nicméně nepokryje celou roční spotřebu tepla. Jako špičkový zdroj je ke kogenerační jednotce zařazen kotel na zemní plyn o výkonu 900 kW, dále je možné využívat teplo akumulované v nádrži, které pokryje 86,98 MWh.

Na základě rovnice 5.4.2 je v následujícím výpočtu vyjádřeno množství vyrobeného tepla a elektřiny, při volbě provozních hodin 4 400. Vyrobené množství tepla a elektřiny je uvedeno v tabulce 28 [30].

$$P_{E,VYR} = P_E \cdot \tau = 2 \cdot 4\,400 = 8\,800 \text{ MWh}$$

$$P_{T,VYR} = P_T \cdot \tau = 2,076 \cdot 4\,400 = 9\,134,4 \text{ MWh} = 32\,883,8 \text{ GJ}$$

Tab. 28 Vyrobené množství tepla

| | Vyrobené teplo |
|-----------------------------|----------------|
| Kogenerační jednotka | 32 883 GJ |
| Teplo dodané dalšími zdroji | 14 116 GJ |

Na základě faktorů uvedených na začátku kapitoly, lze provést zhodnocení tohoto způsobu dodávky tepla, chladu a elektřiny. Výhody a nevýhody k využití samostatně stojící kogenerační jednotky jsou uvedeny v tabulce 29.

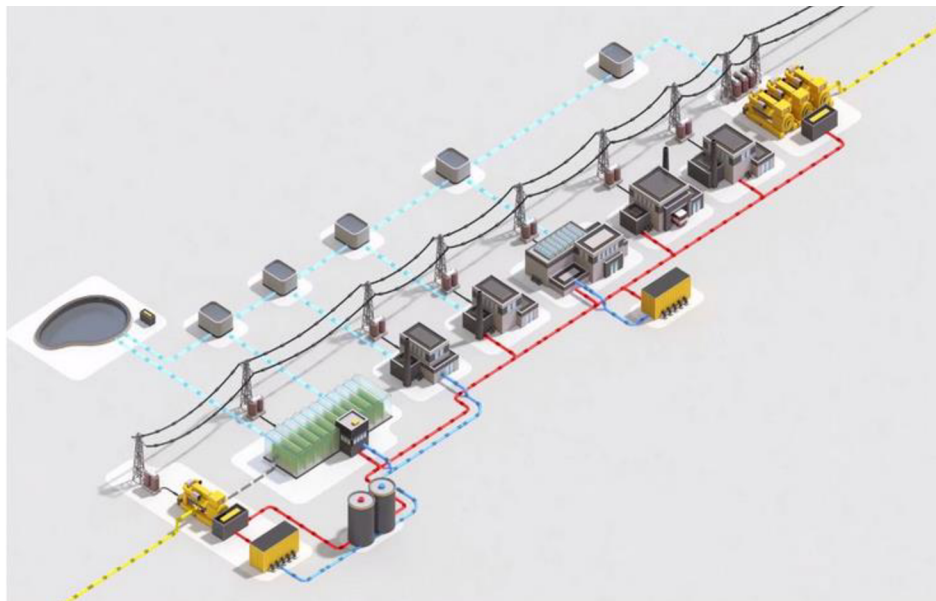
Tab. 29 Výhody a nevýhody samostatné kogenerační jednotky

| Výhody | Nevýhody |
|--|------------------------------------|
| Vlastní výroba elektřiny | Nutná plynová přípojka |
| Dobrá účinnost | Nutný špičkový zdroj |
| Možnost prodeje elektřiny, zelené bonusy | Závislost výroby elektřiny a tepla |
| Možnost zisku dotace | Hlučnost |

5.3.2 Průmyslové centrum Kožichovice

Pro co nejlepší využití energie je skleník součástí průmyslového parku, který má společný zdroj tepla a elektřiny. Jeho součástí je výroba plastů pro automobily, strojírenský a kovozpracující závod, autobusové depo, zmrzlinárna a skleník. Kromě těchto objektů jsou

součástí sítě i čtyři kogenerační jednotky, dvě absorpční jednotky, dvě akumulční věže a umělá laguna, sloužící jako zásobárna vody pro skleník (obr. 5.6).



Obr. 5.6 Průmyslový komplex Kožichovice [27]

Každý objekt tohoto komplexu má své specifické požadavky, které je nutné plnit. Proto je nutná schopnost rychlé reakce na změnu odběru. Nejnáročnějšími provozy jsou skleníky a výroba zmrzliny, které spotřebují velké množství tepla, resp. chladu. V případě přebytků je energie odváděna do místních sítí.

V kogeneračních jednotkách o celkovém výkonu 4 200 kW je spalován zemní plyn za účelem výroby elektrické energie. Konkrétně se jedná o soustavy čtyř kogeneračních jednotek BOOMEL NAT GAS (obr. 5.7) o výkonech 3 x 1 200 kW_e a 600 kW_e, ke kterým se vztahují parametry v tabulkách 30 a 31.



Obr. 5.7 Kogenerační jednotka BOOMEL NAT GAS [29]

Tab.30 Parametry kogenerační jednotky BOOMEL NAT GAS 1200

| Motor | CG 170-12 | | |
|-------------------------|--|-------|-------|
| Palivo | Zemní plyn; MČ= 80; $Q_i^r = 34 \text{ MJ} \cdot \text{Nm}^{-3}$ | | |
| Zátěž [%] | 100 | 75 | 50 |
| Elektrický výkon [kW] | 1 200 | 900 | 600 |
| Tepelný výkon [kW] | 1 354 | 1 054 | 754 |
| Teplota spalin [°C] | 614 | 507 | 362 |
| Spotřeba paliva [kW] | 2 843 | 2 191 | 1 538 |
| Elektrická účinnost [%] | 42,2 | 41,1 | 39,0 |
| Tepelná účinnost [%] | 44,1 | 45,6 | 47,7 |
| Celková účinnost [%] | 86,3 | 86,7 | 86,7 |

Tab.31 Parametry kogenerační jednotky BOOMEL NAT GAS 600

| Motor | CG 132B-12 | | |
|-------------------------|--|-------|------|
| Palivo | Zemní plyn; MČ= 80; $Q_i^r = 34 \text{ MJ} \cdot \text{Nm}^{-3}$ | | |
| Zátěž [%] | 100 | 75 | 50 |
| Elektrický výkon [kW] | 600 | 450 | 300 |
| Tepelný výkon [kW] | 734 | 584 | 434 |
| Teplota spalin [°C] | 410 | 434 | 458 |
| Spotřeba paliva [kW] | 1 390 | 1 071 | 757 |
| Elektrická účinnost [%] | 43,2 | 42,0 | 39,6 |
| Tepelná účinnost [%] | 44,7 | 45,6 | 47,6 |
| Celková účinnost [%] | 87,9 | 87,8 | 87,2 |

I když nejsou pro potřebu práce známy žádné údaje o době provozu jednotlivých kogeneračních jednotek, lze předpokládat, že nejsou celoročně v provozu všechna zařízení. Doba provozu jednotlivých jednotek lze stanovit úpravou rovnice 5.4.1 ve které jsou uvažovány tepelné výkony a spotřeba tepla, jejíž pokrytí je podstatnější.

BOOMEL NAT GAS 1 200:

$$\tau = \frac{Q_{VYT}}{P_T} = \frac{13\,261\,696,7}{1\,354} = 9\,632,7 \text{ hodin}$$

BOOMEL NAT GAS 600:

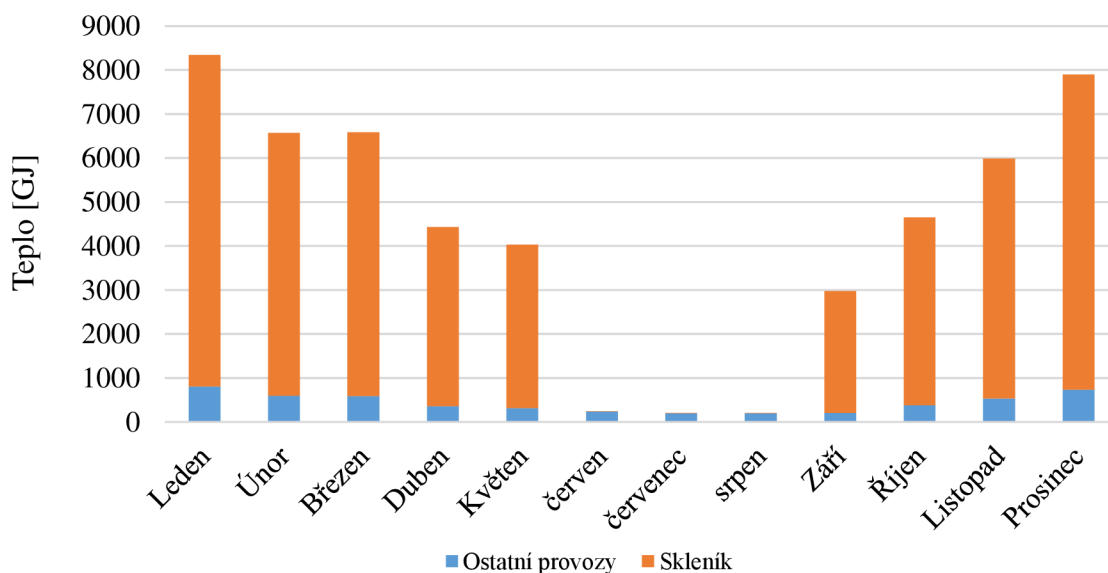
$$\tau = \frac{Q_{VYT}}{P_T} = \frac{13\,261\,696,7}{734} = 17\,769,3 \text{ hodin}$$

Vypočtené provozní hodiny demonstrují nutnost nasazení více zdrojů. Vzhledem k instalaci tří kogeneračních jednotek o výkonu 1 354 kW_t, je patrné, že tyto zařízení nepojedou na nejvyšší zatížení, ale budou se vzájemně doplňovat. Doba provozu je tedy stanovena na 3 000 hodin.

$$\tau = \frac{Q_{VYT}}{3 \cdot P_T} = \frac{13\,261\,696,7}{3 \cdot 1354} = 3\,264,8 \text{ hodin}$$

Období nejvyšší spotřeby bude pokrýváno poslední kogenerační jednotkou a kotlem na zemní plyn. Naopak v případě útlumu tepla se eliminuje i počet kogeneračních jednotek podle požadovaných parametrů.

Na grafu 5.8 je zobrazena roční spotřeba tepla v GJ. Vzhledem ke skutečnosti, že výpočet neuvažuje potřebu tepla pro TUV a nemá veškeré hodnoty pro určení přesné spotřeby, je patrné že dojde k nárůstu spotřeby tepla, zvláště v letních měsících.



Obr. 5.8. Spotřeba tepla v jednotlivých měsících

Odpadní teplo z těchto zařízení je dále rozváděno do objektů, kde slouží k vytápění, případně chlazení. Chlazení je realizováno pomocí dvou absorpčních jednotek, které chladí média na požadované parametry.

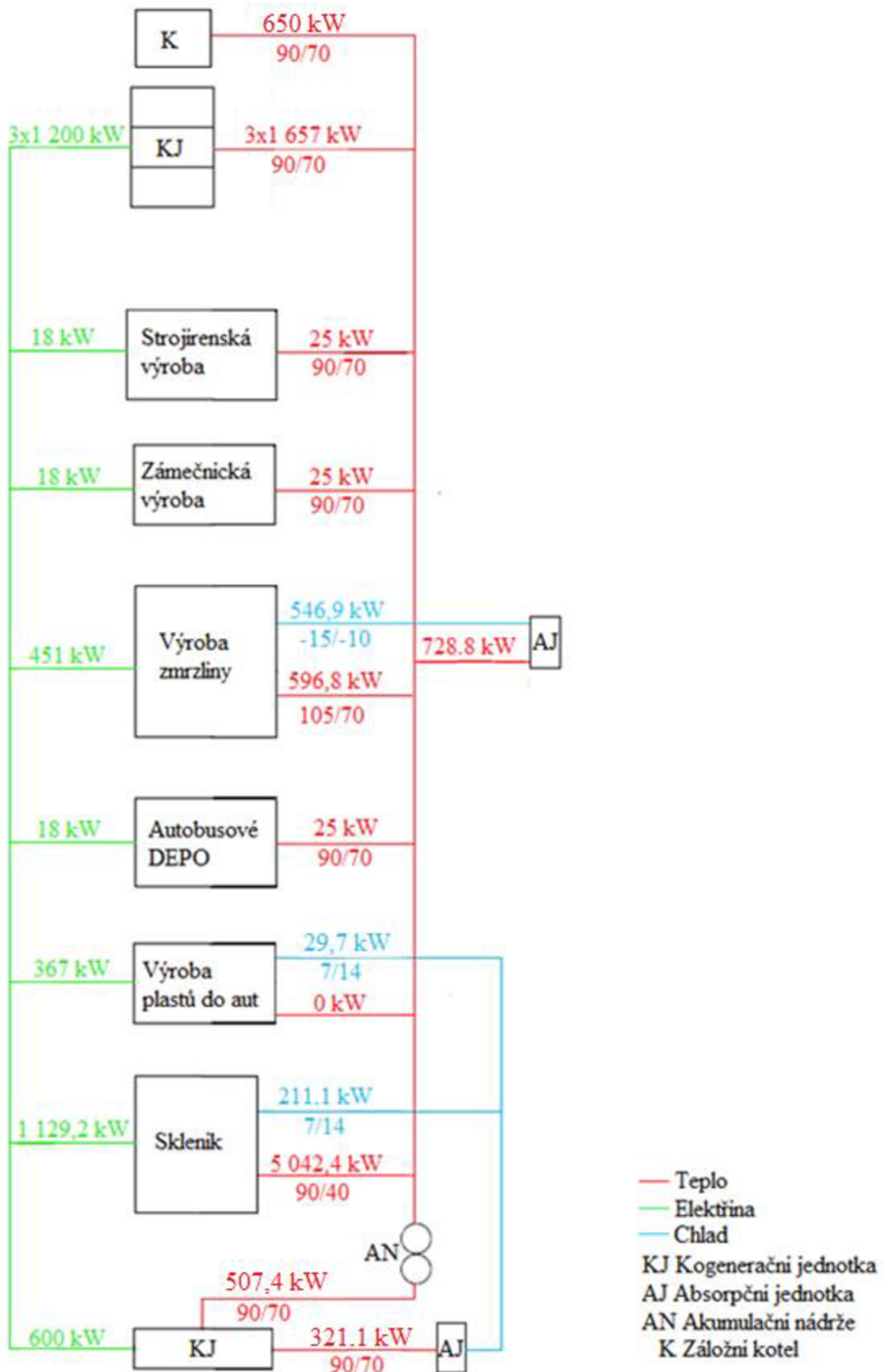
V první jednotce o výkonu 400 kW dochází k ochlazení vody na 7 °C. Ta je pak využita pro chlazení skleníku a výrobní haly pro automobily. Druhá absorpční jednotka je instalována čistě pro zmrzlinářskou výrobu. Dochází zde ke chlazení čpavku na - 15 °C, který je dále použit pro výrobu zmrzliny. Její výkon je 650 kW. Důležitou součástí tohoto areálu jsou akumulční nádrže o objemu 10 000 m³, které jsou schopné akumulovat přibližně 345 MWh tepla. Na obrázku 5.9. je zobrazeno schéma rozdělení maximálních tepelných, elektrických a chladicích výkonů pro dané objekty.

Jelikož se komplex snaží co nejefektivněji využívat získanou energii a další produkty, je u kogeneračních jednotek zřízen odběr spalin. Ze spalin je získán oxid uhličitý, který je dále veden do skleníku, kde podporuje fotosyntézu. Dalším zefektivněním je umělá laguna, do které je sváděna voda z celého komplexu. Její největší objem je použit ve skleníku [3,31]. Přehled parametrů průmyslového komplexu je v tabulce 32 [22,29]

Tab.32 Parametry průmyslové zóny

| Parametr | Hodnota |
|-------------------------------|---------|
| Elektrický výkon [MW_e] | 4,20 |
| Tepelný výkon [MW_t] | 5,86 |
| Chladicí výkon [MW] | 1,05 |
| Délka rozvodů tepla [km] | 2,5 |
| Délka rozvodů chladu [km] | 1,0 |

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Objem topné/chladicí vody [m^3] | 18 000 |
| Objem vody v laguně [m^3] | 1 300 |
| Objem akumulčních nádrží [m^3] | 1 000 |



Obr. 5.9 Schéma rozvodu energií s maximálními výkony

Tab.33 Požadované maximální výkony pro jednotlivé objekty

| | P_t [kW] | P_e [kW] | P_{ch} [kW] |
|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Skleník | 5 042,44 | 1 129,16 | 211,11 |
| Výroba zmrzliny | 596,83 | 563,70 | 546,58 |
| Plasty do aut | - | 458,22 | 29,71 |
| Ostatní | 75,12 | - | - |
| Σ | 5 714,39 | 2 151,08 | 787,39 |

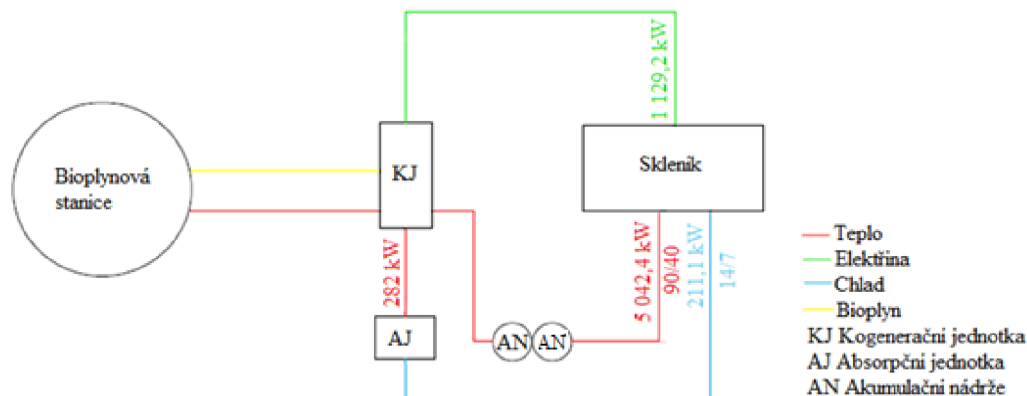
Celkový tepelný výkon potřebný v době maximální spotřeby tepla zahrnuje kromě požadavků na vytápění i množství tepla potřebného na chlazení čpavku pro výrobu zmrzliny a vody pro výrobu plastových komponent do automobilů. Celkový maximální požadovaný tepelný výkon je tedy 6 482,8 kW. Z tohoto důvodu je součástí instalace i kotel na zemní plyn, který je využíván jako záloha a slouží také pro pokrytí maximálního výkonu.

Tab. 34 Výhody a nevýhody více kogeneračních jednotek

| Výhody | Nevýhody |
|--|------------------------------------|
| Vlastní výroba elektřiny | Nutná plynová přípojka |
| Dobrá účinnost | Závislost výroby elektřiny a tepla |
| Možnost prodeje elektřiny, zelené bonusy | Cena |
| Možnost zisku dotace | Hlučnost |
| Efektivnější výroba energie než v případě jedné jednoho zařízení | Ztráty v rozvodech |
| Menší omezení provozu v případě poruchy | |
| Výhodné i pouze pro odkup energie | |

5.3.3 Bioplynová stanice s kogenerační jednotkou

Zpracování zemědělského odpadu patří k dlouhodobě využívaným trendům. Základním prvkem bioplynových stanic jsou fermentory, ve kterých dochází k tlení odpadu a uvolňování plynů, potřebných pro další využití. Instalace těchto stanic bývá nejčastěji ve velkých zemědělských objektech, které jsou velkými producenty biologického odpadu. Primární využití slouží v kombinaci s kogenerační jednotkou k výrobě elektřiny s velkým množstvím odpadního tepla. To je nadále využito pro vytápění zemědělských objektů a fermentorů (obr. 5.10).



Obr. 5.10 Schéma vytápění s využitím bioplynové stanice

Pořízení bioplynové stanice je v porovnání s kogenerační jednotkou dražší záležitostí. Nicméně vzhledem k současné energetické situaci v České republice jsou výstavby těchto stanic dotované. Jejich velkou výhodou oproti instalaci čistě kogenerační jednotky je vlastní zdroj paliva, který je pravidelně obnovován a na jeho využití je možné čerpat příspěvky od státu.

Také je možné při přebytku skladovat bioplyn do tlakových zásobníků a využít jej v případě potřeby. Nevýhodou je potřeba více výkonné kogenerační jednotky, neboť teplo je dodáváno do skleníku i pro zahřátí odpadu. Teplo dodané bioplynové stanici se liší druhem použitého organického odpadu a jeho podíl tvoří 10 % - 30 % vyrobeného tepla [5,16]. Pokud je tedy roční spotřeba tepla $Q_{VYT} = 46\,953,71 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$, tak v případě využití bioplynové stanice vzroste na $56\,344,45 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Na základě reálných instalací byl výkon bioplynové stanice stanoven na 2 MW s volbou dvou kogeneračních jednotek pro potřeby skleníku. Pro bioplynové stanice je podporovaná doba provozu 8 400 hodin ročně [5], proto je na základě této hodnoty a spotřeby tepla zvoleny jednotky KE - MTUBG 800 s parametry uvedenými v tabulce 35. Celková výroba tepla je $50\,924,2 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$, zbytek bude pokryt kotlem na zemní plyn nebo biomasu [32].

Tab. 35 Parametry kogenerační jednotky KE - MTUBG 800

| Motor | MTU 8V4000L32FB | | |
|--|---|-------|-------|
| Palivo | Bioplyn; MČ = 120; $Q_i^r = 21,6 \text{ MJ} \cdot \text{Nm}^{-3}$ | | |
| Zátěž [%] | 100 | 75 | 50 |
| Elektrický výkon [kW] | 776 | 582 | 388 |
| Tepelný výkon [kW] | 842 | 680 | 509 |
| Spotřeba paliva [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$] | 309 | 238,5 | 169,3 |
| Elektrická účinnost [%] | 41,9 | 40,7 | 38,5 |
| Tepelná účinnost [%] | 45,4 | 47,5 | 50,1 |
| Celková účinnost [%] | 87,3 | 88,2 | 88,2 |

Vstupní surovinou do bioplynových stanic jsou rostlinné nebo živočišné odpady, které bývají většinou produkovány v blízkosti stanice. V případě pořízení bioplynové stanice bez vlastního zdroje odpadu je nejvýnosnějším odpadem kukuřičná a travní senáž [5].

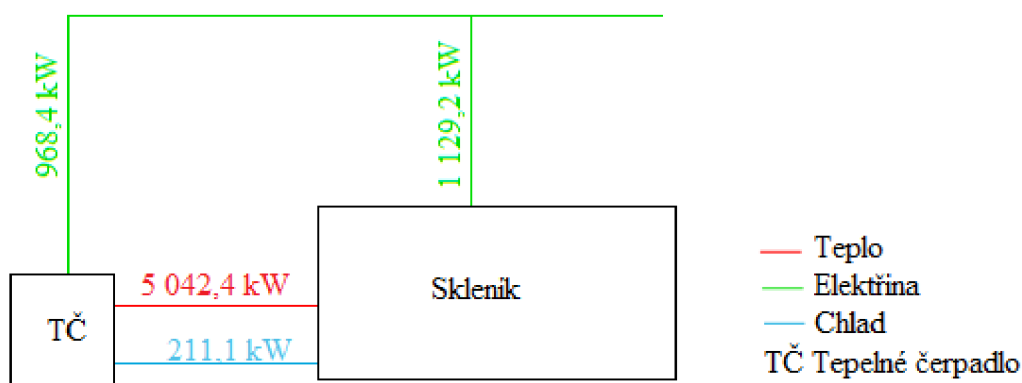
Tab. 36 Výhody a nevýhody realizace bioplynové stanice

| Výhody | Nevýhody |
|--|------------------------------------|
| Vlastní výroba paliva | Nutná plynová přípojka |
| Skladování bioplynu | Delší provozní doba - opotřebení |
| Možnost zisku dotace a příspěvku za likvidaci odpadu | Závislost výroby elektřiny a tepla |
| Ideální pro zemědělská družstva | Zápach z likvidovaných odpadů |
| Vlastní výroba elektřiny | Horší výhřevnost bioplynu |
| Možnost prodeje elektřiny, vyšší zelené bonusy | Požadavky na velikost pozemku |
| Likvidace odpadů | Teplo je potřebné i pro BPS |

5.4 Tepelné čerpadlo/klimatizační jednotka

Příkladem nízkoteplotního vytápěcího systému je použití tepelného čerpadla/klimatizační jednotky (obr. 5.11). To je schopné zajistit v teplých dnech i chlazení objektu. Instalace tepelného čerpadla jako zdroje tepla je pro zvolený příklad složitější, jelikož se nejedná o klasický případ využití. Důvodem je to, že klasická nabídka tepelných čerpadel v České republice není pro pokrytí roční spotřeby dostatečná.

Teoreticky by bylo možné využívat několik kaskádově uspořádaných zařízení pro pokrytí požadovaného výkonu. Konkrétní případ by musel být řešen projekční firmou, proto je pro potřeby diplomové práce použit v tabulce hrubý odhad ceny. Podle zahraničních realizací je zvoleno tepelné čerpadlo o výkonu 2,7 MW od firmy KRONOTERM d.o.o, která zajišťuje dodávku energie pro produkční skleník Lůšt ve Slovinsku. Jedná se o tepelné čerpadlo země/voda s hlubinnými vrty, jehož COP je 5,31 [33]. Tepelné čerpadla se v České republice využívají pro vytápění zahradních skleníků spíše v kombinaci s vytápěním rodinného domu.



Obr. 5.11 Schéma vytápění tepelným čerpadlem

Pro konkrétní realizaci je možné použít typ země/voda s plošnými kolektory nebo vrty či voda/voda. V případě položení plošných kolektorů je nutné počítat s velkou plochou, na které nemůže být nic dalšího postaveno či pěstováno. Dalším řešením je typ voda/voda, kde je teoreticky možné umístit kolektory do vodní laguny, která slouží jako zdroj vody pro skleník. V tomto případě je nutné s touto informací pracovat již v návrhu vodní plochy.

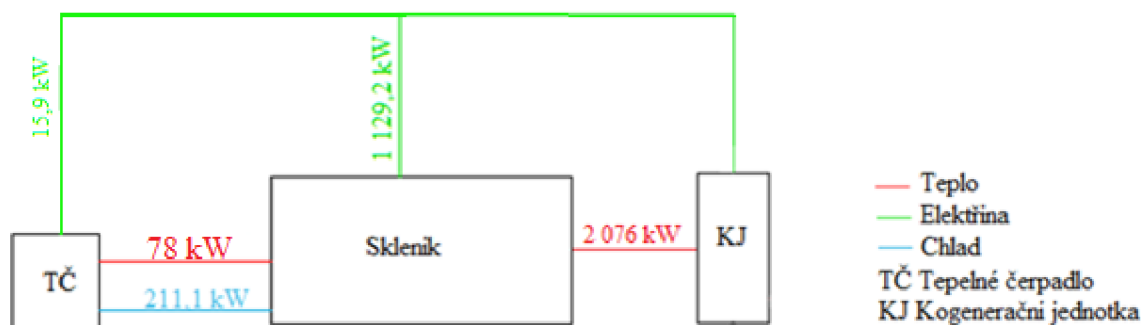
Možným způsobem pro instalaci tepelného čerpadla je jeho kombinace s kogenerační jednotkou (obr. 5.12) uvedenou v kapitole 5.4.1 poskytovanou firmou TEDOM. Jedná se o tepelné čerpadlo MasterTherm AQ 75 ZHX používané pro rekuperaci tepla v průmyslových instalacích. Parametry udává tabulka 37.

Tab. 37 Parametry tepelného čerpadla MasterTherm AQ 75 ZHX

| Parametry | Hodnoty |
|----------------|---------|
| Tepelný výkon | 78,1 kW |
| Chladicí výkon | 65,5 kW |
| COP | 4,9 |
| Chladivo | R134a |

Toto čerpadlo tvoří část tepla a v letních měsících je používáno k chlazení. Z tohoto důvodu není nutné pořizovat chladicí zařízení. Stejně jako v případě samostatné kogenerační

jednotky musí být i v tomto případě doplněn špičkový zdroj nebo tepelné čerpadlo dostatečného výkonu.



Obr. 5.12 Schéma vytápění kogenerační jednotkou a tepelným čerpadlem

Vytápění pomocí tepelného čerpadla je trendem posledních dvaceti let a jeho obliba stále roste. Rozmáhající se je i jeho aplikace v průmyslových instalacích a může být jen otázkou času, kdy bude i u nás používáno pro vytápění a chlazení produkčních skleníků. Možné výhody a nevýhody jeho pořízení jsou uvedeny v tabulce 38.

Tab. 38 Výhody a nevýhody tepelného čerpadla

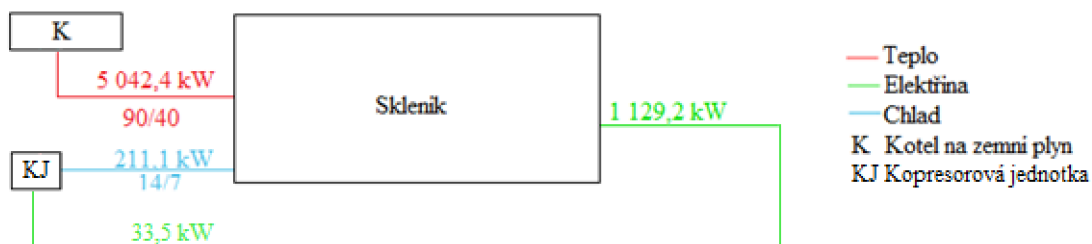
| Výhody | Nevýhody |
|--|--|
| Není závislé na dodávce plynu | Požadavky na pozemek – kolektory, vrty |
| Dobrá účinnost | Nutnost provést geologický průzkum |
| Využití i jako klimatizační jednotka | Pořizovací náklady |
| Tichý chod | Nebezpečí výpadku elektřiny |
| Možnost obdržení dotace či jiné formy státní podpory | |

5.5 Kotel na zemní plyn

Využití kotlů pro vytápění skleníku bylo časté hlavně v minulosti. Dnes jsou instalovány spíše do menších či středních skleníků, a to díky svým nízkým pořizovacím nákladům a snadné instalaci. Jako vhodné palivo se jeví zemní plyn a biomasa.

V navrhovaném modelu je dodávka tepla zajištěna dvěma aplikacemi s využitím kotle na zemní plyn, který je umístěn v kotelně u skleníku (obr. 5.13). První variantou je instalace jednoho kotle, druhá varianta uvažuje soustavu dvou kotlů. Ztráty přenosem jsou tedy minimální. Jelikož kotel zajišťuje pouze dodávku tepla, je dodávka elektrické energie zajištěna odběrem z distribuční soustavy, z čehož je patrné, že provozní náklady nebudou zanedbatelnou položkou rozpočtu.

Otázku chlazení při použití kotle je nutné řešit již při výběru vhodného zařízení. U absorpčního chlazení je nutné stanovit, zda se vyplatí provoz kotle na požadovaný výkon a jak velká může být spotřeba tepla v teplých měsících. S ohledem na tuto skutečnost a také na cenu absorpční jednotky je zvolena kompresorová chladicí jednotka.



Obr. 5.13 Schéma vytápění kotlem na zemní plyn

5.5.1 Samostatný kotel

Jako zdroj tepla byl po konzultaci s odborníkem zvolen nízkotlaký teplovodní kotel VITOMAX LW M62 D005 (obr. 5.14) se spalínovým ekonomizérem, který je dodáván v rozmezí výkonů 2,3 – 9 MW. S ohledem na životní prostředí je možné kotel pořídit v provedení Low- No_x , kdy je obsah emisí No_x pod $70 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^3$, další parametry obsahuje tabulka 39 [34].



Obr. 5.14 Kotel VITOMAX LW M62 D005 [34]

Tab. 39 Parametry kotle VITOMAX LW M62 D005

| Parametry | Hodnoty parametrů |
|----------------------------------|-------------------|
| Výkon [kW] | 5 000 |
| Účinnost [%] | 95 % |
| Teplota vstupní/vratné vody [°C] | 90/70 |
| Provozní tlak | 6-10 bar |

Celková účinnost kotle je 95 %, a to díky zařazení spalínového výměníku, který účelně využívá latentního tepla spalín.

V případě pořízení jednoho kotle je nutné znát jeho minimální výkon a schopnost regulace. Tyto hodnoty mají přímý vliv na jeho funkci. Z praktického hlediska není volba tohoto kotle úplně výhodná, a to z důvodu ukončení výroby tepla v případě poruchy.

5.5.2 Soustava dvou kotlů

Jelikož se kotle navrhují podle vypočtené tepelné ztráty vztažené k tabulkové hodnotě teploty, je patrné že ve zvoleném případě nebude výkon kotle po celý rok stoprocentní. V případě volby kotle je praktičtější zvolit dvě zařízení, které pokryjí 60 % tepelných ztrát. To znamená, že jejich celkový výkon bude o něco vyšší než výkon požadovaný výpočtem.

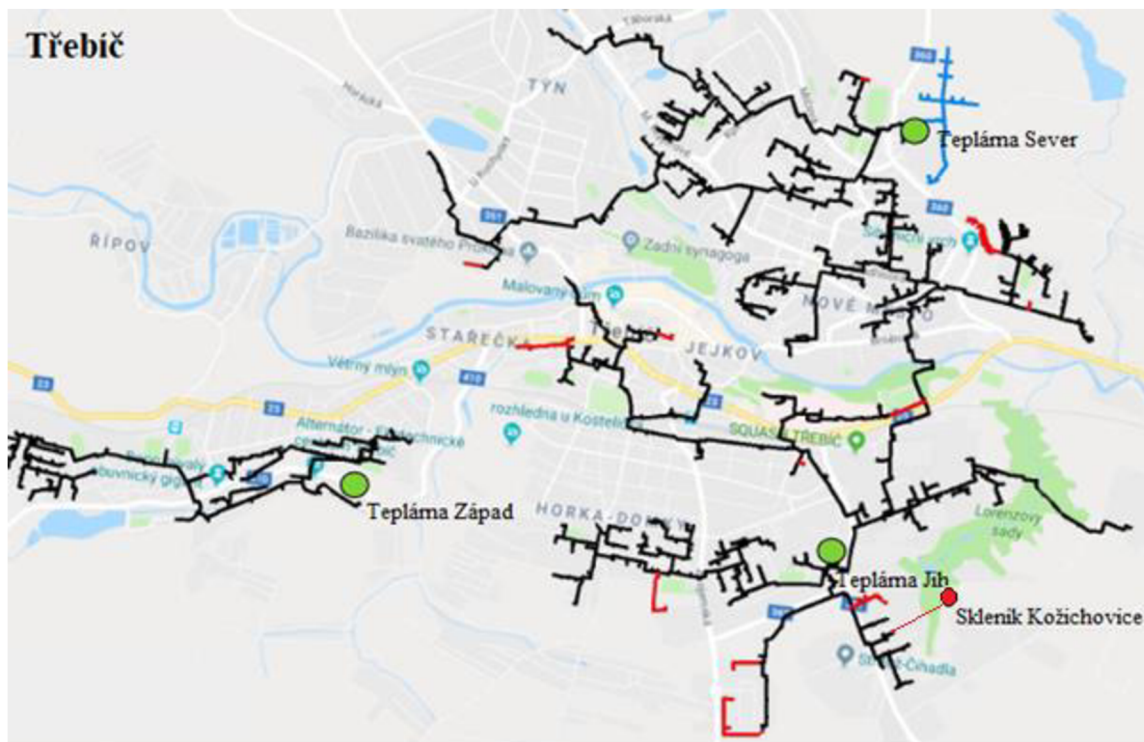
Výhodou tohoto uspořádání je zlepšení životnosti kotlů, které pracují při lepších parametrech, a možnost pokrytí tepla i v případě poruchy. V případě malé spotřeby tepla může být v provozu pouze jeden a druhý slouží jako záloha. Pro vytápění skleníku byly zvoleny kotle stejného typu VITOMAX LW M62 jako v předešlém případě s výkonem 2 x 3 MW [34].

Tab. 40 Výhody a nevýhody plynového kotle

| Výhody | Nevýhody |
|--------------------------------|---|
| Lze použít více druhů paliv | V případě instalace jen jednoho kotle hrozí v případě poruchy přerušeni dodávky |
| Jednoduchá obsluha i realizace | Drahý provoz |
| Delší doba najíždění | Nutnost výstavby kotelny |
| Rychlé řešení | Horší účinnost |
| | Nezajišťuje dodávku tepla pro chlazení |

5.6 Teplo z CZT

V případě vhodného umístění skleníku, je možné využívat tepla a elektřiny z blízkého energetického zdroje, v tomto případě je zdrojem Třebíčská teplárna Jih. Ideálním pro objekt je z tohoto zdroje odebírat i elektřinu. Skleník je tedy uvažován jako součást místního CZT (obr. 5.14). Elektřina je se smluvně určenou sazbou dodávána od místního dodavatele společnosti E.ON. Nevýhodou zásobování teplem z CZT je proměnlivost ceny tepla, která je, mimo jiné, určována cenou emisních povolenek.



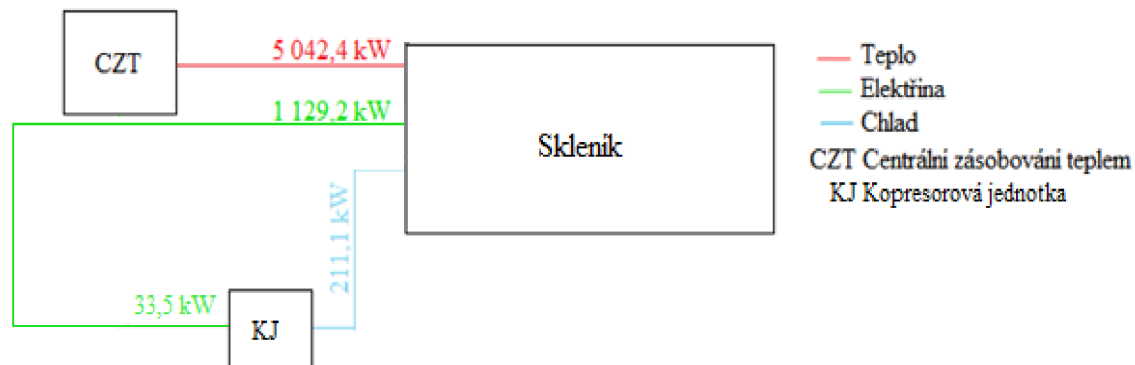
Obr. 5.14 Schéma rozvodů tepla v Třebíči [35]

Třebíčské CZT pokrývá téměř celou rozlohu města a jeho nejbližšího okolí. TTS Třebíč je tvořena třemi kotelnami, jejíž součástí jsou kotle na dřevní štěpku a slámu, kogenerační jednotka a zařízení s ORC. Z důvodu účinného spalování biomasy je cena tepla v Třebíči mezi nejnižšími v republice. Vzhledem k instalaci kogenerační jednotky a využití ORC vyrábí teplárna i nezanedbatelné množství elektřiny. Ta je dále odprodávána velkým objektům a průmyslovým výrobám [35].

V letních měsících, kdy je potřeba ochlazovat vzduch ve skleníku je nutné využívat chladicí zařízení. Pro porovnání jsou uvedeny náklady na absorpční chladicí jednotku odebírající teplo a kompresorovou chladicí jednotku spotřebovávající elektřinu (obr. 5.15).



a)



b)

Obr. 5.15 Schéma vytápění pomocí CZT s a) absorpční jednotkou b) kompresorovou jednotkou

Náklady na připojení k CZT jsou vztaženy k vybudování rozvodů v délce přibližně 2 kilometry, kdy se cena za 1 metr potrubí včetně práce pohybuje kolem 50 000 Kč.

Při připojení k centrálnímu zásobování teplem roste vliv ztrát v potrubí, které jsou vztaženy na délku a typ potrubí. Pro třebíčské horkovody a teplovody jsou ztráty vlivem dobrých izolačních schopností trubek nízké a pohybují se kolem 10 % roční spotřeby. Výhody a nevýhody jsou uvedeny v tabulce 41.

Tab. 41 Výhody a nevýhody zásobování tepla pomocí CZT

| Výhody | Nevýhody |
|---|----------------------------|
| Malé nároky na údržbu | Nutnost rozvodů tepla |
| Možnost spolupráce mezi skleníkem a CZT | Ztráty v rozvodech tepla |
| Nejméně náročná realizace | Cena |
| | Omezeno kapacitou teplárny |

5.6.1 Spolupráce skleníku s CZT

Systém dodávky energie využívaný v Kožichovicích je napojen na třebíčskou teplárnu, kam po dohodě s vedením TTS Energo dodává tepelné přebytky. Možnost propojení zařízení vyrábějící teplo s centrální sítí zásobováním teplem je zajímavé řešení, které teoreticky umožňuje větší výrobu tepla v letních měsících, a tím zlepšení ekonomičnosti celého systému vytápění.

Napojení skleníku na CZT za účelem dodávky tepla je založeno na dohodě mezi provozovatelem skleníku a vedením teplárny. Dohoda musí obsahovat množství dodaného tepla, pravidelnost dodávek a cenu za dodané teplo. V případě uskutečnění takovéto úmluvy je nutné vybudovat rozvody tepla, které navyšují pořizovací náklady. Výhodnost takového typu spolupráce je závislá na ceně rozvodů tepla a potenciálním výdělkem z odvodu tepla.

5.7 Regenerace tepla

Produkční skleníky spotřebují veliké množství tepla, které musí být, v případě přebytku, nějakým způsobem odvedeno. K tomuto účelu je využíváno přirozené větrání pomocí velkých oken, případně v kombinaci s ventilátory.

S ohledem na množství odcházejícího tepla se nabízí možnost jeho zpětného získání pomocí regeneračního výměníku. Odpadní teplý vzduch by tedy teoreticky mohl posloužit jako zdroj tepla pro další provoz. Toto uspořádání by bylo možné v případě umístění skleníku v rámci zemědělského podniku, kde je teplý vzduch v letních měsících potřeba k sušení.

V reálném provozu se v České republice podle dostupných informací regenerace tepla nevyužívá, a to z důvodů nárůstu počáteční investice a nevýhodnosti samotného řešení. Pro provozovatele skleníku je tedy jednodušší odpadní vzduch odvést okny, i z toho důvodu, že je nutné rajčatům dodat kyslík.

6 Ekonomické zhodnocení systémů

Následující kapitola je věnována ekonomickému zhodnocení vybraných realizací pomocí pořizovacích a provozních nákladů. Pro jejich vyjádření je uvažováno s ročními spotřebami energií uvedených v tabulce 42.

Tab. 42 Spotřeby jednotlivých energií pro produkční skleník

| Energie | Spotřeba |
|------------------------|----------|
| Teplo v <i>GJ</i> | 46 953,7 |
| Elektřina v <i>MWh</i> | 5 770,0 |
| Chlad v <i>MWh</i> | 236,4 |

Ceny za požadované produkty jsou stanoveny na základě zvolených dodavatelů elektřiny, tepla a zemního plynu a uvedeny v tabulce 43. Zemní plyn a elektřina jsou dodávány firmou E.ON [36], teplo dodává TTS Energo [35]. Pro výpočet je stanovena individuální sazba pro velkoodběratele, které je o 50 % - 70 % nižší než v případě normálního odběru.

Tab. 43 Ceny plynu, elektřiny a tepla

| | Cena [Kč] |
|---|-----------|
| Zemní plyn v <i>Kč·MWh⁻¹</i> | 538,2 |
| Elektřina v <i>MWh</i> (50% snížení) | 2 458,7 |
| Elektřina v <i>MWh</i> (70% snížení) | 1 475,2 |
| Elektřina pro TČ v <i>MWh</i> | 2 072,0 |
| Teplo v <i>GJ</i> | 220,0 |

Pro výrobu chladu jsou ve všech vybraných realizacích uvažovány kompresorová a absorpční chladicí jednotka. Při volbě absorpční jednotky je tedy potřeba tepla navýšena o teplo potřebné pro chlazení, a to na 47 904,9 *GJ*. U kompresorové jednotky spotřeba elektřiny vzroste na 6 044,1 *MWh*. Volba chladicí jednotky je ovlivněna i pořizovací cenou. Náklady na zvolené jednotky jsou uvedeny v tabulce 44.

Tab. 44 Pořizovací ceny chladicích jednotek

| Chladicí jednotka | Pořizovací náklady [Kč] |
|-------------------|-------------------------|
| BROAD BDH 21 XII | 2 342 731,4 |
| NEPTUN TECH 110 | 992 500,0 |

6.1 Podpora státu

V současné situaci prochází česká energetika zásadními změnami. Jednou z těchto změn je snaha o zefektivnění výroby energie s co nejvyšší účinností. Neméně velký důraz je kladen i na využívání obnovitelných zdrojů energie. V návaznosti na toto směřování české energetiky se stát rozhodl podporovat využívání těchto zdrojů a zařízení, a to v rámci dotací, zelených bonusů či výkupních cen.

Dotaci na pořízení vysoce účinného zařízení jako je například tepelné čerpadlo je v současnosti možné obdržet v rámci Kotlíkových dotací nebo programu Nová zelená úsporám. Tyto tituly se ovšem vztahují pouze na využití v domácnosti. Pro tak velkou realizaci jako je tepelné čerpadlo sloužící k vytápění skleníku je potřeba žádat dotace z fondu Ministerstva

zemědělství ČR či Ministerstva průmyslu a obchodu ČR. Dotace je možné čerpat také na podporu KVET⁹ pro kogenerační jednotky o daném výkonu.

Jelikož se tato práce zabývá převážně využitím kogenerační jednotky v různých zapojeních, nesmí být opomenuta podpora v rámci zelených bonusů nebo výkupních cen. Zelené bonusy slouží jako nástroj podpory pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů nebo pomocí zařízení s vysokou účinností. Jejich roční hodnota je zveřejňována Energetickým regulačním úřadem. Při využití zeleného bonusu je provozovatel povinen zajistit svého odběratele a uzavřít s ním smlouvu a sjednat cenu. V tomto případě je možné část vyrobené elektřiny využívat pro své vlastní potřeby a zbytek prodávat za dohodnutou cenu.

Tab. 45 Zelený bonus a výkupní ceny [37]

| | Zelený bonus [Kč·MWh ⁻¹] | Výkupní ceny [Kč·MWh ⁻¹] |
|------------------------------------|---|---|
| Kogenerační jednotka na zemní plyn | 513 | - |
| Kogenerační jednotka na bioplyn | 2 061 | 3 040 |

Výkupní ceny jsou pevně stanovené Energetickým regulačním úřadem. Hlavním rozdílem oproti zeleným bonusům je, že v případě volby zisku v režimu výkupních cen, je vykupující povinen veškerou vyrobenou elektřinu odkoupit. Množství odebrané elektřiny je měřeno v místě přenosu mezi výrobnou a distribuční soustavou a její cena je účtována včetně DPH. Veškerá podpora je vyplácena společností OTE [37]. Přehled zelených bonusů a výkupních cen na elektřinu a teplo vyrobené pomocí kogenerace a kogenerační jednotky spalující bioplyn jsou uvedeny v tabulce 45. Při jejich volbě záleží i na počtu provozních hodin [25].

6.2 Kogenerační jednotka

Výroba energie pomocí kogeneračních jednotek je velice účinná a v současnosti podporovaná státem. Výhodou pro provozovatele je nejen možnost odprodeje přebytků do centrálních sítí za státem stanovenou cenu, ale také podpora v rámci zelených bonusů.

Pro určení palivových nákladů je proveden výpočet pomocí rovnice 6.2.1. a 6.2.2 [25].

$$S_{pal} = S_{spotřeba} \cdot \tau \quad (6.2.1)$$

$$Q_{PAL} = S_{pal} \cdot k \cdot H_s \quad (6.2.2)$$

Kde:

| | |
|----------------|---|
| S_{pal} | Roční spotřeba zemního plynu [$m^3 \cdot rok^{-1}$] |
| $S_{spotřeba}$ | Spotřeba paliva [$m^3 \cdot h^{-1}$] |
| Q_{PAL} | Dodané množství paliva [kWh] |
| k | Přepočtový objemový koeficient, volen $k=1$ |
| H_s | Objemové spalné teplo; $H_s \sim 10,5 kWh \cdot m^3$ [25] |

Součástí provozu kogenerační jednotky je i zisk z prodeje přebytku elektřiny, a to s využitím zelených bonusů nebo výkupních cen. Ta se stanovuje na základě rovnice 6.2.3 a je dána součinem provozních hodin a nejvyššího možného elektrického výkonu, ten je uveden v tabulce 30.

⁹ KVET = kombinovaná výroba elektřiny a tepla

$$P_{E,ZB} = P_{E,VYR} - P_{E,SP} \quad (6.2.3)$$

Kde:

| | |
|-------------|--|
| $P_{E,ZB}$ | Spotřeba elektrického výkonu prodaného do veřejné sítě [MWh] |
| $P_{E,VYR}$ | Maximální spotřeba elektrického výkonu vyrobeného [MWh] |
| $P_{E,SP}$ | Spotřebovaný elektrický výkon [MWh] |

6.2.1 Samostatná jednotka

Cena kogeneračních jednotek se pohybuje v rozmezí 10 000 000 – 20 000 000 Kč v závislosti na požadovaném výkonu, dodavateli a používaném palivu. Náklady na pořízení zvolené kogenerační jednotky dodávané firmou TEDOM jsou uvedené v tabulce 46.

Tab. 46 Pořizovací náklady kogenerační jednotky

| | Pořizovací náklady [Kč] |
|----------------------|-------------------------|
| Kogenerační jednotka | 17 997 872 |
| Kotel na zemní plyn | 1 035 000 |
| Montáž + další práce | 18 997 872 |
| Σ | 38 030 744 |

Zvolený typ zřízení má spotřebu paliva $484,816 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$, což po výpočtu z uvedených rovnic 6.2.1 a 6.2.2 určuje množství potřebného paliva na 22 398,499 MWh, jehož cena je uvedena v tabulce 47. V tabulce je zohledněna i potřeba zemního plynu pro kotel, který musí ročně pokrýt spotřebu 3 921,1 MWh. Servis kogenerační jednotky je 180 Kč·MWh a vztahuje se k produkci elektřiny.

Tab. 47 Provozní náklady na roční provoz s kogenerační jednotkou

| | Provozní náklady [Kč] |
|-----------------------|-----------------------|
| Zemní plyn pro KJ | 12 054 845,3 |
| Elektřina 70% snížení | 7 341 678,2 |
| Elektřina 50% snížení | 4 440 947,2 |
| Servis KJ | 1 584 000,0 |
| Zemní plyn pro kotel | 2 110 336,0 |
| Σ 70% snížení | 23 090 859,4 |
| Σ 50% snížení | 20 190 128,4 |

Z uvedených hodnot plyne, že pořizovací a provozní náklady jsou si velice podobné. Při provozu kogenerační jednotky je nutné započítat i zisky z prodeje elektřiny (podle tabulky 48) a zelené bonusy.

Tab. 48 Zisky z provozu kogenerační jednotky

| | Zisk [Kč] |
|------------------|-------------------|
| Prodej elektřiny | 9 026 628 |
| Zelený bonus | 4 514 400 |
| Σ | 13 541 028 |

Celkové provozní náklady na takto zvolený provoz jsou 6 649 100,4 Kč, nicméně jejich hodnota může být výrazně snížena dohodnutou cenou zemního plynu na základě roční spotřeby.

6.2.2 Areál Kožichovice

Provozovatelem soustavy kogeneračních jednotek je společnost Enviromental Energy s.r.o., která odprodává vyrobené teplo a elektřinu všem objektům průmyslového areálu, případně do centrálních sítí. Ceny vyrobených energií jsou v tabulce 49.

Tab. 49 Cena energie pro průmyslový areál Kožichovice

| | Cena [Kč] |
|------------------------|-----------|
| Teplo v GJ | 380 |
| Teplo pro skleník v GJ | 210 |
| Elektřina v MWh | 1 560 |

Pořizovací náklady na stavbu rozvodné sítě a pořízení kogeneračních jednotek, záložního kotle a absorpčních jednotek v areálu jsou rozepsány v tabulce 50.

Tab. 50 Pořizovací náklady areálu Kožichovice

| | Pořizovací náklady [Kč] |
|----------------------|-------------------------|
| Kogenerační jednotky | 65 000 000 |
| Ostatní | 145 000 000 |
| Σ | 200 000 000 |

Provozní náklady kogenerační jednotky je možné vyjádřit v závislosti na roční spotřebě paliva (rovnice 6.2.1 a 6.2.2) a ceně zemního plynu. Jelikož jsou kogenerační jednotky v Kožichovicích provozovány soukromým subjektem, který potřebné energie přímo odprodává je uveden i výpočet nákladů na ceně vyrobených energií.

Tab. 51 Provozní náklady produkčního skleníku

| | Provozní náklady [Kč] |
|-----------|-----------------------|
| Teplo | 10 060 059 |
| Elektřina | 9 001 200 |
| Σ | 19 061 259 |

V případě nakupování energie přímo od provozovatele Enviromental Energy s.r.o. se provozní náklady pohybují kolem 19 milionů korun. V této ceně nejsou zahrnuty žádné pořizovací náklady a náklady na údržbu.

Pro provozovatele je důležité stanovit poměr mezi provozními náklady (tab. 51) a zisky. Zisky jsou složeny z prodeje objektům v areálu Kožichovice a do veřejných sítí. V tomto případě lze odprodávat i teplo, a to po dohodě s TTS Energo Třebíč. Peníze získané prodejem elektřiny a tepla jsou uvedeny v tabulce 52.

Tab. 52 Spotřeba zemního plynu při 100 % zátěži kogeneračních jednotek

| | Spotřeba zemního plynu [MWh] |
|-------------------------|------------------------------|
| 3 x BOOMEL NAT GAS 1200 | 25 587 |
| BOOMEL NAT GAS 600 | 4 170 |
| Σ | 29 757 |

Náklady na spotřebu plynu při maximálním výkonu všech kogeneračních jednotek vztahované k ceně zemního plynu $538,2 \text{ Kč} \cdot \text{MWh}^{-1}$ jsou **16 015 217,4 Kč**.

Tab. 53 Roční zisky Enviromental Energy s.r.o.

| | Roční spotřeba | Zisk [Kč] |
|------------------|----------------|-------------------|
| Prodej tepla | 52 019,7 GJ | 64 035 259 |
| Prodej elektřiny | 11 738 MWh | 18 311 280 |
| Zelené bonusy | 12 600 MWh | 6 463 800 |
| Σ | | 88 840 339 |

V případě, že celý energetický systém je provozován skleníkem se sníží celkový zisk z prodeje energií, nicméně provozovatel ušetří celou částku pro pokrytí spotřeby skleníku. Výsledný roční zisk je v tomto případě 69 779 080 Kč.

Bilance ročních nákladů na provoz kogenerační jednotky, je vyjádřena vzorcem 6.2.3. Celková roční bilance je **72 825 121,6 Kč**. Pokud je energetický systém provozován skleníkem tak je roční bilance 53 763 862,6 Kč. V nákladech však nejsou zahrnuty náklady na údržbu a obsluhu.

6.2.3 Bioplynová stanice

Bioplynové stanice v zemědělském provozu fermentují nejčastěji kukuřičnou siláž a další odpady ze svého vlastního provozu. Množství použitého odpadu se různí podle jeho typu a určuje provozní náklady v tabulce, které jsou vztahovány k případu nákupu odpadu.

Při pořízení bioplynové stanice je možné od státu obdržet příspěvky na využití odpadu a samotnou stavbu. Cena bioplynové stanice se odvíjí od typu zpracovávaného odpadu a požadovaného výkonu, kterého je nutné dosáhnout a je uvedena v tabulce 54.

Tab. 54 Pořizovací náklady bioplynové stanice

| | Pořizovací náklady |
|-------------------------|--------------------|
| Bioplynová stanice | 95 000 000 |
| Kogenerační jednotky | 35 995 744 |
| Montáž KJ + další práce | 32 995 744 |
| Σ | 163 991 488 |

Podle údajů z [5] se z jedné tuny kukuřičné siláže vyrobí průměrně 175 m^3 bioplynu, z kterého lze následně získat 375 kW_e a přibližně $389,3 \text{ kW}_t$. Množství kukuřičné siláže potřebné pro pokrytí tepelné spotřeby se pohybuje kolem 33 068 tun ročně. Cena 1 tuny siláže se při hektarovém výnosu $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ pohybuje kolem 675 Kč za tunu [38]. Ve skutečnosti je většinou tato komodita pěstována přímo provozovateli a nebývá užívána pouze jako zdroj energie.

Tab. 55 Provozní náklady na bioplynovou stanici

| | Provozní náklady [Kč] |
|-----------------|-----------------------|
| Kukuřičná siláž | 22 320 900 |
| Servis KJ | 1 173 312 |
| Σ | 23 494 212 |

Při pořízení bioplynové stanice plynou zisky z prodeje elektřiny, zelených bonusů a finančních odměn za zpracování odpadů. Jejich hodnotu vyjadřuje tabulka 56.

Tab. 56 Zisky z provozu bioplynové stanice

| | Zisk [Kč] |
|--------------------|-------------------|
| Příspěvek na odpad | 1 157 800 |
| Zelený bonus | 13 243 986 |
| Σ | 14 401 786 |

V případě nákupu odpadu tvoří roční provozní náklady po odečtení zisků 9 092 426 Kč. Tato částka neuvažuje náklady na provoz bioplynové stanice a schopnost vlastního zásobování odpadem.

6.3 Tepelné čerpadlo

Instalace tepelného čerpadla/klimatizační jednotky, které je vhodné jak pro vytápění, tak chlazení není v současnosti v České republice realizovaná. Jelikož se ale jedná o způsob výroby tepla podporovaný státem s vysokou účinností, je jeho využití zahrnuto pro srovnávání zvolených způsobů dodávky energie. Podle údajů z tabulky 57 je patrné, že pořizovací náklady tepelného čerpadla jsou ve srovnání s ostatními zvolenými způsoby značné.

Tab. 57 Pořizovací náklady instalaci s tepelnými čerpadly

| | Náklady [Kč] |
|----------------------------|--------------|
| Tepelné čerpadlo země/voda | 20 000 000 |
| Montáž | 12 000 000 |
| Tepelné čerpadlo k KJ | 500 000 |

V případě pořízení tepelného čerpadla pro vytápění rodinného domu jsou distributory nabízeny zvýhodněné sazby energie d57. Pro řešený případ je však nelze využít, neboť se jedná o zemědělskou budovu o příliš vysokých tepelných ztrátách. Nicméně jako i v ostatních případech je možné sjednat sníženou sazbu přímo s dodavatelem.

Provozní náklady pro tepelné čerpadlo se odvíjí od jeho účinnosti vyjádřené topným faktorem. S rostoucím COP klesá spotřeba elektřiny a dochází k významné úspoře nákladů. Potřebné množství elektřiny pro pohon tepelného čerpadla je vyjádřena rovnicí 6.3.1.

$$P_{\text{dodaný}} = \frac{P_T}{COP} \quad (6.3.1)$$

Volba vhodného typu tepelného čerpadla a velikost jeho COP jsou tedy pro realizaci základním požadavkem. Náklady na provoz tohoto zařízení jsou vypočteny dle rovnice 6.3.2.

$$N_{T\check{c}} = \text{cena } MWh \cdot \frac{Q_{\text{vyt},T\check{c}}}{COP} \quad (6.3.2)$$

Tepelná čerpadla mohou kromě tepla produkovat také chlad, takže v případě jejich instalace není potřeba chladicí jednotka, tím dojde ke snížení pořizovacích nákladů. V následující tabulce 58 jsou zhodnoceny provozní náklady na provoz čistě tepelných čerpadel a na provoz tepelného čerpadla v kombinaci s kogenerační jednotkou. Pro tento případ je výpočet nákladů na palivo proveden podle rovnice 6.2.1, kdy je doba provozu stanovena na 4 400 hodin.

Tab. 58 Provozní náklady tepelného čerpadla

| | Náklady [Kč] |
|-------------------------------|---------------|
| Elektřina pouze TČ | 17 165 117,08 |
| Elektřina pro součinnost s KJ | 587 331,11 |
| Elektřina 50% snížení | 4 440 947,20 |
| Zemní plyn pro KJ | 12 054 845,30 |

6.4 Kotel na zemní plyn

Volba plynového kotle se zdá z hlediska pořizovacích nákladů výhodná, nicméně při realizaci je nutné započítat i provozní náklady a cenu za dodávanou elektřinu. Celková pořizovací cena kotle je 4,4 miliony bez DPH, v ceně také není zahrnuta montáž a servis. Hrubé pořizovací náklady jsou uvedeny v tabulce 59.

Tab. 59a Pořizovací náklady kotle na zemní plyn

| | Pořizovací náklady [Kč] |
|---------------------|-------------------------|
| VITOMAX LW M62 5 MW | 4 400 000 |
| Montáž | 1 000 000 |
| Zařízení kotelny | 1 500 000 |
| Kotelna | 2 000 000 |
| Σ s DPH 15 % | 10 235 000 |

Tab. 59b Pořizovací náklady dvou kotlů na zemní plyn

| | Pořizovací náklady [Kč] |
|-----------------------|-------------------------|
| VITOMAX LW M62 2x3 MW | 6 000 000 |
| Montáž | 1 330 000 |
| Zařízení kotelny | 1 950 000 |
| Kotelna | 2 000 000 |
| Σ s DPH 15 % | 12 972 000 |

Provozní náklady plynového kotle o výkonu 5 MW jsou vyjádřeny dle rovnice 5.3.1.

$$N_K = Q_{VYT} \cdot \text{cena MWh} \quad (6.4.1)$$

Tab. 60 Provozní náklady plynového kotle s kompresorovou chladicí jednotkou

| | Náklady [Kč] |
|------------------------------|---------------------|
| Plyn | 7 019 726,4 |
| Daň z plynu | 399 100,5 |
| Elektřina 50% snížení | 14 860 628,7 |
| Elektřina 70% snížení | 8 916 256,3 |
| Provozní náklady 50% snížení | 22 279 455,6 |
| Provozní náklady 70% snížení | 16 335 083,2 |

V případě instalace plynového kotle nejsou uvažovány žádné zelené bonusy či další podpůrné programy. Celkové roční provozní náklady uvedené v tabulce pro zvýhodněnou sazbu za elektřinu sníženou o sedmdesát procent a použití kompresorové chladicí jednotky činní tedy 16 335 083,2 Kč. Z vypočtených hodnot je patrné, že provozní náklady výrazně převyšují

náklady pořizovací, a je tedy vhodné zvážit, zda je volba plynového kotle nejideálnější možností.

6.5 CZT

Dodávání energií z centrálních sítí je z provozního hlediska nejjednodušším řešením. V otázce realizace tohoto systému je nutné zjistit, zda má zvolená síť dostatečnou kapacitu pro pokrytí spotřeb skleníku, jelikož se jedná o poměrně vysoké číslo.

Provozní náklady na odběr z veřejné sítě rozvodů elektřiny a tepla a je přímo závislá na spotřebě a ceně dodávané energie. Započítány jsou i tepelné ztráty v rozvodech, které činí $469\,530,7\text{ GJ}\cdot\text{rok}^{-1}$.

Nejvyšším pořizovacím nákladem v případě volby CZT je cena nových rozvodů uvedená v tabulce 61. Dále jsou v tabulkách 62 a 63 uvedeny náklady na provoz skleníku pro případy chlazení s absorpční a kompresorovou chladicí jednotkou.

Tab. 61 Pořizovací náklady na připojení k CZT

| | Investice [Kč] |
|---------------|-----------------------|
| Rozvody tepla | 100 000 000 |

Tab. 62 Provozní náklady pro odběr přímo od dodavatele s využitím absorpční jednotky

| | Náklady [Kč] |
|------------------------------|---------------------|
| Teplo | 10 546 927,6 |
| Ztráty | 1 053 907,8 |
| Elektřina 50% snížení | 14 186 699,0 |
| Elektřina 70% snížení | 8 511 904,0 |
| Provozní náklady 50% snížení | 25 787 534,4 |
| Provozní náklady 70% snížení | 20 112 739,4 |

Tab. 63 Provozní náklady pro odběr přímo od dodavatele s využitím kompresorové jednotky

| | Náklady [Kč] |
|------------------------------|---------------------|
| Teplo | 10 329 814,0 |
| Ztráty | 1 032 981,4 |
| Elektřina 50% snížení | 14 860 628,7 |
| Elektřina 70% snížení | 8 916 256,3 |
| Provozní náklady 50% snížení | 26 223 424,1 |
| Provozní náklady 70% snížení | 20 279 321,7 |

6.6 Ekonomické srovnání

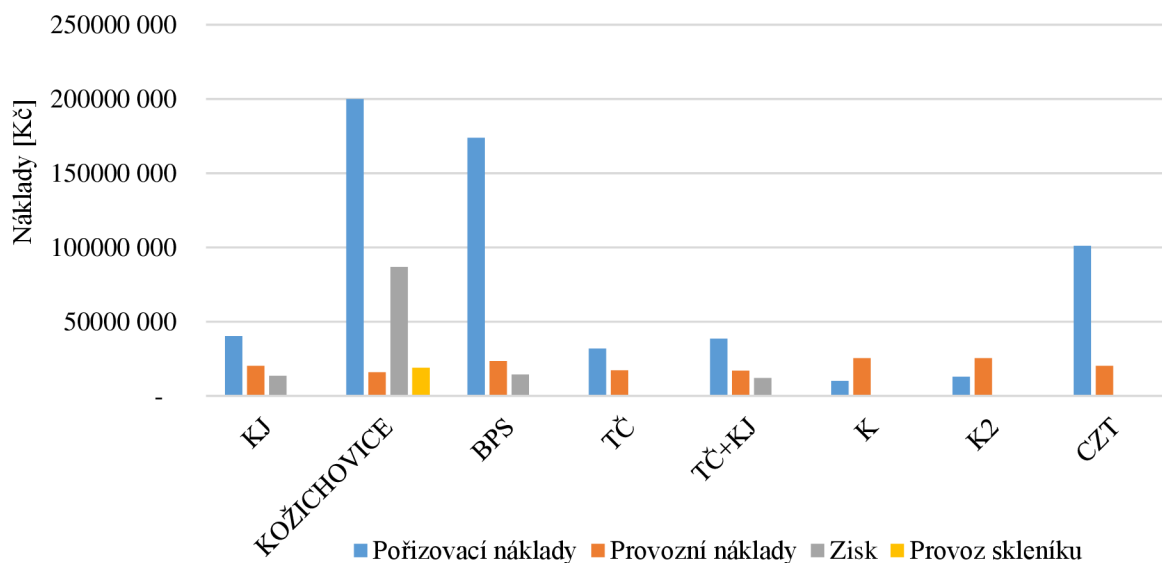
Z ekonomického hlediska je stavba a provoz produkčního skleníku nákladnou investicí před jejíž realizací je nutné zpracovat ekonomickou studii. Cena skleníku v Kožichovicích se pohybuje okolo 200 000 000 Kč bez nákladů na vytápění, chlazení a dodávku elektřiny.

Souhrn všech nákladů na zajištění dodávky energie včetně cen chladících jednotek, je uveden v tabulce 64. U pořizovacích nákladů se jedná o hrubé odhady a v reálné instalaci se mohou lišit.

Tab. 64 Celkové náklady na vytápění, chlazení a dodávku elektřiny

| | Pořizovací náklady [Kč] | Provozní náklady [Kč] | Příjem [Kč] |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------|
| Kogenerační jednotka | | | |
| Samostatná jednotka | 40 373 475 | 20 190 128,4 | 13 541 028 |
| Areál Kožichovice | 200 000 000 | 16 015 217,4 | 88 840 339 |
| Bioplynová stanice | 166 334 219 | 23 494 212,0 | 14 401 786 |
| S tepelným čerpadlem | 38 530 744 | 17 083 123,3 | 13 541 028 |
| Tepelné čerpadlo | 32 000 000 | 17 165 117,08 | 0 |
| Kotel na zemní plyn | | | |
| Samostatný | 11 227 500 | 16 335 083,2 | 0 |
| Více kotlů | 13 964 500 | 16 335 083,2 | 0 |
| CZT | 100 992 500 | 20 279 321,7 | 0 |

Graf 6.1. zobrazuje porovnání pořizovacích nákladů, provozních nákladů a zisků pro zvolené způsoby dodávky energie. V případě pořizovacích cen kogeneračních jednotek, bioplynové stanice a tepelných čerpadel je velice pravděpodobný zisk dotací či jiných finančních podpor na jejich realizaci, s čímž souvisí snížení výsledné ceny. Tato forma podpory však není ve výsledném porovnání zohledněna.



Obr. 6.1 Srovnání nákladů pro jednotlivé případy

Ekonomické zhodnocení projektu zohledňuje také návratnost zvoleného řešení. Ideální řešení má dobrý poměr pořizovacích a provozních nákladů, v některých případech i zisků. Jeho realizace je jednoduchá stejně jako údržba a servis. Pro informativní vyjádření návratnosti lze použít prostou návratnost, která se vypočte dle rovnice 6.1.1 a je určena poměrem pořizovacích nákladů IN a cash flow. Od reálné návratnosti se liší tím, že neuvažuje odpisy a diskontní sazby měnící se během let [25].

$$N = \frac{IN}{PN_{ref} - PN_i} \quad (6.1.1)$$

Při určování návratnosti musí být stanovena referenční hodnota, což jsou náklady jednoho ze zvolených systémů dodávky energie. Obvykle je jako referenční hodnota volena nejnižší pořizovací investice, v tomto případě kotel na zemní plyn. Prostá návratnost vztahovaná k tomuto zařízení je uvedena v tabulce 65.

Tab. 65 Návratnost jednotlivých realizací

| | KJ | Kožichovice¹⁰ | BPS | KJ + TČ | TČ | CZT |
|------------------|-----------|---------------------------------|------------|----------------|-----------|------------|
| Návratnost [rok] | 2,2 | 1,7 | 10,7 | 2 | 4 | 19,9 |

Dalším faktorem pro volbu způsobu dodávky energie je životnost. Ta by měla ideálně nabývat stejných hodnot jako životnost samotného skleníku, která je 20-30 let. V případě krátké životnosti porostou během let náklady na výměnu dílů či samotného zařízení, což zvyšuje náklady potřebné pro zajištění stálé dodávky tepla, elektřiny a chladu. Průměrná životnost uvažovaných zařízení je uvedena v tabulce 66. Životnost je významně ovlivněna jejich výkonem a vytížeností.

Tab. 66 Životnost jednotlivých zařízení

| | KJ | BPS | TČ | Kotel na zemní plyn | CZT |
|-----------------|-----------|------------|-----------|----------------------------|------------|
| Životnost [rok] | 15 - 20 | 30 - 40 | 20 + | 10 - 15 | 30 - 50 |

¹⁰ Návratnost je uvedena pro případ provozu energetického centra skleníkem

7 Shrnutí jednotlivých systému zásobování

Výběr vhodného systému dodávky energií pro produkční skleník je ovlivněn hned několika parametry. Nejvhodnější způsob by měl mít optimální poměr počátečních investic, provozních nákladů a nákladů na servis. Dále by jeho životnost měla být přibližně srovnatelná s životností skleníku, což umožní eliminaci nákladů na pořízení nového zařízení.

Z tohoto hlediska se jako jediné nevýhodné řešení zdá dodávka tepla z CZT. Všechna ostatní řešení mají návratnost vzhledem k plynovému kotli v rozmezí do nebo kolem deseti let s průměrnou životností 20 let. Instalace kotle na plynná paliva je rychlou a levnou variantou v případě okamžité dodávky energie, nicméně jeho provozní náklady jsou v porovnání s investičními náklady několikanásobné.

Při výběru zásobování teplem, chladem a elektřinou hraje důležitou roli i technická realizace samotného systému. Zde je zařízení posuzováno podle dostupnosti a vhodnosti paliva, celkové efektivnosti, míře stavebních prací spojených s jeho provozem a v neposlední řadě i ohleduplnosti k obyvatelům a životnímu prostředí.

Pro zvolený skleník v Kozichovicích, který se nachází v těsné blízkosti města Třebíč je jako palivo dostupný zemní plyn a teoreticky i CZT. Celý objekt se nachází poblíž průmyslových podniků, takže je možné použít jako zdroj energií kogenerační jednotky. Ty se vzhledem k dobré dostupnosti zemního plynu, využití odpadního CO₂, množství vyrobeného tepla a elektřiny, které jsou schopny dodat, jeví jako vhodné řešení. Zajímavou variantou by mohla být i jejich kooperace s tepelným čerpadlem, které by bylo v letních měsících používáno k chlazení.

S instalací tepelného čerpadla, v práci zvoleném typu země/voda, se pojí nutnost geologického průzkumu a zohlednění statiky okolních objektů. Jelikož se v tomto tepelném systému jedná o zařízení, které by muselo být, vzhledem ke svému výkonu, vyrobeno na konkrétní realizaci, dá se předpokládat, že by oproti obvyklým instalacím vzrostl počet vrtů nebo délka kolektorů.

Posledním z posuzovaných způsobů dodávky energie je výstavba a provoz bioplynové stanice. Tento způsob je v České republice nejrozšířenější, a to s ohledem na skutečnost, že je většina produkčních skleníků součástí zemědělských podniků, které zajišťují potřebný odpad. Výstavba bioplynové stanice by v Kozichovicích vyžadovala dostatek prostoru, zajištění dostatečného množství odpadů a dále by také musel být zohledněn její dopad na obyvatele a okolní zástavbu.

ZÁVĚR

Skleníkové zemědělství v České republice má v posledních letech opět vzestupnou tendenci, a to díky výstavbě velkých produkčních skleníku. V těchto stavbách jsou použity nejmodernější světové technologie, a to jak v případě provozu samotného objektu a způsobu pěstování rostlin, ale tak i při volbě systémů dodávky energií. S touto skutečností jsou spojeny i cíle diplomové práce.

Úvodní část práce se věnuje krátkému představení skleníků a jejich potřeb. Dále jsou představeny možné způsoby zajištění dostatečného množství tepla, elektřiny a chladu.

Další části se již věnují konkrétnímu skleníku, který se nachází v Kožichovicích poblíž města Třebíč. Zvolený objekt zaujímá rozlohu 3,3 hektarů a slouží k pěstování rajčat. Pro volbu vhodného způsobu zásobování skleníku energiemi je v první řadě nutné určit jeho roční spotřeby. Na základě dat získaných od provozovatele kožichovického skleníku je určen potřebný tepelný výkon. Tepelný výkon je stanoven dle normy ČSN EN 12831-1 *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu*. Ve výpočtu je uvažováno s vlivem tepelných clon, které mají za úkol eliminovat tepelné ztráty prostupem. Pro zohlednění jejich vlivu je v práci uveden i tepelný výkon pro stav beze clon. Rozdíl mezi těmito dvěma stavy činí přibližně 30 %. Vliv těchto clon je tedy patrný a bylo by zajímavé věnovat se řešení použitých clon. Dalšími faktory zohledněnými ve výpočtu jsou tepelné zisky, konkrétně tepelný zisk od pěstebních světel. Ty snižují výsledný výkon o 840 kW. Významný podíl na těchto ziscích by mohlo mít i sluneční záření. Jeho vliv není pro výpočet uvažován, a to v důsledku instalace stínících clon, častému větrání a nepravidelnosti zdroje. Výsledný tepelný výkon 5 042,4 kW byl použit k určení roční spotřeby tepla, která činí 46 954 GJ·rok⁻¹.

V souvislosti s roční spotřebou tepla jsou uvažovány i další dvě formy energie – elektřina a chlad. Roční spotřeba chladu je stanovena na základě zjednodušeného výpočtu vycházejícího z normy pro tepelný výkon a je vztažena k letním měsícům. Hodnota potřebného chladícího výkonu pro udržení stálé teploty je velice závislá na venkovní teplotě. Pro venkovní teplotu 25 °C je roční spotřeba chladu stanovena na 223,4 MWh·rok⁻¹. Údaje ohledně roční spotřeby elektřiny poskytl provozovatel skleníku. Jedná se o spotřebu 5 770 MWh·rok⁻¹. Na základě hodnot ročních spotřeb energií jsou následně zvoleny možná řešení dodávky energie.

Jedním z cílů diplomové práce je uvést možné způsoby dodávky tepla, chladu a elektřiny pro kožichovický skleník. Na základě reálných instalací používaných k tomuto účelu je vybráno sedm způsobů, které jsou následně zhodnoceny. Jelikož roční spotřeba tepla je v porovnání s ostatními dvěma energiemi dominantní, jsou uvedena řešení volena s ohledem na tuto skutečnost. Pro zajištění dostatečného množství tepla po celý rok jsou zvolena tato zařízení: kogenerační jednotka pracující samostatně a v součinnosti s více jednotkami nebo tepelným čerpadlem, kotel na zemní plyn, tepelné čerpadlo, CZT a bioplynová stanice s kogenerační jednotkou.

V případě potřeby chladu je možné využívat kompresorové nebo absorpční chladící jednotky. V aplikacích s kogenerační jednotkou je výhodnější využití absorpční jednotky, jejíž hnací silou je teplo, a to z důvodu větší produkce tepla a elektřiny v letních měsících. Kompresorová chladící jednotka se po technickém zhodnocení zdá lepším řešením pro systémy využívající centrální zásobování teplem a kotel na zemní plyn. V případě volby tepelného čerpadla není chladící jednotka nutná, neboť toto zařízení lze využívat v letních měsících k chlazení.

Dodávku elektřiny je z uvedených realizací schopna zajistit pouze kogenerační jednotka, v ostatních případech je elektřina odebírána ze sítě.

Zhodnocení uvedených energetických systémů je podmíněno řadou faktorů, které se pojí s technickou realizací, klimatickými podmínkami, dopadem na životní prostředí, a v neposlední

řadě ekonomickou náročností projektu. Tyto faktory jsou posuzovány vždy pro konkrétní realizaci a nelze tedy jednoznačně určit ten nejlepší.

Obecně lze vycházet z nákladů na jejich provoz a pořízení dále také z životnosti a návratnosti zvolených zařízení. Na základě uvedených hodnot návratnosti je možné konstatovat, že zvolené způsoby dodávky energie jsou proveditelné ve všech případech, jelikož se navrátí do dvaceti let. Nejméně výhodným je však využívání CZT. S ohledem na průměrnou životnost je pak dobré zvážit vhodnost instalace plynového kotle.

Závěrem je tedy vhodné uvést, že množství tepla, chladu a elektřiny potřebné pro skleníkovou produkci je velmi proměnné. Z tohoto důvodu je důležité vybrat dobrý systém dodávky energií, který dokáže rychle reagovat na změny. V každém případě je pro skleník nutné zvolit záložní zdroj, který naskočí v případě poruchy či v případě extrémní potřeby tepla.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] POKLUDA, Robert a František KOBZA. *Skleníky, fóliovníky, využití a pěstební technologie*. Praha: Profi Press, 2011, 253 s. ISBN 978-80-86726-46-5.
- [2] *Skleníky, pařeniště, fóliové kryty*. Prezentace ve formátu PDF [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2019. Dostupné také z: <https://docplayer.cz/104769220-Skleniky-pareniste-foliove-kryty.html>
- [3] *NWT a.s.: divize Agro* [online]. Zlín: NWT, 2019. Dostupné také z: <https://agro.nwt.cz/>
- [4] Types of greenhouses. *NSW Department of primary industries: Agriculture* [online]. Dostupné z: <https://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/horticulture/greenhouse/structures-and-technology/types>
- [5] *BIOM: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování, ...* [online]. Praha: České sdružení pro biomasu, 2001. Dostupné také z: <https://biom.cz/cz/>
- [6] JAKUBCOVÁ, Hana. K frontě na rajčata přibude další. Kožichovická farma bude pěstovat ještě rajčata. *Třebíčský deník: Informace, které jsou vám nejbliž* [online]. Třebíč: VLTAVA LABE MEDIA, 2020. Dostupné z: <https://trebicky.denik.cz/podnikani/k-fronte-na-rajcata-pribude-dalsi-kozichovicka-farma-bude-pestovat-jeste-jahody-20200509.html>
- [7] Skleník. *Do Břeclavi* [online]. Břeclav: Město Břeclav, 2017. Dostupné z: <https://www.dobreclavi.cz/mista/sklenik/>
- [9] MARSHALL, Roger. *Pěstování ve skleníku*. Praha: Knižní klub, 2016. ISBN 978-80-242-5241-4.
- [9] Principle of greenhouse structures construction. *Greenhouse Society: The rudiments of greenhouse* [online]. Columbus: WordPress, 2011. Dostupné z: <https://horticulturalsociety.wordpress.com/2011/03/09/principle-of-greenhouse-structures-construction/>
- [10] Vyberáte skleník? Rady a tipy, jak to nepohnojit. *Zahrada Ježek: Specialista na zahradu, kamna a dílnu* [online]. Ledce u Plzně, 2020. Dostupné z: <https://www.zahradajezeck.cz/radci-pro-vyber-zbozi/vyberate-sklenik-rady-a-tipy-jak-to-nepohnojit/#tvar>
- [11] Hydroponie: Fakta a bourání mýtů. *Vertikální farmaření - GROWLIGHT: Interiérové hydroponické zahrady* [online]. Nýřany: Growlight Bohemia, 2019. Dostupné z: <https://growlight.cz/fakta-o-hydroponii/>
- [12] Hydroponie vs. Substrát: Co si vybrat? *Časopis ROOTS* [online]. Praha: CANNA MEDIA, 2016. Dostupné z: <https://casopisroots.cz/hydroponie-vs-substrat/>
- [13] Hydroponie pro začátečníky. *Pěstik: Zahradní potřeby, semínka, hnojivo, stroje* [online]. Lázně Luhačovice: Pěstik s.r.o, 2009, 2018. Dostupné z: <https://www.pestik.cz/module/csblog/post/72-14-hydroponie-pro-zacatecniky-.html>
- [14] BUCHTOVÁ, Irena. *Situační a výhledová zpráva: Zelenina*. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 2019. ISBN 978-80-7434-257-2. ISSN 1211-7692.
- [15] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 281 s. ISBN 80-7300-118-7.

- [17] *O Energetice: Denní zpravodajství z energetiky* [online]. Třebíč: OM Solutions s.r.o, 2014. Dostupné také z: <https://oenergetice.cz/>
- [16] *Svět Energie: Vzdělávací portál ČEZ* [online]. Praha: ČEZ. Dostupné také z: <https://www.svetenergie.cz/>
- [18] Palivový článek a kogenerační jednotky. *Viessmann* [online]. Chrást'any: Viessmann, spol. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/palivovy-clanek-a-kogeneracni-jednotka.html>
- [19] BOHDALOVÁ, Zuzana. Různé možnosti větrání ve sklenících. *Magazín zahrada* [online]. Praha: Magazín Zahrada, 2018. Dostupné z: <https://www.magazinzahrada.cz/ruzne-moznosti-vetrani-ve-sklenicich/>
- [20] Greenhouse ventilation tips. *Suntex CP: Crop Covers, Greenhouses/Hight Tunnels, Climate shade screen, wireless security systems, ...* [online]. Sarasota: WordPress, 2019. Dostupné z: <https://suntexcp.com/2019/03/15/greenhouse-ventilation-tips/>
- [21] Vysokotlaké sodíkové výbojky: Sodné lampy pro rostliny ve sklenících. *Puntomarineró* [online]. 2018, 2019. Dostupné z: <https://cs.puntomarineró.com/high-pressure-sodium-lamps-sodium/>
- [22] *Firemní literatura Farma Kožichovice: Interní dokument*. Kožichovice, 2021.
- [23] *Veřejná vyhláška: Rozhodnutí o změně společného povolení*. In: Třebíč: Městský úřad Třebíč: Odbor výstavby, 2018, ročník 1, OV/10012/2018.
- [24] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov: Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Česká agentura pro standartizaci, 2018.
- [25] *TZB - info: Stavebnictví. Úspora energií. Technické zařízení budov*. [online]. Praha: Topinfo, 2001. Dostupné také z: <https://www.tzb-info.cz/>
- [26] Historická data: Počasí: Měsíční data: Měsíční přehledy pozorování. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2021. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-prehledy-pozorovani#>
- [27] VALENTA, Vladimír. Stanovení chladicího výkonu místnosti. *TOPIN - Topenářské instalace* [online]. Praha: Topin Media, 2014. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/stanoveni-chladiciho-vykonu-mistnosti-detail-5867>
- [28] *Firemní literatura SOKRA s.r.o.: Interní tiskový zdroj*. Praha, 2021.
- [29] *Firemní literatura VESKOM, spol s.r.o.: Interní tiskový zdroj*. Praha, 2021.
- [30] *Firemní literatura TEDOM a.s.: Interní tiskový zdroj*. Výčapy, 2021.
- [31] Energetický systém v Kožichovicích od ZEPPELIN CZ. *Zeppelin CZ* [online]. Modletice: ZEPPELIN CZ s.r.o, 2020. Dostupné z: [tps://zeppelin.cz/cs/site/zeppelin/tiskove-centrum/tiskove-zpravy/tiskove-zpravy_2020/TZ-kozichovice.htm](https://zeppelin.cz/cs/site/zeppelin/tiskove-centrum/tiskove-zpravy/tiskove-zpravy_2020/TZ-kozichovice.htm)
- [32] Technický list kogenerační jednotky: KE - MTUBG_800_CZV02. *Kogenerační jednotky GENTEC: kogenerace, trigenerace, mikrokogenerace* [online]. Praha: GENTEC CHP. Dostupné z: https://www.gentec.cz/files/tech-listy/KE-MTUBG/PDF_CZ/KE-MTUBG_800_CZV02.pdf

[33] Slovenian largest heat pump: The lusty Lušt projec. *Kronoterm* [online]. Gomilsko: KRONOTERM d.o.o. Dostupné z: <https://kronoterm.com/en/slovenian-largest-heat-pump/>

[34] *Firemní literatura Viessmann, spol. s.r.o: Interní tiskový zdroj*. Chrášťany, 2021.

[35] *TTS Energo: Teplárna Třebíč* [online]. Třebíč: TTS Energo, 1994. Dostupné také z: <https://www.ttsenergo.cz/>

[36] *E.ON: Pomáháme šetřit peníze i přírodu* [online]. České Budějovice: E.ON Česká republika. Dostupné také z: <https://www.eon.cz/>

[37] *Energetický regulační úřad* [online]. Jihlava, 2001. Dostupné také z: <https://www.eru.cz/cs/>

[38] PAVLÍČEK, Petr. *Ekonomická efektivnost výroby biometanu*. Praha, 2016. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Prof.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| Zkratka | Název |
|----------------|---|
| BPS | Bioplynová stanice |
| COP | Topný faktor |
| CZT | Centrální zásobování teplem |
| K | Kotel |
| KJ | Kogenerační jednotka |
| KVET | Kombinovaná výroba elektřiny a tepla |
| MČ | Metanové číslo |
| ORC | Organický Rankin - Clausiuv cyklus |
| SEER | Sezónní koeficient energetické efektivity |
| TČ | Tepelné čerpadlo |

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

| Zkratka | Název | Jednotka |
|------------------|---|---------------------------------|
| a | Pomocné parametry pro výpočet $U_{equiv,k}$ | [-] |
| A_k | Plocha stavební části | $[m^2]$ |
| b | Pomocné parametry pro výpočet $U_{equiv,k}$ | [-] |
| c_1, c_2, c_3 | Pomocné parametry pro výpočet $U_{equiv,k}$ | [-] |
| c_s | Součinitel současnosti používání svítidel | [-] |
| c_{zb} | Zbytkový součinitel | [-] |
| cp | Měrná tepelná kapacita vzduchu | $[den]$ |
| d | Počet dní topné sezony | [-] |
| d_l | Pomocné parametry pro výpočet $U_{equiv,k}$ | [-] |
| dT | Teplotní diference | $[^{\circ}C]$ |
| $D_{V23,5}$ | Dennostupěň pro teplotu 23,5 °C | $[d \text{ } ^{\circ}C]$ |
| dx | Floušťka ve směru tepelného toku | $[m]$ |
| e_d | Zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu | [-] |
| e_i | Nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem | [-] |
| e_t | Snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci | [-] |
| η_o | Účinnost možnosti regulace soustavy | [-] |
| η_r | Účinnost rozvodu vytápění | [-] |
| $f_{\Theta ann}$ | Opravný činitel zohledňující vliv teploty v průběhu roku | [-] |
| $f_{GW,k}$ | Opravný činitel zohledňující vliv spodní vody | [-] |
| $f_{ie,k}$ | Teplotní opravný činitel | [-] |
| $f_{ig,k}$ | Teplotní opravný činitel | [-] |
| $f_{U,k}$ | Opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování U-hodnot | [-] |
| H_s | Objemové spalné teplo | $[kWh \cdot m^3]$ |
| $H_{T,ia}$ | Tepelný tok prostupem přes sousední vytápěné prostory | $[W \cdot K^{-1}]$ |
| $H_{T,iaBE}$ | Tepelný tok prostupem pře sousední funkční části budovy | $[W \cdot K^{-1}]$ |
| $H_{T,iae}$ | Tepelný tok prostupem do venkovního prostředí přes nevytápěné a přilehlé budovy | $[W \cdot K^{-1}]$ |
| $H_{T,ie}$ | Tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí | $[W \cdot K^{-1}]$ |
| $H_{T,ig}$ | Tepelný tok prostupem do země | $[W \cdot K^{-1}]$ |
| IN | Investiční náklady | $[Kč]$ |
| k | Přepočtový objemový koeficient | [-] |
| λ | Součinitel tepelné vodivosti | $[W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}]$ |
| N | Návratnost | $[rok]$ |
| n | Počet světel | [-] |

| Zkratka | Název | Jednotka |
|------------------|---|-----------------------------------|
| N_m | Počet dnů v měsíci | [den] |
| $n_{min,i}$ | Minimální intenzita větrání | [h^{-1}] |
| N_z | Počet chladících dní | [den] |
| $P_{E, SP}$ | Spotřebovaný elektrický výkon | [MWh] |
| $P_{E, VYR}$ | Maximální spotřeba elektrického výkonu vyrobeného | [MWh] |
| $P_{E, ZB}$ | Spotřeba elektrického výkonu prodaného do veřejné sítě | [MWh] |
| P_{CH} | Chladicí výkon | [kW] |
| P_{MT} | Potřebné množství tepla pro absorpční jednotku | [kW] |
| PN | Provozní náklady | [Kč] |
| PN_{ref} | Provozní náklady pro referenční hodnotu | [Kč] |
| P_o | Příkon osvětlení | [W] |
| P_T | Tepelný výkon | [W] |
| P_{VYR} | Množství vyrobené energie | [kWh] |
| \dot{q} | Měrný tepelný tok | [$K \cdot m^{-2}$] |
| Q_{CHLAD} | Roční spotřeba chladu | [kWh] |
| Q_i^r | Výhřevnost | [$MJ \cdot Nm^{-3}$] |
| Q_{PAL} | Dodané množství paliva | [kWh] |
| Q_{SV} | Tepelný zisk osvětlení | [W] |
| $q_{V,int,i}$ | Minimální objemový průtok vzduchu místností | [$m^3 \cdot h$] |
| Q_{VYT} | Roční spotřeba tepla | [kWh] |
| ρ | Hustota vzduchu | [$kg \cdot m^{-3}$] |
| R_T | Tepelný odpor | [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] |
| S | Plocha | [m^2] |
| S_{pal} | Roční spotřeba zemního plynu | [$m^3 \cdot rok^{-1}$] |
| $S_{spotřeba}$ | Spotřeba paliva | [$m^3 \cdot h^{-1}$] |
| t | Tloušťka | [m] |
| τ | Doba provozu | [h] |
| $\theta_{c,e}$ | Průměrná denní teplota v letních měsících | [°C] |
| θ_e | Výpočtová venkovní teplota | [°C] |
| $\theta_{int,i}$ | Průměrná vnitřní výpočtová teplota | [°C] |
| $\theta_{m,avg}$ | Průměrná měsíční teplota | [°C] |
| $\theta_{m,e}$ | Průměrná roční teplota | [°C] |
| U | Součinitel prostupu tepla | [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$] |
| $U_{equiv,k}$ | Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou | [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$] |
| V_i | Objem | [m^3] |
| y | Počet provozních hodin | [h] |
| ΔU_{TB} | Přirážka na vliv tepelných vazeb | [$W \cdot K \cdot m^{-2}$] |
| $\Phi_{gain,i}$ | Trvalé tepelné zisky | [W] |

| Zkratka | Název | Jednotka |
|----------------|------------------------------------|-----------------|
| $\Phi_{HL,i}$ | Návrhový tepelný výkon prostoru | [W] |
| $\Phi_{hu,i}$ | Volitelný dodatečný zátopový výkon | [W] |
| $\Phi_{Sc,i}$ | Tepelný tok slunečního záření | [W·K] |
| $\Phi_{T,i}$ | Návrhová tepelná ztráta prostupem | [W·K] |
| $\Phi_{Tc,i}$ | Tepelný tok prostupem stěnou | [W·K] |
| $\Phi_{V,i}$ | Návrhová tepelná ztráta větráním | [W·K] |
| $\Phi_{Vc,i}$ | Tepelný tok větráním | [W·K] |