

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Využití vratného kondenzátu parovodu jako zdroj
nizkopotenciálního tepla teplárny Trmice**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří SCHOŘ**
Osobní číslo: **E14N0125P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Využití vratného kondenzátu parovodu jako zdroj nízkopotenciálního tepla teplárny Trmice**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište teplárnu Trmice.
2. Zhodnoťte možnosti dosažení cíle a proveďte technický návrh řešení.
3. Vypočtete vliv nižší teploty vratného kondenzátu na účinnost cyklu.
4. Stanovte enviromentálního přínos projektu (úspora uhlí, emise, produkce popelovin atd.).
5. Proveďte ekonomické zhodnocení projektu (přínosy, NPV, IRR, cena koncového produktu).

Abstrakt

Obsahem této diplomové práce je návrh využití nizkopotenciálního tepla vratného kondenzátu teplárny. První část se zabývá popisem teplárny Trmice. Dále pak výpočtem změny účinnosti teplárenského cyklu při nižší teplotě vratného kondenzátu. V další části je návrh využití jako primární zdroj pro tepelné čerpadlo a jako teplo pro podlahové vytápění. V závěru práce se nachází ekonomické vyhodnocení a výpočet návratnosti investice.

Klíčová slova

Teplárna, kondenzát, tepelné čerpadlo, topný faktor, NPV, IRR, Tail-end, oběhové čerpadlo, výměník,

Abstract

The main topic of this master thesis is design of utilization of return condensate as a source of low potential heat. The first part describes the Trmice heating plant. There is a calculating of the change in heat generation efficiency of the cycle at lower temperature of the returning condensate. In another part is a design of utilization of return condensate as a primary source for heat pump and a heat for underfloor heating. At the finish, there is a economic evaluation and calculation of the return on investment.

Key words

Heating plant, condensate, heat pump, heating factor, NPV, IRR, Tail-end, circulation pump, heat exchanger,

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 10.5.2016

Jméno a příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem lidem, zejména mé rodině, kteří mi byli oporou při tvorbě této diplomové práce, ale také v průběhu celého studia. Zvláštní dík pak zasluží pan Ing. Jiří Beneš, který mi poskytl cenné profesionální rady, a paní Doc. Ing. Pavle Hejtmánkové, Ph.D za vedení mé diplomové práce a odborné konzultace.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	9
Seznam obrázků a tabulek.....	10
Úvod	11
1 Teplárna Trmice	12
1.1 Poloha a historie.....	12
1.2 Technologie	13
1.2.1 Zauhlování	13
1.2.2 Kotelna.....	14
1.2.3 Odpopílkování, odstruskování.....	16
1.2.4 Vodní hospodářství.....	17
1.2.5 Vyvedení elektrického výkonu	17
1.2.6 Teplárenství	17
1.2.6 Tepelný cyklus	18
1.3 Tepelné čerpadlo.....	19
2 Výpočet účinnosti teplárny Trmice a vliv nižší teploty vratného kondenzátu na účinnost cyklu.....	21
2.1 Účinnost teplárny Trmice	21
2.2 Výpočet účinnosti teplárny Trmice k 01.11.2014 - 20:00 :	24
2.3 Výpočet změny účinnosti teplárny Trmice.....	25
3. Návrh využití vratného kondenzátu.....	26
3.1 Využití jako primární zdroj tepla pro tepelné čerpadlo	26
3.1.1 Výpočet tepelných ztrát objektu a potřeba tepla na vytápění	27
3.1.2 Volba tepelného čerpadla.....	28
3.1.3 Spotřeba elektrické a tepelné energie pro provoz tepelného čerpadla.....	29
3.1.4 Způsob realizace sítě tepelných čerpadel.....	30

3.1.5 Podpora pro tepelné čerpadlo	32
3.2 Využití pro podlahové vytápění.....	32
3.2.1 Instalace podlahového topení.....	33
3.2.2 Záložní zdroj tepla	35
3.3 Vytápění skleníků	36
4 Emisní limity, technologie Tail-end a environmentální přínos.....	37
4.1 Technologie Tail-end.....	37
4.2 Environmentální přínos.....	38
5 Ekonomické zhodnocení projektu.....	39
5.1 Systém připojení na teplovod	40
5.2 Zhodnocení NPV	40
5.3 Zhodnocení IRR.....	41
5.4 Výhodnost z pohledu zákazníka	42
5.5 Stanovení koncové ceny produktu	42
Závěr	44
Použitá literatura	45
Přílohy	47

Seznam symbolů a zkratk

P_g – výkon generátoru (W/h)

Q_o – odběra tepla do CZT (J)

Q_p – teplo dodané do cyklu kotlem (J)

M_{TN} – hmotností průtok páry (kg/h)

i_{TN} – entalpie odběrové páry (J/kg)

i_{TNK} – entalpie vratného kondenzátu (J/kg)

η_{pV} – účinnost parovodního potrubí (-)

Q_T – teplo dodávané do systému (J)

η_k – účinnost kotle (-)

COP – topný faktor (-)

NPV – současná hodnota investice

V_T – výnosy v daném roce

N_{pT} – náklady v daném roce

r – diskontní úroková míra

N_{ip} – celkové pořizovací náklady

Seznam obrázků a tabulek

Obr.1.1 – Teplárna Trmice, a.s. převzato z [1]

Obr.1.2 Výkonové schéma [3]

Obr.1.3 – Průběh R-C oběhu v T-s diagramu [4]

Obr.1.4 – Oběh tepelného čerpadla [7]

Obr.3.1 – Tepelné čerpadlo STIEBEL ELTRON WPC 10

Obr.3.2 – Vrstvy podlahového vytápění [13]

Obr.3.3 – Podlahového vytápění [14]

Obr.3.4 – MORATOP ELECTRA 15 MINI

Tab.1.1 – Tepelné výkony kotlů [2]

Tab.1.2 – Fyzikálně-chemické parametry hnědého uhlí [2]

Tab.1.3 – Fyzikálně-chemické parametry těžkého topného oleje (mazut do 3% síry) [2]

Tab.1.4 – Parametry instalovaných kotlů [2]

Tab.2.1 – Porovnání účinností teplárny při snížení teploty vratného kondenzátu

Tab.3.1 – Tepelné ztráty a potřeby tepla na vytápění

Tab.3.2 – Parametry tepelného čerpadla STIEBEL ELTRON WPC 13

Tab.3.3 – Spotřeba tepla pro ohřev TUV

Tab.3.4 – Komponenty pro systém radiátorů [17]

Tab.3.5 – Komponenty podlahového topení [17]

Tab.3.6 – Parametry MORATOP ELECTRA 15 MINI [18]

Tab.4.1 – Emisní limity [20]

Tab.4.2 – Produkce emisí při spalování fosilních paliv [24]

Tab.5.1 – Kalkulace navrženého systému

Tab.5.2 – Cena koncového produktu

Úvod

Žijeme v době, která by se dala nazvat „dobou ekologie“, neboť právě slovo ekologie a skleníkové plyny slyšíme ze všech stran stále častěji. Veškerá odvětví a technologie se neustále vyvíjí směrem k tomu, jak zkvalitnit svá zařízení, zvýšit jejich účinnost, ale zároveň omezit při výrobě či u provozu produkci skleníkových plynů a šetřit tak naši planetu. Zejména vytápění domácností tvoří značnou část z celkové produkce CO₂ a ostatních plynů. Jedna z možností, jak přispět k omezení této produkce, je využití nizkopotenciálního tepla.

Cílem této diplomové práce je navrhnout možná řešení využití právě nizkopotenciálního tepla vratného kondenzátu Teplárny Trmice, a.s. Teplota vratného kondenzátu se pohybuje kolem 50 °C. V této práci nejprve popíši jednotlivé části teplárny, v další části určím účinnost teplotního cyklu a jak by se projevil odběr nizkopotenciálního tepla vratného kondenzátu na účinnosti teplárny. V samotném návrhu budu uvažovat využití kondenzátu, jako zdroj nizkopotenciálního tepla pro tepelné čerpadlo a podlahové topení, nebo pro vytápění prostor nenáročných na kvalitu a regulaci vytápění (skleníky). Závěr práce bude obsahovat ekonomické vyhodnocení návrhu, environmentální přínos projektu a jeho smysluplnost.

1 Teplárna Trmice

1.1 Poloha a historie

Teplárna Trmice se nachází ve stejnojmenném městě Trmice, které leží na úpatí Krušných hor a územně bezprostředně navazuje na Ústí nad Labem. V bezprostřední blízkosti protéká řeka Bílina a spolu s jezerem Milada tvoří dostatečný vodní zdroj pro provoz Teplárny.

Historie teplárny Trmice sahá až na počátek 20. století, kdy byla v provozu městská elektrárna na Špitálském náměstí, která sloužila především pro tramvajovou dopravu. Rozvoj průmyslu vyžadoval i odpovídající rozvoj elektrizace, avšak severní Čechy se potýkaly s nedostatkem elektrického výkonu a poměrně vysokou cenou elektrické energie. Tyto faktory výrazně přispěly k záměru výstavby trmické elektrárny, kterou vybuodovala Nordböhmsche Elektrizitätswerke. Elektrárna se čtyřmi kotli a turbosoustrójím o výkonu 6 MW byla uvedena do provozu v roce 1916. V roce 1939 již bylo instalováno turbosoustrójí o výkonu 59,8 MW, což představovalo 7 % výkonu v celých Čechách. V roce 1956 byly zprovozněny 4 vysokotlaké kotle a další turbosoustrójí.

V 60. letech se však energetika začala orientovat k výstavbě velkých elektrárenských bloků o výkonu až 200 MW, čímž začala elektrárna v Trmiciích ztrácet svůj význam. Její poloha v těsném sousedství uhelného lomu a krátká vzdálenost města Ústí nad Labem, vybízela k rekonstrukci elektrárny na centrální zdroj tepla. Přestavba proběhla v letech 1959 – 1974, kdy byl zároveň vybudován parovod do Ústí nad Labem. Výkon trmické teplárny umožnil postupné omezování elektrárny na Špitálském náměstí, až došlo k úplnému odstavení a bylo zde zřízeno středisko útvaru Rozvodu tepla trmické elektrárny. V roce 1976 byl spuštěn provoz s prvořadým úkolem zabezpečit výrobu tepla, které bylo vyráběno teplárenským způsobem v kombinovaném cyklu s elektřinou, která již nebyla hlavním produktem. V tomto roce změnila trmická elektrárna svůj název na Teplárna Trmice. Poslední rekonstrukcí prošla teplárna v roce 1987, kdy byly zprovozněny dva nízkotlaké kotle.

Po roce 1989 docházelo ke změnám akcionářů. V rámci kupónové privatizace se stala Teplárna Trmice samostatnou společností, v roce 1994 se změnil název na Teplárna Ústí nad Labem, a.s., v roce 2001 byla teplárna odkoupena francouzskou energetickou společností Dalkia, která vlastnila teplárnu až do roku 2009, kdy získala společnost ČEZ, a.s., 85 % akcií ve společnosti Dalkia a dne 19. 5. 2011 se stala 100 % vlastníkem Teplárny Trmice, a.s. Od 1.10.2013 je teplárna součástí jednotky Teplárny Hodonín, Poříčí, Tisová a Trmice v divizi výroba ČEZ, a.s.[1]



Obr. 1.1 – Teplárna Trmice, a.s. převzato z [1]

1.2 Technologie

1.2.1 Zauhlování

Zauhlování zajišťuje plnění zásobníků uhlí v kotelně, lze ho rozdělit na vnější a vnitřní část. Vnější zařízení slouží k vykládce uhlí, jeho skladování a následnou přípravu uhelného paliva. Skládka umožňující předzásobení palivem, je důležitá zejména v zimních měsících, kdy dochází k potížím při vykládce zmrzlého uhlí. Vysoká kapacita nám umožňuje úplné, dočasné pozastavení přísunu paliva. Vnitřní část zajišťuje dodávku paliva do zásobníků surového uhlí v kotelně.

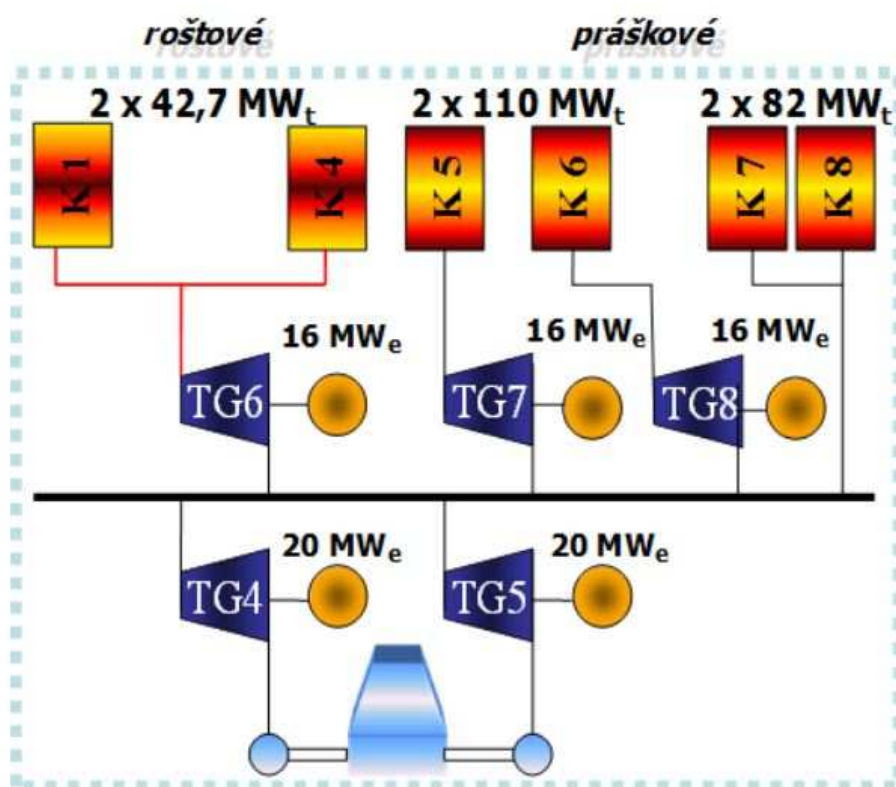
Doprava paliva včetně jeho vykládky je zajištěna externí firmou. Skládka paliva je tvořena opláštěnou ocelovou konstrukcí s uzavíratelnými vjezdy. Uhlí je vysypáno do betonového, hlubinného zásobníku, odkud je čtyřmi vozíky shrnován na dvojici dopravních pásů (v provozu vždy jen jeden). Na pásech jsou umístěny elektromagnetické odlučovače kovů a následně je vzorkovačem odebrán vzorek uhlí putující do laboratoře, rozbor vzorku se provádí z každého vlaku. [2]

1.2.2 Kotelna

Kotelna je jedna z nejdůležitějších součástí teplárny, dochází zde ke spalování paliva a produkci tepla nezbytného pro provoz teplárny. Tepelné výkony kotlů Teplárny Trmice, a.s. jsou uvedeny v *Tab.1.1* a na *Obr.1.2*.

Kotel	Tepelný výkon [MW _t]	Tepelný příkon [MW _t]
K1	42,7	54
K4	42,7	54
K5	110	132
K6	110	132
K7	81,9	95
K8	81,9	95
Celkem	469,2	562

Tab.1.1 – Tepelné výkony kotlů [2]



Obr.1.2 - Výkonové schéma [3]

Kotle s označením K1, K4 jsou roštové kotle, které slouží k přeměně energie z uhlí na tepelnou energii v přehřáté páře na výstupech kotle. Kouřové plyny jsou současně s popílkem odsávány kouřovým ventilátorem do společného elektrostatického odlučovače,

spaliny putují přes centrální klapku do odsíření. Vysokotlaké, sálavé kotle mají vodotrubný (jednobubnový) varný systém s přirozenou cirkulací vody a pohyblivé vratisuvné rošty. Kotle jsou přítahové s dvoustupňovým přehříváním páry, třístupňovým ohřívákem vody a dvoustupňovým ohřívákem vzduchu. V těchto kotlích se spaluje hnědé uhlí z dolů Bílina, jehož fyzikálně-chemické parametry jsou uvedeny v *Tab.1.2*. Dodatkovým palivem je biomasa, která je spalována spolu s uhlím v maximálním poměru 1:1. [2]

Uhlí SD – PS3	
Výhřevnost	10,5 - 13 (průměr 12,0) MJ/kg ⁻¹
Obsah vody	Průměrně 25,5 %
Obsah popela	Průměrně 38 %
Obsah síry	Průměrně 0,8 %
Bod měknutí popela	1400 °C
Bod tavení popela	>1500 °C
Bod tečení popela	>1500 °C

Tab.1.2 – Fyzikálně-chemické parametry hnědého uhlí [2]

V kotelně K5 a K6 jsou umístěny dva práškové, granulační, dvoutahové kotle s přirozenou cirkulací a pětistupňovým přehřátím páry. Čtyři ventilátorové mlýny s přímým foukáním zajišťují dostatečné množství kyslíku pro spalování uhelného prachu. Kotle jsou vybaveny dvěma rotačními regeneračními ohříváky vzduchu. Kotle mají vlastní elektroodlučovače popílku a jsou napojeny přes odsiřovací jednotku do společného komínu. Hlavním palivem frakce hnědého uhlí pod 15 mm a vedlejším palivem je těžký topný olej (mazut), který slouží pouze pro najíždění kotlů a stabilizaci plamene. Parametry spalovaného uhlí jsou stejné jako u kotlů K1 a K4 uvedených v *Tab. 4.2*. Fyzikálně-chemické parametry těžkého topného oleje jsou uvedeny v *Tab.1.3*. [2]

TTO	
Výhřevnost	40 MJ/kg
Hustota při 20 °C	957 kg·m ⁻³
Viskozita při 100 °C	36,91 cSt
Mechanické nečistoty	0,02 % hm.
MCRT	7,12 % hm.
Obsah popela	0,018 ppm
Obsah vody	< 0,1 % hm.
Body vzplanutí – Clevel.	240 °C
Obsah síry	< 3 % hm.
Bod tuhnutí	19 °C

Tab.1.3 – Fyzikálně-chemické parametry těžkého topného oleje (mazut do 3 % síry) [2]

V kotelně K7 a K8 probíhá spalování ve dvou práškových kotlích stejným způsobem jako v kotelně K5 a K6. Instalované kotle mají zde pouze nižší výkon. Přehled parametrů všech instalovaných kotlů je uveden v Tab.1.4. [2]

kotel	K1, K4	K5, K6	K7, K8
Jmenovitý výkon [MW _i]	42,7	110,01	81,92
Minimální výkon [MW _i]	25,62	64,5	41,32 (se stabilizací)
Jmenovitý tlak páry [MPa]	12	13,5	1,8
Teplota přehřátí páry [°C]	500 +5/-10	540 +5/-10	290 +8/-8
Teplota napájecí vody	115	165	105 /+5

Tab.1.4 – Parametry instalovaných kotlů [2]

1.2.3 Odpopílkování, odstruskování

Toto zařízení řeší dopravu popílku a strusky, zahrnuje výstup popílku z kotle, bagrovací stanici, pneumatickou část, bagrovací trasy a odkaliště (ukládání). Při odsiřování vzniká produkt, který lze dále zpracovat pro stavební materiál. Vznikající spaliny obsahují oxidy síry a dusíku, na které jsou kladeny přísné emisní limity pro vypouštění do ovzduší. Pro splnění těchto emisí slouží odsiřovací zařízení, která používá proces tzv. mokré vápencové vypírky. Jednotce, ve které proces probíhá, se říká absorbér, ten je tvořen nádobou o výšce 45 m a průměru 14,5 m. Kouřové plyny procházejí absorbérem s několika stupňovou sprchou, která rozstříkuje rozemletý vápenec rozpuštěný ve vodě. Chemickou reakcí s oxidem

siřičitým vzniká hydrogensiřičitan vápenatý, který dále oxiduje na dihydrát síranu vápenatého. Vzniklý produkt je nazýván energosádrovec. Hydraulická část odpopílkování slouží pro dopravu tuhých zbytků (strusky) z kotlů K5-K8 na odkaliště popelovin. Struska je z výsypky kotlů splavována ve splavovacích žlabech. [2]

1.2.4 Vodní hospodářství

Pro provoz teplárny je nezbytný neustálý přísun vody. Hlavním zdrojem průmyslové vody je řeka Labe, po filtraci je voda používána k chlazení a po demineralizaci slouží k napájení kotlů. V teplárně jsou vybudované čtyři provozy. Provoz CHÚV II slouží na výrobu a uskladnění vody pro chlazení energetických celků, CHÚV III zajišťuje výrobu a uskladnění vody pro průmyslový lihovar. Největší část vodního hospodářství zajišťuje CHÚV IV, který dodává vodu pro chladicí okruh kondenzačních turbín, upravuje turbínový kondenzát z kondenzačních turbín, upravuje vodu pro vnější a vnitřní síťové kondenzáty a filtruje odluhy z chladicího okruhu kondenzačních turbín. CHÚV V slouží k výrobě demineralizované vody a na úpravu vody pro vnější a vnitřní síťové kondenzáty. [2]

1.2.5 Vyvedení elektrického výkonu

V teplárně se nachází dvě rozvodny. Přes první rozvodnu 35 kV je s využitím soustavy transformátorů zajištěn odběr elektrické energie pro vlastní spotřebu. Vlastní zařízení pro výrobu elektrické energie, protitlaké turbíny s generátory TG 6, TG 7, TG 8, kondenzační turbíny s generátory TG 4, TG 5, jsou schopny trvalého provozu, jako nezávislé zdroje elektrické energie vlastní spotřeby. V případě havarijní odstávky teplárny, je potřebný elektrický výkon pro najetí soustavy jištěn z druhé rozvodny 110 kV. Tato rozvodna slouží jako předávací místo vyrobené elektrické energie do sítě ČEPS. Rozvodna je řešena dvěma systémy přípojníc a se dvěma vývody do rozvodny Koštov. Příčné spojky přípojníc jsou vyvedeny pro transformátor 110/11,5 kVA 95 MVA, pro dvě pole transformátorů 110/35 kV 50 MVA a dvě pole transformátorů 110/6 kV 25 MVA. [2]

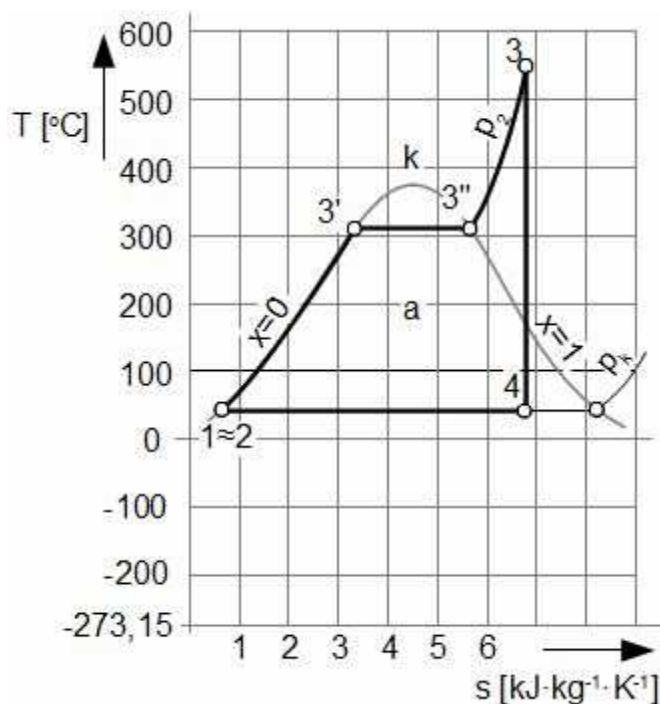
1.2.6 Teplárenství

Teplárenství je provozováno v kombinované výrobě elektřiny a tepla (KVET), často je tento způsob nazýván také kogenerace. Transformací tepla na elektřinu se musí odvést velká část tepla, toto teplo je přirozeně hospodárnější dopravit prostřednictvím parovodu k jinému spotřebovateli, než ho odvést do okolí. [4]

V teplárně je v současnosti instalováno 6 kotlů zajišťující celkový tepelný výkon 469,2 MWt a 6 turbogenerátorů pro výrobu elektrické energie o celkovém výkonu 89 MWe. Rozvod tepelné energie primárními tepelnými napájecími v celkové délce 125 km dodá ročně přibližně 3 700 TJ tepelné energie. Tepelná energie se přenáší prostřednictvím páry. Teplárna zásobuje většinu průmyslových závodů ve městě Ústí nad Labem, zhruba 30 000 domácností a další veřejné organizace. Celkem je připojeno více než 1 300 odběrných míst. [1]

1.2.6 Tepelný cyklus

Nejrozšířenějším tepelným oběhem v oblasti energetiky je Rankine-Clausiusův oběh (R-C oběh). Cyklus je často nazýván parní oběh, protože pracovní látkou je voda a v oběhu se tedy nachází pára. R-C oběh můžeme popsat v T-s diagramu, který je zobrazen na Obr. 1.3.



Obr. 1.3 – Průběh R-C oběhu v T-s diagramu [4]

Mezi bodem 1 a bodem 2 dochází ke zvyšování tlaku vody pomocí napájecího čerpadla. Voda je poté přivedena do kotle, kde je ohřívána na mez sytosti (bod 3'), poté dochází na spojnici bodů 3' a 3'' k jejímu vypařování. Tato mezní křivka se nazývá mez sytosti, kdy $x=1$. Vzniklá pára (bod 3'') je ve většině případů přiváděna do části kotle, kde je přehřívána na bod 3. Poté je pára přivedena do turbíny, kde dojde k její expanzi a předání energie v podobně mechanické práce (turbína se začne otáčet). V diagramu je zobrazena ideální expanze (bod 3 – 4), ve skutečnosti však expanze probíhá

s určitou termodynamickou účinností, což se v diagramu projeví tak, že průběh expanze není kolmý na osu x . Páru za turbínou je pro opětovné použití v cyklu nutno přeměnit opět na vodu, což probíhá v kondenzátoru (bod 4 – 1). Tímto je cyklus uzavřen, voda se nachází v původním stavu (bod 1) a je připravena k opětovnému použití. Ve skutečnosti je průběh R-C cyklu složitější, pro zvyšování účinnosti oběhu je část páry po expanzi přihřívána, napájecí voda se ohřívá v regeneračních ohřívácích a expanze probíhá v různých tlakových dílech turbíny. [4]

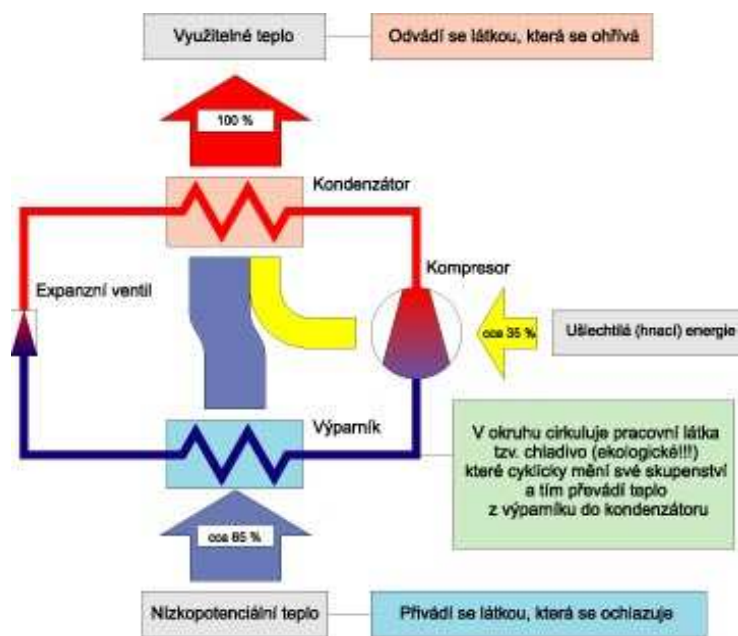
V praxi se rozlišuje oběh podle parní konstrukce. R-C cyklus jsem popsal v zapojení s kondenzační turbínou, kdy kondenzátor je zapojen přímo za turbínou a kondenzace probíhá až na teplotu 15 °C a tlak $0,002\text{ MPa}$, expanze je nazývána taktéž expanzí do vakua, protože tlak je menší než atmosférický. Turbínu lze provozovat také v režimu s potlačenou kondenzací, kdy chceme kondenzát používat pro vytápění. Nejčastěji se však využívají protitlaké turbíny, které mají na výstupu páru o vyšším tlaku, než je tlak atmosférický. Turbína se od kondenzační liší hlavně tím, že na výstupu není zapojen kondenzátor, ale parovod odvádějící páru za účelem vytápění. Třetí způsob je odběrová parní turbína, která má na sobě několik odběrů páry v různých stupních expanze. Rozlišujeme regulovaný a neregulovaný odběr. Výhodou regulovaného odběru oproti protitlaké turbíně je, že je možno provozovat turbínu jako čistě kondenzační. Neregulované odbočky jsou používány hlavně za účelem regeneračního ohřevu. [5]

1.3 Tepelné čerpadlo

V této kapitole objasním princip tepelného čerpadla, který ke svému provozu potřebuje zdroj nizkopotenciálního tepla. V mém případě využijeme jako zdroj vratný kondenzát parovodního potrubí teplárny.

Princip tepelného čerpadla popsal anglický fyzik lord Kelvin. Název tohoto systému vznikl ze samotného principu, neboť tepelné čerpadlo nevyrábí žádnou energii, pouze ji přečerpává na vyšší teplotní úroveň. Obecně se jako zdroj tepla využívá teplo obsažené v zemi, vodě, nebo vzduchu. Tyto okolní látky dosahují většinou nízkých teplot (nizkopotenciálové teplo), proto je při jejich využití pro vytápění musíme převést na vyšší teplotní úroveň. Celý oběžný cyklus vidíme na *Obr. 1.4*, kde probíhají čtyři základní děje. V prvním ději je přivedeno nizkopotenciálové teplo z okolí do výparníku, kde odevzdá svoje teplo. V tomto okruhu cirkuluje látka (chladiivo), která dále putuje do kompresoru. Zde nastává druhý děj, kompresor tepelného čerpadla prudce stlačí chladiivo a díky fyzikálnímu

principu, kdy při vyšším tlaku vzrůstá teplota, tím se zvýší teplotní hladina nizkopotenciálního tepla. Oběžná látka, teď už o vyšší teplotě, předá své teplo v kondenzátoru do topného okruhu, čímž se látka ochladí a zkondenzuje. Tomuto ději říkáme kondenzace. V poslední fázi oběhu prochází chladivo přes expanzní ventil, kde dojde k expanzi a oběžná látka získá zpět své počáteční parametry. Tento koloběh se neustále opakuje.[6]



Obr. 1.4 – Oběh tepelného čerpadla [7]

Výsledný topný výkon je dán součtem dodávaných energií, nizkopotenciálním teplem a elektrickou energií spotřebovanou kompresorem. Poměr mezi součtem těchto dvou energií a dodanou elektrickou energií se nazývá topný faktor a obvykle se pohybuje mezi 2 až 5, tato hodnota se ovšem mění a závisí na podmínkách, v nichž tepelné čerpadlo pracuje. Topný faktor, který je dán vztahem (1.1.) je vzhledem k výpočtu vždy větší než 1. [7]

$$e = \frac{P_{IN} + P_{EL}}{P_{EL}} \quad [-] \quad (1.1)$$

2 Výpočet účinnosti teplárny Trmice a vliv nižší teploty vratného kondenzátu na účinnost cyklu

2.1 Účinnost teplárny Trmice

Nyní vypočítám účinnost teplárenského cyklu, abych zjistil, jak se projeví nižší teplota kondenzátu na účinnosti teplárenského cyklu. Provoz teplárny se v průběhu roku mění, v letních měsících klesá odběr tepla zhruba na polovinu ve srovnání s odběrem v zimních měsících. V letním období je odběr způsoben pouze průmyslovými závody, které odebírají teplo v téměř konstantním množství v průběhu celého roku. U výroby elektrické energie tak k razantnímu snížení nedochází. Z tohoto důvodu budu předpokládat, že vlivem velkého snížení odběru tepla a nepříliš velkého snížení výroby elektrické energie se bude teplárna přibližovat více elektrárenskému cyklu, čímž by mělo docházet ke snížení účinnosti v letních měsících. Toto tvrzení si ověřím výpočtem. Z každého měsíce roku vyberu jeden den a konkrétní hodinu, pro kterou vypočtu okamžitou účinnost cyklu. Budu vycházet z naměřených hodinových údajů teplárny, které mi byly poskytnuty pro rok 2014. Výpočet vychází ze schématu *Schéma 2.1*, které najdeme na *str. 23*.

Pro výpočet účinnosti cyklu kombinované výroby elektřiny a tepla platí vztah (2.1).

$$\eta_t^{el} = \frac{3600 \cdot \sum P_g + \sum Q_o}{\sum Q_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.1)$$

kde: $\sum P_g$ – suma výkonů všech generátorů (W)

$\sum Q_o$ – suma odběrů tepla do CZT (J)

$\sum Q_p$ – suma tepla dodaného do cyklu všemi kotli (J/h)

Elektrický výkon dodávaný jednotlivými generátory pouze odečtu z hodinových údajů. Celkový dodávaný elektrický výkon je poté dán vztahem (2.2).

$$\sum P_g = P_{g_4} + P_{g_5} + P_{g_6} + P_{g_7} + P_{g_8} \quad [W] \quad (2.2)$$

Teplárna má čtyři odběry tepla, jeden z nich je využíván pro zásobování lihovaru, ten byl však po celý rok 2014 nevyužíván. U ostatních tří odběru určím odběr tepla pomocí hmotnostního průtoku páry a rozdílu entalpií odvedené páry a vratného kondenzátu sníženého o ztráty v parovodním potrubí dle vztahu (2.3). Celkový odběr tepla je pak dán součtem dle vztahu (2.4).

$$Q_{OTN} = M_{TN} \cdot (i_{TN} - i_{TNK}) * \eta_{PV} \quad [\text{J/h}] \quad (2.3)$$

kde: M_{TN} – hmotností průtok páry (kg/h)

i_{TN} – entalpie odběrové páry (J/kg)

i_{TNK} – entalpie vratného kondenzátu (J/kg)

η_{PV} – účinnost parovodního potrubí (-)

$$\sum Q_O = Q_{OTNLIH} + Q_{OTNI} + Q_{OTNII} + Q_{OTNIII} \quad [\text{J/h}] \quad (2.4)$$

Množství dodávaného tepla do systému určím stejným způsobem, tedy pomocí hmotnostního průtoku kotlem a rozdílem entalpií vody na vstupu kotle a párou vystupující z kotle dle vztahu (2.5).

$$Q_T = M_P \cdot (i_K - i_{NV}) \quad [\text{J/h}] \quad (2.5)$$

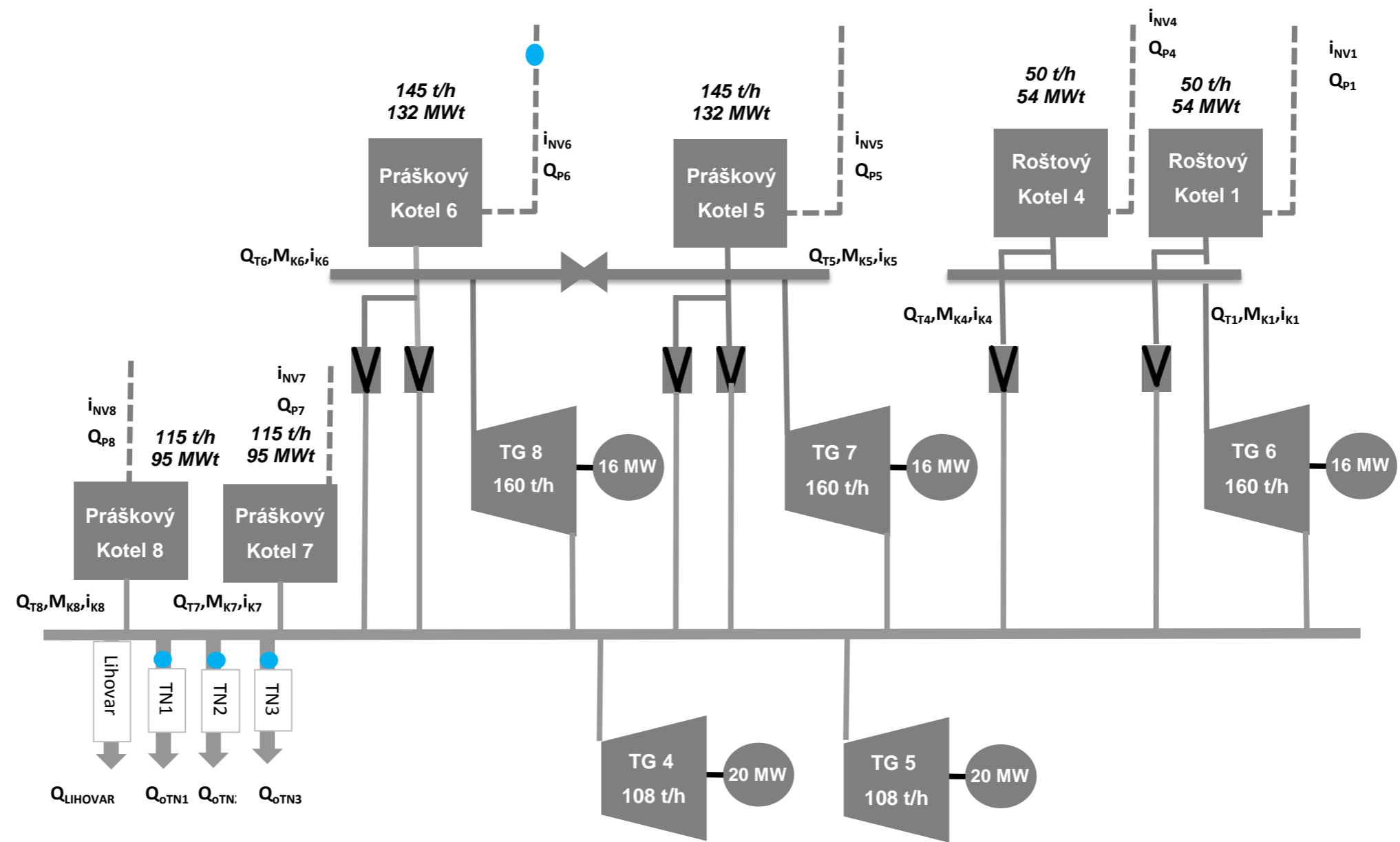
Hodnota získaná ze vztahu (2.5) je sice množství tepla dodávaného do systému, ale ve skutečnosti je tato hodnota snižena o účinnost kotle a skutečná hodnota přiváděného tepla je dána vztahem (2.6). Celková hodnota přiváděného tepla je pak součet dle vztahu (2.7).

$$Q_P = \frac{Q_T}{\eta_K} \quad [\text{J/h}] \quad (2.6)$$

kde: Q_T – teplo dodávané do systému (J) ze vztahu (2.5)

η_K – účinnost kotle (-)

$$\sum Q_P = Q_{P1} + Q_{P4} + Q_{P5} + Q_{P6} + Q_{P7} + Q_{P8} \quad [\text{J/h}] \quad (2.7)$$



2.2 Výpočet účinnosti teplárny Trmice k 01.11.2014 - 20:00 :

Nejprve určím ze vztahu (2.3) jednotlivé odběry tepla a pomocí vztahu (2.4) celkový odběr tepla z teplárny. Entalpie oběžných látek jsem určil pomocí parovodních tabulek.

$$Q_{OTNLIH} = 0 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{OTNI} = 64434,7 \cdot (2951758 - 230450) \cdot 0,97 = 170,09 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{OTNII} = 0 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{OTNIII} = 66486,5 \cdot (2953858 - 230450) \cdot 0,97 = 175,6 \text{ GJ/h}$$

$$\sum Q_o = 170,09 + 175,6 = 345,69 \text{ GJ/h}$$

Teď určím ze vztahu (2.5) a (2.6) teplo dodávané do systému jednotlivými kotli a pomocí vztahu (2.7) určím celkové přivedené teplo.

$$Q_{P1} = 0 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{P4} = 0 \text{ GJ}$$

$$Q_{T5} = 102802 \cdot (3431036 - 710606) = 279,67 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{P5} = \frac{279,67}{0,85} = 329,02 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{T6} = 118567 \cdot (3426775 - 715661,8) = 321,5 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{P6} = \frac{321,5}{0,85} = 378,2 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{P7} = 0 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{P8} = 0 \text{ GJ/h}$$

$$\sum Q_p = 329,02 + 378,2 = 707,22 \text{ GJ/h}$$

Ze vztahu (2.2) vypočítám celkový vyrobený elektrický výkon.

$$P_{G4} = 4,94 \text{ MW}$$

$$P_{G5} = 0 \text{ MW}$$

$$P_{G6} = 0,024 \text{ MW}$$

$$P_{G7} = 10,26 \text{ MW}$$

$$P_{G8} = 11,79 \text{ MW}$$

$$\sum P_G = 4,94 + 0,024 + 10,26 + 11,79 = 27,02 \text{ MW}$$

Nyní mám veškeré veličiny potřebné pro výpočet celkové účinnosti cyklu teplárny trmice dle vztahu (2.1).

$$\eta_t^{el} = \frac{3600 \cdot 27,02 \cdot 10^6 + 345,69 \cdot 10^9}{707,22 \cdot 10^9} \cdot 100 = \mathbf{62,63 \%}$$

2.3 Výpočet změny účinnosti teplárny Trmice při snížení teploty vratného kondenzátu z 55 °C na 30 °C k 01.11.2014 - 20:00

V další části této práce navrhnu řešení, jak využít nizkopotenciálové teplo vratného kondenzátu, při tomto využití dojde ke snížení teploty. Pro výpočet změny účinnosti cyklu budu uvažovat snížení teploty kondenzátu na teplotu 30 °C. Vzhledem k hmotnostnímu průtoku v CZT nepředpokládám, že bych našel způsob tak velkého využití nizkopotenciálního tepla, aby došlo k poklesu na teplotu 30 °C.

Změna teploty se nám projeví ve vztahu (2.3), kdy dojde k vyššímu odběru tepla, v celkovém odebraném teple dle vztahu (2.4) a samozřejmě na účinnost cyklu dle vztahu (2.1).

$$Q_{OTNLIH} = 0 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{OTNIZ} = 64434,7 \cdot (2951758 - 125700) \cdot 0,97 = 176,63 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{OTNIIZ} = 0 \text{ GJ/h}$$

$$Q_{OTNIII Z} = 66486,5 \cdot (2953858 - 125700) \cdot 0,97 = 182,39 \text{ G/hj}$$

$$\Sigma Q_{OZ} = 176,63 + 182,39 = 359,02 \text{ GJ/h}$$

$$\eta_t^{el} = \frac{3600 \cdot 27,02 \cdot 10^6 + 359,02 \cdot 10^9}{707,22 \cdot 10^9} \cdot 100 = \mathbf{64,52 \%}$$

Při porovnání vypočtených účinností vidím, že se účinnost cyklu při snížení teploty vratného kondenzátu, tedy při využití jeho nizkopotenciálního tepla, zvýšila přibližně o 1,5 %. Tímto se naplnily moje teoretické předpoklady. Nyní vypočítám změnu účinnosti teplárny pro každý měsíc roku, vždy k prvnímu dni měsíce ve 20:00 hodin. V Tab. 2.1 vidíme vyrobenou elektrickou energii, odebrané teplo z teplárny, teplo odebrané při nižší teplotě vratného kondenzátu a teplo dodané do systému v jednotlivých měsících. Dále vidíme rozdíly v účinnostech teplárny, která se snížila v měsících, kdy není topné období. S ohledem na poskytnuté schéma pro výpočet, neuvažuji při řešení skutečnost, že se do teplárny vrací kondenzát o nižší teplotě a potřebovali bychom pro jeho předehřev větší množství tepla.

V obou případech uvažuji stejnou teplotu vody vstupující do kotle. Veškeré výpočty jsou na příloženém CD disku *Příloha 1*.

	ΣPG [MW/h]	ΣQ_o [GJ]	ΣQ_{oz} [GJ]	ΣQ_p [GJ]	η [%]	η_z [%]	Rozdíl η [%]
leden	33,05	506,708	522,260	1008,910	62,02	63,56	1,54
únor	36,01	475,535	490,128	791,950	76,42	78,26	1,84
březen	45,94	481,69	496,450	1040,569	62,18	63,60	1,42
duben	32,65	297,783	306,909	701,657	59,19	60,49	1,3
květen	41,96	230,608	237,648	739,742	51,59	52,54	0,95
červen	28,17	191,318	197,171	543,320	53,88	54,96	1,08
červenec	25,18	179,648	185,138	525,079	51,48	52,53	1,05
srpen	28,93	191,88	197,752	588,019	50,34	51,34	1
září	26,59	268,49	276,689	620,328	58,71	60,04	1,32
říjen	24,97	265,928	274,090	609,772	58,35	59,69	1,34
listopad	27,02	348,385	359,027	707,193	63,02	64,52	1,5
prosinec	31,08	473,563	488,059	849,427	68,92	70,63	1,71

Tab. 2.1 – Porovnání účinností teplárny při snížení teploty vratného kondenzátu

3. Návrh využití vratného kondenzátu

3.1 Využití jako primární zdroj tepla pro tepelné čerpadlo

Při této variantě využití nizkopotenciálního tepla navrhnu, jakým způsobem by mohl vratný kondenzát o teplotě 50°C sloužit jako primární zdroj tepelného čerpadla. Tento systém při běžné realizaci využívá buď plošné kolektory, nebo hlubinné vrty, které jsou dražší, ale naopak nepotřebují tak velkou plochu, oproti tomu plošné kolektory bývají levnější investice, avšak kladou vyšší nároky na potřebnou plochu. Často se tyto dvě varianty kombinují. V mém případě nebudu aplikovat ani jednu z těchto dvou variant, neboť primární zdroj tepla do systému tepelného čerpadla budu odebírat z vratného kondenzátu. Toto řešení sebou nese své klady i zápory. Vratný kondenzát je sice nizkopotenciálové teplo, ale dosahuje vcelku vysoké teploty a velkého hmotnostního průtoku, takže mám k dispozici obrovské množství tepla. Pokud však chci toto teplo použít pro tepelné čerpadlo, budu se potýkat s problémem, kdy tepelná čerpadla dokážou pracovat s teplotou na vstupu do 20°C.

Vzhledem k množství tepla, které mám k dispozici a nutnosti realizovat odbočku, ze které budu odebírat kondenzát, by bylo zcela nesmyslné realizovat tepelné čerpadlo pouze pro jeden objekt, v mém případě rodinný dům. Pokusím se tedy navrhnout řešení, které by mohlo být použitelné pro více objektů, zástavbu domů, nebo menší satelitní městečko, kde by všechny domy byly vytápěny pomocí tepelného čerpadla. Návrh řešení bude proveden ve spolupráci s firmou Enerfin plus s.r.o. a jí poskytnutými podklady.

3.1.1 Výpočet tepelných ztrát objektu a potřeba tepla na vytápění

Nejprve pomocí kalkulačního programu určíme, jaké tepelné ztráty a potřeby tepla na vytápění dosahuje běžný rodinný dům. Pro výpočet použijeme online kalkulátor [9], kdy pro výpočet použijeme tabulkové hodnoty teplot dané lokality [10]. Ztráty pro různé konstrukční typy rodinných budov jsou uvedeny v *Tab.3.1*.

Údaje závislé na lokalitě

Lokalita: Ústí nad Labem

Venkovní výpočtová teplota: -12°C

Střední venkovní teplota topného období: $3,6^{\circ}\text{C}$

Počet dnů topného období: 221

Ostatní údaje

- Chráněná poloha objektu v krajině (objekt nepřevyšuje okolí, nízké domy)
- Objekt má standardní prosklení (20 – 40 % fasády)

Průměrná vnitřní výpočtová teplota: 21°C

Celková vytápěná plocha objektu: 110 m^2

Průměrná konstrukční výška: 3,6 m (světla výška + skryté konstrukce základů a střecha)

Vyhodnocení ztrát a potřeb tepla na vytápění			
Typ objektu	Tepelná ztráta objektu	Roční potřeba tepla na vytápění	
Pasivní dům	1 kW	1650 kWh/rok	5,9 GJ/rok
Nízkoenergetický dům	3 kW	3850 kWh/rok	13,9 GJ/rok
Dům, jehož tepelné vlastnosti splňují současné požadavky	10,8 kW	34 370 kWh/rok	87,7 GJ/rok

Tab.3.1 – Tepelné ztráty a potřeby tepla na vytápění

3.1.2 Volba tepelného čerpadla

Pro návrh tepelného čerpadla budu uvažovat objekt standardního stavebního provedení, jehož tepelné ztráty jsou 10,8 kW. Pomocí tepelného čerpadla budu realizovat i ohřívání TUV, které navyšuje potřebný výkon čerpadla pro čtyřčlennou rodinu o dalších 0,8 kW. Výsledný potřebný výkon je tedy 11,6 kW. Standardně se při projektování tepelných čerpadel dimenzuje výkon na 55 % až 70 % potřebného výkonu, kdy v chladných obdobích dochází ke spínání sekundárního zdroje. Toto je způsobeno zejména nižší teplotou prostředí, vzhledem k mému primárnímu zdroji tepla, budu navrhovat výkon na tepelnou ztrátu objektu. Pro vytápění objektu volím tepelné čerpadlo STIEBEL ELTRON WPC 7, které dokáže pracovat se vstupní teplotou 20 °C a dodat topnou vodu o teplotě 60 °C [11]. Čerpadlo vidíme na *Obr.3.1*, jeho technické parametry jsou uvedeny v *Tab.3.2*.



Obr.3.1 – Tepelné čerpadlo STIEBEL ELTRON WPC 10

Tepelný výkon	11,51 kW
Topný faktor	3,01
Příkon	3,82 kW
Maximální teplota tepelného zdroje	20°C
Teplota topné vody	60°C
Cena	232 600 Kč

Tab.3.2 – Parametry tepelného čerpadla STIEBEL ELTRON WPC 13

Ohřev teplé užitkové vody

Tepelné čerpadlo bude sloužit jako tepelný zdroj pro vytápění a zároveň také pro ohřev TUV. Pokud uvažuji, že rodinné domy budou obydleny čtyřčlennou rodinnou, která bude mít střední spotřebu elektrické energie pro ohřev TUV podle *Tab.3.3* v rozmezí 1,2 až 2,4 kWh/os·den, bude roční spotřeba tepelné energie pro ohřev TUV přibližně 3000 kWh. [12]

Standart	60 °C	45 °C	Tepelná energie
Nízký	10 až 20 l/os.den	15 až 30 l/os.den	0,6 až 1,2 kWh/os.den
Střední	20 až 40 l/os.den	30 až 60 l/os.den	1,2 až 2,4 kWh/os.den
Vysoký	40 až 80 l/os.den	60 až 120 l/os.den	2,4 až 4,8 kWh/os.den

Tab.3.3 – Spotřeba tepla pro ohřev TUV [12]

3.1.3 Spotřeba elektrické a tepelné energie pro provoz tepelného čerpadla

Pomocí kalkulačního programu jsem stanovil roční tepelné ztráty objektu na 34 370 kWh a pro ohřev TUV uvažujeme roční spotřebu 3000 kWh, celkem tedy 37 370 kWh. Potřebu tepla by mělo tepelné čerpadlo pokrýt s topným faktorem 3,01. Celkovou spotřebu elektrické energie stanovím pomocí vztahu (3.1).

$$E_c = \frac{Q}{cop} = \frac{37370}{3,01} \cong 12\,415\, kWh \quad (3.1)$$

Roční částka za spotřebovanou energii

Distributor elektrické energie ČEZ má pro tepelná čerpadla nastavené pásmo vysokého tarifu na 2 hodiny denně a pásmo nízkého tarifu na 22 hodin denně. [15]

Sazba elektrické přípojky:

Jistič 3x25 A ...381,15 Kč

Vysoký tarif ...1,9 Kč/kWh

Nízký tarif...1,61 Kč/kWh

Spotřebovaná elektřina v NT a VT:

Budu uvažovat rovnoměrnou spotřebu elektrické energie v průběhu dne.

Celková spotřeba elektrické energie za rok činí 12 415 kWh, z toho v nízkém NT 11380,4 kWh a ve VT 1034,6 kWh.

Částka za jistič 3x25 A...12·381,15 = 4573,8 Kč

Cena v NT...1,61·11380,4 = 18322,44 Kč

Cena ve VT...1,9·1034,6 = 1965,74 Kč

Celkem...24 861,98 Kč

Roční částka za odběr tepla

Za odběr nizkopotenciálního tepla z vratné vody musím teplárně platit, vzhledem k tomu, že pro teplárnu je kondenzát o této teplotě v podstatě odpadní teplo, které dále nevyužívá, stanovím pro odběr vlastní cenovou kalkulaci 50 Kč/GJ. Množství odebraného tepla určím z topného faktoru a vztahu (1.1), zároveň musím uvažovat určitou rezervu způsobenou ztrátami v rozvodném systému.[16]

$$e = \frac{P_{IN} + P_{EL}}{P_{EL}} \quad [-] \quad (1.1)$$

Po úpravě dostanu vztah pro výpočet odběru nizkopotenciálního tepla (3.2).

$$P_{IN} = (e - 1) \cdot P_{EL} \quad [\text{kW}] \quad (3.2)$$

$$P_{IN} = (3,01 - 1) \cdot 12415 = 24954,15 \text{ kWh} = 90 \text{ GJ}$$

Ročně bych zaplatil za odběr tepla přibližně 4500 Kč.

3.1.4 Způsob realizace sítě tepelných čerpadel

Nyní se pokusím navrhnout blokové schéma připojení tepelných čerpadel na teplovod. Jak již bylo zmíněno, navrhovaná tepelná čerpadla dokážou pracovat s teplotou na vstupu 20 °C. Níže uvedené *Schéma 6.1* zobrazuje, jakým způsobem by bylo možné řešit přípojku na vratný kondenzát. Odebraný kondenzát by byl přiveden přes měření odběru tepla a přes škrťací ventil do výměníku. Na jeho výstupní straně bych použil jako oběžné medium směs lihu 30 % a vody 70 %, což je látka, se kterou tepelná čerpadla běžně pracují. Teplota této látky ve společné sběrnici by byla měřena za výměníkem a v celé sběrnici bychom zajistili oběh média pomocí oběhového čerpadla. Z této společné sběrnice bych realizoval odbočky přes měřič odběru tepla jednotlivých vytápěných domácností. Teplotu v sekundárním okruhu bych řídil pomocí regulátoru, který dostává informace o teplotě v sekundárním okruhu. Pro regulaci teploty mám k dispozici oběhové čerpadlo a škrťací ventil. V případě vyšší teploty, zvýším výkon oběhového čerpadla, nebo případně omezím přívod kondenzátu do výměníku pomocí škrťacího ventilu.

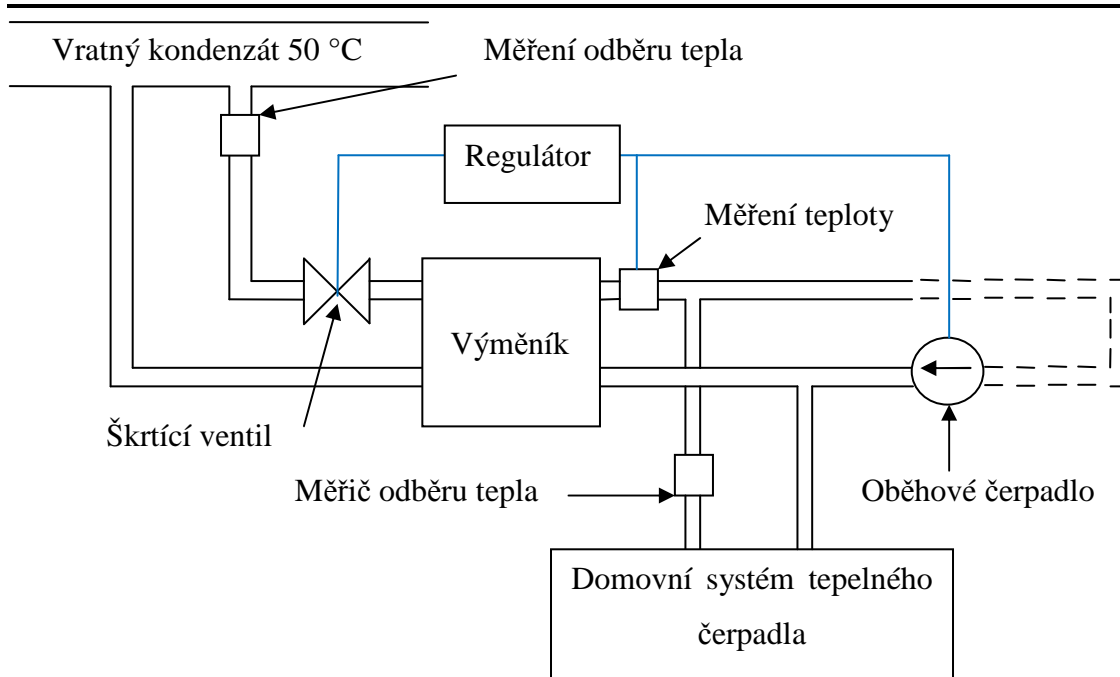


Schéma 3.1 – Princip připojení tepelných čerpadel

V další variantě budu uvažovat podlahové topení. Z tohoto důvodu volím pro tepelné čerpadlo vytápění pomocí klasických radiátorů, neboť navržené tepelné čerpadlo pracuje s vyšší teplotou na výstupu, než je pro podlahové topení potřebné, a také z důvodu porovnání investic. Systém vytápění pomocí radiátorů je uveden v Tab.3.4. [17]

Komponent	Množství	Cena
Radiátor 600/1200	2	6 850 Kč
Radiátor 600/900	1	3 424 Kč
Radiátor 600/1000	2	7 182 Kč
Radiátor 600/400	3	7 767 Kč
Termostatická hlavice	8 ks	1 760 Kč
Armatura VK	8 ks	1 600 Kč
Svěrné šroubení	16 ks	688 Kč
Potrubí Cu	100 m	9 000 Kč
Izolace TUBEX	100 m	600 Kč
Tvarovky Cu		1 000 Kč
Montáž	110 m ²	12 000 Kč
Cena celkem bez DPH	52 729 Kč	
Cena celkem s DPH	63 802 Kč	

Tab.3.4 – Komponenty pro systém radiátorů [17]

3.1.5 Podpora pro tepelné čerpadlo

Při instalaci tepelného čerpadla lze získat finanční podporu v oblasti C2, která se týká instalace těchto typů zdroje do novostaveb rodinných a bytových domů. Aktuálně činí výše podpory pro tepelné čerpadlo voda/voda bez invertoru jednorázově 75 000 Kč. [22]

3.2 Využití pro podlahové vytápění

Jako první způsob využití vratného kondenzátu jsem navrhl tepelné čerpadlo. Tato varianta se vzhledem k vyšší teplotě primárního zdroje, než je běžná teplota, se kterou tepelná čerpadla pracují, jeví jako drahá a nesmyslná. Vzhledem k teplotě vratného kondenzátu 50 °C se zdá přijatelnější možnost využití pro podlahové vytápění, neboť právě s touto teplotou podlahové vytápění pracuje.

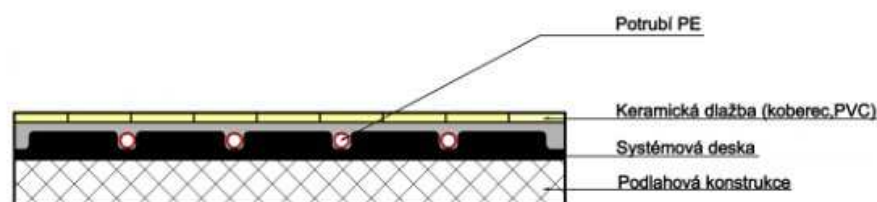
Teplovodní podlahové vytápění má řadu výhod, zejména tepelnou pohodu. Běžně používané radiátory vyzařují teplo do místnosti z jednoho místa, relativně vysoko nad podlahou, což způsobuje nerovnoměrné rozložení tepla v místnosti a velký rozdíl teplot u podlahy a stropu obytné místnosti, který často dosahuje až 8 °C. U podlahového vytápění, prostupuje teplo podlahou a rovnoměrně stoupá směrem nahoru. Rozdíl mezi teplotami je minimální, běžně kolem 2 až 3 °C, což u člověka způsobuje již zmiňovanou tepelnou pohodu. Menší rozdíl teplot zároveň výrazně snižuje víření prachu a nečistot.

Podlahové vytápění se řadí mezi energeticky úsporně systémy vytápění, neboť pracuje s teplotou okruhu 30 °C až 55 °C. Velkoplošné vytápění umožňuje sdílení tepla do vytápěného prostoru prostřednictvím podlahy, stěny, či stropu.

Pro náš případ aplikace podlahového vytápění budu opět uvažovat odběr vratného kondenzátu do rozvodné sítě zástavby rodinných domů, stejně jako v první variantě pomocí tepelného čerpadla. Při tomto způsobu vytápění očekávám nižší investici, neboť odpadá pořizovací cena tepelného čerpadla a náklady na jeho provoz. Při vyhodnocení investice do tohoto způsobu vytápění nesmím v porovnání s tepelným čerpadlem opomenout, že výstavba tepelného čerpadla s sebou nese také náklady na instalaci rozvodu tepla v podobě radiátorového vytápění. [13]

3.2.1 Instalace podlahového topení

Teplovodní podlahové topení se běžně realizuje dvěma způsoby. Nejpoužívanější je takzvaný mokrý způsob, kdy jsou trubky uloženy v polystyrenové izolační desce, která je na povrchu zpevněna plastovou folií a výstupky pro uchycení potrubí. Rozvedené potrubí je poté zalito betonovým potěrem. Krycí PVC fólie o tloušťce 0,1 až 0,6 mm zabraňuje proniknutí vlhkosti z betonové části pod tepelně akustickou izolaci. Provedení jednotlivých vrstev podlahového vytápění je zobrazeno na *Obr.3.2* a *Obr.3.3*. [13]



Obr. 3.2 – Vrstvy podlahového vytápění [13]



Obr. 3.3 – Podlahového vytápění [14]

Druhým způsobem je takzvaný suchý systém, který lze instalovat na stávající podlahy, stropy z masivního dřeva a dřevěných trámů, aniž bych použil betonovou mazaninu. Základ tvoří systémová deska z tvrdého polystyrenu EPS, na její horní vrstvě je natažena teplovodní hliníková fólie. Topná trubka je pak uložena s 12,5 cm rozestupem ve vyfrézovaných drážkách.

Pro teplovodní trubky se nejčastěji používají materiály jako polypropylen, polybuten, nebo síťovaný polyetylen. Trubky se spojují nerozebíratelnou spojovací technikou, takzvanou násuvnou objímkou, která je nalisována v axiálním směru.

Podlahové topení navrhuji pro rodinný dům v celé jeho obytné ploše, která činí 110 m². Cena topení se může pohybovat dle použitých materiálů v širokém cenovém rozmezí. Po konzultaci s firmou zabývající se instalací podlahového topení navrhuji topný systém, jehož komponenty jsou uvedeny v *Tab.3.5*. [17]

Komponent	Množství	Cena
Potrubí THERM 16x2	550 m	10 175 Kč
Dilatační pás 8x150	165 m	1 490 Kč
Příchytky na potrubí	1100 ks	1 320 Kč
Fólie pokovená hliníkem	120 m ²	2 540 Kč
Ochranná hadice	22 m	140 Kč
Rozdělovač	1 ks	6 725 Kč
Svěrné šroubení	20 ks	690 Kč
Skříň rozdělovače	1 ks	1 740 Kč
Teploměr k rozdělovači	2 ks	270 Kč
Montáž	110 m ²	19 400 Kč
Cena celkem bez DPH	44 490 Kč	
Cena celkem bez DPH	53 833 Kč	

Tab.3.5 – Komponenty podlahového topení [17]

Přivedení topné vody do podlahového vytápění, bych mohl realizovat podobným způsobem jako v případě použití tepelného čerpadla *schéma 3.2*. Znovu by bylo nutné použít centrální výměník tepla, neboť v teplovodu je demineralizovaná voda teplárny, kterou bych nemohl přímo využívat. Ve výměníku by bylo předáváno teplo do společné sběrnice s oběhovým čerpadlem, ze které bych realizoval, přes měřič odběru tepla, přípojky k jednotlivým domovním systémům. Podlahové topení je schopné pracovat s teplotou vratného kondenzátu, takže regulace by pouze sledovala, jestli domovní systémy odebírají teplo a v opačném případě se uzavřel škrťací ventil v primárním okruhu.

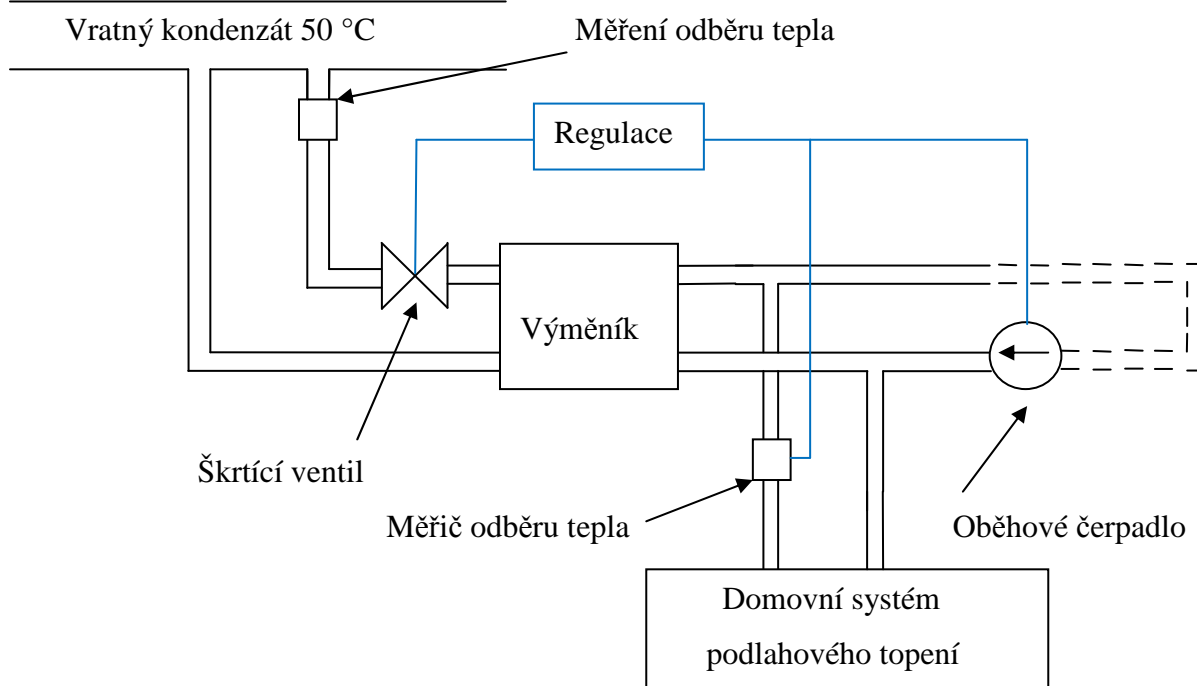


Schéma 3.2 – Princip připojení podlahového topení

Roční částka za odběr tepla

V této variantě bych odebíral veškeré potřebné teplo pro vytápění a pro ohřev TUV z navrženého systému. Roční odběr tepla by činil 37 370 kWh, což je 134,532 GJ. Při stanovené ceně 50 Kč/GJ bych zaplatil ročně přibližně 6750 Kč.

3.2.2 Záložní zdroj tepla

Zároveň musím uvažovat, že navrhovaný zdroj je zcela závislý na systému přívodu nizkopotenciálního tepla, a navrhnout tedy řešení pro případný poruchový stav. Může dojít k poruše výměníku, ventilu, regulace, nebo jakékoliv části systému a objekty zůstanou bez vytápění. Každý rodinný dům by měl mít svůj záložní zdroj v podobě elektrického kotle. Navrhuji tedy elektrický kotel Obr.3.4 s parametry Tab.3.6. Tento záložní zdroj by měl být instalován jak v kombinaci s tepelným čerpadlem, tak v kombinaci pouze s podlahovým topením.

Rozsah výkonu	7,5 -15 kW
Jmenovitý proud	3x23 A
Hodnota jističe	3x25 A
Max. teplota vody	85 °C
Účinnost	99%
Cena (s DPH)	9 000 Kč

Tab.3.6 – Parametry MORATOP ELECTRA 15 MINI [18]



Obr.3.4 – MORATOP ELECTRA 15 MINI

3.3 Vytápění skleníků

Nizkopotenciálové teplo, v podstatě odpadní teplo by se dalo využívat pro objekty, které nejsou náročné na kvalitu dodávaného tepla. Zejména v lokalitě Ústí nad Labem, kde je velké množství jižních svahů, se nabízí možnost využití pro vytápění skleníků. Vzhledem k ploše skleníku a potřebě tepla se tato varianta nabízí smysluplnější, neboť skleníky o ploše 500 m² potřebují pro vytápění zhruba 3600 GJ/rok tepla. V porovnání s rodinnými domy je tento odběr nizkopotenciálního tepla mnohem větší

4 Emisní limity, technologie Tail-end a environmentální přínos

V roce 2015 byl schválen technickou pracovní skupinou Evropské komise návrh na zpřísnění emisních limitů pro spalovací zdroje s teplem přikoum nad 50 MWt. Původní návrh sledoval pouze emise síry, prachu a dusíku, nový návrh však sleduje také emise rtuti, amoniaku, chloru, fluoru a oxidu dusného. Pro teplárny znamená toto zpřísnění problém zejména z hlediska investic, neboť k zpřísnění limitu emisí dochází ještě před dobou splatnosti původních nároků. [19]

V současnosti jsou v platnosti emisní limity uvedené v *Tab. 4.1*.

Znečišťující látky	Kotel [mg/m ³]	Odsíření kouřových plynů [mg/m ³]
oxid uhelnatý	175	250
oxidy dusíku	450	650
oxid siřičitý	1700	1700
tuhé znečišťující látky	50	100

Tab. 4.1 – Emisní limity [20]

4.1 Technologie Tail-end

Právě pro dodržení emisních limitů se do budoucna řeší instalace technologie Tail-end, která pro svůj provoz potřebuje přívod ostré páry, tedy páry o přibližné teplotě 470 °C. Spaliny jsou přivedeny to zařízení Tail-end, který tvoří trubkový výměník, kde dochází k ohřevu spalin na vyšší teplotu, neboť katalyzátor, který drží emise spalin v požadovaných limitech, dokáže správně pracovat pouze v určitém teplotním oknu. Tail-end tedy přihřeje spaliny na požadovanou teplotu, při které dokáže katalyzátor snížit emise na požadovanou hodnotu. Hodnota emisí by se měla do budoucna snížit až na hodnotu 150 mg/m³. Principiální schéma zapojení je uvedeno ve *Schéma 4.1*. [21]

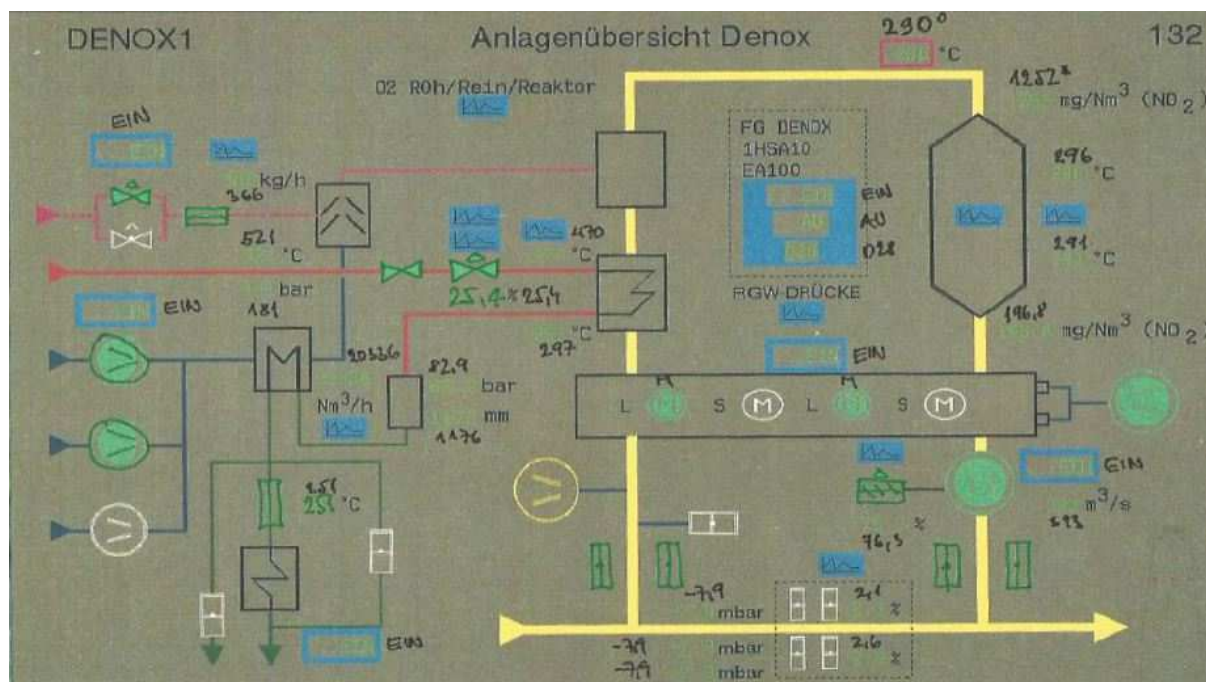


Schéma 4.1 – Principiální schéma Tail-end [21]

Na výstupu technologického prvku Tail-end bude tlaková voda o teplotě přibližně 250 °C a o tlaku přibližně 7 MPa. Do budoucna tedy vzniká další zdroj vratného kondenzátu, který by mohl být přiveden do tlakového výměníku a získat tak topnou vodu o teplotě 140 °C, která by mohla být přivedena do CZT.

4.2 Environmentální přínos

Palivo je látka, která hoří a při tomto procesu uvolňuje teplo. Palivo se skládá z hořlaviny a balastu. Hořlavina je nositel energie, je to tedy část, kterou chceme v palivu nejvíce, druhá část (balast), nepřináší žádný energetický účinek, je tvořena vodou a popelovinou. Snižující obsah balastu zvyšuje kvalitu paliva a zejména snižuje emise tuhých znečišťujících látek. Hořlavina je tvořena pěti základními prvky: uhlík, vodík, kyslík, dusík a síra. Uhlík spolu s vodíkem a kyslíkem ovlivňuje spalovací proces, dusík a síra ovlivňuje zejména produkci oxidů dusíku a oxidu siřičitého. [23]

Pokud budu uvažovat domovní zástavbu využívající tepelné čerpadlo, nebo samotné podlahové topení, budu mít zdroj tepla zcela bez produkce znečišťujících látek. Nesmím však opomenout, že přivedené nizkopotenciálové teplo bylo vyrobeno na základě spalování fosilního paliva v teplárně, při jehož spalování byly produkovány znečišťující látky a emise. Musím však vzít v potaz dva faktory. Za prvé, jak přísné požadavky na emisní limity

jsou v dnešní době kladeny na teplárny, v porovnání se spalováním fosilních paliv v lokálních výtopnách, kdy jsou spaliny volně vypuštěny do ovzduší. Za druhé nesmím opomenout, že sice využívám teplo vratného kondenzátu, které je však pro teplárnu v podstatě teplo odpadní. V množství, ve kterém bych teplo pro tento projekt odebíral, bych provoz teplárny téměř nezměnil. V kotelně teplárny by tedy docházelo ke spalování téměř stejného množství uhlí a k téměř stejné produkci znečišťujících látek. Pokud bych uvažoval, že by rodinné domy byly vytápěny pomocí kotle na spalování fosilních paliv, každý tento dům by produkoval přibližně množství znečišťujících látek uvedené v *Tab.4.1* [24]. Právě zajištění jiného způsobu vytápění a zamezení vzniku těchto látek lze považovat za environmentální přínos tohoto projektu.

Typ kotle	Emise [kg/rok]				
	TZL	SO ₂	CO	NO _x	Suma
Uhlí automat	6,4	23,5	23,8	27,5	81,2
Kotel na dřevo	15,3	-	707	10,5	732,8
Pelety automat	6,7	-	130	17,6	154,3

Tab. 4.1 – Produkce emisí při spalování fosilních paliv [24]

5 Ekonomické zhodnocení projektu

V poslední části se pokusím shrnout ekonomickou stránku projektu. Poblíž teplárny Trmice prochází teplovod volným prostranstvím o rozloze 10 000 m², kde bych mohl teoreticky realizovat zástavbu rodinných domů. Pro ekonomické zhodnocení budu uvažovat, že na této ploše vystavíme 40 rodinných domů s přípojným systémem na vratný kondenzát. Vyhodnotím smysluplnost investice z pohledu teplárny, která by tento projekt realizovala, tj. investovala do systému připojení na vratný kondenzát, a poté vyhodnotím ekonomickou stránku z pohledu majitelů rodinných domů.

5.1 Systém připojení na teplovod

Jak již bylo zmíněno, navržený systém připojený na teplovod s vratným kondenzátem by byl vybudován teplárnou. Veškeré náklady na výstavbu a potřebný materiál od připojení na teplovod, přes výměník až po jednotlivé přípojky k rodinným domům by byl realizován právě Teplárnou Trmice. Souhrn investičních nákladů pro vybudování navrženého rozvodného systému dle *Kapitola 3.1.4* je uveden v *Tab.5.1*.

Komponent	Množství	Cena
Výměňiková stanice	-	2 400 000 Kč
Rozvodné potrubí + výkopová práce	600 m	3 000 000 Kč
Oběhové čerpadlo	1 ks	40 000 Kč
Ostatní (regulace, ventily, měření)	-	100 000 Kč
Celkem	5 540 000 Kč	

Tab.5.1 – Kalkulace navrženého systému

5.2 Zhodnocení NPV

Metoda NPV zahrnuje celou dobu životnosti projektu, její průběžné provozní náklady, roční výnosy a počáteční částku investice. Jejím výsledkem je čistá současná hodnota investice, což je finanční veličina vyjadřující současnou hodnotou budoucích peněžních toků a současného výdaje. Čistá současná hodnota se používá jako kritérium pro hodnocení výnosnosti investičních projektů. Hlavní výhodou tohoto kritéria je zohlednění faktoru času. Její výsledek zjistím pomocí vztahu (5.1). [25]

$$NPV = \sum_{T=1}^{T_z} (V_T - N_{pT}) \cdot (1 + r)^{-T} - N_{ip} \quad (5.1)$$

kde: NPV – čistá současná hodnota

V_T – výnosy v daném roce

N_{pT} – náklady v daném roce

r – diskontní úroková míra

N_{ip} – celkové pořizovací náklady

Pro výpočet budu uvažovat roční výnosy za odebrané nizkopotenciálové teplo pro provoz tepelného čerpadla spočítané v *Kapitola 3.1.3*. Náklady budou tvořeny jednorázově 5 % z ceny investice, kvůli životnosti oběhového čerpadla a dalším nákladům na údržbu. Diskontní úrokovou míru volím 7 % a celkovou počáteční investici 5 540 000 Kč. Životnost projektu volím 20 let, zejména kvůli výpočtu, neboť nepředpokládám zájem o investici do projektu s delší splatností, ačkoliv životnost systému je mnohem delší. Po dosazení do vztahu (5.1) získávám čistou současnou hodnotu.

$$NPV = \sum_1^{20}(4500) \cdot 1,07^{-T} - 5540000 = -3762114 \text{ Kč} \quad (5.1)$$

Touto výpočetní metodou se jeví investice jako nevýhodná, což je způsobeno zejména uvažováním diskontní úrokové míry a kratší dobou životnosti investice, než je skutečná životnost projektu.

Pokusím se spočítat stejnou metodou přínos investici ve variantě podlahového topení, kdy se od teplárny odebírá větší množství tepla, pro jeden rodinný dům v hodnotě 6750 Kč. Uvažuji stejnou cenu přívodního systému, kdy po dosazení do vztahu (5.1) dostávám skutečnou současnou hodnotu.

$$NPV = \sum_1^{20}(6750) \cdot 1,07^{-T} - 5540000 = -2820429 \text{ Kč} \quad (5.1)$$

I při této variantě, kdy odebírám větší množství tepla, se investice do projektu jeví jako nevýhodná.

5.3 Zhodnocení IRR

Vnitřní výnosové procento (anglicky Internal Rate of Return), obvykle se používá zkratka IRR, je ukazatel pro relativní výnos (rentabilitu), kterou projekt během svého životního cyklu poskytuje. Tato metoda určuje vnitřní výnosové procento, které udává relativní výnos během životnosti projektu. Vycházím ze vztahu (5.1), avšak hledám diskontní úrokovou míru, při které bych měl za dobu životnosti projektu nulový zisk. [26]

$$0 = \sum_1^{20}(4500 -) \cdot r^{-20} - 5540000 \quad (5.1)$$

→ $r = \text{ZÁPORNÝ}$

Výsledkem této metody je záporná hodnota diskontní úrokové míry a to jak ve variantě tepelného čerpadla, tak v kombinaci pouze s podlahovým vytápěním, což značí nevýhodnost této investice.

5.4 Výhodnost z pohledu zákazníka

Pokud se podívám na navržený projekt z finančního pohledu zákazníka, tak při porovnání variant vytápění pomocí tepelného čerpadla a podlahového topení, na první pohled vidím, která varianta je výhodnější. Realizace první varianty zahrnuje investici do tepelného čerpadla 232 600 Kč, radiátorové topení v hodnotě 63 802 Kč a záložní elektrický kotel v hodnotě 9 000 Kč. NPV nebudu ani určovat, protože samotný odběr elektrické energie je nákladově srovnatelný s jiným zdrojem tepla. Pokud bych uvažoval nejlevnější způsob vytápění (spalováním dřeva), která pro rodinný dům podobného typu vychází zhruba na 25 000 Kč, se dostávám s provozními náklady za elektrickou energii a za odebrané teplo, na stejné náklady.

Pokusím se však zhodnotit výhodnost při variantě podlahového topení, kdy jediným nákladem je počáteční investice do podlahového topení a náklady na provoz oběhového čerpadla, která jsou vzhledem k výkonu minimální, a pro výpočet tuto částku zanedbám. Po dosazení do vztahu (5.1) získávám NPV. Za výnosy budeme uvažovat ušetřenou částku, kterou bych jinak vynaložil za jiný způsob vytápění, opět budu uvažovat spalování dřeva, tedy částku 25 000 Kč, náklady tvoří částka za odebrané teplo v hodnotě 6750 Kč a náklady za instalované podlahové topení v hodnotě 53 833 Kč.

$$\begin{aligned} NPV &= \sum_{T=1}^{T_z} (V_T - N_{pT}) \cdot (1 + r)^{-T} - N_{iP} = \sum_1^{20} (25000 - 6750) \cdot 1,07^{-T} - 53833 = \\ &= 139507 \text{ Kč} \end{aligned}$$

5.5 Stanovení koncové ceny produktu

Z pohledu výhodnosti zákazníka se jeví varianta podlahového topení jako velice výhodná. Při stanovené ceně 50 Kč/GJ tepla se však z pohledu teplárny nejeví investice do tohoto projektu jako výhodná. Vzhledem k ročním nákladům na vytápění (6750 Kč), které jsou v porovnání s jinými možnostmi vytápění několikanásobně nižší, se pokusím stanovit cenu za odebrané teplo tak, aby se stala investice do projektu pro teplárnu výhodná, a zároveň jsem zachoval nižší náklady na vytápění pro zákazníka, než při ostatních způsobech

vytápění. Výsledné hodnoty NPV přívodního systému z pohledu teplárny a hodnota NPV za vytápění z pohledu zákazníka je shrnuta v závislosti na ceně tepla v *Tab.5.2*.

Cena tepla [Kč/GJ]	NPV teplárny [Kč]	NPV zákazníka [Kč]	Roční částka za odebrané teplo [Kč]
50	-2 820 429	139 507	6 750
75	-1 390 237	103 756	10 125
100	39 954	67 998	13 500
125	1 470 147	32 243	16 875
150	2 900 399	-3 511	20 250

Tab.5.2 – Cena koncového produktu

Z *Tab.5.2* vidím, že i při zvyšování ceny produktu je tato varianta pro zákazníka stále výhodná a při překročení ceny 100 Kč/GJ se stala investice do projektu výhodná i pro teplárnu. Při hodnocení metodou IRR je pro tuto částku mezní diskontní míra 7,1 %, což znamená, že pokud má teplárna svoji hodnotu diskontní úrokové míry nižší, je podle metody IRR investice výhodná. Pokud bych stanovil cenu tepla na 125 Kč/GJ, byl by tento způsob vytápění pro zákazníka stále výhodnější, než ostatní způsoby a pro teplárnu by byla investice mnohem zajímavější.

Závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval návrhem využití nizkopotenciálního tepla vratného kondenzátu Teplárny Trmice. Návrh využití jsem směřoval k možnostem vytápění objektů, konkrétně rodinných domů. V tomto způsobu využití uvažuji výstavbu rodinných domů, nebo malého satelitního městečka. V první části této práce jsem popsal teplárnu Trmice a spočítal, jak se projeví nižší teplota vratného kondenzátu na účinnosti cyklu. Výpočet potvrdil teoretické předpoklady, že nižší teplota vratného kondenzátu, tedy zvýšený odběr tepla z CZT, zvýší i účinnost teplotenského cyklu, která se v zimních měsících zvýšila přibližně o 1,5 %. V tomto výpočtu není vzhledem k poskytnutému schématu zahrnuto větší množství tepla, potřebné k ohřevu vody vstupující do kotle z nižší teploty, než je tomu při běžném provozu. Předpokládám tedy, že rozdíl účinností by nebyl tak velký.

V samotném návrhu využití, tedy pro vytápění rodinných domů, jsem uvažoval dvě varianty. Vytápění pomocí tepelného čerpadla, kdy vratný kondenzát slouží jako primární zdroj tepla, a čistě podlahové topení, kdy vratný kondenzát slouží přes výměník k přímému vytápění domů.

V závěru práce jsem zhodnotil smysluplnost investice z pohledu teplárny a výhodnost tohoto vytápění pro majitele rodinných domů. Při stanovené ceně tepla odebraného z teplovodu 50 Kč/GJ se investice jeví jako nesmyslná. Také v kombinaci s tepelným čerpadlem se z hlediska nákladů na vytápění a pořizovací ceně systému jeví tento způsob jako nevýhodný. Zajímavější je metoda podlahového topení, která se při stanovení koncové ceny tepla v rozmezí 100-125 Kč/GJ jeví jako výhodná jak z pohledu investice teplárny, tak z pohledu majitele rodinných domů. Při této ceně tepla je výsledná hodnota NPV v rozmezí 39 954 Kč a 1 470 147 Kč, tedy výhodná. Roční náklady na vytápění jednoho domu by v tomto rozmezí činily 13 500 Kč až 16 875 Kč, což je v porovnání s ostatními způsoby vytápění také výhodné.

Použitá literatura

- [1] Popis Teplárny Trmice, a.s. [online]. [cit. 15.11.2015].
Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/trmice.html>
- [2] INTEGROVANÉ POVOLENÍ pro zařízení „Teplárna Trmice“ společnosti ČEZ, a. s., Interní dokument 2004. [cit. 15.11.2015].
- [3] Výkonové schéma teplárny [online]. [cit. 17.11.2015].
Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/img/pro-media/fotogalerie/galerie-trmice/4.jpg>
- [4] Tepelné oběhy a jejich realizace [online]. [cit. 17.11.2015].
Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/tepelne-obehy-a-jejich-realizace.html>
- [5] Parní turbíny [online]. [cit. 17.11.2015]
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=63980
- [6] Tepelná čerpadla [online]. [cit. 18.11.2015]
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39801
- [7] Tepelná čerpadla [online]. [cit. 18.11.2015]
Dostupné z: <http://tepelna-cerpadla.kvalitne.cz/princip-tepelneho-cerpadla>
- [8] Tepelná čerpadla [online]. [cit. 18.11.2015]
Dostupné z: <http://pozorovanislunce.eu/slunce/energie-ze-slunce/vyuziti-slunecni-energie/energie-okoli-a-dalsi.html>
- [9] Kalkulátor tepelných ztrát [online]. [cit. 2.4.2016].
Dostupné z: <http://www.vytapeni.cz/kalkulacky/tepelne-ztraty>
- [10] Venkovní výpočtové teploty [online]. [cit. 2.4.2016].
Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [11] Tepelné čerpadlo ELTRON WPC 10 [online]. [cit. 2.4.2016].
Dostupné z: https://www.stiebel-eltron.de/de/home/produkte-loesungen/erneuerbare_energien/waermepumpe/sole-wasser-waermepumpen/wpc_04_05_07_10_13cool/wp_c_10_cool.html
- [12] Spotřeba tepla na ohřev TUV [online]. [cit. 2.4.2016].
Dostupné z: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/37-spotreba-tepla-na-ohrev-teple-vody>
- [13] Teplovodní podlahové vytápění [online]. [cit. 2.4.2016].
Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/kondenzace/7443-dimenzovani-a-realizace-teplovodniho-podlahoveho-vytapeni>

-
- [14] Instalace teplovodního vytápění [online]. [cit. 2.4.2016].
Dostupné z: <http://www.podlahovetopeni-ostrava.cz/co-zajima-kazdeho-stavebnika.php>
- [15] Pásma platnosti vysokého a nízkého tarifu [online]. [cit. 2.4.2016].
Dostupné z: http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicky_dispecink/casy_spinani_ntavt/pasma_platnosti_nt_vt_prubeh.pdf
- [16] Tarif elektrické energie [online]. [cit. 2.4.2016].
Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/elektrina/comfort/cenik.html>
- [17] Podlahové topení [online]. [cit. 2.4.2016].
Dostupné z: <http://www.hst-zichlinek.cz/podlahove-topeni-vs-radiatory-porovnanic-cen-PC-239.html> [18] Elektroteokotel Elektrokotel ELEKTRA 15 mini. [online]. [cit. 2.4.2016].
Dostupné z: <http://www.gas.cz/product/moratop-electra-15-mini-15-kw:5516/>
- [19] Limity pro uhelné elektrárny. [online]. [cit. 20.4.2016].
Dostupné z: <http://zpravy.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/brusel-pritvrdi-limity-pro-uhelne-teplarny-1048385>
- [20] Emisní limity. [online]. [cit. 20.4.2016].
Dostupné z: <http://www.tst.cz/ochrana-ovzdusi/>
- [21] SCR ve variantě Tail End s parním dohřevem spalín Voerde, Herne. Interní dokument. [cit. 20.4.2016].
- [22] Dotace na tepelné čerpadlo. [online]. [cit. 20.4.2016].
Dostupné z: <http://www.cne.cz/tepelna-cerpadla/financovanidotace-tepelna-cerpadla/>
- [23] Spalování tuhých paliv. [online]. [cit. 20.4.2016].
Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/8618-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-1>
- [24] Emise rodinného domu. [online]. [cit. 20.4.2016].
Dostupné z: <http://www.iczt.cz/cs/doc/sem38.pdf>
- [25] Metoda NPV. [online]. [cit. 20.4.2016].
Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/cista-soucasna-hodnota>
- [26] Metoda IRR. [online]. [cit. 20.4.2016].
Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/vnitri-vynosove-procento>
- [27] Vytápění domu. [online]. [cit. 20.4.2016].
Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/139-porovnaninakladu-navytapanipodle-druhu-paliva>

Přílohy

Příloha 1 – CD disk