

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**  
**ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš Ph.D.

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Využití nízko-potenciálního odpadního tepla produkovaného JE Temelín pro  
zemědělskou produkci**

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Petr Bartoš Ph.D.

Autor diplomové práce: Bc. Radim Kuneš

České Budějovice, 2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radim KUNEŠ**  
Osobní číslo: **Z13585**  
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**  
Studijní obor: **Agroekologie**  
Název tématu: **Využití nízko-potenciálního odpadního tepla produkovaného  
JE Temelín pro zemědělskou produkci**  
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

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

Cíl práce:

Cílem práce je nalezení potenciálně vhodných řešení pro využití nízko-potenciálního odpadního tepla, které vzniká při provozu JE Temelín.

Metodický postup:

1. Seznámit se s problematikou činnosti JETE.
2. Vyžádat si potřebná experimentální data a provést jejich analýzu.
3. Na základě výsledků této analýzy navrhnout potenciálně vhodná řešení pro využití odpadního tepla.
4. Detailněji rozpracovat alespoň jedno navrhované řešení.
5. Vypracovat diplomovou práci.

Navrhovaná řešení budou konzultována se zástupci JE Temelín.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **minimálně 50 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:

Klik, F. a Daliba, J.: Jaderná energetika. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 189 s. ISBN 80-010-2550-0;  
Doležal, J., Šťastný, J., Špetlík, J., Bouček, S. a Brettschneider, Z.: Jaderné a klasické elektrárny. Praha - České vysoké učení technické v Praze, 2011, ISBN: 978-80-01-04936-5;  
Využití odpadního tepla elektráren pro intenzivní skleníkové hospodářství: Sborník přednášek z celostátní konference, 1. vyd. Ostrava: DT ČSVTS, 1983, 113 s.;  
Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: Fyzika. Vutium Brno, 2007, ISBN 8021418680;  
Baláš, M. et al.: Kotle a výměníky tepla. Vydání první, Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2009.


Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.**  
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání diplomové práce: **10. listopadu 2013**  
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2015**

  
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13  
370 05 České Budějovice

L.S.

  
doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 20. března 2014

#### Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to (v nezkrácené podobě v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Dne.....

Podpis.....

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. RNDr. Petrovi Bartošovi Ph.D. za vedení při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat mým konzultantům z Jaderné elektrárny Temelín panu Ing. J. Kolářovi a panu Ing. M. Ledvinovi. V neposlední řadě také panu Ing. J. Stodůlkovi za rady v oblasti skleníkového hospodářství.

Abstrakt v českém jazyce

Cílem diplomové práce bylo navrhnout vhodná řešení na využití nízko-potenciálního odpadního tepla produkovaného v Jaderné elektrárně Temelín pro zemědělskou produkci. Jako modelový projekt byl navržen skleník o velikosti 1 ha s následnou produkcí rajčat.

V práci jsou nejprve diskutovány obecné otázky související s vybudováním skleníku, jako je problematika bezpečnosti provozu Jaderné elektrárny, vhodnosti použití různých technologických postupů, majetkových práv, vhodnosti lokalizace stavby a její dopady na životní prostředí atp.

Následně byla detailně rozpracována varianta vytápěného skleníku o rozloze jeden hektar, včetně řešení všech klíčových problémů. Součástí diplomové práce je také podrobná ekonomická bilance a návrh pro budoucí využití v praxi.

Klíčová slova: odpadní teplo, jaderná elektrárna, skleník, tepelné čerpadlo.

Abstrakt v anglickém jazyce

The goal of the diploma thesis was to elaborate applicable solutions for the use of low-potential waste heat from the Nuclear Power Plant Temelín for agricultural production. A greenhouse of the 1 hectare size has been proposed as a model project for tomatoes production.

First, in diploma thesis discussed universally questions related with building greenhouse, such is safety issues servis Nuclear Power Plant, the suitability of use different technologies, property law, suitability of the locality construction and impact on the environment...

Then was detailed processed version for heating-up greenhouse of the 1 hectare, including solution key problem . Part of this diploma thesis is economic balance and proposal for the future practical use.

Keywords: waste heat, nuclear power station, greenhouse, heat pump.

## Obsah:

1. Úvod .....	9
2. Jaderná elektrárna jako zdroj odpadního tepla .....	11
2.1 Jaderná elektrárna Temelín (JETE) .....	11
2.2 Odpadní teplo .....	12
2.3 Odpadní teplo z jaderné elektrárny .....	13
2.4 Nízko-potenciální odpadní teplo z jaderné elektrárny .....	14
3. Technologie pro využití nízko-potenciálního tepla .....	16
3.1 Využití tepla bez transformace energie .....	16
3.2 Využití tepla s transformací energie .....	19
4. Využití druhotných zdrojů tepelné energie .....	25
4.1 Příklady využití druhotných zdrojů tepelné energie .....	25
5. Návrhy na využití nízko-potenciálního odpadního tepla z JETE pro zemědělskou produkcí .....	29
5.1 Návrhy na využití nízko-potenciálního tepla před výstavbou JETE .....	29
5.2 Návrhy na využití nízko-potenciálního tepla po výstavbě JETE .....	31
6. Návrh využití nízko-potenciálního odpadního tepla pro skleníkovou produkci .....	33
6.1 Zakrytá pěstební plocha .....	33
6.2 Hydroponické pěstování rostlin .....	34
6.3 Pěstební technologie .....	35
6.4 Návrh konstrukce skleníku .....	37
6.5 Výpočet energetické bilance v závislosti na ročním období .....	39
6.5.1 Výpočet tepelné ztráty .....	39
6.5.2 Tepelná ztráta u variantních řešení .....	41
6.5.3 Tepelný zisk .....	42
6.6 Spotřeba energie na vytápění .....	43
6.7 Zdroj odpadního tepla pro vytápění .....	45

6.8 Návrh Tepelného čerpadla.....	46
6.10 Produkce oxidu uhličitého .....	49
6.12 Výtěžnost pěstované plodiny: .....	50
6.13 Předpokládaná lokalita výstavby .....	52
6.14 Bezpečnostní požadavky .....	53
7. Ekonomická analýza navrhovaného řešení .....	55
7.1 Investiční náklady.....	55
7.2 Provozní náklady .....	56
7.3 Spotřeba energií.....	57
7.4 Zisk z pěstování.....	58
7.5 Dotace.....	58
7.6 Ekonomické vyhodnocení .....	58
8. Využití jiné varianty zdroje odpadního tepla z JETE.....	61
9. Závěr.....	63
10. Použitá literatura.....	65



# 1. Úvod

Odpadní teplo vzniká při řadě technologických procesů v nejrůznějších průmyslových oblastech, jako je například slévárenství, hutnictví, keramický průmysl, metalurgie, sklářství, potravinářství, jaderná energetika a mnoho dalších. Jak již z názvu vyplývá, jedná se o teplo odpadní, které se obvykle dále nevyužívá a odvádí se tak bez dalšího užitku do okolí. I když je druhotné teplo pro původní technologii nevhodné, lze jej nadále využít v jiných zařízeních. Nabízí se tedy možnost maximálně využít tuto energetickou ztrátu vhodnou technologií a transformovat ji na využitelnou formu energie. Takto přeměněná energie může být nadále využita v mnoha aplikacích jako je ohřev užitkové vody, vytápění, výroba elektrické energie aj., čímž se zefektivní daný technologický proces.

Využití odpadního tepla bylo dlouhou dobu opomíjeno z důvodu velké technologické náročnosti a nízké ekonomické rentability. Nízkopotenciálové teplo není považováno za obnovitelný zdroj energie. Odpadní teplo, které se dále nevyužívá, vzniká při většině průmyslových procesů. S ohledem na technologické parametry odpadního tepla jsou možnosti jeho využití v průmyslu velice omezené. S technickým rozvojem se však tento stav zlepšuje.

Rostoucí spotřeba energie společně s její zvyšující se cenou vede všechny ekonomické subjekty ke snaze o optimální hospodaření s energiemi. Postupem času se začaly zkoumat způsoby, jak tuto energii vhodně využít a tím snížit náklady na provoz. Jako jedna z vhodných možností využití odpadního tepla vznikajícího při různých technologických procesech se nabízí vytápění objektů či ohřev vody.

Samotný vznik odpadního tepla je možno považovat za principiální nedokonalost daného systému. Úkolem lidstva v blízké budoucnosti je začít hospodařit tak, aby bylo odpadní teplo, co nejlépe využíváno. Každý dobrý nápad napomůže ke zlepšení životního prostředí.

Způsob využití nízko-potenciálního odpadního tepla je nutný všude tam, kde jsou ekonomicky dosažitelné vzdálenosti a požadavky na dodávku tepla. Těchto teplot není možné dosáhnout přímo v chladicích věžích kondenzačních turbín v elektrárnách a teplárnách, a proto je potřeba využít dosažitelné způsoby transformace tepla.

Česká Republika je chudá na primární zdroje energie. Energetický potenciál řek je malý, zdroje uhlí jsou nad prolomením těžebních limitů, těžba ostatních paliv

je zanedbatelná. Postupně se stáváme závislý na dovozu paliv (zemní plyn). Je proto životně důležité maximálně využít veškeré zdroje energie, které máme k dispozici.

Jaderná elektrárna Temelín leží přibližně 24 km od Českých Budějovic a 5 km od Týna nad Vltavou. Elektřina se v ní vyrábí ve dvou výrobních blocích s tlakovodními reaktory VVER 1000 typu V 320. Odběr technologické vody je zajištěn z vodního díla Hněvkovice na Vltavě, jehož vybudování bylo součástí výstavby elektrárny. Požadovanou kvalitu technologické vody zajišťují čističky odpadních vod na horním toku Vltavy především ve Větrní, Českém Krumlově a Českých Budějovicích. Na jaře 2003 se Jaderná elektrárna Temelín s instalovaným výkonem 2000 MW stala největším energetickým zdrojem České Republiky.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo nalezení potenciálně vhodných řešení pro využití nízko-potenciálního odpadního tepla pro zemědělskou produkci, které vzniká při provozu Jaderné elektrárny Temelín. Při návrhu využití nízko-potenciálního odpadního tepla pro vytápění zakryté pěstební plochy bylo potřeba stanovit tepelnou ztrátu tohoto objektu. Dalším úkolem bylo zjistit vhodnost vyprodukovaného tepla z nízko-potenciálního zdroje a rozhodnout, jakým technickým způsobem se tato energie bude dále využívat. Součástí práce je i návrh a zhodnocení dostupných technologií pro vytápění. Důležité je dobře zvolit pěstovanou plodinu, včetně agrotechnických podmínek pro její pěstování, na jejíchž výnosech jsou závislé zisky z prodeje. Rozhodující kritériem pro realizaci případného projektu je ekonomické zhodnocení celé investice.

## 2. Jaderná elektrárna jako zdroj odpadního tepla

V této kapitole stručně popíšeme princip výroby elektrické energie v Jaderné elektrárně Temelín, historii její výstavby a některé významné okamžiky z doby uvedení elektrárny do provozu. V další části se pak zaměříme na přehled kategorií odpadního tepla z tohoto energetického zdroje a nastíníme možnosti jeho využití s možným umístěním odběrných míst. Odpadní teplo je klasifikuje do jednotlivých kategorií podle jeho tepelného potenciálu a předpokládaného využití.

### 2.1 Jaderná elektrárna Temelín (JETE)

#### Historie:

Investiční záměr stavby byl vydán v únoru 1979, úvodní projekt byl zpracován Energoprojektem Praha v roce 1985 a vlastní stavba provozních objektů byla zahájena v roce 1987. Po listopadu 1989 bylo v nových politických a ekonomických podmínkách rozhodnuto o snížení počtu bloků na dva. Přes období velkých nejistot byla redukována a v technologii modernizovaná stavba dokončena a v červenci 2000 bylo zavezeno palivo do reaktoru. Dne 21. prosince 2000 byla vyrobena první elektřina. Zkušební provoz prvního bloku byl zahájen 10. června 2002, na druhém bloku začal 18. dubna 2003. Do provozu byla JETE uvedena v letech **2002 - 2003**. Od 23. září 2013 pracuje JETE na výkonu **2 x 1055 MWe**, tedy dosavadní výkon navýšila o 80 MWe.

#### Fyzikální štěpení uranu ${}_{92}^{235}\text{U}$ :

Atom je základní částicí hmoty, která se skládá z jádra obklopeného elektrony. Jádro atomu je složeno z protonů a neutronů. V reaktoru JETE se pomocí neutronů štěpí jádra uranu a přitom se uvolňuje energie. Při zásahu jádra **uranu**  ${}_{92}^{235}\text{U}$  neutronem se jádro rozpadne na dvě nebo více částí (odštěpků). Odštěpky se vzájemně odpuzují v důsledku působení elektrických sil, a proto se od sebe vzdalují velkou rychlostí. Při jejich zabrzdění v prostředí se pohybová energie mění na energii tepelnou. Při jednom štěpení se rovněž uvolní 2 - 3 rychlé neutrony. Pravděpodobnost srážky neutronu s jádrem a následné rozštěpení jádra klesá s kinetickou energií neutronu. Z tohoto důvodu je potřeba neutrony zpomalovat tzv.

moderátorem, kterým je u reaktoru **VVER** chemicky upravená demineralizovaná voda (chladiivo). Při štěpení jader vzniká zároveň záření, které je absorbováno v samotném palivu, v chladiivu, v konstrukčních materiálech primárního okruhu a ve stínění.

#### Popis funkce tlakovodního reaktoru:

V aktivní zóně reaktoru se přeměňuje jaderná energie uranu  ${}_{92}^{235}\text{U}$  pomocí řízené štěpné reakce na energii tepelnou. Aktivní zóna se skládá z palivových souborů (kazet) tvořených palivovými proutky, které obsahují palivo (mírně obohacený uran  ${}_{92}^{235}\text{U}$ ). Palivové proutky jsou chlazeny vodou z primárního okruhu, která je zároveň moderátorem. Produkce tepla je dána výkonem aktivní zóny. Rychlé změny výkonu se dosahuje řídicími absorpčními tyčemi. Pomalé změny výkonu se dosahuje změnou koncentrace bóru v chladiivu. Cirkulaci chladiiva v primárním okruhu zajišťují čtyři hlavní cirkulační čerpadla. Teplo z primárního okruhu se předává přes tepelné výměníky (**parogenerátory**) do sekundárního okruhu. Stěny trubek parogenerátorů oddělují primární okruh od sekundárního a zabraňují přechodu radioaktivních látek z chladiiva primárního okruhu do okruhu sekundárního. Voda v sekundárním okruhu se v parogenerátorech na základě tepla získaného z primárního okruhu odpaří a vznikne sytá pára, která pohání turbínu (přeměna tepelné energie v energii mechanickou). Na turbínu je připojen **generátor** (přeměna mechanické energie v energii elektrickou). Po průchodu turbínou je pára odváděna do kondenzátoru, kde se ochlazuje a přeměňuje ve vodu. Chlazení kondenzátorů je zajištěno vodou z chladících věží, ze kterých je odpadní teplo odváděno do ovzduší. Elektrická energie vyrobená v generátoru se přenáší do sítě vysokého napětí. Po zvýšení napětí (blokovými transformátory) z **24 kV** na **400 kV** je elektrická energie odvedena do rozvodny Kočín, která se nachází jižně od elektrárny ve vzdálenosti asi 5 km [1].

## 2.2 Odpadní teplo

Primární zdroje energie jsou všechny zdroje energie, které vytvořila příroda. Rozdělují se na dvě skupiny (**vyčerpatelné zásoby** a **obnovitelné zdroje**). Energie se nedá vyrobit, lze ji pouze uvolnit z různých zdrojů a měnit její formy. V oblasti

těchto přeměn s ní může společnost hospodařit při uvolňování a využívání primárních zdrojů energie. Při využívání zdrojů energie vznikají druhotné zdroje energie (**odpadní teplo**). Druhotné zdroje energie vznikají při spotřebě paliv a energií v technologických systémech, ve kterých se celá vložená energie nevyužije. Tato energie může být zdrojem pro jiná zařízení. Může zcela či částečně nahradit spotřebu paliv a energie. Odpadní teplo se může využít v podobě teplé vody či vzduchu [2].

### 2.3 Odpadní teplo z jaderné elektrárny

Odpadní teplo z jaderných elektráren se svými parametry podstatně neodlišuje od odpadního tepla vznikajícího v elektrárnách spalujících fosilní paliva. S rozvojem jaderné energetiky výrazně stoupá množství odpadního tepla, a to jak absolutně, tak i relativně, protože jaderné elektrárny produkují větší množství odpadního tepla na jednotku vyrobené elektrické energie. V jaderných elektrárnách se produkuje teplo a pouze **jedna třetina** se využije na výrobu elektrické energie. Dalším aspektem spojeným s jadernými elektrárnami je až doposud nevídaná koncentrace výroby elektrické energie. Ta společně s nižší účinností přeměny tepelné energie v elektrickou má za následek významné tepelné zatížení prostředí, které má vliv na okolní životní prostředí. Jedním z hlavních cílů využití odpadního tepla je tedy využití této suroviny v dalších procesech [3].

#### Kategorizace odpadního tepla z jaderných energetických zdrojů:

**I. Kategorie:** nízko-potenciální odpadní teplo v chladicí vodě o teplotě 25 - 33°C v závislosti na atmosférických podmínkách.

**II. Kategorie:** upravené nízko-potenciální teplo získané přehřevem oteplené vody chladicího okruhu na teplotu 50 - 65°C.

**III. Kategorie:** teplo pro horkovody centralizovaných soustav zásobování teplem o teplotě vody 130 - 200°C.

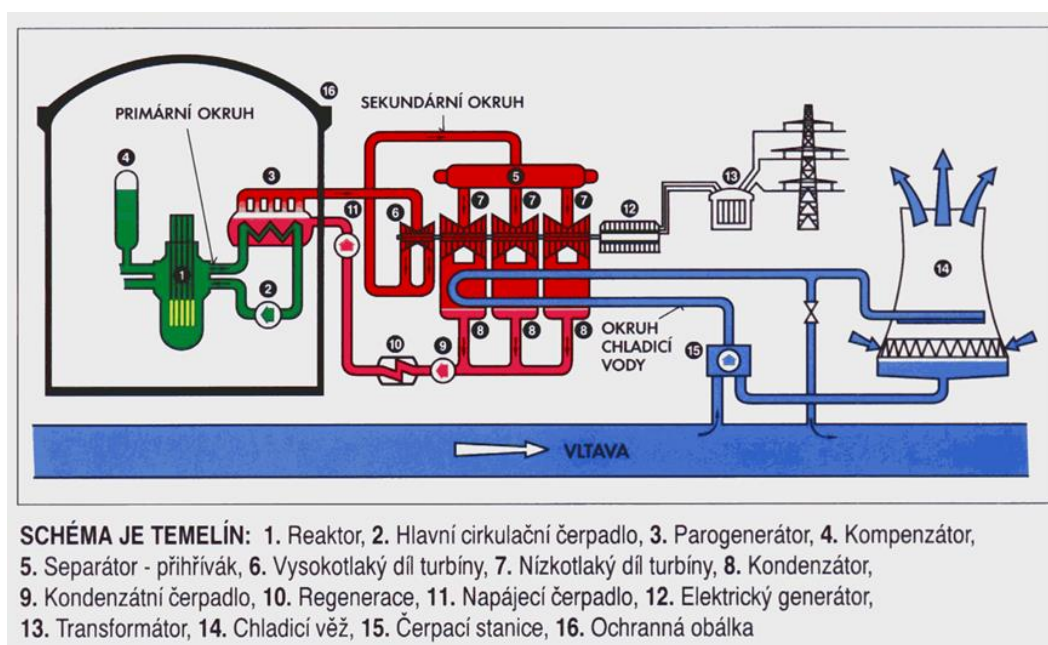
**IV. Kategorie:** teplo pro horkovody centralizovaných soustav zásobování teplem o teplotě páry 200°C.

Pro diplomovou práci je přednostní odpadní teplo **I. kategorie**. Tato kategorie je výchozím zdrojem tepelné energie pro navrhovaný projekt.

**Kategorie III. a IV.** jsou charakterizovány jako ekonomické teplo. Toto teplo se dá využít pro sušení zemědělských produktů a v potravinářství. Dále jako centralizované zásobování teplem přílehlých i vzdálenějších obytných celků [4].

## 2.4 Nízko-potenciální odpadní teplo z jaderné elektrárny

Mezi nízko-potenciální odpadní teplo z jaderné elektrárny se zařazuje odpadní teplo **I. kategorie**. Jako médium pro přenášení této energie se používá voda, která má teplotu 25 - 33°C v závislosti na atmosférických podmínkách. Tato nízko-potenciální energie se může dále transformovat například pomocí tepelného čerpadla na odpadní teplo **II. kategorie**, jejíž teplota vody může být až 65°C. Vhodným místem pro umístění tepelného čerpadla je ve smyčce před chladicí věží.



Obrázek 2.1: Schéma tří okruhů JETE [5]

Nízko-potenciální tepelná energie v podobě teplé vody se může využít z **terciálního chladicího okruhu** jaderné elektrárny (obrázek 2.1). Jedná se o uzavřený okruh mezi kondenzátory a chladicími věžemi s nucenou cirkulací vody, která je zajišťována pomocí čerpadel. Cirkulační chladicí okruh slouží ke kondenzaci páry v turbíně, která je součástí druhého okruhu JETE. Teplá cirkulační voda je chlazená v chladicích věžích s přirozeným tahem vzduchu. Chladicí účinek věže s přirozeným tahem vzduchu spočívá v tom, že proud vzduchu způsobuje odpar části chladicí vody a tím odvádí tepelnou energii této vody do atmosféry. Množství odpařené vody závisí na meteorologických poměrech (teplota a vlhkost ovzduší). Průměrná hodnota odparu z jedné věže pro jaderný blok o výkonu 981 MW činí přibližně 0,41 m<sup>3</sup>/s vody, tj. **0,82 m<sup>3</sup>/s** ze dvou věží, které odvádějí část chladicí vody z jednoho bloku JETE.

Odparem se zvyšuje koncentrace rozpuštěných nečistot, které jsou obsaženy v chladicí vodě cirkulačního okruhu. Aby nedocházelo k usazování těchto nečistot v systému cirkulační vody, odpouští se část vody z okruhu kontinuálně do **Vltavy**. Odluhy tvoří převážnou část všech odpadních vod, které jsou vypouštěny z elektrárny (**93 - 94 %**). Ztráty vody, které jsou způsobeny odparem a vypouštěnými odluhy, jsou nahrazovány upravenou vodou z řeky. Při vyhovující kvalitě vltavské vody je možno tuto vodu používat k chlazení i bez chemické úpravy [5].

### 3. Technologie pro využití nízko-potenciálního tepla

Tyto technologie slouží k přenosu tepelné energie pro její další využití. Jejich hlavní rozdělení je na dvě základní skupiny. První skupinou jsou technologie pro využití nízko-potenciálního tepla bez transformace energie na vyšší teplotní stupeň. Mezi ně patří například **tepelné výměníky**, ve kterých si látky předávají tepelnou energii. Výstupní teplota látky proudící z výměníku nepřesahuje vstupní teplotu látky proudící do výměníku. Jsou konstrukčně jednoduché a velmi rozšířené. Druhou skupinou jsou technologie pro využití nízko-potenciálního tepla s transformací energie na vyšší teplotní stupeň. Mezi nejrozšířenější patří především **tepelná čerpadla (TČ)**. TČ jsou schopna za pomoci elektrické energie několikrát znásobit poměr mezi dodanou a vyprodukovanou tepelnou energií. V posledních letech se rozšířilo jejich využití, především v nízko-energeticky náročných stavbách.

#### 3.1 Využití tepla bez transformace energie

Pro využití nízko-potenciální energie bez transformace energie na vyšší teplotní stupeň se využívají tepelné výměníky. Výměník tepla je zařízení umožňující předávání tepla z **teplejšího média chladnějšimu**. Pracovní látky mohou být v kapalném či plynném stavu.

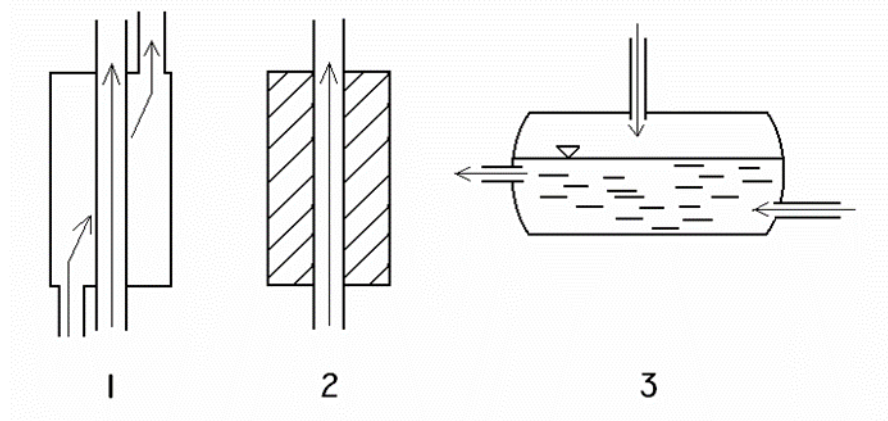
Tepelné výměníky můžeme klasifikovat podle několika hledisek (tabulka 3.1). První kritérium rozděluje tepelné výměníky je podle způsobu předání energie. Druhé kritérium rozdělení je podle směru proudících kapalin. Třetí kritérium rozdělení je podle konstrukčního provedení.

<b>Způsob předání energie:</b>	<b>Směr proudících kapalin:</b>	<b>Konstrukční provedení:</b>
Rekuperační	Souproudé	Deskový
Regenerační	Protiproudé	Trubkový
Směšovací	Křížový tok	

Tabulka 3.1: Rozdělení tepelných výměníků [6]



Na obrázku 3.1 jsou zobrazeny tepelné výměníky a jejich rozdělení podle způsobu předání energie. Ve výměnících může docházet k předání energie bez kontaktu proudících látek, nepřímým sdílením tepla nebo smísením obou látek.



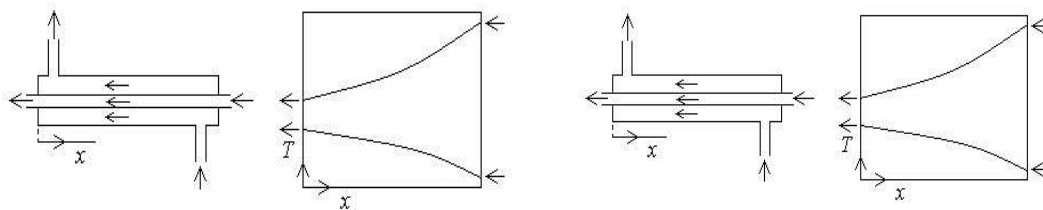
Obrázek 3.1: Schéma výměníků tepla. 1 - rekuperační, 2 - regenerační, 3 - směšovací [6]

**Rekuperační výměník** je druh tepelného výměníku, ve kterém nedochází ke kontaktu pracovních látek. Pracovní látky odděluje nepropustná stěna, která tvoří teplosměnnou plochu výměníku. V technické praxi je nejčastěji využíván pro svoje jednoduché technické provedení.

Naopak v **regeneračním výměníku** se teplo sdílí nepřímo. Tělesem výměníku se vede nejprve teplejší médium, teplo se naakumuluje ve stěnách výměníku a poté se dovnitř vede chladnější pracovní látka, která část tepla odebere. Tento typ výměníku je hojně využíván ve stavebnictví, zejména pasivních domech.

Ve **směšovacím výměníku** se ohřívající a ohřívaná tekutina mísí a vyměňují si teplo přímo. Jako příklad směšovacího výměníku je chladicí věž jaderné elektrárny, kde se teplá voda směšuje se vzduchem.

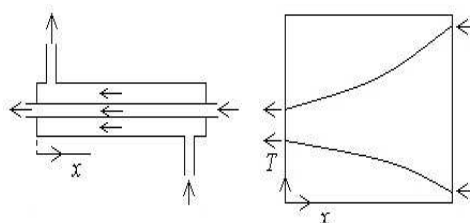
Na obrázku 3.2 - 3.4 je další rozdělení tepelných výměníků a to podle proudění pracovních látek. Pracovní látky mohou proudit jedním směrem, protisměrně, nebo křížovým tokem.



Obrázek 3.3: Protiproudý výměník [7]

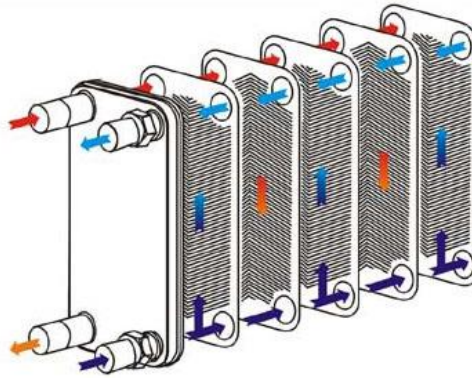
Obrázek 3.2: Soproudý výměník [7]

**Soproudé** výměníky tepla mají směry proudů teplotonosných médií ve stejném směru. **Protiproudé** mají směry proudů teplotonosných médií rovnoběžné, ale mající opačný smysl. Tepelné výměníky s **křížovým** tokem mají osy proudů teplotonosných médií mimoběžné, a v kolmém průmětu spolu svírají úhel  $90^\circ$ .



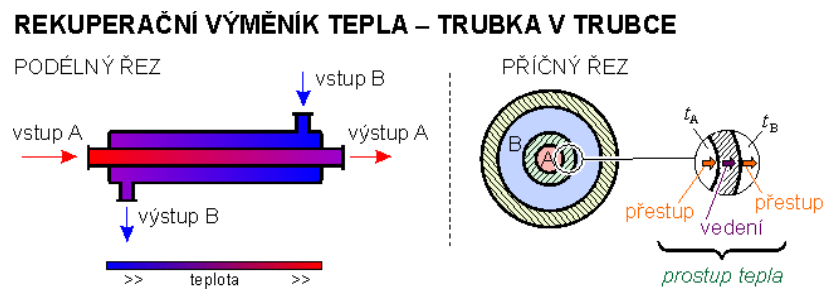
Obrázek 3.4: Výměník s křížovým tokem [7]

Výměníky tepla se dále rozdělují podle konstrukčního provedení. Mezi hlavní provedení patří **deskové** a **trubkové** výměníky. U **deskových** výměníků (obrázek 3.5) je teplosměnná plocha tvořena z tenkých kovových desek. Tyto desky jsou k sobě připájeny a mají v sobě vylisované kanálky, kterými proudí pracovní látky.



Obrázek 3.5: Deskový výměník [7]

**Trubkové** výměníky (obrázek 3.6) se skládají z pláště, ve kterém jsou jednotlivé trubky. V mezitrubkovém prostoru se obvykle umísťují přepážky, které zpomalují pohyb vnější pracovní látky a prodlužují dobu přenosu energie [6 - 7].

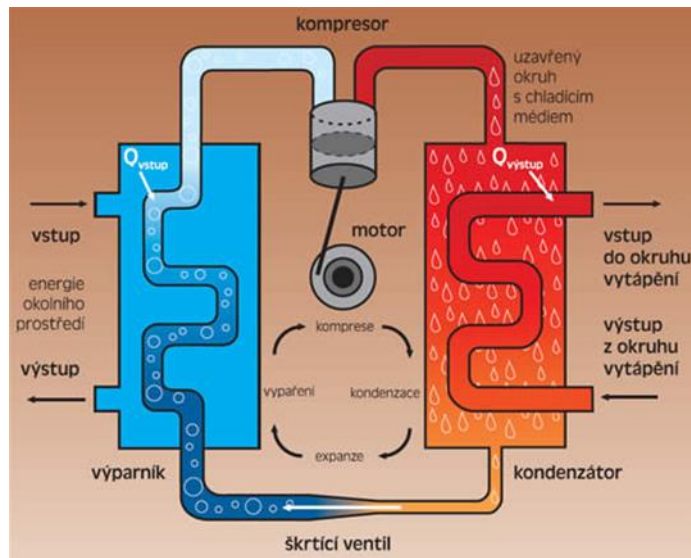


Obrázek 3.6: Trubkový výměník [7]

### 3.2 Využití tepla s transformací energie

Ke zvýšení energetického potenciálu nízko-potenciální energie se využívají tepelná čerpadla (TČ). TČ se všeobecně chápe jako zařízení, jehož mechanicky nebo elektricky poháněné čerpadlo dodává teplo, které získává z okolního prostředí (vzduch, voda, země). Toto teplo může sloužit například k vytápění či ohřevu teplé vody. V zemi, ve vodě i ve vzduchu je obsaženo velké množství tepla, avšak jeho nízký teplotní potenciál neumožňuje jeho přímé využití pro vytápění nebo ohřev vody. Aby bylo možné toto teplo využívat, je potřeba ho převést na vyšší teplotu. Čím vyšší je teplotní hladina tepelného zdroje, tím efektivněji TČ pracuje. TČ tedy energii nevyrábí, ale pouze přečerpává na vyšší teplotní úroveň [8].

TČ je zařízení, mezi jehož základní části (obrázek 3.7) patří **výparník**, **kompresor**, **kondenzátor** a **expanzní ventil** [9].



Obrázek 3.7: Schéma tepelného čerpadla [9]

**Výparník** je výměník tepla určený k přenosu tepla mezi zdrojem vnějšího nízko-potenciálního tepla (vzduch, voda, země) a chladivem. Jeho primární stranou teče (nebo obtéká zvenku, podle konstrukce) médium, ze kterého se odebírá teplo a v sekundární straně se odpařuje vstříkované kapalné chladivo.

**Kondenzátor** pracuje jako výměník určený pro výměnu tepla mezi chladivem a topným systémem. V primární straně kondenzuje horké stlačené plynné chladivo, které předává teplo vodě na sekundární straně výměníku.

Další částí je termostaticky řízený **expanzní ventil** s tryskou. Otevírání trysky je řízeno teplotou a tlakem v potrubí vedoucím k výparníku. Jeho tryskou je kapalné chladivo vstříkováno do výparníku.

**Kompresor** stlačuje chladivo, které je v plynném stavu a přečerpává ho do kondenzátoru. Pomocí stlačení dává chladivu tepelnou energii. Kompresory jsou nejčastěji poháněny elektrickou energií [10].

**Princip funkce** TČ je znázorněn na obrázku 3.7. Na vstupní straně TČ je vždy výměník tepla, nazývaný výparník, kde se pomocí vhodného teplotosného média (vzduch, voda) přivádí nízko-potenciální teplo zvenku a do jeho druhé poloviny se tryskou termostatického expanzního ventilu (TEV) vstříkuje pod

tlakem kapalného chladiva. Tlak ve výparníku za TEV je nižší a kapalného chladiva se proto rychle odpařuje. Tím se celý výparník podchlazuje na teplotu nižší, než je teplota prostředí, ze kterého se odebírá teplo. Tímto způsobem je dosaženo toho, že teplo ze „studené“ strany ohřívá podchlazený plyn a tento ohřátý, ale stále ještě studený plyn je nasáván kompresorem. Nasávaný plyn má v sobě naakumulovanou energii, která byla získána z okolního prostředí. Po stlačení kompresorem se plyn silně zahřeje. V kompresoru se k energii nesené plynem přidá další část energie ve formě ztrátového tepla z motoru kompresoru a tepla vzniklého třením jeho pohyblivých ploch. Stlačený plyn na výtlaku kompresoru dosáhne vyšší teploty než voda v topném systému a je veden do kondenzátoru, kterým topná voda proudí. Tam horký plyn zkapalní a předá teplo chladnější topné vodě. Kapalina je zase vedena do expanzního ventilu[9].

Velmi důležitým parametrem TČ je **topný faktor**. Přibližný vztah pro výpočet topného faktoru kompresorového čerpadla je uveden jako

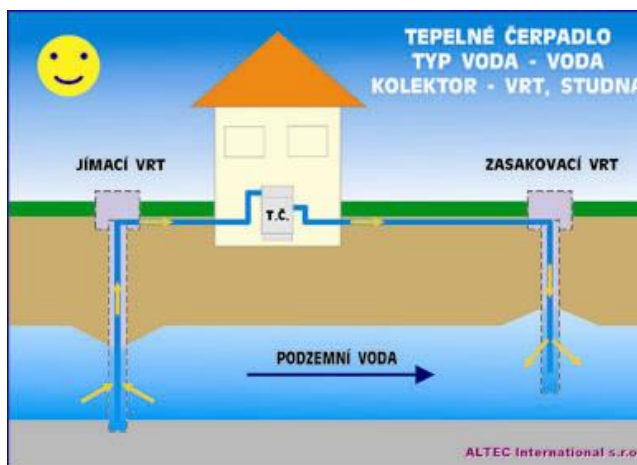
$$TF = k \cdot \frac{T_{OUT}}{(T_{OUT} - T_{IN})} \quad (7.1)$$

Kde  $k$  je korelační součinitel respektující skutečný oběh (0,4 – 0,6),  $T_{OUT}$  je výstupní teplota vody z tepelného čerpadla (K),  $T_{IN}$  je vstupní teplota vody do tepelného čerpadla (K). Topný faktor vyjadřuje poměr dodaného tepla k množství spotřebované energie. Nabývá různých hodnot, které závisí na vstupní a výstupní teplotě vody, typu kompresoru a dalších faktorech. Topný faktor pro kompresorové TČ lze stanovit z rozdílu mezi teplotou kondenzační a vypařovací [11].

Pro dosažení minimální spotřeby pohonné energie a dosažení vysoké hodnoty topného faktoru je zapotřebí, aby teplota zdroje nízko-potenciálního tepla byla co nejvyšší. Rozdíl teplot na vstupu a výstupu, má být co nejnižší, protože čím menší rozdíl hladin teplot musí tepelné čerpadlo překonávat, tím méně energie spotřebuje a tím vyšší má topný faktor. Maximální pracovní teplota TČ na výstupu je většinou **65°C**. Běžně tepelná čerpadla dodají za ideálních podmínek třikrát až čtyřikrát více tepla, než spotřebují elektřiny na svůj provoz [12].

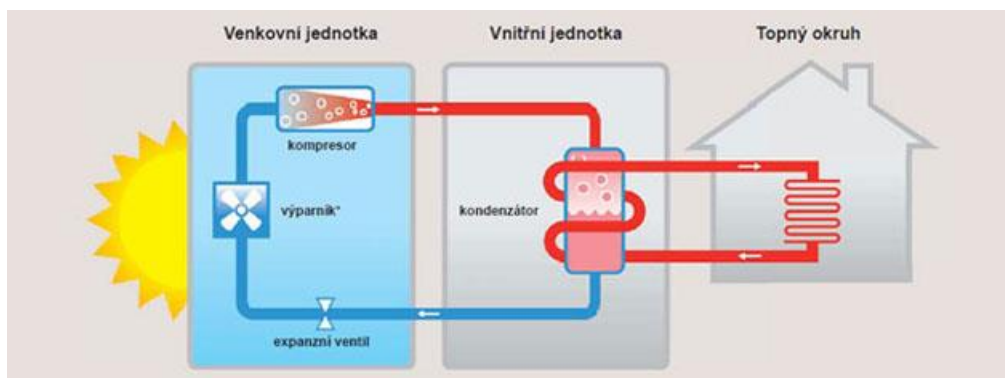
## Rozdělení TČ podle teploty otopné látky:

**Voda-voda** - Pro tento systém je zdrojem tepla povrchová, podzemní nebo spodní voda. Tento druh TČ nabízí nejvyšší topný faktor, ale lokalit vhodným k jeho instalaci je naopak málo. Odebírané teplo může být předáváno topné soustavě v podlahovém nebo radiátorovém vytápění. Ze zdroje odebíráme vodu (nejčastěji studna), která projde výměníkem TČ a ten z ní odebere část tepla a poté je čerpána zpět do země druhou (vsakovací) studnou. Vzdálenost mezi vrtly by měla být minimálně 10 metrů. Podzemní voda má poměrně stabilní teplotu okolo **10°C**. Můžeme využívat i odpadní vody z průmyslové výroby, či teplé geotermální vody z hlubinného vrtu.



Obrázek 3.8: Princip TČ voda - voda [13]

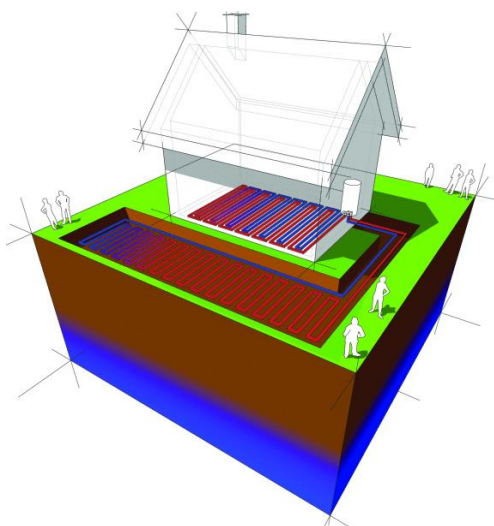
**Vzduch-voda** - TČ odebírá teplo z venkovního vzduchu. Vzduch je nasáván přímo do TČ a získané teplo může být využito pro ohřev vody v topném systému. Výkon TČ se mění s teplotou venkovního vzduchu, tedy vzrůstá-li teplota venkovního vzduchu, roste i jeho výkon a naopak. Tento systém má mnoho výhod vyplývajících ze snadné instalace a univerzálnosti. TČ tohoto typu lze namontovat prakticky na jakoukoliv stavbu.



Obrázek 3.9: Princip TČ voda - vzduch [14]

**Voda-vzduch a Vzduch-vzduch** - Tyto TČ pracují na stejném principu jako předešlá, s tím rozdílem, že tepelný výkon předávají vnitřnímu vzduchu objektu. Díky tomu, že tyto TČ ohřívají vzduch přímo, bez prostřednictví topného systému, dosahují výrazně lepších topných faktorů než klasická TČ s topným systémem.

**Země-voda** - Tento systém čerpá tepelnou energii ze země pomocí zemního kolektoru nebo geotermálního vrtu. TČ s plošným kolektorem odebírá ze země pod svojí plochou přibližně 2 % energie, zbylých 98 % odebírá z vrstvy zeminy nad svojí plochou, kde je naakumulovaná energie ze slunce. Tento systém TČ, může použít získané teplo pro ohřev vody v topném systému. Vůči venkovním atmosférickým podmínkám můžeme tento systém hodnotit jako nejstabilnější. Jeho nevýhodou jsou zemní práce, které jsou nezbytnou součástí jeho instalace [15].



Obrázek 3.10: Uložení zemních kolektorů u TČ země - voda [16]

### **Výhody použití TČ:**

TČ dodá několikanásobně více energie, než spotřebuje - běžně trojnásobek, ale při vhodných podmínkách až šestinásobek. Jeho provoz je regulován automaticky. Nabízí ekologicky čistý provoz v místě využívání, protože neprodukuje žádné emise. Snižuje ekologickou zátěž v důsledku snížení spotřeby elektřiny vůči klasickému elektrickému vytápění.

Má nižší požadavky na instalovaný příkon. Využívá snadno dostupnou elektrickou energii pro jeho pohon.

### **Nevýhody použití TČ:**

TČ má vysoké pořizovací náklady, přibližně **9 600 Kč** za 1 kW výkonu. Výstupní teplota topné vody je maximálně 65°C, a proto je nutná nízko-teplotní tepelná soustava, která je nákladnější. U systému voda/voda je nutné dostatečně propustné podloží, provedení čerpací zkoušky, provedení chemické analýzy vody, vyřízení příslušných povolení, vydatnost pramene minimálně **2,2 l/min** na 1 kW instalovaného výkonu. Systém vzduch/voda má nižší účinnost při silných mrazech, může být hlučné. U systému země/voda je potřeba dostatečné plochy pro zemní kolektor a proto je v budoucnu vyloučena jakákoliv jiná výstavba [17].



## 4. Využití druhotných zdrojů tepelné energie

V kapitole využití druhotných zdrojů tepelné energie jsou uvedeny vybrané projekty na využití nízko-potenciálního tepla. V České republice již existuje mnoho projektů, které mají velmi dobrou hospodárnost s rychlou ekonomickou návratností. Hodně společností nabízí nejrůznější technologie na využití odpadního tepla nebo technologie s minimální energetickou spotřebou. Snížení nákladů za energii se v současné době stává jednou z hlavních priorit. Pokles růstu ekonomiky, vzrůstající cena a spotřeba energií jsou jedny z hlavních faktorů vedoucích k tlaku na energetickou optimalizaci.

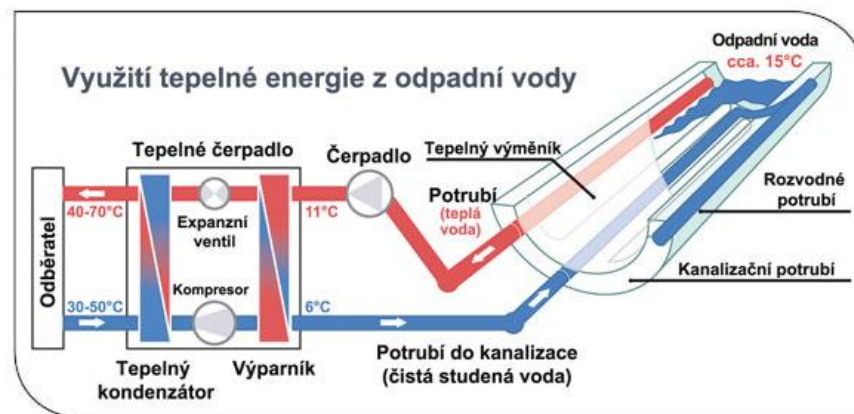
### 4.1 Příklady využití druhotných zdrojů tepelné energie

Společnost Robert Bosch sídlící v Českých Budějovicích se rozhodla pro využití odpadní energie ve svých nově vybudovaných výrobních halách. Zdrojem energie je technologické odpadní teplo o teplotě 25°C vznikající při výrobě automobilových součástek. Odpadní teplo v podobě teplé vody využívá TČ pracující na principu voda/voda. Rekuperovaná energie v podobě vody o teplotě 65°C se využívá pro vytápění výrobní haly a kanceláří. V projektu bylo firmou IVT dodáno 11 TČ o výkonu 600 kW a úspora ve spotřebě elektrické energie byla stanovena na **12 %** [18].

Pro úsporu finančních nákladů za vytápění se rozhodli i představitelé Zoologické zahrady v Ústí nad Labem. Nový projekt na vytápění zakrytých pavilonů patří svým rozsahem i netradičním řešením mezi nejzajímavější instalace s využitím TČ v České Republice. Zdrojem tepelné energie je voda o primární teplotě 32°C z geotermálního vrtu hlubokého 515 metrů. Celkový instalovaný výkon TČ je 960 kW. TČ zajišťují dodávku **99,5 %** tepla, zbylé teplo dodávají elektrokotle. V roce 2005 získal tento projekt ocenění ekologická stavba roku, kterou vyhlašuje sdružení. Stavíme ekologicky spolu se svazem podnikatelů a Ministerstvem životního prostředí [19].

Další zajímavou oblastí je využití tepelné energie z odpadních vod. Průměrná teplota odpadních vod v průběhu roku kolísá, ale zřídka kdy klesne pod **8°C**. Této relativní stálosti se dá využít především pro získání nízko-potenciálního tepla z čističek odpadních vod a pomocí TČ lze navýšit teplotu topného okruhu přibližně na 65°C. Toto teplo je dále možno využít pro vytápění objektů čistíren odpadních vod, na **ohřev teplé užitkové vody**, na **sušení kalu** či na **ohřev kalu do fermentačních nádrží**.

Tento systém se dá využít v objektech, jejichž odtok odpadních vod je v době provozu bez přerušení. Jedná se například o potravinářské provozy, akvaparky nebo léčebná zařízení. Tento princip využívá Berlínská prodejna nábytku IKEA, která je vytápěna a klimatizována díky využití energie z odpadních vod. Instalace, zahrnující obtokové potrubí z kanalizační sítě, tepelný výměník a TČ, využívá tepelnou energii z odpadních vod a pokrývá **70 %** energie potřebné na vytápění budovy a **100 %** energie nutné k jeho klimatizaci. Emise skleníkových plynů tak poklesly o **770 tun** uhlíkového ekvivalentu za rok. Tepelný výkon instalace je 1 100 kW a chladicí výkon 1 700 kW [20].

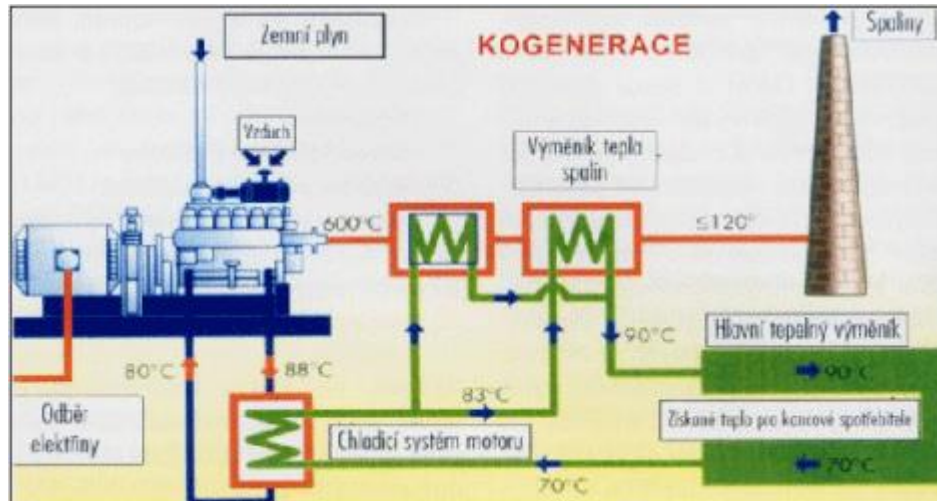


Obrázek 4.1: Princip využití tepelné energie z odpadní vody [20]

Velmi efektivní využití odpadního tepla se nabízí v bioplynových stanicích. Bioplynové technologie produkují energii z obnovitelných zdrojů a jsou významné pro ochranu životního prostředí a k zužitkování biologických odpadů. Využitím odpadního tepla z bioplynové stanice se urychlí provozovateli návratnost jeho investice. Odpadní teplo vzniká v kogenerační jednotce, která z bioplynu vyrábí elektrickou energii. Kogenerační jednotka musí být při svém provozu chlazená a

tím vzniká velká část odpadního tepla, které může být využito například pro **sušení zemědělských plodin, dřeva, vytápění zemědělských či administrativních budov** nebo **blízkých obytných jednotek**. Kogenerační jednotka je nadimenzována tak, že vyrobí přibližně tolik tepelné energie jako elektrické. Bioplynová stanice o výkonu kogenerační jednotky 540 kW je schopna za rok vyrobiť až 4 300 MW tepelné energie. Tato energie je v podobě horké vody (až **90°C**) a horkých spalin (až **650°C**) a získává se pomocí tepelných výměníků. Toto odpadní teplo má vysoký potenciál, ale nevýhodu v tom, že se bioplynové stanice nejčastěji nacházejí na okraji obytných částí a jeho využití zvýší počáteční investice na vybudování teplovodu.

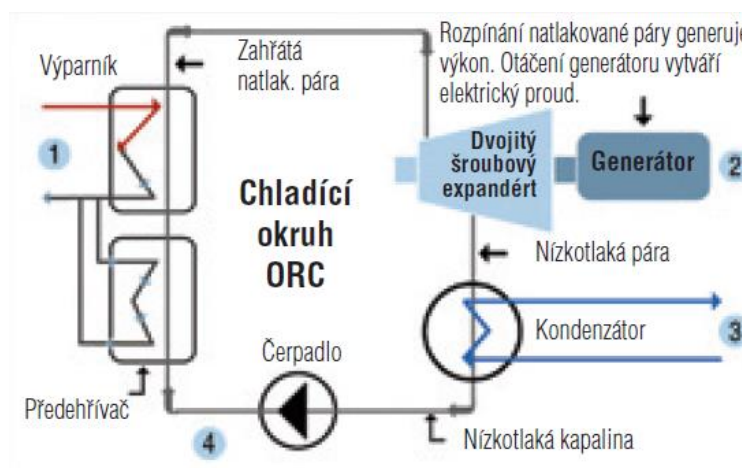
Ve městě Třeboň vznikla spolupráce mezi místními lázněmi Aurora a bioplynovou stanicí o využití odpadního tepla pro lázně. Z bioplynové stanice byl vybudován 4,3 km dlouhý bioplynovod, který do lázní přivádí bioplyn. V lázních mají vlastní kogenerační jednotku, která vyrábí elektrickou energii a teplo pro celkový provoz. Tímto projektem došlo ke znatelnému snížení provozních nákladů [21].



Obrázek 4.2: Princip využití odpadního tepla z kogenerační jednotky [21]

Další efektivní možností využití odpadního tepla z bioplynové stanice (obrázek 4.3) je využití jednotky green machine. Tato jednotka od společnosti Electra Therm vyrábí bez palivovou a bez emisní elektřinu z odpadního a technologického tepla již od jeho teploty **77°C**. Green machine pracuje na principu Organického Rankinova cyklu pro využití odpadního tepla, které je přeměňováno

na elektrickou energii. Voda se varem přeměňuje na páru, která je poté transformována na elektrickou energii. Green machine využívá nepotřebné teplo k zahřátí provozní kapaliny na bod varu a její přeměnění na plyn. Jedna tato jednotka o elektrickém výkonu 20 - 65 kW potřebuje příkon odpadní vody o teplotě 77 - 116°C, tepelný příkon 300 - 860 kW a průtok 3,8 - 12,6 l/s. V bioplynové stanici Moravská Třebová byla instalována jednotka o výkonu 50 kW. Dosažená vstupní teplota je 90°C a její průměrný výkon 36 kW. Instalací jednotky došlo k účinnosti výroby elektrické energie o 12,84 % a navýšení tržeb z elektrické energie až o 17 %. Skutečná návratnost instalované jednotky je menší než dva roky [22].



Obrázek 4.3: Princip funkce jednotky green machine [23]

## 5. Návrhy na využití nízko-potenciálního odpadního tepla z JETE pro zemědělskou produkci

Ještě před samotnou výstavbou JETE vznikaly projekty na využití nízko-potenciálního odpadního tepla pro zemědělskou produkci. V této kapitole jsou představeny teoreticky předpokládané možnosti tohoto využití. Jsou zde uvedeny projekty, které vznikaly před výstavbou a projekty navrhované po výstavbě. Projekty dělí dlouhé časové období, což znamená, že novodobé záměry můžou využít nových technologií pro využití odpadního tepla. Projekt na využití nízko-potenciálního tepla pro vytápění zakryté pěstební produkce je zpracován v následující samostatné kapitole.

### 5.1 Návrhy na využití nízko-potenciální tepla před výstavbou JETE

#### Vytápění volné pěstební plochy:

Cílem využití nízko-potenciálního odpadního tepla na volných pěstebních plochách je poskytnout zemědělské polní výrobě cenově dostupný zdroj energie, který umožní produkci při lepších výnosech, lepší kvalitě, prodloužení vegetačního období a možnost pěstování nových druhů plodin. Touto problematikou se zabýval výzkumný ústav Praha-Zbraslav [24], který ověřoval systém vytápění volných pěstebních ploch ve výzkumné stanici v okrese Tábor. Otopný systém tvořil polyetylenové potrubí o průměru 50 mm uložené v hloubce 0,6 - 0,7 m pod povrchem půdy s roztečí 1 m. Teplota otopného média se pohybovala okolo 34°C. Roční spotřeba energie byla 1,5 - 2,5 GJ.m<sup>-2</sup>. Získané výsledky dokazovaly, že vyhříváním nekryté půdy stoupla průměrná roční teplota rhizosféry o 5,7°C. Povrch půdy byl teplejší v měsíci březnu na vyhřívané půdě o 1,8°C, v dubnu o 3,6°C a v květnu o 3,5°C. Průběh teplot v jarních měsících je pozitivní z hlediska urychlení vegetace a nástupu do jarních prací. Na těchto pozemcích se například zvýšila sklizeň jahod o 14 %, špenátu o 35 % nebo ředkviček o 25 %.

### Pěstování řas pro výrobu bionafty:

Produkční kultivace autotrofních mikroorganismů, zejména řas a sinic, využívajícího sluneční záření, je industrializováno formou rostlinné výroby. Získaný produkt, v němž lze v širokém rozmezí měnit poměr jednotlivých složek (glycidy, bílkoviny, tuky) má vysoký obsah vitamínů a dalších biologicky významných látek. Vodní řasy mají výborný energetický potenciál a v blízké budoucnosti mohou být významnou složkou z oblasti obnovitelných zdrojů energie. Fakt, že biopaliva z vodních řas mohou být přímo používána v autech s dieslovým motorem bez výrazné technické úpravy motoru, je považován za jednu z největších výhod energetického využití vodních řas. V přírodě jich existuje přibližně 80 000 druhů a odrůd, k pěstování jich bude využíváno jen pár druhů. Potřebná teplota vody pro jejich pěstování je minimálně 25°C.

### Vytápění objektů živočišné výroby:

Pro nízko-teplotní vytápění objektů živočišné výroby, zejména teletníků a poroden prasnic se selaty je předpokládán otopný systém s teplovodními podlahovými panely. Povrchová teplota panelu je závislá na střední teplotě otopné vody a teplotě okolního prostředí. Předpokládá se, že v porodnách prasnic se selaty bude zapotřebí střední teplota otopné vody 39°C. Celková roční spotřeba energie, včetně podílu elektrické energie pro pohon oběhových čerpadel činí 4,88 GJ na jeden porodní kotec. V prostorech mléčné a rostlinné výživy telat jsou požadované povrchové teploty podstatně nižší. Cílem je především zlepšení mikroklimatu ve stájích pro výkrm skotu a pro dojnice. Výrazným snížením relativní vlhkosti a zvýšením teploty v zimním období se dosáhne vyšší užitkovosti zvířat, snížení spotřeby jaderných krmiv a lepšího zdravotního stavu zvířat.

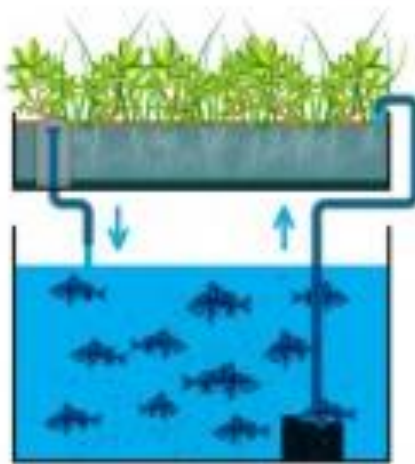
### Chov ryb:

Na začátku výstavby bylo uvažováno o využití odpadního tepla pro chov ryb. Tehdejší podnik Státního rybářství České Budějovice navrhoval tři varianty pro tento záměr. V jedné z nich mělo být odpadní teplo vedeno do oblasti Hluboké nad Vltavou, kde měla být plocha pro chov ryb v upraveném korytě řeky Vltavy. Byl zájem například o chování pstruha duhového, tilápie nilské nebo sumečka amerického. Všechny projekty byly finančně a technicky náročné, proto se ani jeden nedočkal konečné realizace [24].

## 5.2 Návrhy na využití nízko-potenciální tepla po výstavbě JETE

### Aquaponický systém:

Mezi netradiční způsoby pěstování rostlin patří aquaponický systém. Tento systém funguje na principu chovu ryb a pěstování rostlin. Spojením těchto produkcí se získá značná ekonomická perspektiva. Ryby v takových systémech svými výkaly živí rostliny a ty zase čistí vodu rybám. Jedná se o promyšlený, samostatně fungující ekosystém. Systém tvoří velké rybí nádrže, odkud proudí voda z rybích výkalů nasycená amoniakem. Ta se pak odvádí do nádoby s rostlinami. Znečištěná voda, která rybám nesvědčí, naopak skvěle slouží rostlinám, jež ji využívají a ta se poté vrací vyčištěná jejich kořenovým systémem zpět do rybí nádrže. Aquaponicky lze pěstovat téměř všechny druhy zeleniny a ovoce, ryby by ovšem měly být odolné, v českých podmínkách je nejvhodnější lín, kapr či tilapie. Odhaduje se, že úspora vody při tomto způsobu pěstování je až 90 %. V tomto systému se odpadní teplo využije pro ohřátí vody rybám a vytápění objektu pro pěstování rostlin [25].



Obrázek 5.1: Schéma aquaponického pěstování rostlin [25]

Na obrázku 5.1 je naznačeno schéma aquaponického pěstování rostlin. Jediným vstupem do tohoto uzavřeného systému je krmivo pro ryby v podobě granulí. Znečištěná voda výkaly ryb je čerpána k rostlinám, které tuto vodu pomocí kořenového systému vyčistí a odeberou si z ní živiny potřebné k jejich růstu. Vyčištěná voda je čerpána zpět rybám. Výnosy jsou z pěstovaných rostlin i ryb.

### Odchov kuřat pro masnou produkci:

Kuřata se chovají v uzavřených halách. Do haly se přivezou jednodenní kuřata brojlerového typu, která se přibližně 50 dní vykrmují na jateční váhu. Teplota při naskladnění musí být přibližně 33°C. Po uplynutí přesně stanovených časových úseků se postupně snižuje. Kuřata jsou velmi náchylná na dodržování optimální teploty vzduch v hale. Odpadní teplo se může využít například pro vzduchové vytápění těchto hal. Tento projekt by mohl být zajímavý ve spolupráci se společností Vodňanské kuře, která se zabývá zpracováním jateční drůbeže. Společnost sídlí 17 km od JETE [26].



## 6. Návrh využití nízko-potenciálního odpadního tepla pro skleníkovou produkci

V této kapitole je zpracován projekt na využití nízko-potenciálního odpadního tepla z JETE pro vytápění skleníku s následnou produkcí rajčat. Je zde popsána teorie o pěstování plodin v zakryté pěstební ploše a použité technologii. Pomocí vypočtené energetické bilance je stanovena roční spotřeba tepelné energie pro vytápění skleníku. Pro vytápění je navrženo tepelné čerpadlo, které využívá nízko-potenciální odpadní teplo v podobě teplé vody proudící do chladících věží. Dále je zpracována předběžná výtěžnost pěstované plodiny, kterou budou rajčata.

### 6.1 Zakrytá pěstební plocha

Skleník je stavba, která slouží k pěstování různých druhů rostlin a zajišťuje jim vyšší teplotu, než je v jejich okolí. Konstrukce skleníku jsou tvořena většinou z oceli nebo hliníku. V ocelové konstrukci je materiál (sklo, polykarbonát), který zabraňuje ztrátám tepla a propouští sluneční záření. Pro plodiny vyžadující větší vnitřní teplotu se využívají vytápěné skleníky. Konstrukce skleníku musí být odolná proti mechanickému poškození (kroupy, vítr, sníh).

Velice důležitá vlastnost je propustnost slunečního záření do skleníku. Sluneční záření podporuje růst rostlin a zmenšuje náklady na vytápění. Množství zachycené sluneční energie je ovlivněna konstrukcí skleníku, jeho polohou ke světovým stranám, propustnost krycích materiálů, optická odrazivost všech vnitřních povrchů konstrukce i půdy. V letních obdobích je důležité, aby skleník měl schopnost snižovat intenzitu slunečního záření. Velká intenzita záření může škodit vývoji rostlin a zvětšuje vnitřní teplotu. Tento efekt je eliminován stínovací clonou, která je umístěna v podstřešním prostoru skleníku a využitím větracích oken. Větrání také umožňuje vyrovnávat hladinu oxidu uhličitého a vlhkosti vzduchu.

Tvar skleníku má umožňovat co největší využití pěstební plochy. Z tohoto hlediska jsou výhodné kolmé stěny, které umožňují umístění rostlin nebo manipulaci s nimi v těsné blízkosti stěn.

Vybavení skleníku záleží na výši investice a potřebám pěstovaných rostlin. V moderních sklenících jsou instalovány mechanické pěstební stoly, automatické otevírání oken, automatizované závlahové systémy, čidla určující koncentraci oxidu uhličitého a vlhkosti, systémy pro zachytávání dešťové vody, otopné systémy, světelné systémy [27].



Obrázek 6.1: Pěstební skleník [27]

## 6.2 Hydroponické pěstování rostlin

Hydroponické pěstování rostlin je pěstování v živných roztocích. Využívá se zejména tam, kde není dostatek volné půdy. Další výhodou je automatické dávkování živného roztoku, který je rozpuštěn ve vodě. V podstatě se jenom doplňuje přesně stanovená hladina živného roztoku, rostlina si vodu odebírá sama. Při hydroponickém pěstování má rostlina dostatečnou zásobu vody na několik dní. Vzhledem k tomu, že rostliny dostávají správnou koncentraci živného roztoku, lépe koření a rychleji rostou.

Jako kotvicím prvkem se místo zeminy používá expandovaný granulát, který se nazývá keramzít. Rostliny jsou umístěny v nádobě, ve které je plastová vložka, v níž jsou kořeny obklopeny keramzitem [28].



Obrázek 6.2: Hydroponické pěstování rostlin [28]

Na obrázku 6.2 je hydroponický skleník postavený na jihovýchodě Anglie. Vidíme, že rozvod vody obohacené živným roztokem je u stropu pěstebního skleníku a pomocí hadiček je voda vedena k jednotlivým rostlinám.

### 6.3 Pěstební technologie

**Větrací systém** zabezpečuje pravidelné větrání. Větrání je důležitý proces, který musíme dodržovat při provozu pěstebního skleníku. V letních měsících vznikají ve skleníku vysoké teploty, které musíme pomocí větrání regulovat. Tento proces napomáhá i zvyšování koncentrace oxidu uhličitého. Doporučená plocha pro větrání je 15 - 20 % z celkové rozlohy. Efektivním systémem je automatické větrání, které je ovládané řídicí jednotkou. Řídicí jednotka vyhodnocuje aktuální teplotu, vlhkost a obsah oxidu uhličitého [29].



Obrázek 6.3: Automatický větrací systém [29]

**Dávkování oxidu uhličitého** do skleníku zvyšuje efektivitu pěstování. Jeho průměrná koncentrace je přibližně 350 ppm. Pro intenzivní pěstování je vhodná koncentrace až 1 300 ppm. Zvětšený obsah oxidu uhličitého zkracuje vegetační dobu, zlepšuje kvalitu a množství vypěstovaných plodin. Koncentrace musí být rovnoměrná po celém skleníku. Dávkování oxidu uhličitého v podobě spalin se provádí přes den nebo při umělém osvětlení. Teplo ze zdroje pro výrobu oxidu uhličitého se využije pro snížení tepelné ztráty. Velikost koncentrace hlídají čidla, která upozorňují i na nebezpečný oxid uhelnatý. Na obrázku 6.4 je jednotka spalující zemní plyn, při kterém vzniká oxid uhličitý. Ten je vháněn do uzavřené pěstební plochy [29].



Obrázek 6.4: Spalovací jednotka [29]

Dalším limitujícím faktorem při pěstování rostlin je světelné záření. V našich podmínkách je v zimních měsících nedostatek slunečního záření. Ke zlepšení pěstebních podmínek se využívá **umělé osvětlení**. Každá rostlina má odlišné nároky na využití slunečního záření. Pro doplnění vhodného množství světla musíme znát jeho potřebu pro jednotlivé rostliny a jeho denní množství. Celkové denní sluneční záření je intenzita dopadajícího na plochu, která je násobena dobou svitu slunce. Například v lednu je intenzita záření  $26 \text{ W/m}^2$  po dobu 8 hodin. Ideální podmínky pro rajčata je intenzita záření  $6 - 20 \text{ W/m}^2$  po dobu 14 hodin denně v období říjen až únor [29].

Jedním z moderních trendů při pěstování plodin v uzavřených plochách je využívání čmeláků zemních pro **opylení** květů rostlin. Jejich hnízda jsou umístována do skleníků v době kvetení rostlin. Jsou šlechtěny speciálně pro tyto podmínky. Čmeláci zemní jsou nenároční na okolní podmínky a přispívají ke zvětšení úrody [30].



Obrázek 6.5: Uměle vytvořené hnízdo čmeláka zemního [30]

## 6.4 Návrh konstrukce skleníku

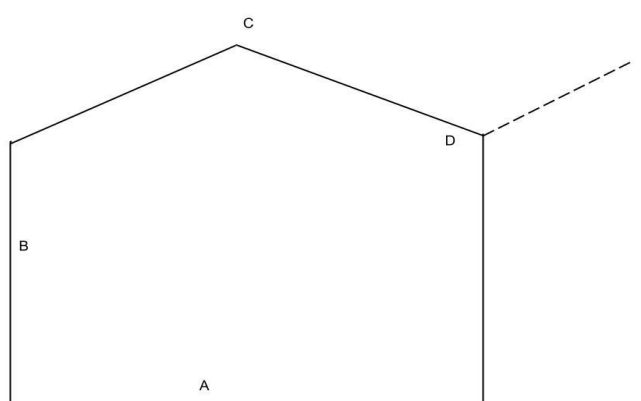
Modelovou ukázkou je pěstební skleník, který je postavený z ocelové konstrukce a do které jsou upevněny desky z jednovrstvého skla silného 4 mm.

Jak již bylo řečeno, pro zvýšení výnosu je důležité zajistit pěstovaným rostlinám co nejvíce slunečního záření. Komůrkový polykarbonát má sice lepší mechanické (pevnost, ohebnost) a izolační vlastnosti, ale horší propustnost světla,

kteře je pro pěstování rostlin rozhodující. U moderních skel je propustnost světla i vyšší než 95 %, zatím co u komůrkového polykarbonátu se obvykle pohybuje pod 80 procenty. Sklo je zároveň méně náchylné k časové degradaci právě z hlediska světelné propustnosti. Pořizovací náklady jsou u komůrkového polykarbonátu menší, ale při celkové ekonomické bilanci, ve které se porovnávají pořizovací cena, izolační vlastnosti, světelná propustnost a náklady na pěstování vychází jako nejpříznivější řešení jednovrstvé sklo.

Ocelová konstrukce má výbornou pevnost a dlouhou životnost. Je provedena z lehkých lisovaných profilů. Tyto profily mohou být pozinkovány, tím se zlepší jejich korozivzdornost. Skleněné desky do ocelové konstrukce dobře zapadnou. Ocelové profily mají při malé tloušťce velkou pevnost a zbytečně nezastiňují rostliny.

Sklon střechy je zvolen  $26^\circ$  a vychází ze zkušenosti s již zkonstruovanými skleníky. Při tomto sklonu je zajištěno samovolné odstranění sněhové pokrývky v zimních měsících. Ta by zbytečně zatěžovala konstrukci a zastiňovala rostliny v období, kdy je snížený přísun slunečního záření. Jako výhodný konstrukční prvek se nabízí svod dešťové vody, která se při dobré kvalitě může použít pro zálivku pěstovaných rostlin.



Modelový skleník byl navrhnut na funkční plochu přibližně 1 ha. Přesná rozloha pěstebního skleníku je  $10\,240\text{ m}^2$  a jeho objem je  $34\,816\text{ m}^3$ . V náčrtu je šířka jedné lodi značena A, její šířka je 3,2 m, výška sloupku B je 3 m a výška lodi

C je 3,4 m. Sklon střechy je již zmíněných 26°. Celkový počet těchto lodí v řadě je 32. Celková délka skleníku je potom 100 m.

## 6.5 Výpočet energetické bilance v závislosti na ročním období

Tepelná ztráta skleníku je rozhodujícím faktorem pro ekonomické posouzení celého projektu. Je závislá na mnoha faktorech, jako jsou klimatické podmínky, nadmořská výška, umístění v terénu, orientace ke světovým stranám. Hlavní část tepelné ztráty se vypočítá z **plochy povrchové konstrukce** (stěny a střecha), **podlahy** a **množstvím úniku tepla větráním**.

### 6.5.1 Výpočet tepelné ztráty

Tepelná ztráta stěnami a střechou je nejvyšší ztrátovou položkou ve výpočtu. Tato tepelná ztráta nám určuje prostup tepla přes krycí materiál. Každý materiál má svojí určitou tepelnou vodivost, která nám určuje hodnotu prostupu tepla. Využitím vhodného materiálu se docílí snížení celkové tepelné ztráty.

Tepelná ztráta je počítána pro nejnepříznivější případ, tj. pro vnitřní teplotu 18°C a venkovní -15°C. Velikost tepelné ztráty střechou zjistíme ze vzorce

$$Q = S \cdot k \cdot \Delta t, \quad (6.1)$$

kde Q vyjadřuje velikost tepelné ztráty (W), S plochu střechy (m<sup>2</sup>), k je součinitel prostupu tepla (W/m<sup>2</sup> K) a  $\Delta t$  je teplotní rozdíl mezi vnější a vnitřní teplotou (°C). Výpočet plochy střechy S se odvodí ze vzorce

$$S = \frac{S_P}{\cos S_S}, \quad (6.2)$$

kde  $S_P$  označuje plochu podlahy (m<sup>2</sup>) a  $S_S$  sklon střechy (ve stupních). Výpočet teplotního rozdílu mezi vnější a vnitřní teplotou  $\Delta t$  je dán zřejmým vztahem

$$\Delta t = t_1 - t_2, \quad (6.3)$$

kde  $t_1$  označuje vnitřní a  $t_2$  vnější teplotu uvedenou ve ( $^{\circ}\text{C}$ ). Velikost tepelné ztráty střechou je tedy

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 18 - (-15) = 33;$$

$$S = \frac{S_P}{\cos S_S} = \frac{10\,240}{\cos 26^{\circ}} = 11\,393 \text{ m}^2;$$

$$Q = S \cdot k \cdot \Delta t = 11\,393 \cdot 4,1 \cdot 33 = 1\,541\,473 \text{ W}$$

Ve výpočtu je pro součinitel prostupu tepla pro použité jednovrstvé sklo tloušťky 4 mm použita hodnota  $4,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Celková hodnota tepelné ztráty střechou je tedy **1 541 473 W**.

Výpočet tepelné ztráty stěnami provedeme podobně, jen místo plochy střechy dosadíme plochu dvou bočních a dvou čelních stěn pěstebního skleníku. Výpočet plochy bočních stěn je

$$S_B = V_S \cdot D_S, \quad (6.4)$$

$V_S$  vyjadřuje výšku sloupku skleníku (m) a  $D_S$  je délka skleníku (m). Plocha čelní stěny se vypočte ze vzorce

$$S_{ST} = V_S \cdot \check{S}_S + 16 \cdot 0,25 \cdot (\check{S}_L)^2, \quad (6.5)$$

kde  $\check{S}_S$  je šířka skleníku a  $\check{S}_L$  šířka lodi. Výpočet tepelné ztráty bočních stěn je

$$S_B = 3 \cdot 100 = 300 \text{ m}^2;$$

$$Q = 2 \cdot 300 \cdot 4,1 \cdot 33 = 81\,180 \text{ W}$$

Tepelná ztráta bočních stěn je 81 180 W. Výpočet tepelné ztráty čelních stěn je

$$S_{ST} = 3 \cdot 102,4 + 16 \cdot 0,25 \cdot (3,2)^2;$$

$$Q = 2 \cdot 348,16 \cdot 4,1 \cdot 33 = 94\,212 \text{ W}$$

Celková tepelná ztráta stěnami je **175 392 W**.

Hodnota tepelné ztráty podlahou se zjistí opět ze vzorce (6.1), kde se místo plochy střechy  $S$  dosadí plocha podlahy  $S_P$ :

$$Q = 10\,240 \cdot 0,79 \cdot 18 = \mathbf{145\,612,8 \text{ W}},$$

kde součinitel prostupu tepla  $k$  do zeminy je  $0,79 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Rozdíl teplot  $\Delta t$  je roven  $18^{\circ}\text{C}$ , jelikož teplota půdy pod podlahou neklesne pod  $0^{\circ}\text{C}$ .



Poslední výpočet tepelné ztráty je množství uniklého tepla větráním. V pěstitelském skleníku se snažíme různými způsoby zamezit únikům tepla. Musíme mít na paměti, že rostliny potřebují ke svému růstu CO<sub>2</sub> (oxid uhličitý). Ten se ve skleníku postupně spotřebuje a při omezeném větrání jeho hodnota klesá a omezuje se růst a následná produkce. Větrání je děj, při kterém teplý vzduch s menší hustotou opouští prostor skleníku a je nahrazen studenějším vzduchem o větší hustotě. Při tomto procesu nesmí dojít k průvanu, protože ten způsobuje vypařování vody z rostlin a jejich následné vadnutí. Vzorec pro výpočet tepelné ztráty větráním je

$$Q = V \cdot c \cdot \Delta t, \quad (6.6)$$

kde  $V$  je množství pronikajícího vzduchu do skleníku (3,38 m<sup>3</sup>/s),  $c$  je měrná tepelná kapacita vzduchu na 1m<sup>3</sup> (1 300 J/m<sup>3</sup> K),  $\Delta t$  je teplotní rozdíl mezi vnější a vnitřní teplotou (°C). Velikost tepelné ztráty způsobené větráním je

$$Q = 3,38 \cdot 1\,300 \cdot 33 = \mathbf{145\,002\,W}$$

Celkovou tepelnou ztrátu pěstebního skleníku získáme součtem výše stanovených hodnot, tj. **2 007 479,8 W**.

### 6.5.2 Tepelná ztráta u variantních řešení

Na modelovém příkladu byl uveden postup výpočtu tepelné ztráty pěstebního skleníku. V tabulce 6.1 jsou uvedeny tepelné ztráty pěstebních ploch vyrobené z různých krycích materiálů a jejich náklady na pořízení.

<b>Varianta:</b>	<b>Tloušťka skla: (mm)</b>	<b>Prostup tepla: (W/m<sup>2</sup> K)</b>	<b>Tepelná ztráta: (kW)</b>	<b>Roční spotřeba energie: (MW)</b>	<b>Pořizovací náklady: (Kč)</b>
1	4	4,1	2 007,5	4 287,9	2 106 427
2	10	3,1	1 588,7	3 393,4	4 479 323
3	10	2,5	1 337,5	2 856,8	4 618 905
4	10 + Cihlová podezdívka a výška 1,5 m	2,5  0,8	1 300,7	2 778,2	4 727 745

Tabulka 6.1 - Tepelné ztráty pěstebních ploch v závislosti na použitém materiálu

Základní výpočtový materiál bylo zvoleno sklo různé síly, pouze u varianty 4 byla jako konstrukční prvek využita cihlová podezdívka vysoká 1,5 m po celém obvodu stavby. Varianta 4 má nejmenší tepelnou ztrátu, ale její pořizovací náklady budou největší. Silnější skleněné desky mají lepší tepelněizolační vlastnosti, naproti tomu propouští méně slunečního záření, což může limitovat růst rostlin. Pořizovací náklady jsou pouze za krycí materiál bez kovové konstrukce. Pro konstrukci skleníku bylo vybráno jednovrstvé sklo o síle 4 mm.

### 6.5.3 Tepelný zisk

Tepelný zisk je velikost tepelné energie, kterou zvýšíme energetickou bilanci skleníků. Zdrojem energie mohou být lidé, instalované osvětlení, pohony ventilátorů, odpařování vody. Nejvýznamnější vliv na energetickou bilanci skleníku však bude mít sluneční záření.

Množství světla pronikající do prostoru skleníku je závislé na mnoha faktorech (konstrukce skleníku, čistota a propustnost světla krycího materiálu, roční období, klimatické podmínky). V tabulce 6.2 jsou uvedeny hodnoty sluneční energie dopadající na zemskou plochu v jednotlivých měsících roku ve městě Třeboň, která je vzdálená přibližně 36 km od plánovaného místa výstavby. Tyto

hodnoty byly naměřeny výzkumným ústavem v Třeboni v roce 2006 [31]. Ve třetím řádku jsou hodnoty sluneční energie, které projdou vrchní částí skleníku. Pro materiál (komůrkový polykarbonát síla 4mm) je stanovena propustnost světla 79 %. Ve čtvrtém řádku jsou uvedené hodnoty propustnosti světla 95 % odpovídající sklu o síle 4mm.

<b>Měsíc</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
W/m <sup>2</sup>	26	44	88	165	165	184	173	147	90	58	23	19
79 %	21	35	70	130	130	145	137	116	71	46	18	15
95 %	25	42	84	157	157	175	164	140	86	55	22	18

Tabulka 6.2: Tepelný zisk z dopadající sluneční energie [31]

Z hodnot v tabulce 6.2 vyplývá, že hodnota dopadající sluneční energie v období topné sezony je nezanedbatelnou částí energie, která výrazně snižuje tepelnou náročnost skleníku. Naopak v letních měsících jsou tyto hodnoty příliš vysoké a je tudíž potřeba realizovat vhodná technická opatření (větrání, krycí clony, stínění), aby nedošlo v důsledku vysoké teploty k nenávratnému poškození pěstovaných rostlin.

Další možností tepelného zisku je využití krycích clon. Krycí clony mají v pěstebním skleníku dvojího využití. V zimním období jsou během dne, kdy dopadají sluneční paprsky na plochu skleníku, zatažené a přes noc se tyto clony umístěné pod sedlovou střechou rozvinou. Zmenší tak vytápěný prostor a vytvoří izolaci při úniku tepelných ztrát střechou. Hodnota uspořené tepla je 20 - 40 %. V létě krycí clony slouží jako stínění proti nadměrnému slunečnímu záření.

## 6.6 Spotřeba energie na vytápění

Celková roční spotřeba pěstebního skleníku byla určena pomocí výpočtového programu společnosti Topinfo s.r.o dostupném na [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) [32].

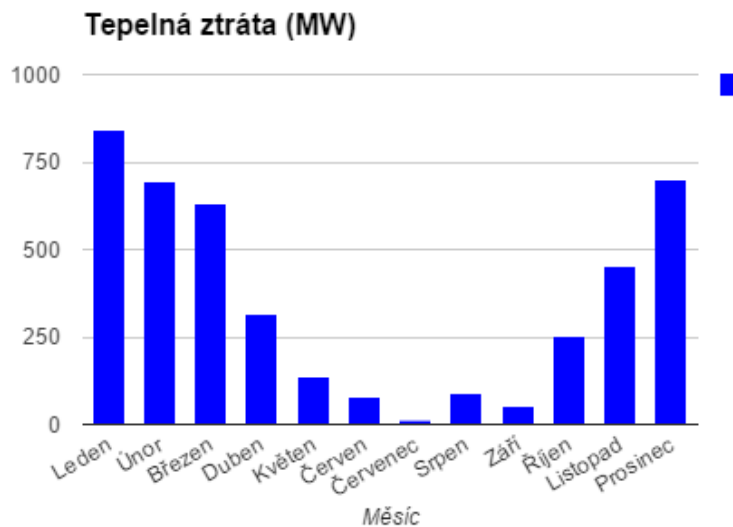
Zadané parametry:

Lokalita:	<b>Temelín</b>
Délka topného období:	<b>244 dní</b>
Průměrná teplota během otopného období:	<b>3,8°C</b>
Venkovní výpočtová teplota:	<b>-15°C</b>
Průměrná vnitřní teplota:	<b>18°C</b>
Tepelná ztráta objektu:	<b>2 007,5 kW</b>
Celková roční spotřeba energie:	<b>4 287,9 MW/rok</b>

V tabulce číslo 6.3 jsou uvedeny teoretické hodnoty spotřeby tepelné energie v jednotlivých měsících provozu pěstebního skleníku.

<b>Měsíc:</b>	<b>Tepelná ztráta: (MW)</b>	<b>Měsíc:</b>	<b>Tepelná ztráta: (MW)</b>
1	844,7	7	12,4
2	694,6	8	90,0
3	630,3	9	51,5
4	317,3	10	252,9
5	137,2	11	454,5
6	81,4	12	698,9

Tabulka 6.3: Tepelná ztráta v jednotlivých měsících



Graf 6.1: Tepelné ztráty v jednotlivých měsících.

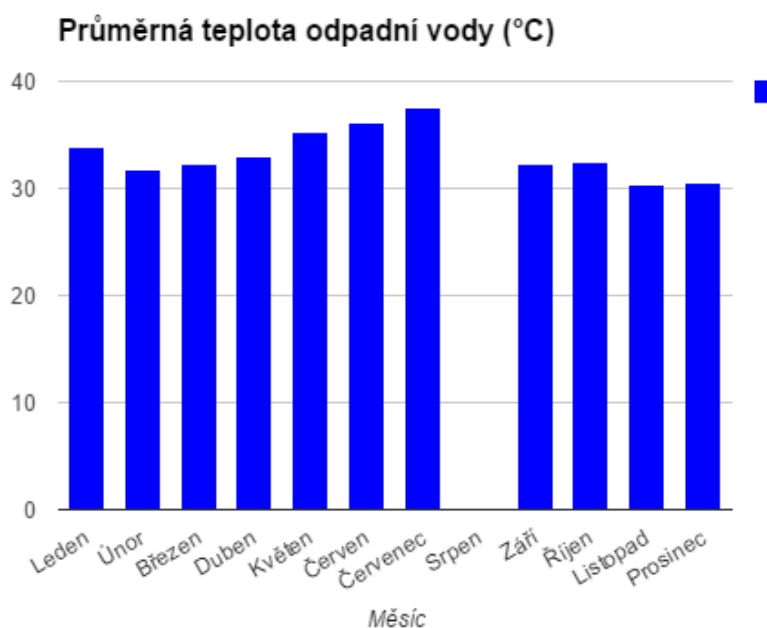
Podle předpokladu jsou nejvyšší tepelné ztráty v zimních měsících. Jde pouze o teoretický výpočet, který je předpokladem pro reálné tepelné ztráty. Na základě diskuze a porovnání hodnot s již zaběhlými pěstiteli je však možno konstatovat, že vypočtené hodnoty se od jejich příliš neliší.

## 6.7 Zdroj odpadního tepla pro vytápění

Jako tepelný zdroj je použita chladicí voda nízko-potenciálního charakteru z jaderné elektrárny Temelín. Tato voda má za úkol chladit kondenzátory a odvádět toto teplo do atmosféry. Voda je přes kondenzátory čerpána do chladících věží, kde dochází k její ochlazení a návratu ke kondenzátorům. Z důvodu šetrného provozu kondenzátorů nesmí teplota vracející vody klesnout pod 12°C. V tabulce 6.4 je uvedena průměrná teplota odpadní vody v jednotlivých měsících roku 2012 v prvním výrobním bloku. V období mezi 27.7. - 13.9. se na tomto výrobním bloku provádí technologická odstávka. Průměrná teplota vody při odstávce je 21,7°C. Průměrná teplota odpadní vody za rok 2012 v prvním výrobním bloku dosáhla hodnoty 33,16°C (nezapočítává se průměrná teplota vody při technologické odstávce). Nejmenší zaznamenaná hodnota byla 25,13°C, největší 43,27 °C. Průtok odpadní vody je přibližně 45 000 t/hod.

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Průměrná teplota	33,8	31,7	32,3	33,0	35,2	36,2	37,5	-	32,2	32,5	30,3	30,5

Tabulka 6.4: Průměrná teploty odpadní vody v jednotlivých měsících



Graf 6.2: Průměrná teplota odpadní vody

## 6.8 Návrh Tepelného čerpadla

Jelikož celková roční spotřeba energie na vytápění pěstebního skleníku byla vypočtena na 4 287,9 MW/rok, navrhuji transformovat odpadní vodu pomocí tepelného čerpadla na vyšší teplotní stupeň, aby se zajistilo bezproblémové pokrytí tepelných ztrát. Tato energie se snadněji využije pro vytápění pěstební plochy.

I když jsou známy přibližné hodnoty dopadající sluneční energie na plochu skleníku, nedá se přesně odhadnout, jak velké zisky ze sluneční energie konkrétní

rok doopravdy budou. To samé se dá říct i o ostatních možnostech tepelných zisků včetně krycích clon. Proto se veškeré systémy určené pro vytápění budou dimenzovat na vypočtenou tepelnou ztrátu 2 007,5 MW/rok při výpočtové teplotě okolního prostředí -15°C.

V následující části se pokusíme stanovit parametry tepelného čerpadla. Hodnota výkonu odpadní vody (kW) se vypočte ze vzorce

$$Q = \frac{m \cdot c \cdot \Delta t}{3\,600}, \quad (6.7)$$

kde m je objemový průtok vody (m<sup>3</sup>/h), c je měrná tepelná kapacita vody (4180 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>), Δt vyjadřuje rozdíl teplot odpadní vody vstupující a vystupující z tepelného čerpadla (°C). Vzorec pro výpočet topného faktoru tepelného čerpadla je

$$TF = 0,5 \cdot \frac{T_{OUT}}{(T_{OUT}-T_{IN})} \quad (6.8)$$

T<sub>OUT</sub> je teplota vody vystupující z tepelného čerpadla (K), T<sub>IN</sub> vyjadřuje teplotu vody vstupující do tepelného čerpadla (K). Výpočet pohonu kompresoru tepelného čerpadla (kW) se určí ze vzorce

$$P_K = \frac{Q}{(TF-1)} \quad (6.9)$$

celkový výkon tepelného čerpadla (kW) se určí pomocí vzorce

$$P_{T\check{c}} = P_K + Q \quad (6.10)$$

Výpočet návrhu výkonu tepelného čerpadla je

$$Q = \frac{238 \cdot 4180 \cdot (27-21)}{3\,600} = 1\,666 \text{ kW};$$

$$TF = 0,5 \cdot \frac{273+55}{(273+55)-(273+27)} = 5,85;$$

$$P_K = \frac{1\,666}{(5,85-1)} = 343 \text{ kW};$$

$$P_{T\check{c}} = 343 + 1\,666 = \mathbf{2\,009 \text{ kW}}$$

Celkový výkon tepelného čerpadla je 2 009 kW. Jelikož se tepelné čerpadlo tak velkého výkonu nevyrábí, problém se vyřeší zapojením více tepelných čerpadel o menších výkonech do společné kaskády. V této kaskádě by bylo zapojeno 21 kusů tepelných čerpadel, každé o výkonu 95 kW a jedno 14 kW, které dohromady mají výkon 2 009 kW.

Návrh výpočtu tepelného čerpadla byl dimenzován na hodnotu vstupní teploty vody 27°C. Tato teplota je brána jako nejnižší dostupná v zimním období, kdy tepelné čerpadlo bude pracovat v oblasti maximálních výkonů. Tepelné čerpadlo odpadní vodu ochladí z 27°C na 21°C. Hodnota teplé vody na výstupu z tepelného čerpadla bude 55°C a teplota vody, která se bude vracet ze skleníku, bude mít teplotu 40°C. Průtok vody z JETE při nejvyšším zatížení bude dosahovat 238 m<sup>3</sup>/h. Za tohoto předpokladu bude mít topný faktor hodnotu 5,85, to znamená, že by tepelné čerpadlo bylo schopné po dodání 1 kW elektrické energie vyrobit 5,85 kW tepelné energie. Pro pokrytí celkové potřeby tepla spotřebuje tepelné čerpadlo 732 974,3 kW elektrické energie.

Budeme-li brát v úvahu, že průměrná teplota odpadní vody je 33°C, bude za stejných podmínek (ochlazení odpadní vody o 6°C, teplota vody na výstupu z tepelného čerpadla 55°C, teplota vody vracující se ze skleníku 40°C, průtok vody 238 m<sup>3</sup>/h) hodnota topného faktoru 7,45. To znamená, že spotřeba elektrické energie na provoz tepelného čerpadla bude 575 557 kW.

## 6.9 Návrh topných jednotek a osvětlení

Otopná soustava slouží k celoročnímu vytápění zakryté pěstební plochy. Je navržena pro pokrytí tepelné ztráty 2 007,5 kW při vnějších podmínkách -15 °C a vnitřní teplotě 18 °C. Samotné vytápění bude provedeno pomocí tepelných výměníků na principu voda/vzduch, které budou vytápět požadovaný prostor. Teplota vody proudící od tepelného čerpadla k výměníkům bude mít teplotu 55°C. Ve výměníku voda předá svojí tepelnou energii do prostoru skleníku a bude odvedena zpět do tepelného čerpadla. Teplota vody proudící ze skleníku do tepelného čerpadla bude 40°C. Výkon jednotky pro ohřívání vzduchu je 13,8 kW. Pro pokrytí tepelné ztráty 2 007,5 kW je zapotřebí 146 těchto jednotek.

Ohřátý vzduch cirkuluje v prostoru skleníku a pěstované kultury. Mezi hlavní charakteristiky vzduchového vytápění je možno uvést rychlou reakční činnost při změně teploty, možnost vzniku rozdílných teplot v prostoru, hluk a cenovou výhodnost.



V zeměpisné šířce mezi 40° a 80° je v zimních měsících příliš málo světla na to, aby mohla probíhat fotosyntéza, pro kterou je světelné záření o dostatečné intenzitě nezbytné. Snížené množství světla (až na deset procent hodnoty v letních měsících) je způsobeno kratší dobou osvitů zemského povrchu ve spojení s menší světelnou intenzitou, malou výškou slunce nad obzorem a zvýšenou oblačností. Za takových podmínek se světlo stává limitujícím faktorem pro růst rostlin. Pro rajčata je vyhovující intenzita záření 6 - 20 W/m<sup>2</sup>. Osvětlovací doba uvnitř skleníku je mezi říjnem a únorem. Přisvětlování je vhodné pro zlepšení vegetačního růstu, zkrácení doby pěstování, kvalitnější plody a větší výnosy. Jako dostatečná doba se udává hodnota cca 14 hodin za den. Pro průměrnou intenzitu umělého osvětlení 9 W/m<sup>2</sup>, činí celkový instalovaný výkon 92 160 W pro celou zakrytou pěstební plochu.

## 6.10 Produkce oxidu uhličitého

Jak již bylo uvedeno, pro zvýšení výnosu je nezbytnou podmínkou dostatečná koncentrace oxidu uhličitého ve skleníku. Praxe ukazuje, že výnos rajčat je při pěstování ve skleníku s umělým obohacováním CO<sub>2</sub> přibližně o 30 % větší. V projektu se bude využívat kapalného CO<sub>2</sub>. Jeho roční spotřeba bude přibližně 250 t/ha.

## 6.11 Návrh přívodního potrubí

Funkce přívodního potrubí má za úkol dopravovat vodu mezi elektrárnou a výměňkovou stanicí s tepelným čerpadlem. Potrubí bude dopravovat nízko-potenciální odpadní vodu od kondenzátorů do výměňkové stanice s tepelným čerpadlem a ochlazenou jí vést k chladícím věžím. Tepelné čerpadlo bude umístěno v takzvané výměňkové stanici co nejbližší JETE. Návrh průměru přívodního potrubí  $d$  v (m) se zjistí ze vztahu

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot M}{\pi \cdot \rho \cdot c}}, \quad (6.11)$$

kde  $M$  vyjadřuje hmotnostní průtok kapaliny (kg/s),  $\pi$  je matematická konstanta (3,14),  $\rho$  označuje hustotu vody (1 000 kg/m<sup>3</sup>) a  $c$  je rychlost protékající kapaliny (15 - 30 m/s).

Z předešlých výpočtů je patrné, že průtok nízko-potenciální odpadní vody v okruhu 1 při maximálním výkonu tepelných čerpadel bude 238 m<sup>3</sup>/h. Výpočet průměru potrubí v okruhu 1 bude

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 66,1}{3,14 \cdot 1\,000 \cdot 20}} = 0,064 \quad \text{m} \quad (6.12)$$

Vypočtený průměr potrubí je 0,064 m. Nejbližší normalizovaný průměr potrubí je 0,070 m. Z provozních a bezpečnostních důvodů bude potrubí vedeno v podzemí. Přibližná vzdálenost od chladicích věží k předpokládané výměňkové stanici je 300 m.

## 6.12 Výtěžnost pěstované plodiny:

Tržby z prodeje vypěstovaných plodin jsou jediným ziskem navrhovaného projektu. Proto jejich vhodné zvolení je důležité pro zajištění finanční návratnosti celého projektu. Ve skleníku se dají pěstovat různé druhy zeleniny, okrasných květin či hub. Jako nejlepší variantou pěstované plodiny se jeví rajčata, a to především kvůli své výhodnosti jak z agrotechnického, tak z výnosového hlediska. V České a Slovenské republice již navíc působí řada podniků zabývajících se pěstováním rajčat a bylo tudíž možné porovnat vhodnost pěstební technologie v závislosti na výnosu. Přibližný průměrný výnos při pěstování rajčat ve skleníkovém hospodářství je 410 t/ha.

Jako modelový příklad jsme vybrali pokus polské šlechtitelské stanice Krzeszowice [33] z roku 2007 zkoumající produkci rajčat ve skleníku. V tabulce 6.6 jsou výnosy odrůd v jednotlivých obdobích pěstování. Výnosy vypěstovaných rajčat jsou uvedeny v kg/m<sup>2</sup>.

Agrotechnické parametry:

- datum výsevu: **5.1**;
- datum sadby: **12.2**;
- datum poslední sklizně: **8.11**.

Odrůda	Rambozo	Hermez	Admiro
Sklizeň 30.5.	5,5	6,3	5,7
Sklizeň 30.6.	14	13,2	14
Sklizeň 31.7.	21,5	20,4	21,5
Sklizeň 31.8.	26,9	26	27,6
Sklizeň 30.9.	36,3	35,2	37,6
Sklizeň 8.11.	43,4	41,3	46,4

Tabulka 6.6: Výnos jednotlivých odrůd v pokusné stanici [33]

Výnosnost pěstovaných plodin závisí na mnoha faktorech (odrůda, klimatické a agrotechnické podmínky, kondice plodiny), proto se budoucí celková výnosnost může pouze odhadovat.

Jak už bylo řečeno, výnos z prodeje plodin je jedinou položkou zisku. Vzhledem k prodejním cenám by bylo nejefektivnější prodávat rajčata přímo konečnému spotřebiteli. To se ale vzhledem k celkovému množství produkce nejeví jako reálné. Vhodné bude dodávat obchodním společnostem, potravinářským zpracovatelům či jídelnám. Tyto možnosti prodeje zajistí spolehlivý odbyt. V tabulce číslo 6.7 jsou uvedeny obchodní nákupní ceny rajčat I. jakostní třídy z dovozu. Tyto údaje zpracovává Státní zemědělský intervenční fond. Hodnoty jsou za období od 1.1. do 1.12. 2014.

Týden	Rajče (Kč/kg)	Týden	Rajče (Kč/kg)	Týden	Rajče (Kč/kg)	Týden	Rajče (Kč/kg)
1-2	30,90	13-14	28,30	25-26	32,60	37-38	25,10
3-4	26,60	15-16	27,50	27-28	26,10	39-40	21,60
5-6	26,10	17-18	20,80	29-30	26,10	41-42	32,10
7-8	25,70	19-20	19,30	31-32	13,00	43-44	29,50
9-10	25,40	21-22	21,20	33-34	13,40	45-46	27,40
11-12	30,30	23-24	32,60	35-36	28,40	47-48	24,20

Tabulka 6.7: Obchodní nákupní ceny rajčat [34]

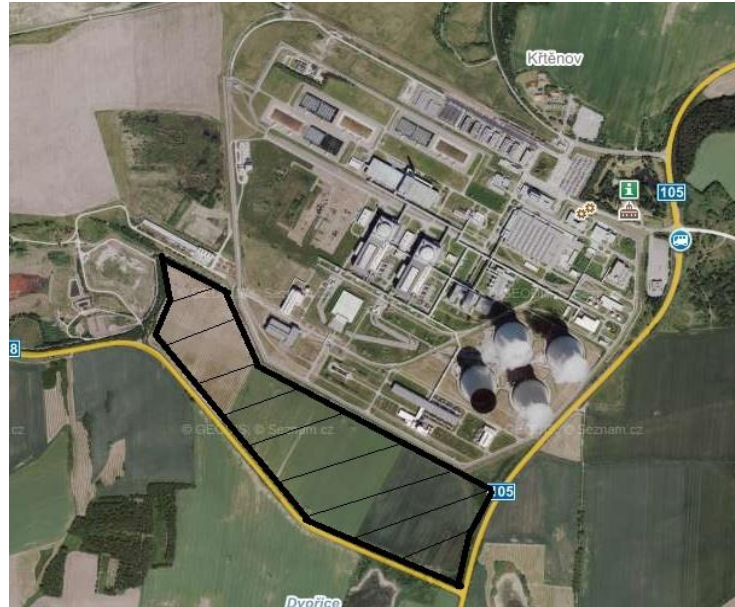
Podobně, jako je výnosnost rajčat závislá na několika faktorech, je i cena ovlivněna mnoha faktory. Rozdíly cen jsou znatelné během jednotlivých týdnů. Nejmenší výkupní ceny jsou v období letních měsíců, kdy je největší produkce rajčat v našich zeměpisných šířkách. Průměrná hodnota nákupní ceny rajčat je 25,60 Kč.

### 6.13 Předpokládaná lokalita výstavby

Jaderná elektrárna Temelín se nachází v Jihočeském kraji přibližně 24 km od Českých Budějovic a 5 km od Týna nad Vltavou. Podnebí je zde mírně teplé, vlhké s mírnou zimou. Dlouhodobý roční průměr teploty je 8,1°C. Mrzne v průměru 111 dní v roce a celodenní mrazy trvají přibližně 31 dní v roce.

Z důvodu snížení nákladů celého projektu, je potřeba postavit pěstební skleníky co nejbližší k potrubí vedoucímu k chladicím věžím. Na obrázku 6.8 je zobrazena předpokládaná lokalita výstavby, která má rozlohu 45,5 hektarů. Tento pozemek je rovinný, je zde zdroj přírodní vody a příjezdová komunikace pro nákladní automobily. Splňuje tím ideálně požadavky pro případnou výstavbu. Pozemky jsou majetkem ČEZ, ale pro budoucí výstavbu je nutná výjimka ze

stavební uzávěry, protože se jedná o hygienické ochranné pásmo. Výjimky ze stavební uzávěry mohou být povoleny po předchozím projednání s dotčenými orgány státní správy a jen v případě, že stavební činnost nenaruší provoz JETE a nebude v rozporu s hygienickými předpisy stanoveného ochranného pásma.



Obrázek 6.8: Předpokládaná plocha pro výstavbu [35]

## 6.14 Bezpečnostní požadavky

Hlavním technologickým požadavkem projektu je oddělení okruhu nízko-potenciální odpadní vody a okruhu vody pro vytápění před jejím vstupem do skleníku. K tomuto oddělení dojde ve výměňkové stanici tepelných čerpadel mezi JETE a skleníkem. Je nutné, aby při jakémkoliv ohrožení se nízko-potenciální odpadní voda nešířila z JETE.

Aby bylo zajištěno bezproblémové vytápění skleníku v hlavním topném období při největších tepelných ztrátách, musí být zajištěn přívod nízko-potenciální odpadní vody o minimální teplotě 27°C a průtoku 238 m<sup>3</sup>/h.

Může se stát, že se z technického hlediska nebude možné zabezpečit vytápění skleníku (náhlá odstávka JETE, porucha tepelných čerpadel, poničené potrubí). Je potřeba zabezpečit vytápění pomocí jiných zdrojů. Jako záložní zdroj

bude sloužit kotel na LTO (lehký topný olej). Při náhlém výpadku vytápění skleníku v hlavním topném období by mohlo dojít k nenávratným škodám na úrodě.

Provoz technologie tepelných čerpadel je řešen jako plně automatický provoz bez trvalé obsluhy, pouze s dočasným dozorem. Automatický provoz zařízení a regulaci provozních stavů zajišťuje řídicí systém. Systém je vybaven poruchovou a havarijní signalizací. Pro manipulaci se zařízeními musí mít obsluha příslušnou kvalifikaci a musí se podrobně seznámit se zařízením během uvádění do provozu a dodržovat místní předpisy pro obsluhu a údržbu. Veškeré plochy technologie v dosahu osob teplejší, než 40°C a plochy potrubí, u nichž je žádoucí maximální omezení tepelných ztrát, budou tepelně izolovány návlekovou izolací.

## 7. Ekonomická analýza navrhovaného řešení

V této kapitole je zpracována ekonomická analýza navrhovaného projektu. V nákladech jsou započítány investice nutné pro realizaci projektu a jeho roční náklady. V projektu je zahrnuta výstavba pěstebního skleníku s příslušnou technologií, výměňková stanice s tepelnými čerpadly a potrubí přivádějící odpadní vodu z JETE. Pěstební plocha bude veliká 1 ha, rajčata se budou pěstovat hydroponickým způsobem, za použití umělého osvětlení a s obohacování vzduchem oxidem uhličitým. V ekonomickém vyhodnocení není započtena možnost získání dotace na výstavbu a na vypěstovanou produkci. Dále je provedena analýza trhu s ohledem na spotřebu rajčat, jejich domácí produkci a dovoz ze zahraničí.

### 7.1 Investiční náklady

Do této položky je zahrnuta pořizovací cena pěstebního skleníku včetně technologie nutné k jeho provozu. Cena pěstebního skleníku je za ocelovou konstrukci, svrchní materiál ze skla o síle 4 mm a vnitřní instalace. Topná soustava se skládá z topných jednotek (145 kusů) od společnosti Nivolair typ LT V9 o výkonu 13,8 kW a příslušenství k jejich instalaci. K osvětlení je využito světelného zdroje pro podporu růstu rostlin o výkonu 160 W (575 kusů) od společnosti Ledocom typ Grow GS50. Náklady na zavlažování zahrnují instalaci hydroponického systému, pěstebních nádob, materiálu, ve kterém budou rostliny vyrůstat (keratin) a akumulčních nádrží na vodu. Kaskáda tepelných čerpadel se skládá z 22 kusů tepelných čerpadel o výkonu 95 kW a jednoho o výkonu 14 kW. Jedná se o tepelná čerpadla typu F1345 od společnosti Nibe Energy. Přívodní potrubí, které bude v podzemí vedeno od JETE do výměňkové stanice tepelných čerpadel a zpátky bude dlouhé přibližně 300 m. Poslední nákladovou položkou jsou prostředky nutné k obstarání vybavení pro manipulaci, balení a uskladnění vypěstované úrody (paletové vozíky, uskladňovací bedny, manipulační stoly).

<b>Položka:</b>	<b>Cena: (Kč)</b>
Pěstební skleník	25 000 000
Topná soustava	10 603 380
Osvětlení	1 843 200
Zavlažování	2 200 000
Kaskáda tepelných čerpadel	11 000 000
Přívodní potrubí	195 000
Vybavení expedice	400 000
<b>Celkem</b>	<b>51 241 580</b>

Tabulka 7.1: Investiční náklady

## 7.2 Provozní náklady

V této kategorii jsou uvedeny náklady na roční provoz pěstebního skleníku. Náklady na sadbu včetně pěstebních matrací a háků jsou přibližně 150 Kč/m<sup>2</sup>. Hnojiva a biologická ochrana vyjdou na 50 Kč/m<sup>2</sup>. Roční spotřeba závlahové vody bude po odečtení zisků z nahromaděné dešťové vody přibližně 7 000 m<sup>3</sup> vynásobena cenou vody 3,50 Kč/m<sup>3</sup>. Pro skleníkovou výrobu je potřeba přibližně 7 zaměstnanců na 1 ha plochy. Bude počítáno s platem 13 000 Kč pro 7 zaměstnanců. Daňové odvody budou tvořit 35 %. Servisní náklady, revize, drobné opravy a pojištění jsou vyčísleny přibližně na 50 Kč/m<sup>2</sup>. Další provozní náklady zahrnující například certifikace, školení, vedení účetnictví jsou určeny na 500 000 Kč.



<b>Položka:</b>	<b>Cena: (Kč)</b>
Sadba, pěstební matrace a háky	1 500 000
Hnojiva + biologická ochrana	500 000
Pracovní síla	1 474 200
Servisní náklady, opravy, pojištění...	500 000
Certifikace, školení, účetnictví, poradenství...	500 000
<b>Celkem</b>	<b>4 474 200</b>

Tabulka 7.2: Provozní náklady

### 7.3 Spotřeba energií

V této podkapitole jsou uvedeny ceny za spotřebu energií během jednoho roku pěstování. Elektrická energie se využívá pro pohon motoru tepelného čerpadla a pro osvětlení. Přibližná cena 1 MW elektrické energie je určena na 800 Kč. Tepelná čerpadla spotřebují pro pokrytí tepelných ztrát 575 MW elektrické energie. Intenzita umělého osvětlení pro zakrytou plochu je 92 160 W, období osvětlování je 5 měsíců (říjen - únor) a doba 14 hodin denně. Roční spotřeba elektrické energie pro osvětlení je 193,5 MW. Pro pěstování bude přibližně spotřebováno 250 t/ha tekutého oxidu uhličitého. Jeho cena se pohybuje přibližně 2 000 Kč/t.

<b>Položka:</b>	<b>Cena: (Kč)</b>
Spotřeba elektřiny pro tepelná čerpadla	460 000
Spotřeba elektřiny pro osvětlení	154 829
Spotřeba tekutého CO <sub>2</sub>	500 000
<b>Celkem</b>	<b>1 114 829</b>

Tabulka 7.3 Spotřeba energií

## 7.4 Zisk z pěstování

Za předpokladu průměrného výnosu 500 tun rajčat z 1 ha pěstební plochy, by při průměrné roční výkupní ceně 25,60 Kč/kg činil zisk z prodeje **12 800 000** Kč.

## 7.5 Dotace

Dotační program rozvoje venkova České Republiky na období 2014 - 2020 je určen pro osoby podnikající v zemědělství dle zákona č.252/1997 Sb. Jeho II. pilíř pro podporu investic umožňuje čerpání dotací určených pro technologie a stavby v rostlinné výrobě. Výše dotace je **40 - 60 %** z výdajů. Žadatel musí dosahovat minimálně 30 % příjmů ze zemědělské výroby. Projekt musí spadat do oblasti prvovýroby. Žadatel musí mít vlastnické vztahy vůči majetku. Výše investice je maximálně 30 mil. Kč na jeden projekt.

Mezi priority v udělování dotací bude patřit i podpora výstavby skleníku a pěstování zeleniny, což zvyšuje pravděpodobnost pro získání dotace [36].

Poskytnutí dotace na pěstování rajčat je upraveno nařízením vlády č. 95/2008 Sb. Výše dotace se pohybuje kolem 1 000 Kč na 1 tunu vypěstovaných rajčat [37].

## 7.6 Ekonomické vyhodnocení

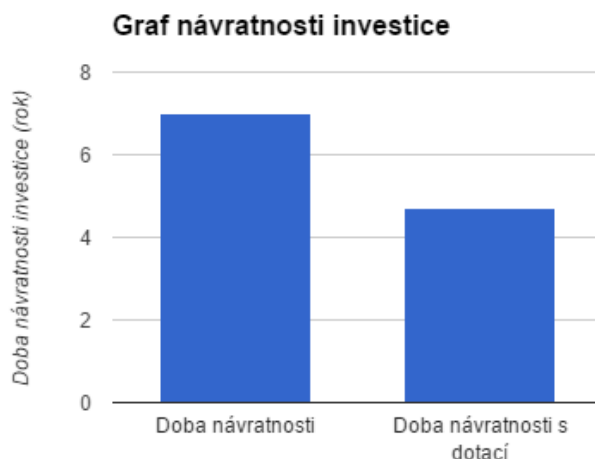
Doba návratnosti investice T je doba, za kterou se určitá investice navrátí. Čím je tato doba kratší, tím je pro investora projektu zajímavější. Vypočteme ji ze vzorce

$$T = \frac{IN}{CF}, \quad (6.13)$$

kde IN jsou náklady na investici v Kč a CF je roční peněžní tok, nebo-li roční příjem v Kč. V navrhovaném projektu platí

$$T = \frac{51\,241\,580}{7\,211\,000} = 7,1$$

doba návratnosti investice je 7,1 roků.



Graf 7.1: Návratnost investice

V grafu 7.1 je zobrazena doba návratnosti projektu. V prvním sloupci je prostá doba návratnosti vypočtená na 7,1 roků. Ve druhém sloupci je doba návratnosti (4,7 roků) s možnou výší dotace 15 000 000 Kč na vybudování skleníku a 1 000 Kč na každou sklizenou 1 t rajčat.

## 7.7 Analýza trhu

Rajčata patří z hlediska celkového spotřebovaného množství mezi nejvýznamnější druh zeleniny na našem trhu. V tabulce 7.5 je spotřeba rajčat v České Republice za období od roku 2011 - 2013. Z údajů je patrné, že se spotřeba rajčat v roce 2013 zvýšila o 0,7 kg na osobu za rok, zvýšil se dovoz, ale snížila domácí produkce na rozdíl od roku 2012.

	2011	2012	2013
<b>Spotřeba v kg/osoba</b>	12,1	10,7	11,4
<b>Celková spotřeba v t</b>	127 010	112 408	119 841
<b>Dovoz</b>	100 436	84 976	93 947
<b>Domácí produkce</b>	26 574	27 532	25 894

Tabulka 7.5: Spotřeba rajčat v České Republice

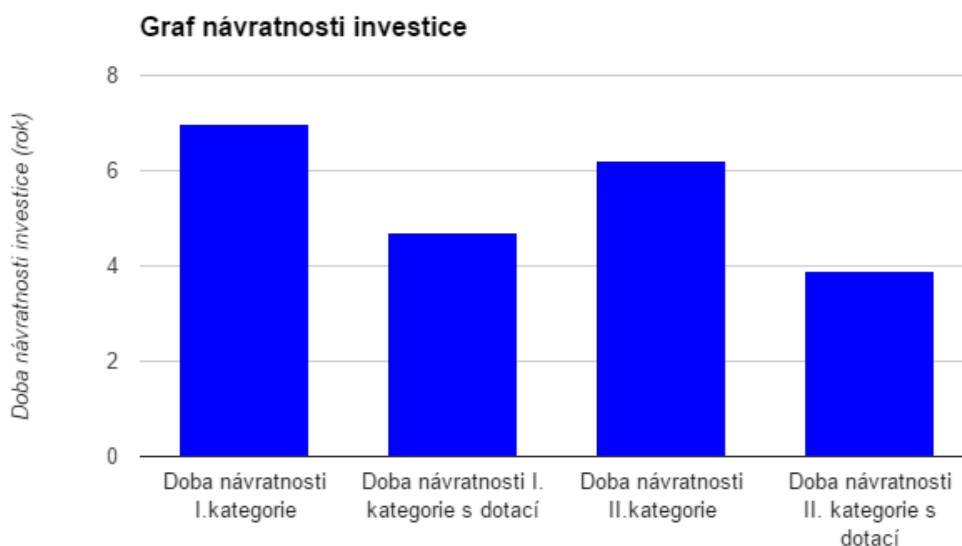
Předpokládaný výnos rajčat (410 t) by tvořil tržní podíl z domácí produkce pod 2 %. Domácí produkce z velké části nepokryje spotřebu, proto je nutné rajčata dovážet. Na dovozu se nejvíce podílí Španělsko a Nizozemsko a to skoro 25 %. V České Republice poslední dobou roste trend v nakupování čerstvých domácích potravin. Spotřebitelé si uvědomili, že domácí potraviny jsou čerstvější než dovážené. Tento fakt by mohl napomoci k lepšímu prodeji oproti dováženým rajčatům ze zahraničí. Dovoz zahraničních rajčat bude největší konkurencí, protože se v České Republice vypěstuje relativně malé množství rajčat a tak nepředstavují lokální producenti významnou konkurenci.

## 8. Využití jiné varianty zdroje odpadního tepla z JETE

Další možnou alternativou využití odpadního tepla z JETE pro vytápění zakryté pěstební plochy je využití odpadního tepla II. kategorie v podobě vratné vody z vytápění města Týn nad Vltavou. Z nízkotlakého dílu turbíny je odebírána pára o teplotě 150°C (odpadní teplo III. kategorie), která v blokové výměňkové stanici ohřeje topnou vodu na 140°C a ta je čerpána do města. Od JETE je topná voda vedena pomocí 5 km dlouhého nadzemního potrubí do Týna nad Vltavou a zpět do JETE je vedena vratná voda. Právě vratná voda se svým teplotním potenciálem by mohla být ideálním zdrojem tepla pro vytápění skleníku. Aby mohla vratná voda splňovat požadavky pro vytápění skleníku bez její transformace na vyšší teplotní stupeň, nesmí její teplota v hlavním topném období (listopad - březen) klesnout pod 58°C.

Podle naměřených hodnot teplota vratné vody v hlavním topném období neklesne pod 58°C. Její průměrný průtok je 204 m<sup>3</sup>/h a průměrná teplota 74°C.

Návrh využití vratné vody z vytápění Týna nad Vltavou výrazně sníží investiční a provozní náklady. V projektu nebude nutné využívat tepelných čerpadel s přibližnou pořizovací cenou 11 000 000 Kč, postačí tepelný výměník na principu voda/voda v hodnotě přibližně 5 000 000 Kč a oběhové čerpadlo. Provozní náklady se sníží o náklady na spotřebu elektrické energie pro pohon tepelných čerpadel.



Graf 8.1: Návratnost investice

V grafu 8.1 je zobrazena doba návratnosti projektu. V prvním sloupci je prostá doba návratnosti projektu s využitím nízko-potenciální odpadní vody proudící do chladících věží vypočtená na 7,1 roků. Ve druhém sloupci je doba návratnosti stejného projektu s předpokládanou výší dotace 15 000 000 Kč na vybudování skleníku a 1 000 Kč na každou sklizenou 1 t rajčat vypočtená na 4,7 roků. Ve třetím sloupci je doba návratnosti projektu s využitím vratné vody z vytápění města Týn nad Vltavou vypočtená na 6,2 roků. Ve čtvrtém sloupci je stejný projekt s předpokládanou výší dotace 15 000 000 Kč na vybudování skleníku a 1 000 Kč na každou sklizenou 1 t rajčat s vypočtenou dobou návratnosti na 3,9 roků.

## 9. Závěr

Vlastní část diplomové práce se věnuje využití nízko-potenciálního odpadního tepla pro vytápění zakryté pěstební plochy s následnou produkcí rajčat. Toto nízko-potenciální odpadní teplo vzniká v Jaderné elektrárně Temelín při výrobě elektrické energie. Podnět pro vypracování diplomové práce dalo vedení elektrárny a zástupci obce Temelín s odůvodněním pro hledání vhodných technických a ekonomických řešení pro využití nízko-potenciálního odpadního tepla pro zemědělskou produkci.

Jedním z důvodů pro vyhotovení tohoto projektu byla skutečnost fakt, že již existuje několik skleníků vytápěných odpadním teplem a také předpoklad ekonomické rentability. Toto odpadní teplo má ale větší tepelný potenciál než jsme měli k dispozici a je schopno pokrýt většinu tepelných ztrát. Například v obci Kameničany využívají pro provoz skleníku elektrickou energii a odpadní teplo z přilehlé bioplynové stanice. V obci Kleintettau v Horních Francích využívají pro vytápění skleníku odpadní teplo z nedalekého sklářského závodu.

V uvedeném projektu se pracuje s předpokladem, že chceme zajistit pokrytí tepelných ztrát pouze pomocí nízko-potenciálního odpadního tepla, proto je navrženo použití tepelných čerpadel. Využitím tepelných čerpadel se zvýší technická i finanční náročnost. Pro praxi by bylo nejspíše vhodnějším řešením využití vytápění dostupným nízko-potenciálním odpadním teplem a při jeho nedostatku zbytek produkovat z jiného zdroje. Jako efektivní řešení se dále nabízí využití vratné vody z vytápění města Týn nad Vltavou. Tato voda je svými parametry vhodná pro vytápění skleníku, ale při odebrání jejího tepelného potenciálu vzniknou náklady na její zpětné dohřátí, které je nutné pro zajištění tohoto vytápění.

Tento projekt na využití nízko-potenciálního odpadního tepla slouží jako teoretická studie, a proto jsou stanovené investiční i provozní náklady a předpokládané výnosy uvažované jako orientační. Před plánovanou výstavbou je třeba detailně zhodnotit navrhovaná řešení a za pomoci odborníků na danou problematiku vybrat nejpříznivější z nich. Z pohledu autora by bylo nejpříhodnější využít pro vytápění vratnou vodu z vytápění města Týn nad Vltavou. Sice se

nejedná o využití nízko-potenciálního odpadního tepla, což je v rozporu se zadáním práce, ale toto řešení připadá jako nejlépe využitelné a je zachována teorie pro využití odpadního tepla.



## 10. Použitá literatura

- [1] **Skupina ČEZ.** Informace o Jaderné elektrárně Temelín [online]. [cit. 2014-8-06]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrany-cez/ete/technol>
- [2] **Adamovský, R. (2002):** Využití druhotného tepla větracího vzduchu stájí : (monografie). 1. vyd. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 211 s.
- [3] **Kadlec, J., Havelka, F., Babjak, M. (1989):** Využití energií z jaderné elektrárny Temelín. České Budějovice, Dům techniky ČSVTS, 135 s.
- [4] **Martinák, L. (1983):** Využití odpadního tepla elektráren pro intenzivní skleníkové hospodářství. Ostrava, Dům techniky ČSVTS, 113 s.
- [5] **Rejchl, J., Všeticka, M. (2006):** Jaderná elektrárna. [online]. [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/822-jaderna-elektrarna>
- [6] **Krbek, J., Merta, S., Polesný, B. (1990):** Výměníky tepla v průmyslové energetice.
- [7] **Baláš, M. (2009):** Kotle a výměníky tepla, 1. vyd., Cerm, 245 s.
- [8] **Quaschnig, V. (2010):** Obnovitelné zdroje energií. Praha, Grada, 296 s.
- [9] **Žeravík, A. (2003):** Stavíme tepelné čerpadlo, Přerov, EURO-PRINT, 312 s.
- [10] **Tintěra, L. (2003):** Tepelná čerpadla. Praha, ARCH, 121 s.
- [11] **Srdečný, K., Truxa, J. (2005):** Tepelná čerpadla. Brno, ERA, 68 s.
- [12] **Petráš, D. (2009):** Obnovitelné zdroje energie pro nízkoteplotné systémy. Bratislava, Jaga, 223s.
- [13] **Altec Internacional.** Tepelná čerpadla. [online]. [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: <http://ekoenergie.altec-int.cz/tepelny-cerpadlo-princip-a-funkce.htm>
- [14] **Altherma.** Tepelná čerpadla. [online]. [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: <http://www.altherma-tepelnacerpadla.cz/daikin-altherma>
- [15] **Brož, K., Šourek, B. (2003):** Alternativní zdroje energie. Praha: Vydavatelství ČVUT, 213 s.
- [16] **E.ON.** Princip funkce tepelného čerpadla. [online]. [cit. 2014-12-07]. Dostupné z: <http://www.ekobonus.cz/jak-funguje-tepelne-cerpadlo-zeme-voda-odebrano>
- [17] **Karlík, R. (2009):** Tepelné čerpadlo pro váš dům. Praha: Grada, 109 s.

- [18] **IVT**. Referenční projekty.[online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupn z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/196.vyrobnihala-bosch>
- [19] **Top Info**. Vytápění tepelnými čerpadly. [online]. [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3350-tepelna-cerpadla-v-zoo-usti-nad-labem-ocenena-jako-stavba-s-ekologickym-prinosem>
- [20] **Veolia Water**. Obnovitelné zdroje energie. [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.veoliawater2energy.com/cz/reference/tepelna-cerpadla/>
- [21] **Zajíc, P. (2012)**: Využití odpadního tepla z bioplynových stanic. [diplomová práce]. České Budějovice, 56 s, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, Katedra speciální produkce rostlinné.
- [22] **Cb Consulting**. Jednotka Green Machine. [online]. [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: <http://www.gmachine.eu/sites/default/files/brochures/GB%20-%20Green%20Machine%20prezentace%20cz%20130531.pdf>
- [23] **Tenergo Team**. Princip funkce jednotky Green Machine. [online]. [cit. 2014-10-28]. Dostupné z: <http://www.tenergoteam.cz/green-machine>
- [24] **Havelka, F., Hošek, V., Říha, M. (1989)**: Využití energií z jaderné elektrárny Temelín. České Budějovice, Dům techniky ČSVTS, 135 s.
- [25] **Karen, M., Lian-Shin, L. (2014)**: Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output, 39 - 40 p.
- [26] **Ondračka, T. (2009)**: Výpalky jako krmná surovina. [online]. [cit. 2014-08-06]. Dostupné z: [www:<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vypalky-ako-krmna-surovina>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vypalky-ako-krmna-surovina).
- [27] **Haš, S. (2004)**: Skleníky, jejich vlastnosti a vybavení. Praha, Ústav zemědělských a potravinářských informací, 120 s.
- [28] **Astrosat Media**. Hydroponické pěstování rostlin.[online]. [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.dumazahrada.cz/zahrada/pestovani/20651-hydroponie-pestovani-rostlin-bez-hliny/#.U9NMC7wVYYM>
- [29] **Petrák, J., Petrák, M. (2011)**: Využití nízko-potenciálního odpadního tepla. Praha, E - Consult, 235 s.
- [30] **Biocont Laboratory**. Opylení čmelákem zemním. [online]. [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://www.biocont.cz/cz/biologicka-ochrana-rostlin.htm>
- [31] **Korečko, J. (2006)**: Využití meteorologických dat při projekční činnosti energetických systémů. Třeboň, Enki, 125 s.

- [32] **Top info**. Spotřeba tepla pro vytápění. [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [33] **Šlechtitelské stanice Krzeszowice**. Produkce rajčat. [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://journal.ashspublications.org/content/130/2/218.full.pdf>
- [34] **Státní zemědělský intervenční fond**. Výkupní ceny rajčat. [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z :  
[http://www.szif.cz/cs/CmDocument?rid=%2Fapa\\_anon%2Fcs%2Fzpravy%2Ftis%2Fzpravy\\_o\\_trhu%2F09%2F1330685140239.pdf](http://www.szif.cz/cs/CmDocument?rid=%2Fapa_anon%2Fcs%2Fzpravy%2Ftis%2Fzpravy_o_trhu%2F09%2F1330685140239.pdf)
- [35] **Jaderná elektrárna Temelín**. Letecký pohled. [online]. [cit. 2015-02-17]. Dostupné z:  
<http://www.mapy.cz/zakladni?x=14.3759973&y=49.1847024&z=11&source=mu ni&id=620>
- [36] **Dotační služby**. Dotace pro zemědělce. [online]. [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: <http://www.dotacnisluzby.cz/dotace-pro-zemedelce-zemedelska-vyroba.html>
- [37] **Ministerstvo zemědělství**. Dotační tituly. [online]. [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/dotace/prime-platby/oddelena-platba-za-rajcata/>