



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

ORC CYCLE FOR WASTE HEAT UTILIZING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. STANISLAV VÍTEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Stanislav Vítek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

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

ORC oběh pro využití tepla KJ

v anglickém jazyce:

ORC cycle for waste heat utilizing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma je zaměřeno na návrh ORC oběhu pro využití tepla produkovaného kogenerační jednotkou se spalovacím motorem. V průběhu zpracování práce bude provedeno posouzení použitelných pracovních látek, analýza tepelných schémat, návrh pracovních parametrů oběhu. Konstruktivně bude řešen generátor páry v turbínovém okruhu.

Cíle diplomové práce:

1. Zpracujte stručnou rešerši na téma ORC oběhy, včetně popisu realizovaných aplikací (především v ČR).
2. Zpracujte přehled použitelných pracovních látek pro ORC oběhy.
3. Vytvořte výpočtový formulář výpočtu provozních parametrů ORC oběhu pro různé parametry zdroje tepla. V práci uveďte konkrétní výpočet oběhu pro KJ 600 kWe.
4. Konstruktivně navrhnete generátor páry pro turbínový okruh.
5. Dle dostupných údajů proveďte technicko-ekonomické posouzení nasazení ORC technologie.

Seznam odborné literatury:

CHANDRAMOHAN SOMAYAJI, FIRST AND SECOND LAW ANALYSIS OF ORGANIC RANKINE CYCLE, May 2008

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je rozbor a modelování Organického Rankinova Cyklu (ORC). Organický Rankinův Cyklus se používá pro zpětné získávání tepla z nízko potenciálních zdrojů tepla. Jejich pracovní kapalina je chladivo nebo uhlovodík, jehož vlastnosti jsou přizpůsobeny podmínkám, ve kterých se provádí zpětné získávání tepla. Další kapitoly obsahují technické řešení spalínového výměníku kogenerační jednotky pro použití ORC a částečně ekonomická studie využití v České republice.

KLÍČOVÁ SLOVA

kogenerace, Organický Rankinův Cyklus (ORC), odpadní teplo, obnovitelné zdroje, chladiva, spalínový výměník

ABSTRACT

The aim of this diploma work is the study and the modeling of an Organic Rankine Cycle (ORC). Organic Rankine Cycle is used for heat recovery from low-potential heat sources. Their working fluid is a refrigerant or a hydrocarbon whose properties are adapted to the conditions in which the heat recovery is performed. The other chapters include the technical resolution of exhaust-heat exchanger of cogeneration unit for application ORC and partially economic study use in Czech Republic.

KEY WORDS

cogeneration, Organic Rankine Cycle (ORC), waste heat, renewable sources, refrigerant, exhaust-heat exchanger

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÍTEK, S. ORC oběh pro využití tepla KJ. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. XY s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci *ORC oběh pro použití tepla KJ* vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Pospíšila, Ph.D. Vycházel jsem přitom ze svých znalostí, odborných konzultací a literárních zdrojů uvedených v seznamu literatury.

V Blansku dne 24. 5. 2013

.....
Stanislav Vítek

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a obětovaný volný čas. Dále pak své rodině a nejbližším přátelům, kteří mě podporovali ve studiu.

OBSAH

OBSAH.....	1
Úvod.....	2
1. Kogenerace	3
1.1 Definice a princip kogenerace.....	3
1.2 Energetická bilance oddělené a kombinované výroby	4
1.3 Výhody kogenerace.....	5
1.4 Rozdělení primárních jednotek	5
1.5 Primární jednotky.....	6
2. Organický Rankinův cyklus.....	6
2.1 Historie	8
2.2 Možnosti aplikací ORC.....	8
2.2.1 Biomasa.....	8
2.2.2 Geotermální energie.....	11
2.2.3 Solární energie	11
2.2.4 Využití odpadního tepla.....	12
2.3 Realizace ORC u nás.....	13
2.3.1 Teplárna Trhové Sviny	13
2.3.2 Teplárna Třebíč - Sever	15
2.3.3 Teplárna Žatec	17
2.3.4 Další méně známé ORC aplikace v ČR.....	18
3. Přehled pracovních látek pro ORC	20
3.1 Vhodnost pracovních látek.....	20
4. Výpočet provozních parametrů ORC za KJ.....	28
4.1 Quanto D580 SP BIO.....	28
4.1.1 Výpočet pro zapojení ORC bez regenerace za KJ	28
4.1.2 Výpočet pro zapojení ORC s regenerací za KJ.....	32
4.2 Quanto C1100 SP BIO CON.....	35
4.2.1 Výpočet pro zapojení ORC bez regenerace za KJ	35
4.2.2 Výpočet pro zapojení ORC s regenerací za KJ.....	36
4.3 Porovnání:	37
4.4 Použité programy k výpočtu	38
5. Návrh parogenerátoru pro ORC.....	39
6. Technicko-ekonomické zhodnocení	49
7. Závěr	51
Zdroje informací	52
Seznam použitých obrázků	54
Seznam použitých symbolů	55
Seznam příloh	56

Úvod

V současné době energetika řeší několik hlavních problémů. Jeden z problémů je energetická náročnost lidské populace a to je úzce spojeno s rostoucím počtem lidské populace na planetě. Každý člověk je závislý na energii, aby mohl vykonávat své potřeby k žití. Potřeby jsou závislé na i komfortu a stylu lidského života. Mnohdy se někteří ani nezamýšlejí, kde se tyhle energie berou, neboť je vnímají jako samozřejmost. Jako další problém je brán dopad výroby energie na životní prostředí. Tento problém je v současné době velice často propírán širokou veřejností a občas i některé projekty na tomto krachují. Dalším problémem je stoupající ceny paliv a následné zvyšování ceny energií, což se nelíbí koncovým zákazníkům, a provozovatelé musí řešit nastalou situaci. Například změnou již zastaralých technologií na nové, čímž se dá zvýšit ekonomičnost provozu.

V dnešní době se stoupajícími cenami energií se hledají další technologie výroby energie a zvyšování výtěžnosti z paliva. Obnovitelné zdroje se ukazují jako nedostatečné a navíc jsou s nimi spojeny problémy při začleňování do elektrické sítě, hlavně u velkých fotovoltaických elektráren. Proto vývoj energetiky směřuje ke zvýšení výtěžnosti z paliva, které by mělo být lehce dostupné a samotná konstrukce soustavy by neměla být příliš složitá, neboť hlavním faktorem je ekonomičnost provozu a prvotní investice a jejich následná návratnost

Těmto parametrům vyhovuje technologie „kogenerace“. Palivo je tu přeměněno na elektrickou energii a využitelnou tepelnou energii, kterou je možno přeměnit znovu přeměnit. Tento způsob sdružuje oddělené způsoby výroby energií a tím pádem se šetří palivo, tudíž se zvětšuje výtěžnost z paliva. Jelikož se šetří palivo, tak se tím i snižuje dopad na životní prostředí.

Jednou z možností zvýšení výtěžnosti paliva je připojení doplňkové jednotky, která odpadní tepelnou energii transformuje na energii elektrickou. Jedním z takových zařízení je ORC jednotka, pracující s Organickým Rankin-Clausiovým cyklem, odtud zkratka ORC . Toto zařízení je schopné vzniklé nízkopotenciální teplo využít k doplňkové výrobě elektrické energie.

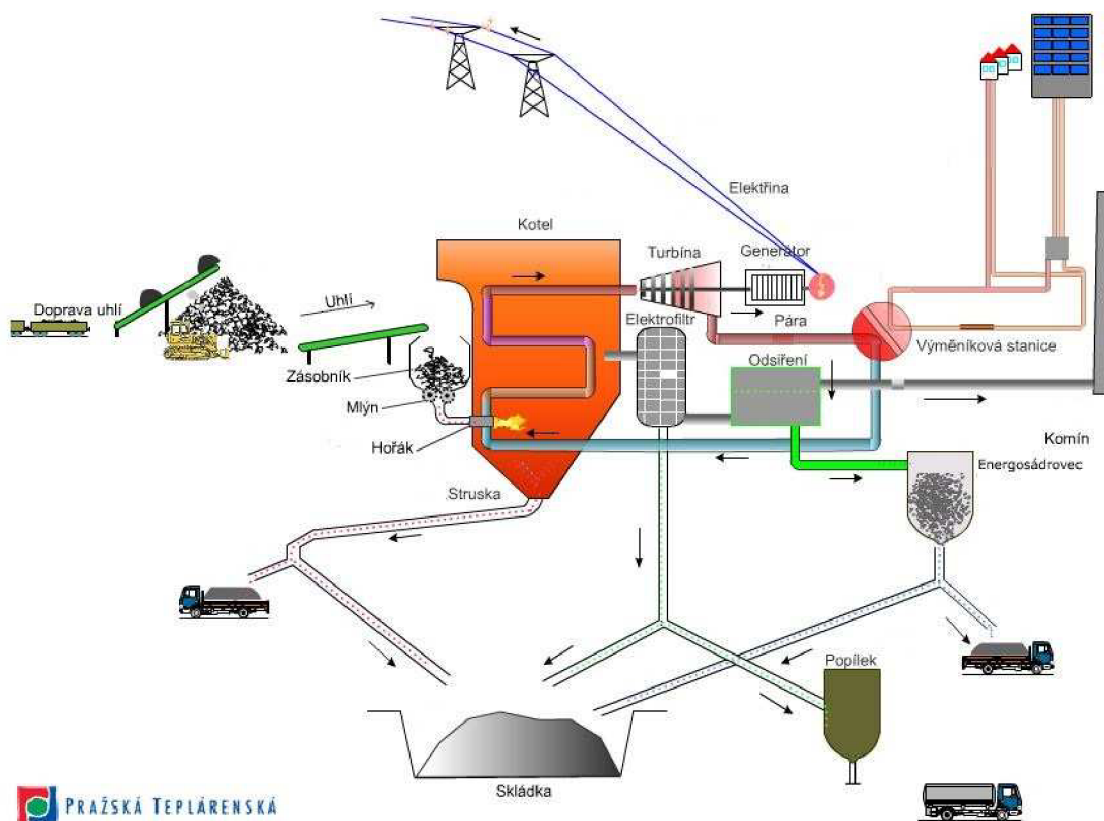
1. Kogenerace

Tepelná energie byla odjakživa důležitá k přežití, kdysi se získávala z otevřeného ohně, dnes již na to máme technologie, které mají za úkol využít vzniklé teplo maximálně. K této energii přibyl v dnešní době i elektrická energie, bez které si mnoho lidí, už nedokáže představit žít. Proto tyto dva druhy energie je potřeba stále vyrábět, jde jen o to jakou technologií, aby byla vhodná z přírodního hlediska a také výhodná z hlediska ekonomického. Těmto požadavkům zcela vyhovuje kogenerace, neboť obě energie získáváme zároveň, které jsou nezbytné k modernímu životu.

1.1 Definice a princip kogenerace

Dříve se tepelná energie a elektrická energie vyráběla, a stále vyrábí, odděleně, tudíž vznikají dvoje ztráty. Díky kogeneraci, která tyhle dvě energie vyrábí zároveň, razantně snížíme spotřebu paliva a tím i ztráty a množství emisí. Proto alternativní název pro kogeneraci je „kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET)“.

Princip kogenerace je jednoduchý. Při oddělené výrobě elektrické energie v elektrárnách vznikají ztráty. Největší podíl má komínová ztráta tzn. vypouštění odpadního tepla do okolí (chladicí věže, komín, atd.). Kogenerace využívá i tohle „odpadní teplo“ a posílá je do tepelné sítě na vytápění, nikoliv rovnou do kondenzátorů. Nebo obráceně z tepláren, kde je primární produkt teplo, se část tepla vede do výměníků pro ohřev dalších medií, které pomocí například Organického Rankinova cyklu jsme schopni získat elektrickou energii, kterému se budu ve své práci hlavně zabývat.



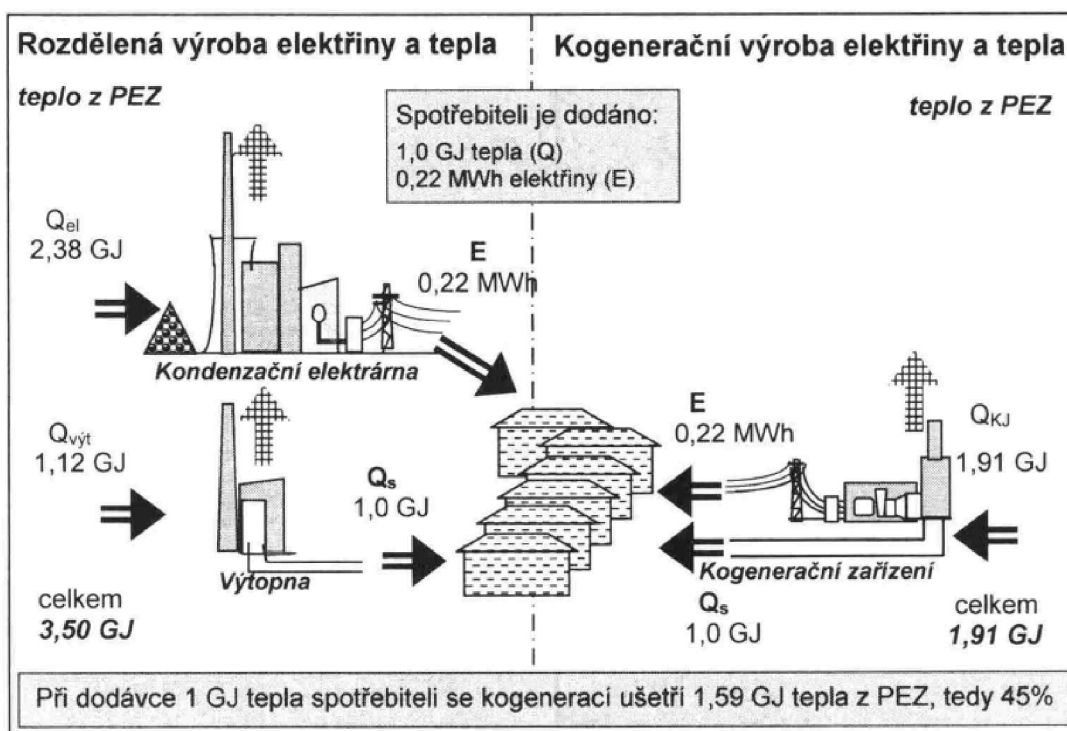
Obr. 1 Schéma kogenerační jednotky s kondenzační turbínou [10]

Jak je z obrázku zřejmé, tak uvolnění energie z uhlí dochází v kotli. Energie ze spalování uhlí je předávána pomocí soustavy trubek (výparník, přehřívák, ohříváků,...) ohříváné vodě, která se mění na páru. Vyrobená pára jde na turbínu, kde část své tepelné energie pomocí turbíny přemění na mechanickou energii, která je pomocí generátoru přeměněna na elektrickou energii. Zbylá tepelná energie obsažená v médiu za turbínou se ve výměníku předá jiné kapalině, kterou se vytápí obytné budovy.

1.2 Energetická bilance oddělené a kombinované výroby

Budeme vycházet z předpokladu, že při výrobě tepla ve výtopně se přeměna energie z primárního energetického zdroje (PEZ) přeměňuje s účinností 90%. U výroby elektrické energie v kondenzační elektrárně dochází k přeměně energie s účinností 35%.

Abychom měli konkrétní čísla pro lepší porovnání, budeme uvažovat, že spotřebitel bude odebírat 1,0 GJ tepla a 0,22 MWh elektřiny. Aby teplárna dodala 1,0 GJ tepla odběrateli, potřebuje 1,12 GJ v PEZ a aby kondenzační elektrárna dodala odběrateli 0,22 MWh elektřiny tak potřebuje 2,38 GJ v PEZ. Při sečtení množství PEZ dojdeme k číslu 3,50 GJ. V případě kombinované výroby energií pomocí kogenerační jednotky pro potřebu spotřebitele potřebujeme v PEZ 1,91 GJ. Když porovnáme oba nároky na PEZ dojdeme k závěru, že s kombinovanou výrobou energií je možné ušetřit 45% PEZ.



Obr. 2 Energetická bilance oddělené a kombinované výroby [10]

Při výrobě energií se řeší i problém dopravy energie, neboť čím větší vzdálenost ke spotřebiteli, tím větší ztráty. Jelikož kogenerace může být pro velké výkony tak i pro malé, můžeme kogenerační systémy rozdělit:

- Centralizované systémy (dálkové)
- Decentralizované systémy (lokální)

1.3 Výhody kogenerace

- Úspora paliva

K úspoře paliva dochází, jelikož se spotřebuje přibližně o 45% méně paliva. K této úspoře dochází, protože tepelná a elektrická energie se vyrábí na jednom místě a z jednoho společného paliva. Vzhledem k tomu, že dochází k úspoře paliva, se i pozitivně mění i celková účinnost. Dochází i k zásadnímu snížení emisí, jelikož se spotřebuje méně paliva.

- Snadná aplikace i na starší zaběhlé procesy a zvýšení ekonomičnosti

Možnost napojit se i na v současné době už na zaběhlé provozy výroby energií. Například u kondenzačních elektráren stačí před chladicí věž (nebo místo ní) dát tepelný výměník, který bude propojen s tepelnou sítí.

Čímž provozovateli vznikne další produkt, k distribuci, přitom se nijak zvláště nezvýší spotřeba paliva, jen se zvýší celková účinnost (využití paliva).

- Možnost použití obnovitelných zdrojů energie

Jako palivo může být biomasa, bioplyn, štěpka, atd., ať už jen z části nebo z úplného pokrytí potřeb výroby.

- Možnost decentralizované výroby energií

Jedna z možností použití kogenerace je pro odlehle usedlosti nebo jako denní výroba energií popřípadě i jako nouzový (záložní) zdroj energie pro větší komplexy budov (škola, nemocnice, hotely,...).

1.4 Rozdělení primárních jednotek

Kogenerační soustavy je možné rozdělit do 3 skupin podle elektrického výkonu:

- Mikro-kogenerace – výkon do 50 kW_E
- Mini-kogenerace – výkon do 500 kW_E
- Malá kogenerace – výkon do 1 MW_E
- Střední kogenerace – výkon do 50 MW_E
- Velká kogenerace – výkon nad 50 MW_E

Primární jednotky je možné rozlišovat podle druhu paliva, neboť každá jednotka pracuje trochu jinak a má i různé nároky na kvalitu paliva. Teď alespoň základní rozdělení paliv s příklady:

- Tuhá – pevná (uhlí, dřevo, brikety, štěpky, biomasa,...)
- Kapalná (plynový olej, těžký topný olej, kapalné uhlovodíky,...)
- Plynná (plynné uhlovodíky, koksárenský plyn, bioplyn,...)

Každý kogenerační systém se skládá z těchto čtyř hlavních částí:

- Primární jednotky (motor, turbína,...)
- Elektrického generátoru včetně zařízení pro připojení na elektrickou síť
- Výměníků tepla včetně propojení na tepelnou rozvodnou síť a v některých případech i kotli k výrobě páry.
- Řídícího a kontrolního systému

1.5 Primární jednotky

Primární jednotka je srdcem celého systému kogenerace. Ostatní systémy se odvíjejí na volbě primární jednotky.

U níže vyjmenovaných primárních jednotek s vnějším spalováním, dochází ke spalování paliva mimo primární jednotku. Spalování paliva dochází například v kotli.

Do této skupiny primárních jednotek patří například:

- Parní turbíny
 - Kondenzační turbíny
 - Protitlaké turbíny
- Organický Rankinův cyklus
- Plynové turbíny
- Mikroturbíny
- Paroplynový cyklus
- Stirlingův motor

Spalování u primárních jednotek s vnitřním spalováním dochází přímo uvnitř jednotky. K hoření paliva většinou dochází ve válci motoru.

Mezi primární jednotky s vnitřním spalováním patří:

- Spalovací motory
 - Vznětový motor
 - Zážehový motor

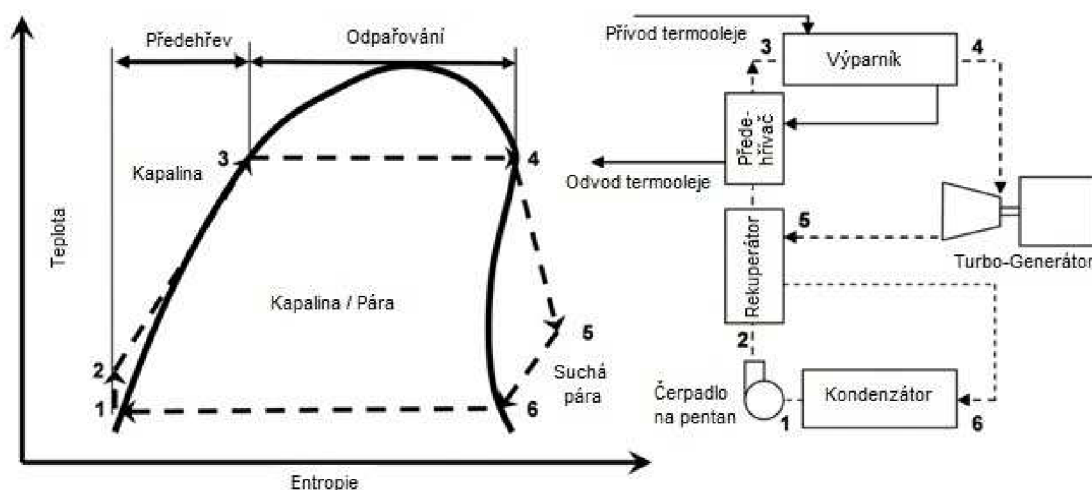
2. Organický Rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus (ORC) pracuje na stejném principu jako parní turbíny, neboť mají podobný tepelný cyklus. Odlišuje se v použití teplotně odolného média, které se odpařuje i při nižších teplotách (80 - 300°C). V parních turbínách je teplotně odolné médium voda, která se mění na páru. V případě ORC je pracovní látkou organická látka (R-11, R-22, R-113, R-123, R-134a,...). Nevýhodou organických látek oproti vodě je např. vysoká cena, nižší výparné teplo tento problém se řeší větším hmotnostním tokem, látky jako toluen jsou brány jako zdraví škodlivé. Vzhledem k tomu, že pracovní látka se odpařuje při nízkých teplotách, tím se nám otevírá cesta využití odpadového tepla, geotermálních zdrojů nebo i biomasy. Jako u parních turbín oddělený oběh pracovní látky, zabraňuje znečišťování spalinami.

Organický rankinův cyklus pracuje následovně, přivede se nízkopotenciální teplo do parního generátoru, kde se pro příklad odpaří silikonový gel, který pohání parní turbínu a ta roztáčí generátor. Za parní turbínou je regenerátor, kde se zbylé teplo obsažené v médiu předává na předehřívání organické látky před vstupem do parního generátoru. Za regenerátorem je kondenzátor. V kondenzátoru dochází k odebrání výparného tepla teplotně odolného média a je předáváno vodě, která je určena k vytápění. Z kondenzátoru putuje silikonový olej přes regenerátor zpátky do parního generátoru. Tímto je uzavřen ORC cyklus.

Výhody a nevýhody ORC:

- + Možnost využít zdroje nízkopotenciálních zdrojů tepla z důvodu termodynamických vlastností pracovního média.
 - + I při nízkých teplotách dobrá účinnost.
 - + Pracovní médium nezpůsobuje korozi zařízení, naopak prospívá.
 - + Jednoduchá konstrukce turbíny, většinou 1stupňová.
 - + Není potřeba převodovka z důvodu nízkých otáček turbíny
 - + Menší tlaky, nižší teploty, menší namáhání, z toho plyne vyšší životnost a nároky na použité materiály.
 - + Minimální údržba.
 - + Není třeba přehřívák páry.
 - Některé pracovní média bývají jedovatá, hořlavá a nebezpečná pro životní prostředí.
- Z toho důvodu jsou kladeny vysoké nároky na těsnost.
- Časem dochází k degradaci organické látky.
 - Vyšší spotřeba čerpadla, dána větším hmotnostním průtokem.



Obr. 3 Schéma a T-s diagram ORC oběhu [4]

Děj 1-2:

Nejprve je pracovní médium pumpováno z nízkého na vysoký tlak pomocí čerpadla. Probíhající děj je adiabatická komprese.

Děj 2-3:

Pracovní médium je ohříváno v rekuperátoru pomocí zbytkového tepla z pracovního média a následně je přehříváno v přehříváči pomocí odcházejícího termoleje.

Děj 3-4:

Vysokotlaká kapalina vstupuje do výparníku, kde se zahřívá při konstantním tlaku horkým olejem, aby se přeměnila na sytou páru.

Děj 4-5:

Sytá pára expanduje v turbíně a pomocí ní se generuje výkon. Expanze probíhá ideálně adiabaticky. Zde se snižuje teplota a tlak par.

Děj 5-6:

Pára opouští turbínu a vstupuje do rekuperátoru (viz. Děj 2-3) kde probíhá výměna tepla za konstantního tlaku.

Děj 6-1:

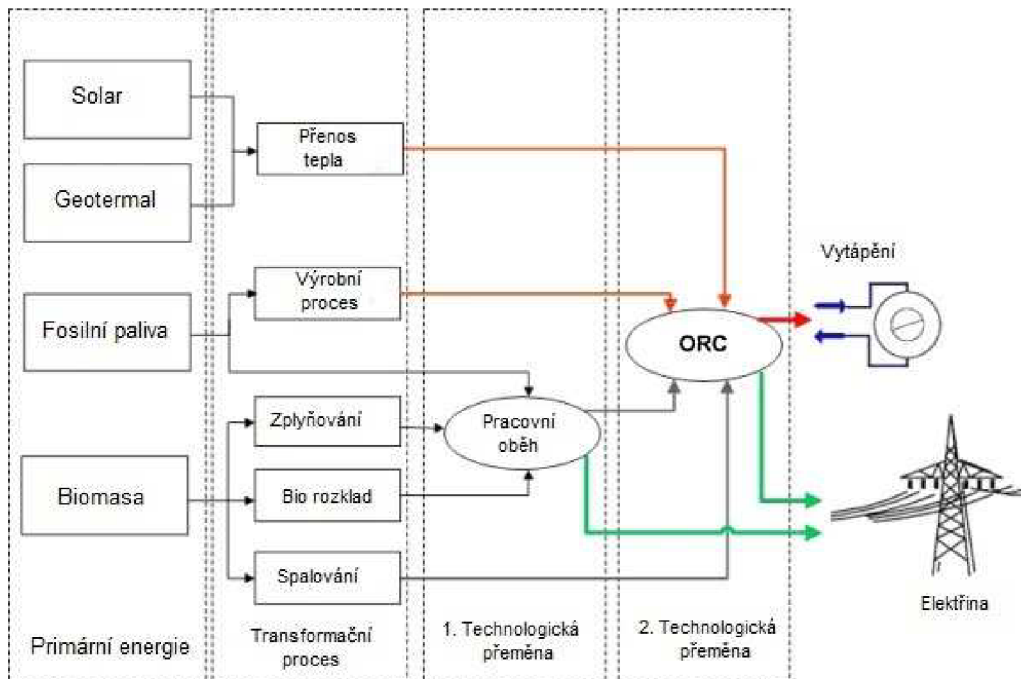
Pára následně vstupuje do kondenzátoru, kde pára se přeměňuje za konstantního tlaku na kapalinu. Čímž se celý okruh uzavírá.

2.1 Historie

První realizace ORC ve světě vznikla v Izraeli v roce 1961. Zasloužili se o ni Harry Zvi Tabor a Lucien Bronicki inženýři na solární energii. Avšak cyklus, ve kterém pracuje, byl vynalezen již v 19. století a to Rankin – Clausiův termodynamický cyklus. Ten je pojmenován po německém fyzikovi Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822 – 1888) a skotským inženýrem William John Macquorn Rankine (1820 – 1872).

2.2 Možnosti aplikací ORC

Trh s ORC rychle roste, už od prvních instalovaných komerčních zařízení v 80. letech exponenciálně roste počet těchto zařízení a jejich instalované výkony. Nejčastěji se ORC jednotky používají ve spojení s biomasou, následně s geotermální energií nebo v návaznosti na jiný proces odkud se využívá odpadní teplo, nejméně však ve spojení se solární energií.



Obr. 4 Možnosti aplikace ORC oběhu [6]

2.2.1 Biomasa

Biomasa je běžně k dispozici z řady zemědělských a průmyslových procesů, jako jsou například odpady ze zemědělství nebo z dřevozpracujícího průmyslu.

Spalování:

Jedna z výhod je „vyrovnaná“ bilance oxidu uhličitého, který je při spálení uvolněn, avšak rostlinami opět pohlcován.

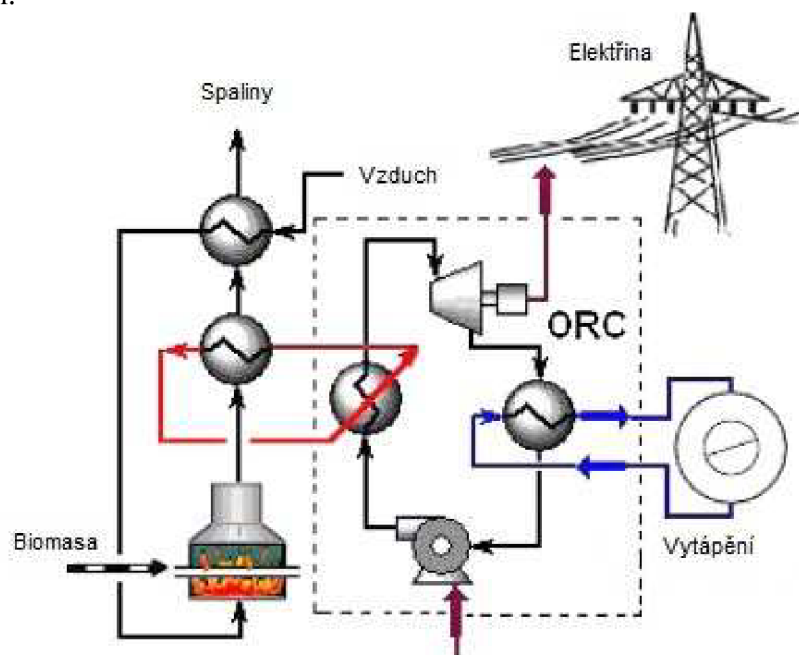
U biomasy (dřevo) je hustota energie v ní obsažena nízká (vysoká vlhkost, nízká výhřevnost,...), což zvyšuje dopravní náklady; proto je vhodné ji zpracovávat co nejbližší vzniku a ideálně tam, kde lze vyrobenou elektřinu a teplo rovnou využít. Vzhledem k tomu, že spalování biomasy je spíše lokální záležitost, čímž se nedá dosahovat

velkých výkonů (< 1 MWe), proto v tomto rozsahu výkonů je efektivnější použití ORC na rozdíl od tradičních parních cyklů, převážně z ekonomického hlediska a dalších výhod:

Kotel pracuje při nižší teplotě a nižším tlaku, neboť zahřívá termoolej při teplotě cca 300°C a nízkém tlaku. Kdežto parní kotle musí dosahovat teplot větších jak 450°C, aby nedocházelo ke vzniku kapek při expanzi na turbíně. Tlak 6 – 7 MPa plus tepelné namáhání zvyšuje razantně složitost celého systému a s tím spojené náklady na kotel v porovnání s kotlem na ohřev termooleje.

ORC pracuje při nižším provozním tlaku, což snižuje investiční náklady (materiál, těsnost a odolnost spojů na vysoký tlak,...) a s tím spojené náklady na údržbu s ohledem na bezpečnostní standardy.

Účinnost výroby elektřiny s ORC je nižší než u tradičních parních cyklů. Proto požadavek na teplo je předpokladem pro vyšší celkovou účinnost zařízení. Tento požadavek na teplo, může být splněn pomocí průmyslových procesů (např. sušení dřeva), nebo vytápěním.

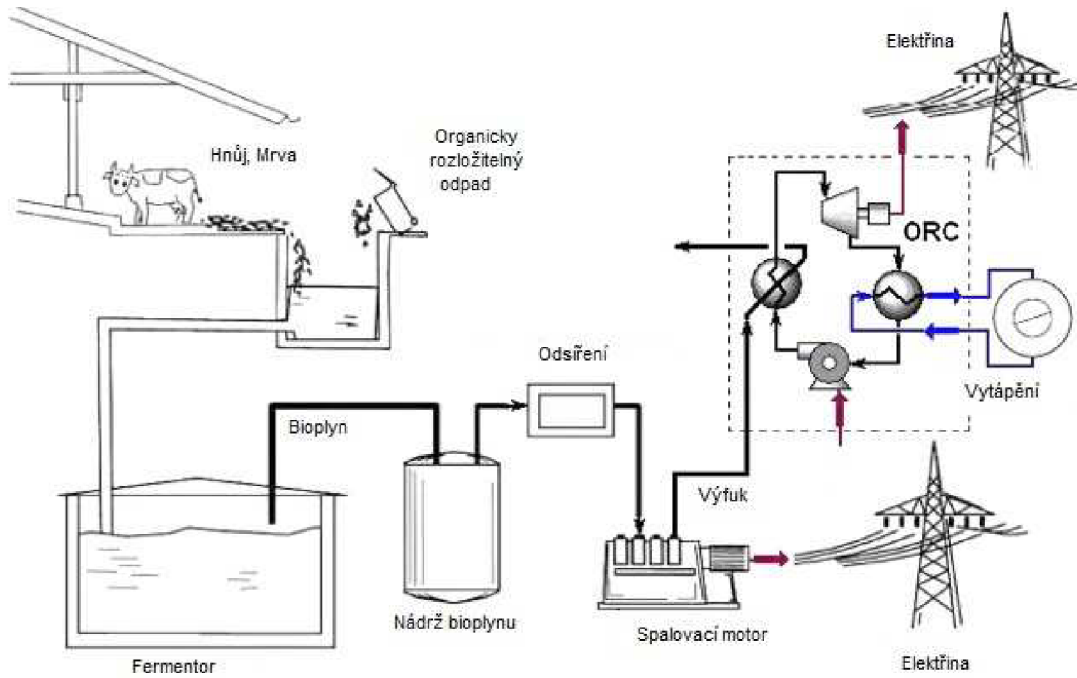


Obr. 5 Schéma zapojení ORC v návaznosti na spalování biomasy [6]

Bio rozklad:

Mezi biomasu patří i chlévská mrva, hnůj atp. jinak řečeno biologicky rozložitelný odpad, který produkuje bioplyn při kvašení (fermentaci) bez přístupu vzduchu. Obsahuje zejména metan a vodík, ale také sirovodík, čpavek, vodní páru a další látky. Bioplyn se vyrábí v bioplynových stanicích, a nežádoucí složky odstraňují např. odsířením. Jeho výhřevnost se pohybuje v rozmezí 19 - 25 MJ/m³ v závislosti na složení odpadu. Vzniklý plyn je zpracován a vzniklé teplo ve spalínách je pomocí výměníku předáváno do systému ORC.

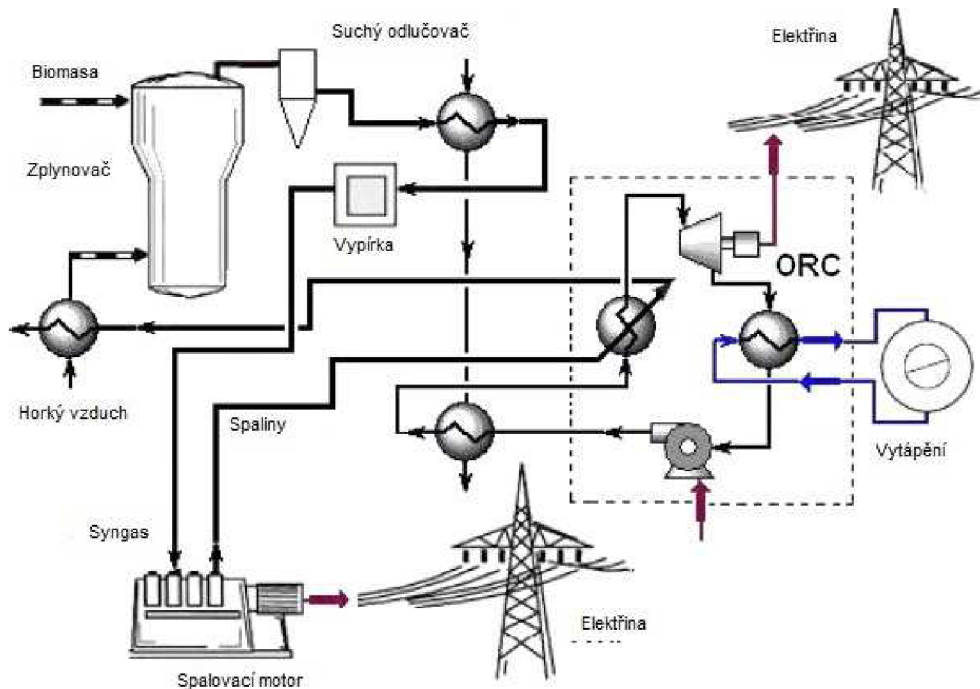
ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ



Obr. 6 Schéma zapojení ORC v návaznosti na spalování bioplynu [6]

Zplyňování biomasy:

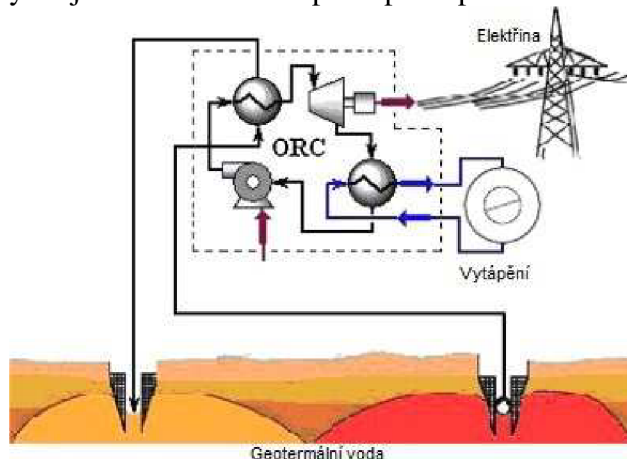
Další možností jak zpracovávat biomasu pro využití ve spojení s ORC je ji zplyňovat. Ve zplyňovací jednotce probíhá hned několik tepelně-chemických procesů (spalování, pyrolýza a redukce). Jako palivo může být dřevo, dřevěné uhlí, sláma, tráva atd., které je následně přeměněno na plyn nazývaný „SynGas“. Skládá se z oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého, vodíku, metanu a dusíku. Jeho výhřevnost se pohybuje v rozmezí 3 - 6 MJ/m³. Vzniklý plyn je spalován a vzniklé spaliny, předávají teplo přes výměník do ORC okruhu.



Obr. 7 Schéma zapojení ORC v návaznosti na spalování SynGasu [6]

2.2.2 Geotermální energie

Geotermální energie lze dosáhnout pomocí podzemní vody, která se ohřívá vlivem zemské energie. V případě, že voda je dostatečně teplá, může být čerpána přímo do topných těles na vytápění. Geotermální vody se nacházejí v místech, kde je zemské teplo blízko k povrchu tak, aby se voda nebo pára mohly dostat na povrch. Existují dva typy geotermálních vod: nízkoteplotní a vysokoteplotní, jistou hranici tvoří teplota 150°C . Čímž geotermální vody mají dostatečnou vstupní teplotu pro ORC.

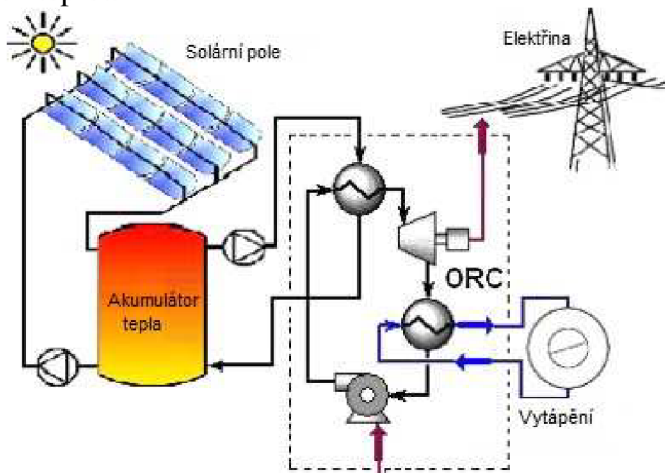


Obr. 8 Schéma zapojení ORC v návaznosti na geotermální energii [6]

2.2.3 Solární energie

Využití solární energie ve spojení s ORC je známa již několik desetiletí, avšak byla jen zřídka aplikována. Dostupnost levnější elektřiny z rozvodné sítě byl jeden z hlavních důvodů.

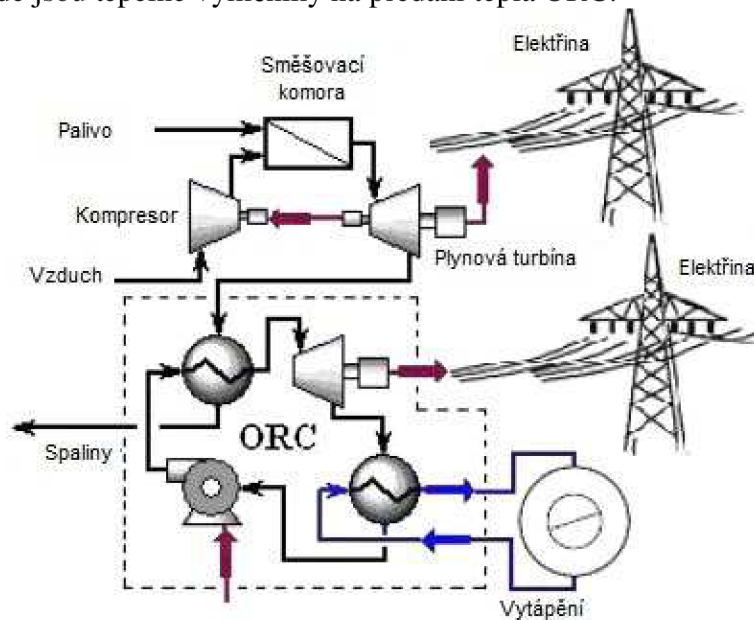
Energie ze slunce je na různých místech planety rozdílná, je závislá na povětrnostních podmínkách, zeměpisné poloze atp. Pomocí velkých zakřivených (parabolických) lesklých zrcadlových kolektorů, jsme schopni ohřívat pracovní médium na teploty cca na 160°C . Čehož jsme schopni dosáhnout tak, že v ohnisku každého zrcadla je skleněná trubice, ve které proudí pracovní médium, a vlivem soustředěných slunečních paprsků docílíme potřebných teplot.



Obr. 9 Schéma zapojení ORC v návaznosti na solární energii [6]

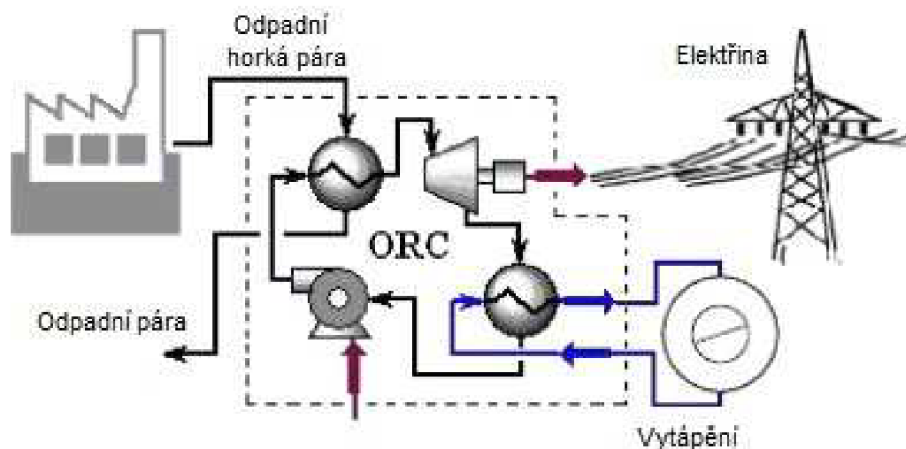
2.2.4 Využití odpadního tepla

U využití odpadního tepla se vývoj zaměřuje na technologie, které mohou obnovit a převést odpadní teplo na elektrickou energii s cílem zlepšit celkovou účinnost a snížit emise. Obnova energie z výfukových plynů motoru představuje potenciál ve zlepšení v celkové účinnosti motoru. Spalovací motor přemění zhruba jen jednu třetinu energie obsažené v palivu na mechanickou energii. Největších teplot dosahujeme ve spalinách, proto většinou zde jsou tepelné výměníky na předání tepla ORC.



Obr. 10 Schéma zapojení ORC pro využití zbytkového tepla ve spalinách [6]

Některé aplikace ORC využívají odpadní teplo přímo z průmyslového procesu např. sušení. Obecně platí, že horká voda a nízkotlaká pára z kogeneračních systémů je vhodná pro procesy o nízkých teplotách: vytápění, ohřev teplé vody. Rekuperace tepla pomocí ORC je účinná technologie k novu získání energie a jejímu následnému efektivnímu využití.



Obr. 11 Schéma zapojení ORC pro využití odpadního tepla [6]

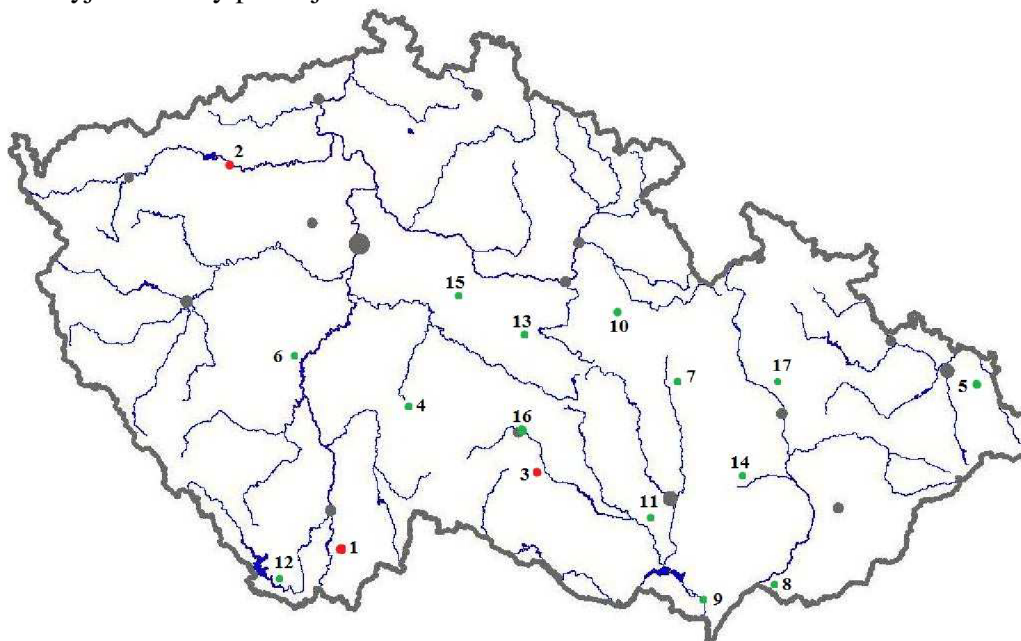
2.3 Realizace ORC u nás

V České republice se ORC využívá zatím jen pro zpracování odpadního tepla vzniklého při spalování biomasy a bioplynu a to z důvodu vysoké pořizovací ceny pro využití odpadního tepla z jiných zdrojů.

Vytápění pomocí biomasy se nepoužívá ani tak ve velkých městech, jako spíše v menších městech a obcích, které mají vhodnější podmínky pro pěstování biomasy a její sběr. Do větších měst by se musela dovážet a to by bylo finančně nákladné.

Systém ORC byl poprvé v ČR použit v teplárně Třebíč kde byl od 2. června 2005 zahájen zkušební provoz. O něco později byl systém ORC spuštěn i v Teplárně Trhové Sviny, která byla v roce 2005 zkolaudována a v listopadu téhož roku uvedena do provozu. V současné době je ORC využíván i v Teplárně Žatec.

V poslední době prožívá ORC u nás veliké „boom“. Začaly se stavět i menší ORC jednotky <50kWe v zapojení například za kogenerační jednotku spalující bioplyn, některé budou vyjmenovány později.



Obr. 12 Slepá mapa ČR s aplikacemi ORC

1	Trhové Sviny	7	Moravská Třebová	13	Šlapanov
2	Žatec	8	Strážnice	14	Rybníček
3	Třebíč	9	Břeclav	15	Bečvary
4	Jetřichovec	10	Sedlec	16	Jihlava
5	Horní Suchá	11	Bratčice	17	Žerotín
6	Smolotely	12	Kyselov		

2.3.1 Teplárna Trhové Sviny

Teplárna se nachází v okrajové části města Trhové Sviny směrem k obci Třebíčko. V teplárně se dříve spaloval zemní plyn, ale z důvodu eliminace ekonomických dopadů na zvýšení ceny zemního plynu se město rozhodlo k realizaci projektu kogenerace ORC na biomasu. Jedná se o průkopníka v aplikaci ORC v ČR.

V roce 2003 byl předložen záměr, který posuzoval možnosti zavedení kombinované výroby elektrické energie a tepla (KVET) z biomasy v kotelně zásobující systém CZT města Trhové Sviny a rozšíření sítě CZT při využití bloku ORC. Cílem projektu bylo zvýšení tepelného výkonu kotelny o 2800 kWt a elektrického výkonu o 600 kWe. Na základě odborného odhadu a na základě průzkumu u dodavatelů příslušných technologií byly stanoveny investiční náklady odhadem na 85 mil. Kč bez DPH, z toho 5 mil. Kč na rozšíření sítě CZT.

Záměr byl zrealizován a v listopadu roku 2005 uveden do provozu. Realizaci prováděla firma Schiestl, která je zástupcem firem Kohlbach a Turboden pro český a slovenský trh. Od firmy Kohlbach byla dodána technologie spalování a technologii ORC dodala firma Turboden. Na obr.13 je vidět instalace jednotky ORC, která byla dodána jako jeden celek.



Obr. 13 ORC jednotka při montáži [16]

Zařízení kogenerační jednotky bylo dodáno s parametry uvedenými v následující tabulce.

Kotel	Výkon	3,5 MWt
	Účinnost	88,00 %
	Příkon	3,98 MWt
ORC	Výkon tepelný	2,8 MWt
	Výkon elektrický	0,6 MWe
	Účinnost výroby tepla	80,00 %
	Účinnost výroby elektřiny	17,10 %
	Příkon	3,5M Wt

V primárním okruhu je použit termoolej o teplotě 250°C až 300°C. Využitelný tepelný výkon pro vytápění při výkonu ORC 600 kWe je 2800 kWt.

Celkové investiční výdaje činily 97 334 370 Kč. Výstavba byla dotována částkou 44 378 440 Kč.

2.3.2 Teplárna Třebíč - Sever

Teplárna Třebíč se dělí na divize Jih, Západ a Sever. Všechny tyto části slouží k vytápění města. V části Sever je instalováno zařízení ORC.



Obr. 14 Teplárna v Třebíči [14]

Tato teplárna zpracovává jak dřevní biomasu, tak i slámu, zemní plyn a LTO. Je to více palivová teplárna včetně výroby elektřiny. Dříve to byla uhelná kotelna, která byla v roce 2000 koupena společností TTS energo s. r. o. a od roku 2000 byla přebudována na více palivový tepelný zdroj pro severní městské lokality Hájek, Nové Dvory a Nové Město.

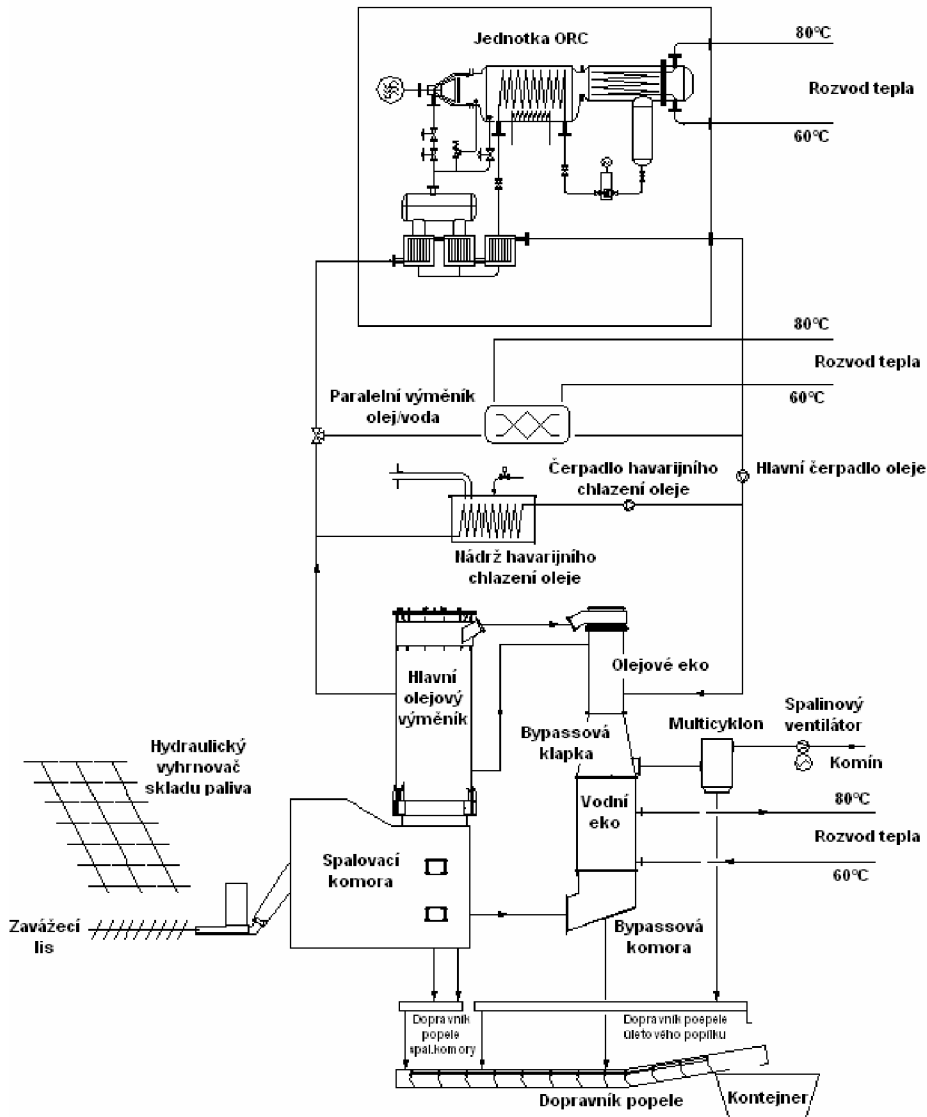
Celkové investiční náklady na realizaci ORC teplárny SEVER – Třebíč se vyšplhala na 194 milionů Kč. Celkové investiční náklady spojené s budováním sítě CZT se v roce 2005 předpokládaly na 119,5 milionů Kč.

Zdrojová část teplárny obsahuje kotel VESKO-S, VESKO-B, VESKO-T (termoolejový kotel), a dále kotel plynový a kombinovaný a kogenerační jednotky Tedom a zařízení ORC na výrobu elektrické energie. V tabulce jsou uvedeny další součásti elektrárny a jejich výkon.

		Výkon	Jednotka	Účel	
Kotel	VESKO-S	5	MWt	spalování balíků slámy	
	VESKO-B	3	MWt	spalování dřevní biomasy	
	VESKO-T	7	MWt	spalování dřevní biomasy	
	plynový	1	6	MWt	
		2	5	MWt	
	kombinovaný	1	6	MWt	spalování LTO, zemní plyn
2		5	MWt	spalování LTO, zemní plyn	
Zařízení ORC		1	MWe	výroba elektrické energie	
Kogenerační jednotky Tedom	1	140 x 2	kWe	kogenerace	
	2	132 x 2	kWe		
	3	22	kWe		

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

Vlastní napojení kotle VESKO-T a ORC je vidět na obr. níže. Toto spojení umožňuje i výrobu el. energie, avšak jedná se o teplárnu, proto se kladou požadavky na dostatek tepelné energie. V případě kdy se vyrábí pouze teplo, tak se teplo z termoolejového okruhu vede přes paralelní výměník olej/voda a přes vložený okruh voda/voda do systému CZT.



Obr. 15 Zapojení ORC jednotky v teplárně v Třebíči [17]

Pokud by došlo k případné havárii na některé z částí termoolejového okruhu, jsou spaliny vedeny ze spalovací komory přímo přes bypassovou komoru a vodní ekonomisér do multicyklónového odlučovače a poté do komína. Nebo je možnost havarijního chlazení oleje, která je tvořena vodní nádrží a čerpadlem.

Maximální využití ORC jednotky zajišťuje vodní beztlaková akumuláční nádrž o objemu 1800 m³, který je napojen na rozvody tepla systému CZT a který také zajišťuje vyrovnání denní potřeby tepla systému CZT. Není tedy nutné chladit odpadní (přebytečné) teplo při výrobě elektrické energie.

2.3.3 Teplárna Žatec

Teplárnu v Žatci provozuje společnost Žatecká teplárenská a.s. V roce 2009 byla zahájena rekonstrukce kotelny a montáž jednotky ORC v kotelně Perč. Kotelna Perč byla dříve kotelnou zpracovávající uhlí. Aby teplárna nebyla závislá pouze na jednom palivu, vedení se rozhodlo k využití biomasy a to využití dřevní štěrpy. Stávající kotel na zpracování uhlí byl ponechán a je využíván pouze v hlavní topné sezóně.



Obr. 16 Teplárna v Žatci [15]

Nový kotel na biomasu dodala firma Kohlbach a kogenerační jednotku ORC dodala firma Turboden. Obě tyto firmy využila i teplárna v Trhových Svinech. Byl dodán termoolejový kotel na biomasu typ K-8, který má tepelný výkon 9790 kW. Jako provozní médium zde slouží Therminol 66. Kogenerační ORC jednotka typu T1500 CHP Split má elektrický výkon 1862 kWe a tepelný výkon ORC do vody má 7850 kWt. Další parametry jsou uvedeny v tabulce níže.

Kotel	Spalovací výkon ohniště	MW	11,5
	Teplotní spád termooleje v HT okruhu	°C	312/252
	Teplotní spád termooleje v NT okruhu	°C	252/132
	Teplota topné vody z ORC	°C	90/60

Ke dni 24. 6. 2010 získala Žatecká teplárenská a.s. licenci pro výrobu elektřiny a od 1. 7. 2010 byl zahájen zkušební provoz. V roce 2010 teplárna získala ocenění od Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky za realizaci tohoto projektu a jeho podpoření omezení provozu zdrojů na hnědé uhlí.

Tento projekt stál 308 milionů Kč. Částka 272 milionů byla uplatněna na výstavbu kotelny na biomasu s ORC jednotkou, 6 milionů Kč na výstavbu administrativního zázemí a dalších 30 milionů stálo přeložení horkovodu.

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

Při srovnání výše uvedených tepláren s ORC jednotkou zjistíme, že výkony ORC jednotky v Třebíči je přibližně dvakrát větší, než v Trhových Svinech a teplárna v Žatci cca třikrát větší. Více je přehledně znázorněno v následující tabulce.

		ORC teplárna Třebíč	Teplárna Trhové Sviny	Teplárna Žatec
Palivo		dřevní štěpka	dřevní štěpka	dřevní štěpka
Tepelný výkon kotle	MWt	6,6	3,5	9,9
Výkon jednotky ORC	MWt	5,38	2,8	7,85
	MWe	1	0,6	1,86
Účinnost zařízení při jm. výkonu	%	80,5	80	80
	%	17	17,1	17,9
Uvedení do provozu	rok	2005	2005	2010
Délka rozvodů SCZT	m	14700	8400	26928

2.3.4 Další méně známé ORC aplikace v ČR

Realizace firmou **B:POWER INVESTMENT, a.s.**, která používá ORC jednotky holandské firmy Triogen.

BPS VOD Jetřichovec:

Dvě kogenerační jednotky s označením JMS 312 od firmy Jenbacher, na bioplyn.

2x KJ; „JMS 312“ (526 kWe, 659 kWt)
1x ORC; 98 kWel

V provozu od 5. 10. 2012

Areál bývalého dolu František (Horní Suchá):

Dvě kogenerační jednotky s označením QUANTO D1600 CON od firmy Tedom a.s., na důlní plyn.

2x KJ; „QUANTO D1600 CON“ (1560 kWe, 1653 kWt)
1x ORC; 150 kWel

V provozu od 1. 11. 2012

BPS Smolotely

1x KJ, „JMS 320“ (1063 kWe, 1222 kWt), od firmy Jenbacher na bioplyn
1x ORC: 79 kWel

V provozu od 24. 4. 2013

Realizace firmou **GB Consulting, s.r.o.**, která používá ORC jednotky firmy ElectraTherm (Green Machine), jedná se o americkou firmu sídlící v Renu (USA, Nevada).

BPS Moravská Třebová

Zdroj: < 1000 kWt
Průměrný výkon ORC: 36 kW
V provozu od 5. 4. 2012

BPS Strážnice

KJ Jenbacher (889 kW_e, < 600 kWt)
Průměrný výkon ORC: 41 kW
V provozu od 15. 11. 2012

Fosfa, a.s. (Břeclav)

Zdroj: < 800 kWt
Průměrný výkon ORC: 76 kW

Další aplikace ORC Green Machine:

BPS Žerotín; BPS Sedlec; BPS Bratčice; BPS Kyselov; BPS Šlapanov; BPS Rybníček;
BPS Bečváry; Spalovna Rumpold (2 ks Green Machine) Jihlava.

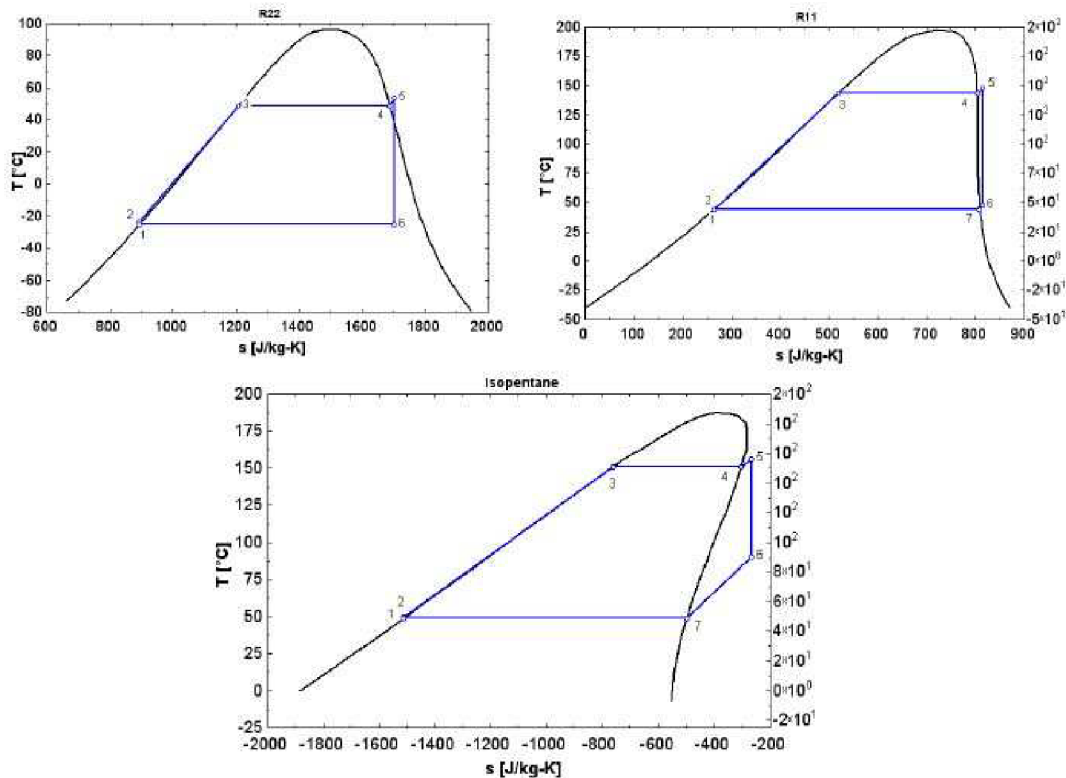
3. Přehled pracovních látek pro ORC

Pracovním látkám se věnovalo mnoho studií, avšak minimum komplexně většině látek od chladiv až po toluen. Volba pracovní kapaliny má zásadní význam pro ORC, protože při nízkých teplotách dochází k malé účinnosti cyklu, proto je důležité zvolit vhodnou látku. Volba velmi závisí na termodynamických vlastnostech kapaliny a na provozních podmínkách.

3.1 Vhodnost pracovních látek

Volba pracovní kapaliny pro danou aplikaci jedna ze základních věcí ORC, při rozhodování je potřeba brát v potaz vhodnost látky v několika úrovních:

1. Termodynamické vlastnosti: efektivnost nebo výstupní výkon by měl být co největší, pro zdroj tepla a teploty chladiče. K tomu je potřeba nízká spotřeba čerpadla a vysoký kritický bod.
2. Parní křivka (diagram): pozitivní nebo izoentropické nebo negativní (tj. křivka nasycení (v diagramu látky)) saturace.
 - a. Negativního sklonu křivky sytosti (mokrý kapalina, R22) vede ke kapkám na konci expanze. Pára tedy musí být přehřátá na vstupu do turbíny, aby se zabránilo poškození turbíny, což zmenšuje výkon cyklu.
 - b. Pozitivní sklonu křivky sytosti (suchá kapalina, Isopentan) může být použit k navýšení efektivnosti cyklu rekuperátor. Není potřeba přehřívák.
 - c. Izoentropický sklon křivky sytosti (R11) saturační křivka je „rovnoběžná“ s osou y, izoentropická expanze velice dobře kopíruje cyklus.



Obr. 17 T-s diagramy chladiv R22, R11, isopentane [8]

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

3. Vysoká hustota páry: tento parametr má klíčový význam zejména pro tekutiny, značí velmi nízký kondenzační tlak. V případě nízké hustoty je potřeba velkých zařízení určených ke kondenzaci par.
4. Pracovní tlaky: Vysoké tlaky obvykle vedou k vyšším investičním nákladům s rostoucí složitostí použitých zařízení.
5. Vysoká stabilita teploty: na rozdíl od vody, u organických kapalin je důležité chemické poškození vyplývající a rozkladu při vysokých teplotách. Maximální teplota tepelného zdroje je tedy omezena chemickou stabilitou pracovní látky. Proto se používá v některých případech primární okruh s termoolejem.
6. Nízký dopad na životní prostředí a úroveň bezpečnosti: jsou jedny z hlavních parametrů, které je potřeba vzít v úvahu. Hořlavost, toxicita, (ODP) potenciální poškození ozonové vrstvy, (GWP) případný vliv na globální oteplování.
7. Dobrá dostupnost a cena pracovního média.

Některé pracovní látky v rozsahu T_{CR} 50-250 °C; P_{CR} 1,9-4,2 MPa; B.P. <150°C.
Vybrané pomocí programu RefProp.

ozn. CAS		M [kg/kmol]	Bod varu (1atm)	T_{CR} [°C]	P_{CR} [MPa]		ODP	GWP
78-78-4	Isopentane	72,149	27,83	187,2	3,378	Hořlavý	0	0
76-13-1	R113	187,38	47,585	214,06	3,3922	Nehořlavý	0,8	6130
76-14-2	R114	170,92	3,591	145,68	3,257	Nehořlavý	1	1000
306-83-2	R123	152,93	27,823	183,68	3,6618	Nehořlavý	0.02	77
431-63-0	R236ea	152,04	6,19	139,29	3,502	Nehořlavý	0	1370
460-73-1	R245fa	134,05	15,14	154,01	3,651	Nehořlavý	0	1030
406-58-6	R365mfc	148,07	40,15	186,85	3,266	Hořlavý	0	794
624-64-6	Trans-butene	56,106	0,88	155,46	4,0273	Hořlavý		
107-83-5	Isohexane	86,175	60,21	224,55	3,04	Hořlavý		
107-46-0	MM	162,38	100,25	245,6	1,939	Hořlavý		
108-88-3	Toluene	92,138	110,6	318,6	4,1263	Hořlavý		
7732-18-5	Voda	18,015	99,974	373,95	22,064	Nehořlavý		

GWP -> v rámci 100 let

Menší shrnutí:

Voda=> mokrá kapalina / ORC média=> suchá kapalina (pozitivní sklon křivky nasycení)

Oblast použití je funkcí T_{CR} (kritická teplota) a P_{CR} (kritický tlak)

Vysoký bod varu => vysoký měrný objem při nízké kondenzační teplotě

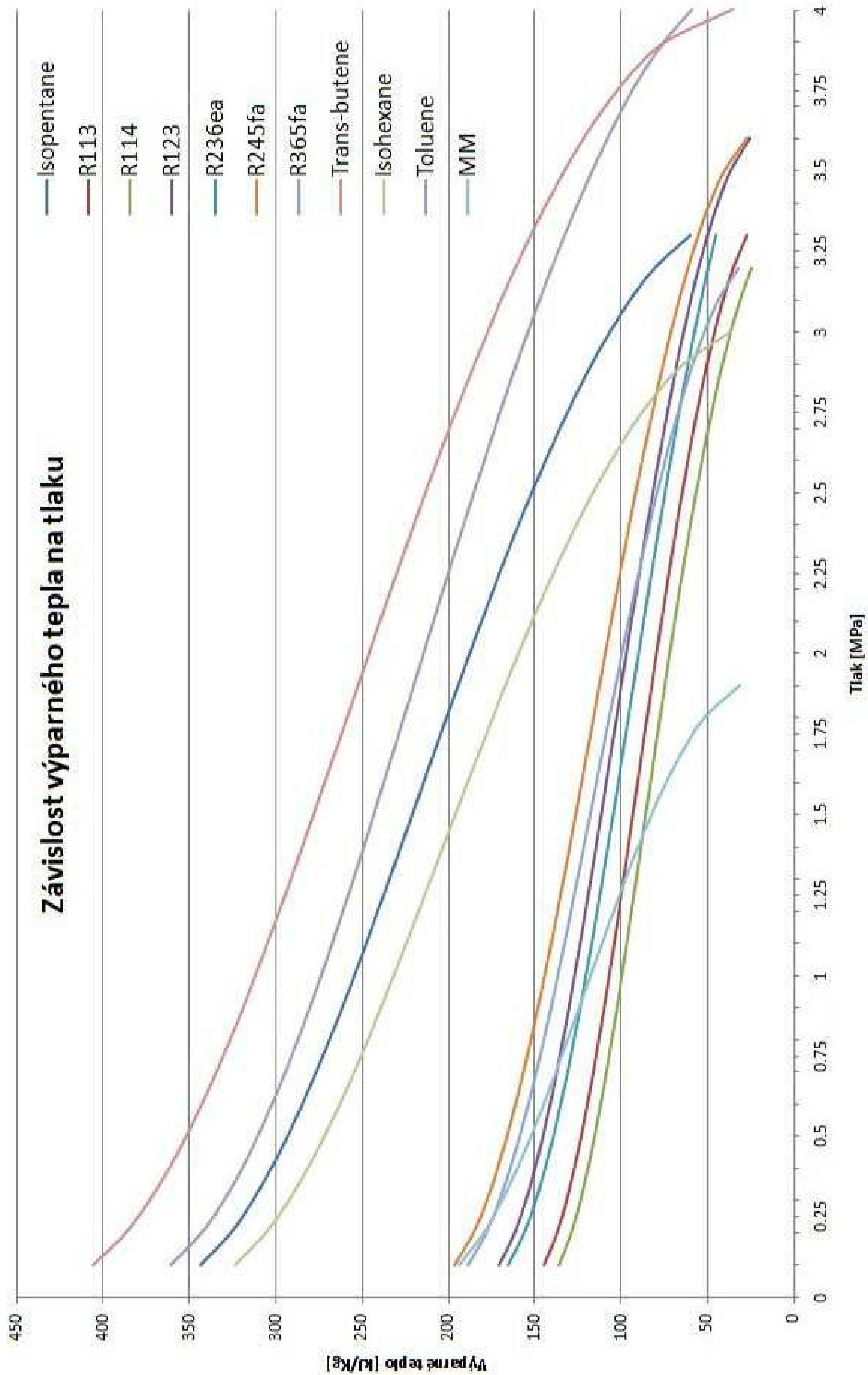
ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

V následující tabulce jsou vypsané výparná tepla při daných tlacích pro vybrané kapaliny.

	Isopentan	R113	R114	R123	R236ea	R245fa	R365mfc	Trans-butene	Isohexane	MM	Toluene	Voda
P_{cs} [MPa]	3,378	3,3922	3,257	3,6618	3,502	3,651	3,266	4,0273	3,04	1,939	4,1263	22,064
T_{cs} [°C]	187,2	214,06	145,68	183,68	139,29	154,01	186,85	155,46	224,55	245,6	318,6	373,95
L_{23} [kJ/kg] při tlaku [MPa]												
0,1	343,58	144,45	136,06	170,34	165,32	196,23	188,36	405,51	323,37	193,59	361	2257,4
0,2	326,04	136,89	128,9	161,34	156,05	185,29	177,81	386,47	305,34	179,23	343,04	2201,5
0,3	313,24	131,43	123,7	154,91	149,43	177,55	170,17	372,73	292,17	168,68	330,19	2163,5
0,4	302,58	126,92	119,37	149,65	144,01	171,25	163,88	361,38	281,19	159,8	319,64	2133,4
0,5	293,15	122,95	115,54	145,07	139,28	165,78	158,38	351,42	271,48	151,86	310,44	2108
0,6	284,54	119,34	112,03	140,93	135,01	160,86	153,42	342,39	262,59	144,51	302,12	2085,8
0,7	276,50	115,98	108,75	137,1	131,07	156,32	148,83	334,01	254,26	137,52	294,42	2065,8
0,8	268,87	112,8	105,64	133,5	127,37	152,06	144,51	326,11	246,35	130,76	287,19	2047,4
0,9	261,55	109,75	102,65	130,07	123,85	148,03	140,4	318,58	238,73	124,13	280,31	2030,5
1	254,46	106,81	99,745	126,78	120,48	144,16	136,44	311,34	231,33	117,55	273,71	2014,6
1,1	247,55	103,95	96,914	123,6	117,22	140,42	132,59	304,32	224,08	110,93	267,32	1999,6
1,2	240,78	101,15	94,134	120,5	114,05	136,78	128,84	297,48	216,94	104,19	261,11	1985,4
1,3	234,10	98,4	91,389	117,46	110,95	133,22	125,15	290,78	209,87	97,243	255,04	1971,9
1,4	227,48	95,676	88,667	114,47	107,91	129,73	121,5	284,19	202,82	89,971	249,07	1958,9
1,5	220,91	92,97	85,956	111,51	104,9	126,28	117,87	277,68	195,77	82,206	243,19	1946,4
1,6	214,34	90,273	83,245	108,58	101,93	122,87	114,25	271,23	188,67	73,687	237,38	1934,4
1,7	207,77	87,572	80,524	105,66	98,979	119,47	110,62	264,82	181,51	63,923	231,61	1922,7
1,8	201,16	84,859	77,782	102,74	96,036	116,09	106,96	258,43	174,23	51,725	225,87	1911,4
1,9	194,49	82,123	75,009	99,817	93,094	112,7	103,27	252,05	166,82	31,444	220,14	1900,5
2	187,74	79,353	72,194	96,877	90,143	109,29	99,519	245,65	159,21		214,41	1889,8

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

	Isopentan	R113	R114	R123	R236ea	R245fa	R365mfc	Trans-butene	isohexane	MM	Toluene	Voda
2,1	180,88	76,538	69,324	93,911	87,176	105,87	95,697	239,22	151,37		208,66	1879,4
2,2	173,89	73,664	66,385	90,908	84,183	102,4	91,782	232,75	143,24		202,89	1869,2
2,3	166,73	70,718	63,36	87,859	81,156	98,885	87,751	226,21	134,73		197,07	1859,3
2,4	159,36	67,682	60,23	84,75	78,083	95,306	83,575	219,59	125,75		191,19	1849,6
2,5	151,73	64,534	56,969	81,568	74,955	91,648	79,219	212,87	116,16		185,24	1840
2,6	143,78	61,25	53,546	78,295	71,757	87,89	74,635	206,02	105,73		179,2	1830,7
2,7	135,43	57,795	49,919	74,912	68,476	84,011	69,759	199,03	94,117		173,06	1821,5
2,8	126,56	54,123	46,027	71,393	65,094	79,981	64,491	191,86	80,65		166,79	1812,4
2,9	117,01	50,164	41,781	67,705	61,587	75,764	58,678	184,48	63,746		160,37	1803,6
3	106,50	45,813	37,038	63,803	57,928	71,31	52,038	176,84	37,04		153,77	1794,8
3,1	94,54	40,877	31,541	59,624	54,078	66,547	43,948	168,91			146,96	1786,2
3,2	80,08	34,958	24,725	55,071	49,984	61,368	32,321	160,61			139,91	1777,7
3,3	59,81	26,883		49,987	45,567	55,597		151,86			132,56	1769,3
3,4				44,078		48,902		142,53			124,84	1761
3,5				36,679		40,508		132,45			116,66	1752,8
3,6				25,409		27,398		121,36			107,89	1744,8
3,7								108,78			98,319	1736,8
3,8								93,786			87,595	1728,9
3,9								73,969			75,023	1721,1
4								35,257			58,832	1713,3
4,1											30,073	1705,7
4,2												1698,1



Obr. 18 Graf závislosti výparného tepla na tlaku

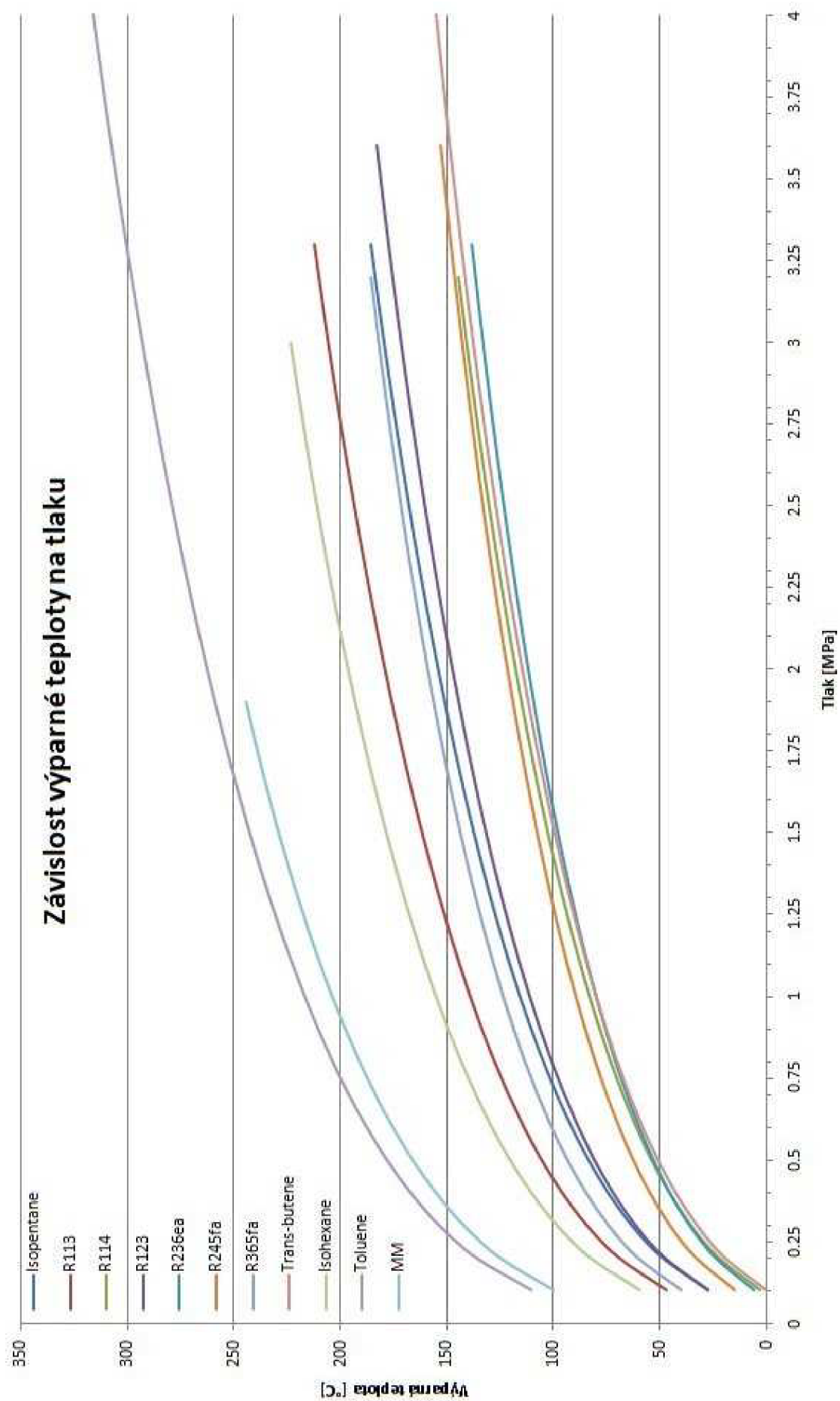
ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

V následující tabulce jsou vypsané výparné teploty při daných tlacích pro vybrané kapaliny.

	Isopentan	R113	R114	R123	R236ea	R245fa	R365mfc	Trans-butene	Isohexane	MM	Toluene	Voda
P_{cs} [MPa]	3,378	3,3922	3,257	3,6618	3,502	3,651	3,266	4,0273	3,04	1,939	4,1263	22,064
T_{cs} [°C]	187,2	214,06	145,68	183,68	139,29	154,01	186,85	155,46	224,55	245,6	318,6	373,95
T [°C] při tlaku [MPa]												
0,1	27,45	47,188	3,247	27,461	5,8745	14,812	39,827	0,53561	59,799	99,802	110,13	99,606
0,2	49,08	69,757	22,853	48,047	24,167	33,349	60,56	20,107	83,28	125,34	136,41	120,21
0,3	63,45	84,747	35,88	61,691	36,256	45,587	74,257	33,094	98,868	142,31	153,82	133,52
0,4	74,55	96,31	45,932	72,202	45,553	54,995	84,787	43,107	110,89	155,4	167,22	143,61
0,5	83,71	105,87	54,238	80,88	53,219	62,75	93,464	51,38	120,82	166,22	178,27	151,83
0,6	91,60	114,08	61,379	88,336	59,8	69,407	100,91	58,493	129,36	175,52	187,77	158,83
0,7	98,56	121,33	67,681	94,912	65,6	75,272	107,46	64,769	136,89	183,72	196,14	164,95
0,8	104,82	127,85	73,344	100,82	70,807	80,538	113,34	70,41	143,65	191,09	203,66	170,41
0,9	110,52	133,79	78,503	106,2	75,548	85,332	118,68	75,55	149,81	197,79	210,5	175,35
1	115,77	139,26	83,252	111,15	79,908	89,742	123,59	80,282	155,48	203,95	216,8	179,88
1,1	120,64	144,34	87,659	115,75	83,954	93,834	128,14	84,676	160,74	209,65	222,64	184,06
1,2	125,20	149,08	91,778	120,04	87,733	97,657	132,38	88,783	165,65	214,97	228,09	187,96
1,3	129,48	153,54	95,649	124,08	91,284	101,25	136,36	92,643	170,27	219,94	233,22	191,6
1,4	133,53	157,75	99,303	127,89	94,635	104,64	140,1	96,289	174,62	224,62	238,06	195,04
1,5	137,36	161,75	102,77	131,5	97,811	107,85	143,65	99,746	178,74	229,03	242,64	198,29
1,6	141,01	165,55	106,06	134,94	100,83	110,91	147,01	103,04	182,66	233,2	247	201,37
1,7	144,49	169,17	109,21	138,22	103,71	113,82	150,21	106,17	186,4	237,13	251,16	204,31
1,8	147,81	172,64	112,21	141,36	106,47	116,61	153,27	109,18	189,96	240,83	255,14	207,11
1,9	151,01	175,97	115,09	144,36	109,11	119,28	156,19	112,06	193,38	244,3	258,95	209,8
2	154,07	179,17	117,86	147,25	111,65	121,85	158,99	114,83	196,66		262,61	212,38

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

	Isopentan	R113	R114	R123	R236ea	R245fa	R365mfc	Trans-butene	Isohexane	MM	Toluene	Voda
2,1	157,02	182,24	120,53	150,04	114,1	124,33	161,68	117,49	199,81		266,14	214,86
2,2	159,86	185,21	123,09	152,72	116,45	126,71	164,26	120,06	202,84		269,53	217,25
2,3	162,61	188,08	125,57	155,31	118,73	129,01	166,75	122,54	205,76		272,81	219,56
2,4	165,26	190,84	127,97	157,81	120,93	131,23	169,15	124,94	208,57		275,98	221,79
2,5	167,82	193,52	130,28	160,24	123,06	133,38	171,47	127,26	211,29		279,05	223,95
2,6	170,30	196,12	132,53	162,58	125,13	135,47	173,71	129,51	213,92		282,02	226,05
2,7	172,71	198,63	134,71	164,86	127,14	137,49	175,87	131,7	216,46		284,91	228,08
2,8	175,04	201,07	136,82	167,07	129,09	139,45	177,96	133,82	218,91		287,71	230,06
2,9	177,30	203,44	138,87	169,22	130,98	141,35	179,99	135,88	221,29		290,43	231,98
3	179,50	205,73	140,86	171,3	132,83	143,2	181,95	137,88	223,59		293,07	233,85
3,1	181,63	207,96	142,8	173,33	134,63	145	183,84	139,83			295,64	235,68
3,2	183,69	210,12	144,68	175,3	136,38	146,74	185,68	141,72			298,15	237,46
3,3	185,69	212,2		177,22	138,09	148,44		143,56			300,59	239,2
3,4				179,08		150,09		145,36			302,97	240,9
3,5				180,89		151,69		147,11			305,29	242,56
3,6				182,64		153,24		148,81			307,55	244,18
3,7								150,47			309,76	245,77
3,8								152,09			311,91	247,33
3,9								153,66			314,02	248,86
4								155,18			316,07	250,35
4,1											318,08	251,82
4,2												253,26



Obr. 19 Graf závislosti výparné teploty na tlaku

4. Výpočet provozních parametrů ORC za KJ

4.1 Quanto D580 SP BIO

Pro ukázkový výpočet jsem použil kogenerační jednotku firmy TEDOM a.s. s označením „Quanto D580 SP BIO“

Základní parametry kogenerační jednotky:

Jmenovitý elektrický výkon:	600 kW
Maximální tepelný výkon:	646 kW
Příkon v palivu:	1405 kW
Účinnost elektrická:	42,7 %
Účinnost tepelná:	46 %
Účinnost celková (využití paliva):	88,7 %
Spotřeba plynu při 100% výkonu:	216 Nm ³ /h
Spotřeba plynu při 75% výkonu:	167 Nm ³ /h
Spotřeba plynu při 50% výkonu:	121 Nm ³ /h

Pro bioplyn o obsahu 65% metanu při normálních podmínkách (0°C; 101,325 kPa)

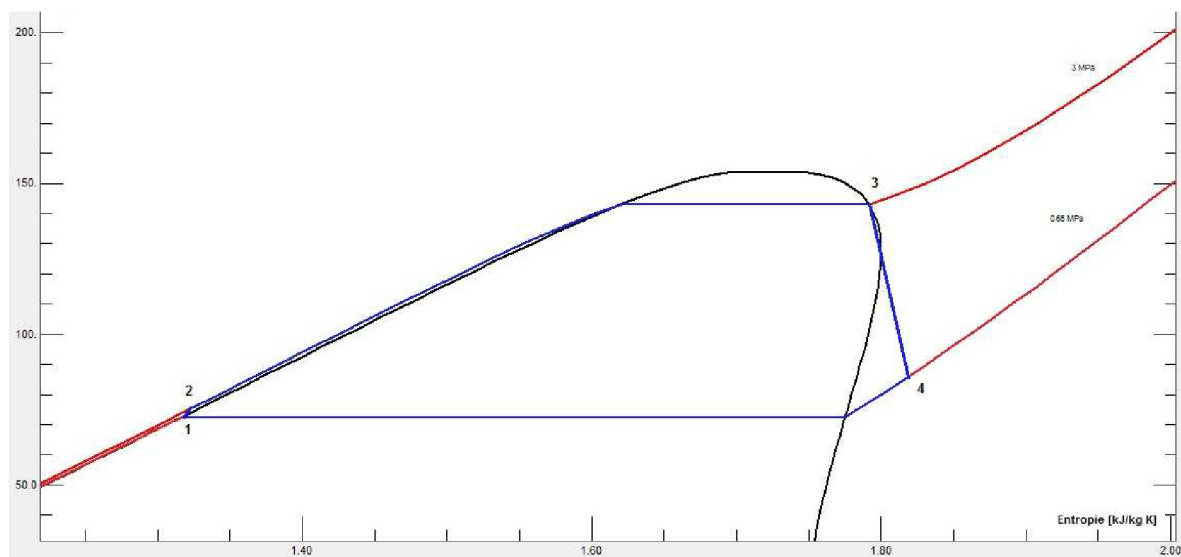
Využitelný tepelný výkon spalin (vychlazení na 150°C):	296 kW
Teplota spalin:	444°C

4.1.1 Výpočet pro zapojení ORC bez regenerace za KJ

Jako pracovní médium jsem zvolil R245fa:

Není hořlavý při normálních podmínkách, avšak může se vznítit při smíšení se vzduchem, při určitých podmínkách, jako je blízký zdroj tepla (hoření) a zvýšený tlak. Více informací v příloženém bezpečnostním listě. Vlastnosti viz kapitola 3.1.

K výpočtu jsem použil programy RefProp, FluidProp, Cycle – Tempo, budu uvažovat i následné využití tepla 70/50 °C



Obr. 20 T-s diagram R245fa bez regenerace (REFPROP)

Volím:

$$p_2 = p_3 = 30 \text{ bar} = 3 \text{ MPa}$$

$$p_1 = p_4 = 6,5 \text{ bar} = 0,65 \text{ MPa}$$

$$\text{účinnost turbíny: } \eta_t = 75 \%$$

$$\text{účinnost čerpadla: } \eta_{m,el} = 85,5 \%$$

Bod 1

$$p_1 = 0,65 \text{ MPa}$$

$$t_1 = f(p_1; x = 0) = 72,424 \text{ °C}$$

$$i_1 = f(p_1; x = 0) = 298,11 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = f(p_1; x = 0) = 1,3163 \text{ kJ/kg K}$$

Bod 2

$$p_2 = 3 \text{ MPa}$$

Určení entalpie v bodě 2 přes účinnost čerpadla:

$$i_{2iz} = f(p_2; s_1) = 300,06 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{\check{c}} = \frac{a_{\check{c} iz}}{a_{\check{c}}} = \frac{i_{2iz} - i_1}{i_2 - i_1} \Rightarrow i_2$$

$$i_2 = \frac{i_{2iz} - i_1}{\eta_{\check{c}}} + i_1 = \frac{300,06 - 298,11}{0,8} + 298,11 = 300,5475 \text{ kJ/kg}$$

$$t_2 = f(p_2; i_2) = 74,075 \text{ °C}$$

Měrná práce čerpadla:

$$a_{\check{c}} = i_2 - i_1 = 300,5475 - 298,11 = 2,4375 \text{ kJ/kg}$$

Bod 3

$$p_3 = 3 \text{ MPa}$$

$$t_3 = f(p_3; x = 1) = 143,2 \text{ °C}$$

$$i_3 = f(p_3; x = 1) = 487,93 \text{ kJ/kg}$$

$$s_3 = f(p_3; x = 1) = 1,7918 \text{ kJ/kg K}$$

Bod 4

$$p_4 = 0,65 \text{ MPa}$$

Určení entalpie v bodě 4 přes účinnost turbíny:

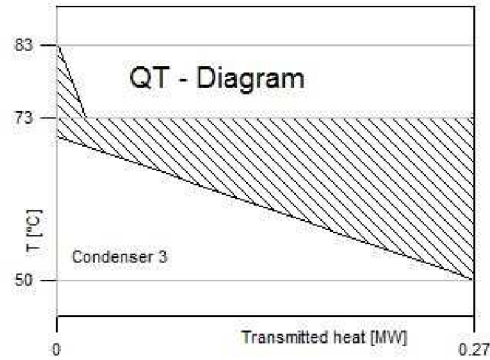
$$i_{4iz} = f(p_4; s_3) = 462,47 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = \frac{a_{t iz}}{a_t} = \frac{i_3 - i_4}{i_3 - i_{4iz}} \Rightarrow i_4$$

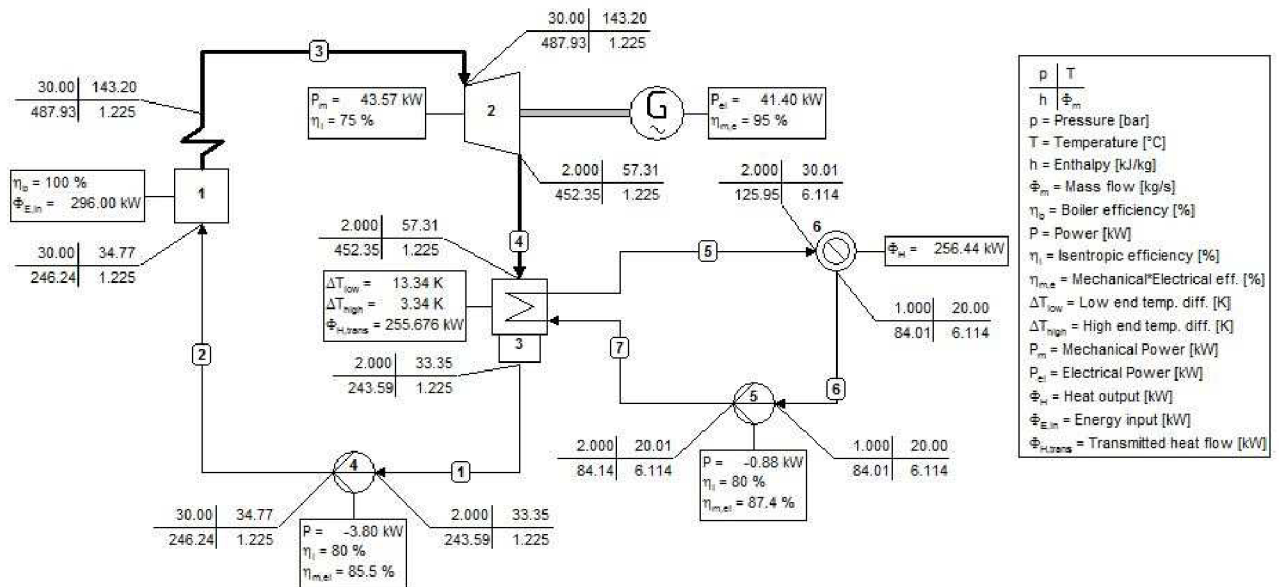
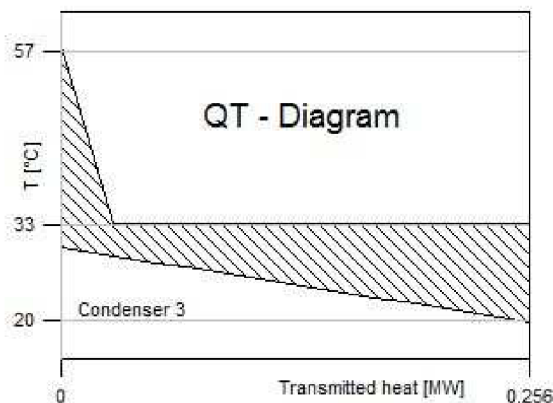
$$i_4 = i_3 - \eta_t \cdot (i_3 - i_{4iz}) = 487,93 - 0,75 \cdot (487,93 - 462,47) = 468,835 \text{ kJ/kg}$$

$$t_4 = f(p_4; i_4) = 83,092 \text{ °C}$$

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

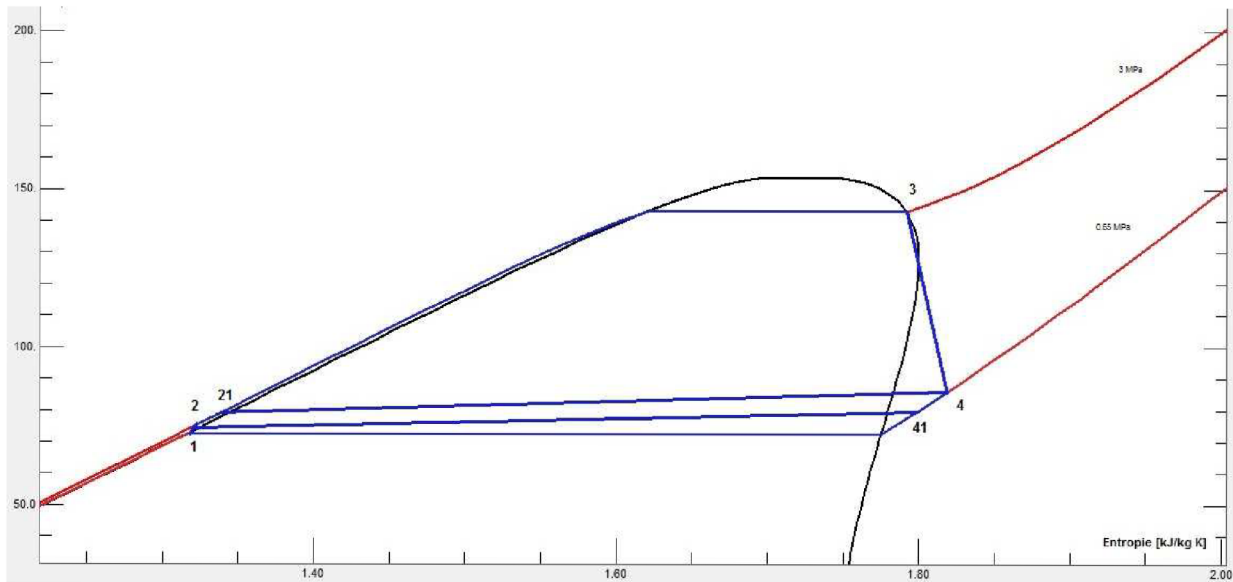
Obr. 22 QT-diagram přenosu tepla v kondenzátoru $\Delta p = 3 - 0,65$ MPa (Cycle-Tempo)

Pro porovnání jsem provedl v programu Cycle-Tempo i výpočet, kdy se teplo už dále nevyužívá $30/20$ °C a chladí se vzduchem nebo vodou, proto se může jít dolů s kondenzačním tlakem. Zvolil jsem tlak 2 Bar, dále jsem změnil $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ na kondenzátoru.

Obr. 23 Výpočet parametrů ORC bez regenerace $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)Obr. 24 QT-diagram přenosu tepla v kondenzátoru $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)

4.1.2 Výpočet pro zapojení ORC s regenerací za KJ

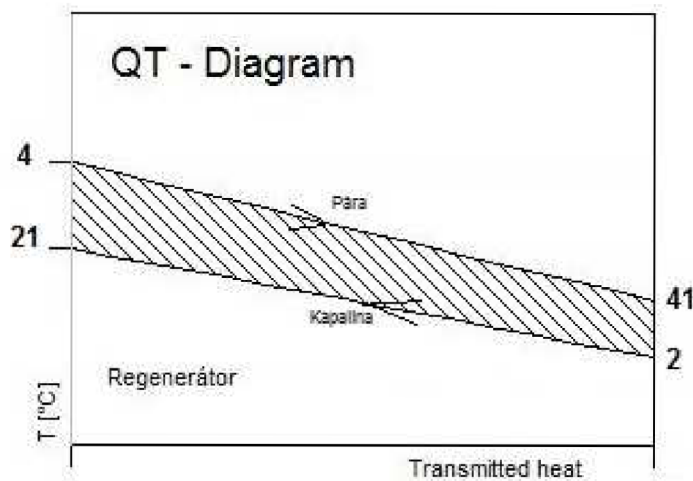
Další možností je uvažovat regeneraci, tzn. předřadit před kondenzátor tepelný výměník propojený s větví před hlavním tepelným výměníkem. Jedná se o rozšíření předchozího výpočtu a stavové hodnoty v bodech 1, 2, 3, 4, zůstaly stejné, taktéž i tlaky a pracovní médium. I v tomto případě budu uvažovat další využití tepla 70/50 °C.



Obr. 25 T-s diagram R245fa bez regenerace (REFPROP)

$$t_4 = 83,092 \text{ °C}$$

$$t_2 = 74,075 \text{ °C}$$



Obr. 26 Obecný QT diagram regenerátoru (Cycle-Tempo)

Bod 21

$$\text{Volím } \Delta t_{2-21} = 5 \text{ °C}$$

$$t_{21} = t_2 + \Delta t_{2-21} = 74,075 + 5 = 79,075 \text{ °C}$$

$$p_{21} = p_2 = p_3 = 30 \text{ bar} = 3 \text{ MPa}$$

$$i_{21} = f(p_{21}; t_{21}) = 307,78 \text{ kJ/kg}$$

Bod 41

Z tepelné bilance výměníku

$$\dot{m} \cdot (i_4 - i_{41}) = \dot{m} \cdot (i_{21} - i_2) \Rightarrow$$

$$i_{41} = i_4 - (i_{21} - i_2) = 468,835 - (307,78 - 300,5475) = 461,6025 \text{ kJ/kg}$$

$$p_{41} = p_1 = p_4 = 6,5 \text{ bar} = 0,65 \text{ MPa}$$

$$t_{41} = f(p_{41}; i_{41}) = 76,720 \text{ }^\circ\text{C}$$

Hmotnostní tok pracovního média (R245fa):

$$q_{pg} = i_3 - i_{21} = 487,93 - 307,78 = 180,15 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = \frac{Q_{pg}}{q_{pg}} = \frac{296}{180,15} = 1,643 \text{ kg/s}$$

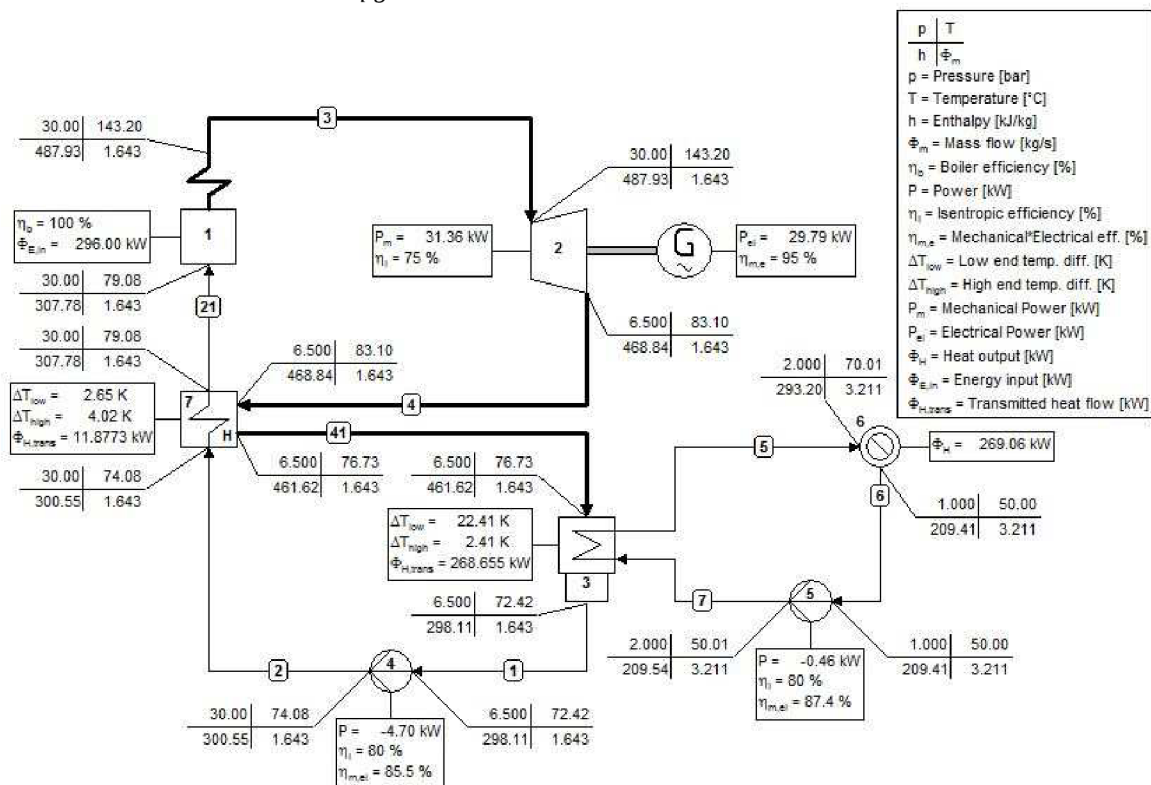
Výkon na turbíně a čerpadle

$$P_t = \dot{m} \cdot a_t = 1,643 \cdot 19,095 = 31,373 \text{ kW}$$

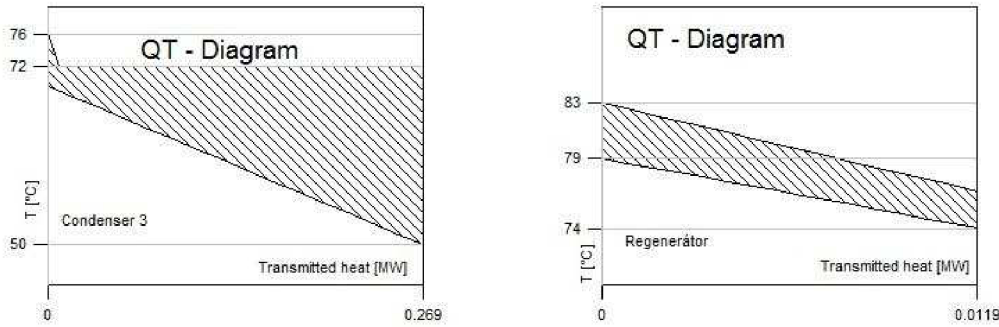
$$P_{\dot{c}} = \frac{\dot{m} \cdot a_{\dot{c}}}{\eta_{m,el}} = \frac{1,643 \cdot 2,4375}{0,855} = 4,684 \text{ kW}$$

Účinnost ORC

$$\eta_{ORC} = \frac{P_t - P_{\dot{c}}}{Q_{pg}} = \frac{31,373 - 4,684}{296} = 0,0901 \approx 9,01\%$$

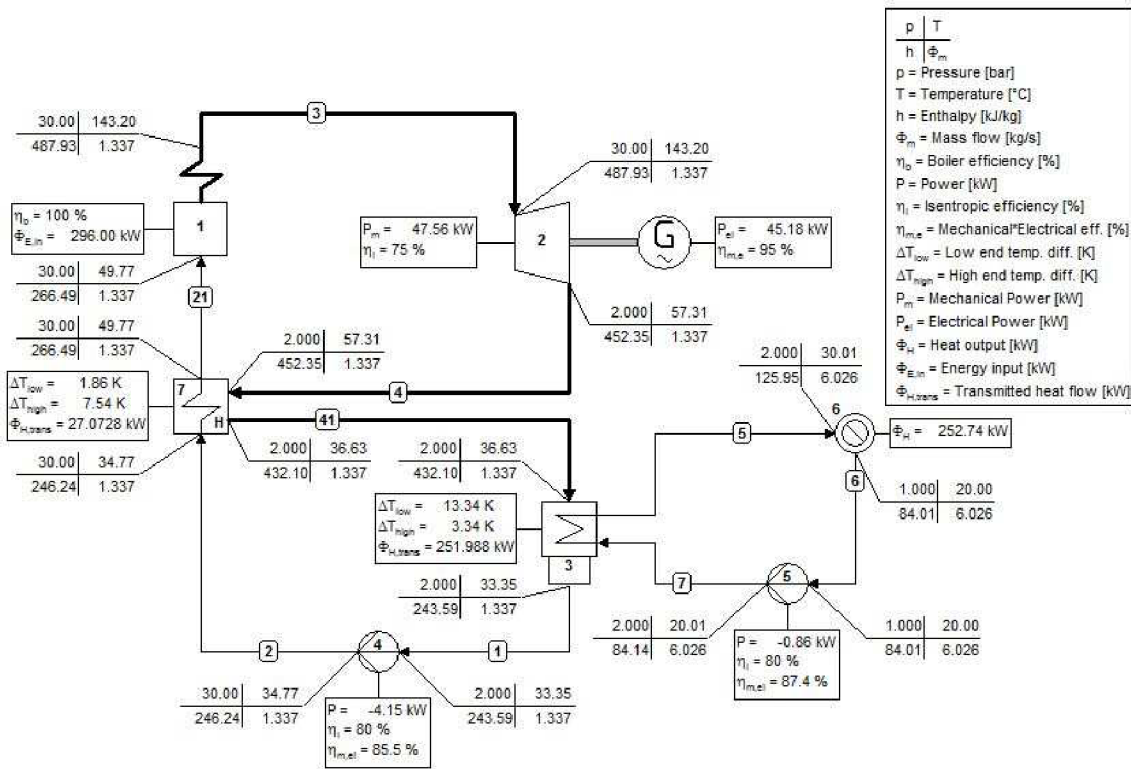
Obr. 27 Výpočet parametrů ORC s regenerací $\Delta p = 3 - 0,65 \text{ MPa}$ (Cycle-Tempo)

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

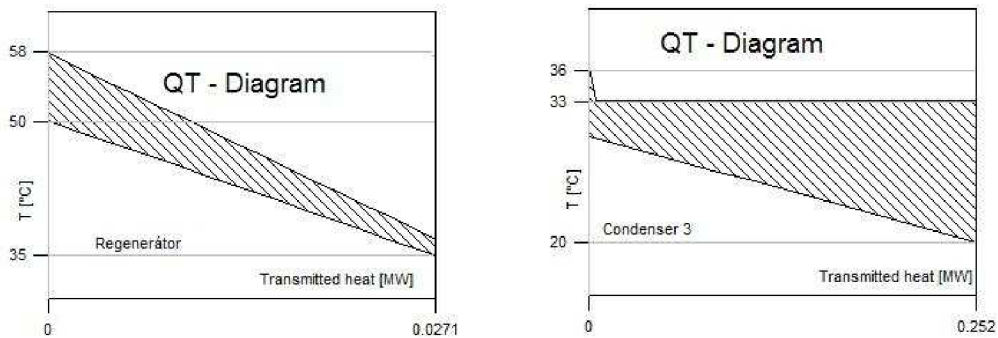


Obr. 28 QT diagramy kondenzátoru a regenerátoru $\Delta p = 3 - 0,65$ MPa (Cycle-Tempo)

Pro porovnání jsem také provedl v programu Cycle-Tempo i výpočet, kdy se teplo už dále nevyužívá 30/20 °C a chladí se vzduchem nebo vodou, proto se může jít dolů s kondenzačním tlakem. Opět jsem zvolil tlak 2 Bar, ponechal $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ na kondenzátoru a změnil na regenerátoru $\Delta t = 15^\circ\text{C}$.



Obr. 29 Výpočet parametrů ORC s regenerací $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)



Obr. 30 QT diagramy kondenzátoru a regenerátoru $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)

4.2 Quanto C1100 SP BIO CON

Jedná se o KJ od firmy TEDOM a.s. s označením „Quanto C1100 SP BIO CON“

Základní parametry kogenerační jednotky:

Jmenovitý elektrický výkon:	1100 kW
Maximální tepelný výkon:	1187 kW
Příkon v palivu:	2981 kW
Účinnost elektrická:	36,9 %
Účinnost tepelná:	39,8 %
Účinnost celková (využití paliva):	76,7 %
Spotřeba plynu při 100% výkonu:	459 Nm ³ /h
Spotřeba plynu při 75% výkonu:	363 Nm ³ /h
Spotřeba plynu při 50% výkonu:	257 Nm ³ /h

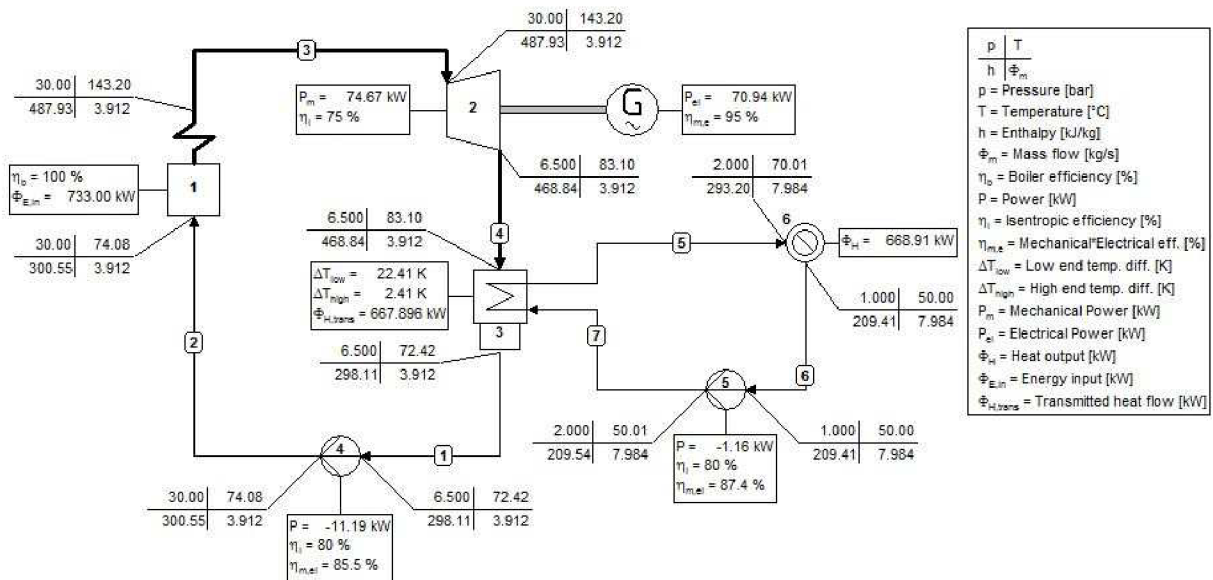
Pro bioplyn o obsahu 65% metanu při normálních podmínkách (0°C; 101,325 kPa)

Využitelný tepelný výkon spalin (vychlazení na 150°C):	733 kW
Teplota spalin:	512°C

4.2.1 Výpočet pro zapojení ORC bez regenerace za KJ

Jelikož postup výpočtu je stejný a hlavně jsem zachoval stejnou pracovní látku (R245fa), z důvodu lepšího posouzení parametrů, tak jsem provedl výpočet v programu Cycle-Tempo.

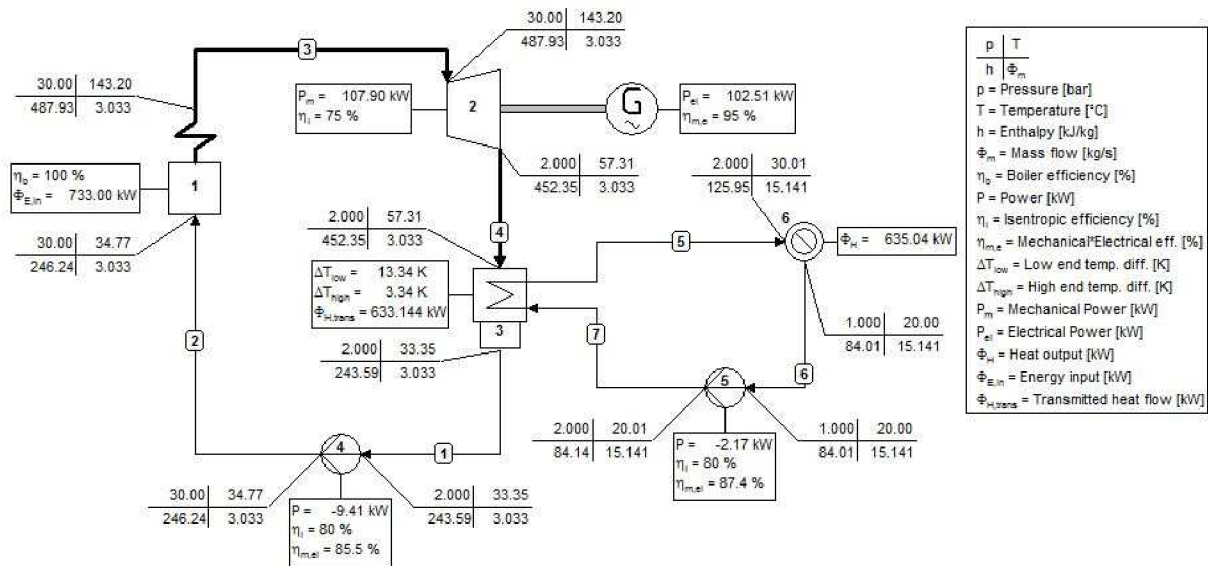
Parametry ORC pro teploty v kondenzátoru 70/50 => kondenzační tlak 0,65 MPa.



Obr. 31 Výpočet parametrů ORC bez regenerace $\Delta p = 3 - 0,65$ MPa (Cycle-Tempo)

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

Parametry ORC pro teploty v kondenzátoru 30/20 => kondenzační tlak 0,2 MPa.

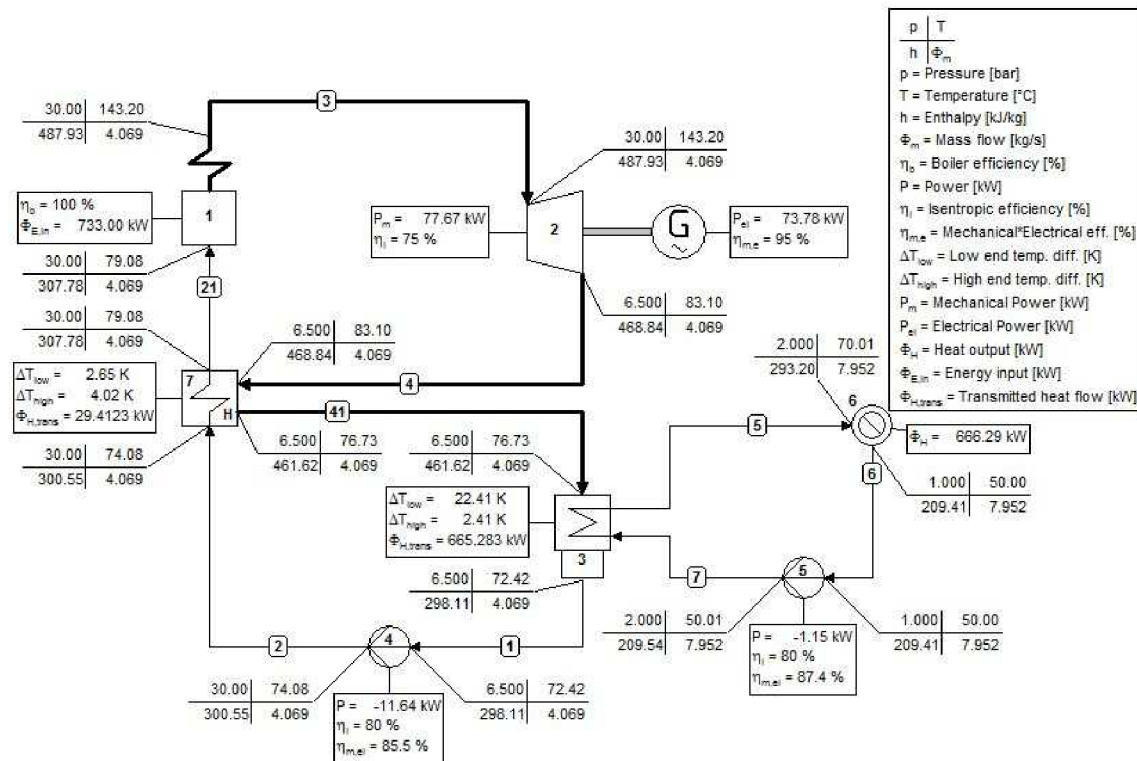


Obr. 32 Výpočet parametrů ORC bez regenerace $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)

4.2.2 Výpočet pro zapojení ORC s regenerací za KJ

Opět je postup výpočtu stejný, proto jsem provedl výpočet v programu Cycle-Tempo.

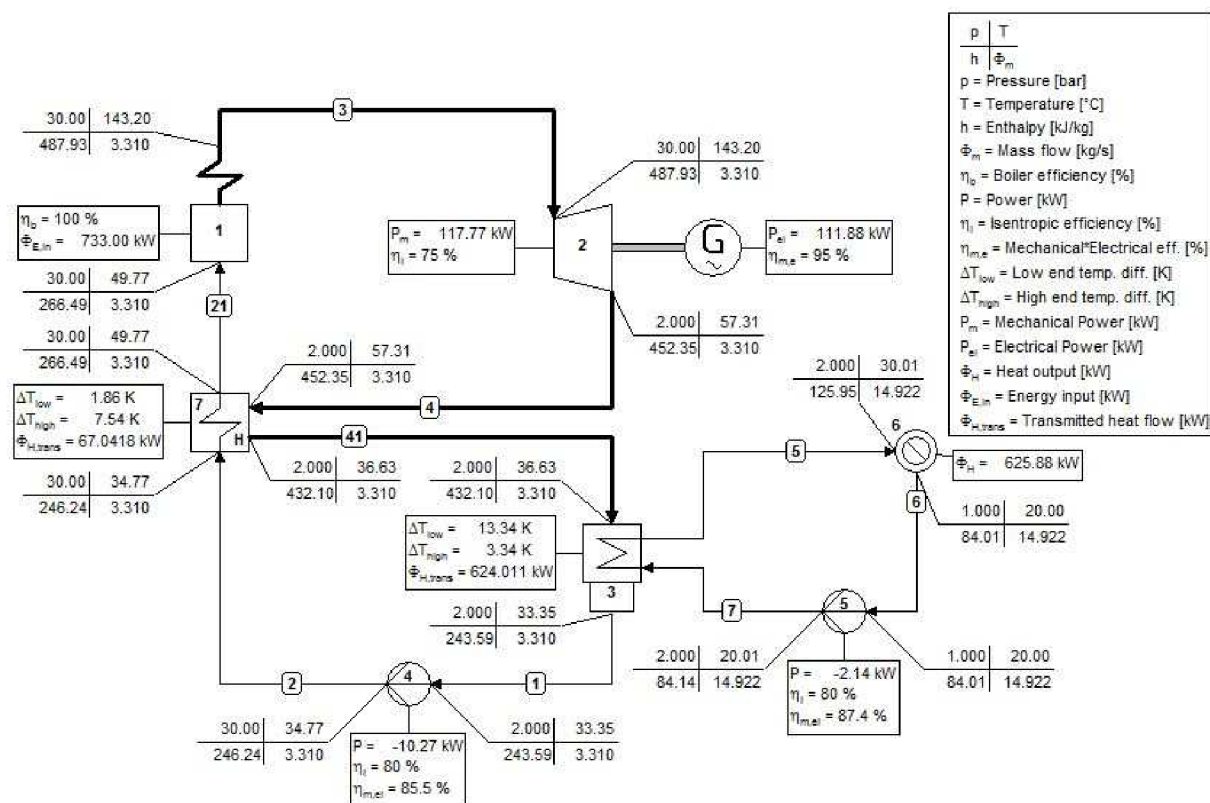
Parametry ORC pro teploty v kondenzátoru 70/50 => kondenzační tlak 0,65 MPa.



Obr. 33 Výpočet parametrů ORC s regenerací $\Delta p = 3 - 0,65$ MPa (Cycle-Tempo)

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

Parametry ORC pro teploty v kondenzátoru 30/20 => kondenzační tlak 0,2 MPa.



Obr. 34 Výpočet parametrů ORC s regenerací $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)

4.3 Porovnání:

V tabulce jsou vypsány výkony na turbíně a příkony na čerpadle k tomu dopočteny elektrické účinnosti ORC.

Δp [MPa]	P_t [kW]	P_c [kW]	η_{ORC} [%]
Quanto D580 SP BIO [296 kW]			
3 - 0,65	30,15	4,52	8,67
3 - 0,2	43,57	3,8	13,44
3 - 0,65 s reg	31,36	4,7	9,01
3 - 0,2 s reg	47,56	4,15	14,66
Quanto C1100 SP BIO NOC [733 kW]			
3 - 0,65	74,67	11,19	8,67
3 - 0,2	107,90	9,41	13,44
3 - 0,65 s reg	77,67	11,64	9,01
3 - 0,2 s reg	117,77	10,27	14,66

Z tabulky je patrné, že změnou vstupních parametrů se nemění účinnost. Ta se změní v případě, že se změní pracovní médium. Jen úměrně stoupá výstupní el. výkon ku vložené energii.

4.4 Použité programy k výpočtu

V dnešní moderní době plné počítačů a k nim vhodného softwaru je možné mnoho početních úkonů a výpočtů provést i za pomoci programů.

Které jsem využil při výpočtu, jsou:

- Cycle-Tempo

Jedná se o program na modelaci cyklu a jeho návrhu, který má v sobě zabudovaných mnoho databází pracovních látek. Dokáže vytvořit i graficky výstup cyklu, avšak program je ve fázi vývoje tak zatím dokáže vytvořit jen pro vodu/páru.

- FluidProp

Jedná se o databázi vlastností chladiv a dalších možných látek, ke kterým je potřeba znát jejich vlastnosti při konkrétních stavech. Využíval jsem modifikaci programu za integrovanou do sešitu pro program EXCEL.

- REFPROP

Jedná se o propracovaný program s vlastním prostředím, který obsahuje mnoho chladiv a jiných látek, u kterých je potřeba znát jejich termodynamické vlastnosti. Umožňuje i vykreslování stavů i do mnoha druhů diagramu látek.

5. Návrh parogenerátoru pro ORC

Pro výpočet generátoru páry jsem použil zařazení na výfukové potrubí KJ „Quanto D580 SP BIO“ od firmy TEDOM a.s.

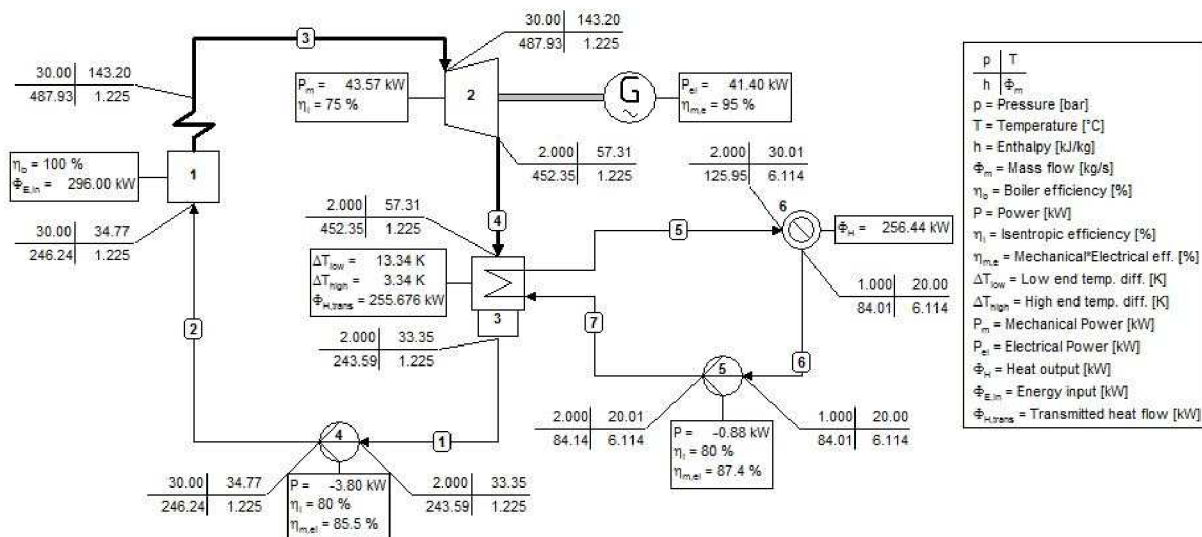


Obr. 35 KJ Quanto D580 SP BIO [21]

Vlastnosti spalin a informace potřebné k návrhu:

Teplota spalin před výměníkem (jmenovitý):	444 °C
Teplota spalin za výměníkem (jmenovitý):	150 °C
Využitelný tepelný výkon spalin:	296 kW
Objemové množství spalin:	2533 Nm ³ /h
Maximální protitlak:	1 kPa
Rychlost spalin na výstupu (DN 250):	22,2 m/s

Z důvodu, že budu navrhovat pouze parogenerátor (PG), zvolil jsem okruh ORC bez regenerace. Použiji již předtím vypočtené hodnoty při návrhu ORC s pracovní látkou R245fa, při kterém se již dále nevyužívalo teplo, neboli maximalizace výroby el. energie.



Obr. 36 Výpočet parametrů ORC provedený v programu Cycle-Tempo

Potřebné informace o ORC okruhu:

Hmotnostní průtok R245fa:	1,225 kg/s
Entalpie R245fa za PG:	487,93 kJ/kg
Entalpie R245fa před PG:	246,24 kJ/kg
Teplota R245fa za PG:	143,2 °C
Teplota R245fa před PG:	34,77 °C
Tlak R245fa v PG:	3 MPa

Výpočet hustoty a entalpie spalin:

Složení spalin:

Složka	N ₂	O ₂	H ₂ O	CO ₂	CO	SO ₂
Objemová %	76	9,7	7,23	7	0,05	0,02

Byly použity obecné hodnoty pro spalovací motor zdroj [12]

Měrné hmoty plynů: [3]

Složka	N ₂	O ₂	H ₂ O	CO ₂	CO	SO ₂
kg/Nm ³	1,2505	1,4289	0,08987	1,9768	1,25	2,9263

$$\sum \frac{\varphi_i}{100} \cdot \rho_i = \rho_{SP} = 1,2867 \text{ kg/Nm}^3$$

Množství spalin:

$$\dot{M}_{SP} = \dot{V}_{SP} \cdot \rho_{SP} = 2533 \cdot 1,2867 = 3259,2 \text{ kg/h}$$

Entalpie spalin: [3]

t[°C]	N ₂ [kJ/Nm ³]	O ₂ [kJ/Nm ³]	H ₂ O [kJ/Nm ³]	CO ₂ [kJ/Nm ³]	SO ₂ [kJ/Nm ³]
100	130	132	150	170	189
200	260	267	304	357	392
400	527	551	626	772	836
500	666	699	795	994	1070

Entalpie pro konkrétní složení spalin při teplotách:

	100 °C	200 °C	400 °C	500 °C
i [kJ/Nm ³]	134,3868	270,547	553,434	701,2355

Pomocí aproximace se dopočítám entalpií pro konkrétní teploty spalin:

$$\text{Pro } t = 150^\circ\text{C} \Rightarrow i_{12} = 202,4667 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$\text{Pro } t = 444^\circ\text{C} \Rightarrow i_{11} = 618,4666 \text{ kJ/Nm}^3$$

Kontrola:

$$Q = \dot{V}_{SP} \cdot (i_{11} - i_{12}) = 2533 \cdot (618,4666 - 202,4667) = 292,7 \text{ kW}$$

Odchylka od požadovaných 296 kW je 1,11%, což je přípustné.

Geometrie PG:

Volím trubkovnice od firmy GROSS STAHL, s.r.o. o rozměrech: [22]

Vnější průměr	Tloušťka	Vnitřní průměr
38mm = 0,038m	2,6mm	32,8mm = 0,0328m

Volím materiál trubkovic s označením 10CrMo9-10. Jedná se o žárovečnou ocel, která má vyšší mez pevnosti při tečení, vynikající odolnost proti oxidaci a také dobrou odolnost proti korozi i při vyšších teplotách.

Dále volím rychlost proudění v trubkách $w_{SP} = 10 \text{ m/s}$

Počet trubek v PG:

$$n = \frac{\dot{V}_{SP}}{w_{SP} \cdot 3600} \cdot \frac{4}{\pi \cdot d^2} = \frac{2533}{10 \cdot 3600} \cdot \frac{4}{\pi \cdot 0,0328^2} = 83,27$$

Volím počet trubek $n = 84$

Přepočet rychlosti spalin pro zvolený počet trubek:

$$w_{SP_{SKUT}} = \frac{\dot{V}_{SP}}{n \cdot 3600} \cdot \frac{4}{\pi \cdot d^2} = \frac{2533}{84 \cdot 3600} \cdot \frac{4}{\pi \cdot 0,0328^2} = 9,91 \text{ m/s}$$

Výpočet součinitele přestupu tepla:

Teplota na vstupu spalin do PG: $t_{11} = 444^\circ\text{C}$
 Teplota na výstupu spalin z PG: $t_{11} = 150^\circ\text{C}$
 Střední teplota spalin v PG: $t_{sp} = 297^\circ\text{C}$

Určení součinitele tepelné vodivosti spalin pro střední teplotu spalin: [3]

Pro $t_{SP} = 297^\circ\text{C}$ a obsah H_2O ve spalinách 7,23%

$t_{SP} [^\circ\text{C}] / \varphi_{\text{H}_2\text{O}} [\%]$	5	7,23	10
200	38,7	39,19	39,8
297		46,92	
300	40,4	47,16	48,1

$$\lambda_{SP} = 46,92 \times 10^{-3} \text{ [W/mK]}$$

Určení součinitele kinematické viskozity pro střední teplotu spalin: [3]

Pro $t_{SP} = 297^\circ\text{C}$ a obsah H_2O ve spalinách 7,23%

$t_{SP} [^\circ\text{C}] / \varphi_{\text{H}_2\text{O}} [\%]$	5	7,23	10
200	31,8	32,25	32,8
297		44,96	
300	45	45,36	45,8

$$v_{SP} = 44,96 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

Měrné teplo složek spalín: [3]

t [°C]	N ₂	O ₂	H ₂ O	CO ₂	CO	SO ₂
200	1,3	1,335	1,522	1,787	1,306	1,96
300	1,307	1,356	1,542	1,863	1,315	2,03

Měrné teplo pro konkrétní složení spalín při teplotách:

	200 °C	297 °C	300 °C
cp _{SP} [kJ/Nm ³]	1,3537	1,3674	1,3678

$$cp_{SP} = 1,3674 \text{ [kJ/Nm}^3\text{]}$$

Soupis hodnot pro výpočet součinitele přestupu tepla:

t ₁₁ [°C]	t ₂₁ [°C]	t ₂₁ [°C]	t ₂₂ [°C]	ρ _{SP} [kg/Nm ³]	λ _{SP} [W/mK]	v _{SP} [m ² /s]	cp _{SP} [J/Nm ³]
444	150	34,77	143,2	1,2867	46,92 · 10 ⁻³	44,96 · 10 ⁻⁶	1367,4

Výpočet Reynoldsova čísla, aby bylo možné určit proudění a následně na to vhodný vztah pro výpočet Nusseltova čísla.

$$Re = \frac{w_{sp} \cdot d \cdot \rho_{sp}}{\gamma_{sp}} = \frac{9,91 \cdot 0,0328 \cdot 1,2867}{1367,4} = 7231,52$$

Pro výpočet Nusseltova čísla použijí Gnielinského vztahu, neboť se jedná o turbulentní proudění.

$$Nu = \frac{x_5 \cdot (Re - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7 \sqrt{x_5} \cdot (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \cdot (1 + y_1^{\frac{2}{3}}) \cdot y_2$$

Výpočet vstupních hodnot potřebných pro výpočet Nu (x₅, y₁, y₂, Pr):

$$x_5 = \frac{1}{8} \cdot (1,82 \cdot \log(Re) - 1,64)^{-2} = 0,0043$$

Výpočet Prandtlova čísla:

$$Pr = \frac{cp_{SP} \cdot \gamma_{SP}}{\lambda_{SP}} = \frac{1367,4 \cdot 44,96 \cdot 10^{-6}}{46,92 \cdot 10^{-3}} = 1,3104$$

Pro výpočet součinitele y₁ je potřeba zvolit předpokládanou délku trubky l_t = 3,949 m. Tahle hodnota, byla vypočítána z pozdějšího výpočtu, ve kterém se určí přesná hodnota délky trubky.

$$y_1 = \frac{d}{l_t} = \frac{0,0328}{3,949} = 0,0083$$

Výpočet součinitele y_2 pro plyny, platí níže uvedený vztah. Kde $a = 0$, neboť se jedná o přestup tepelného toku z trubkového prostoru, protože spaliny proudí v trubkách. Proto není potřeba určovat t_s teplotu stěny.

$$y_2 = \left(\frac{t_{SP}}{t_s}\right)^a = 1$$

Samotný výpočet Nusseltova čísla

$$Nu = \frac{x_5 \cdot (Re - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7\sqrt{x_5} \cdot (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \cdot \left(1 + y_1^{\frac{2}{3}}\right) \cdot y_2 =$$

$$Nu = \frac{0,0043 \cdot (7231,52 - 1000) \cdot 7231,52}{1 + 12,7\sqrt{0,0043} \cdot (7231,52^{\frac{2}{3}} - 1)} \cdot \left(1 + 0,0083^{\frac{2}{3}}\right) \cdot 1 = 31,475$$

Samotný výpočet součinitele přestupu tepla pro trubkový prostor:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_{SP}}{d} = \frac{31,475 \cdot 46,92 \cdot 10^{-3}}{0,0328} = 45,024 \text{ W/mK}$$

Výpočet teplo-směných ploch (trubky):

Trubkovnice budou vyrobeny z materiálu s označením 10CrMo9-10. Pro tento materiál je potřeba si určit tepelnou vodivost λ_t . [23] Zjistí se pro střední teplotu R245fa a spalin.

T [°C]	20	88,984	100	200	297	300
λ_t [W/mK]	34,9	36,97	37,3	38,2	37,81	37,8

$$\lambda_{t_{stř}} = (37,81 + 36,97)/2 = 37,39 \text{ [W/mK]}$$

Z důvodu komplikovaného výpočtu součinitele přestupu tepla α_2 pro mezi-trubkový prostor volím $\alpha_2 = 15000 \text{ W/mK}$, neboť můžeme předpokládat hodnotu v řádech desetitisíců.

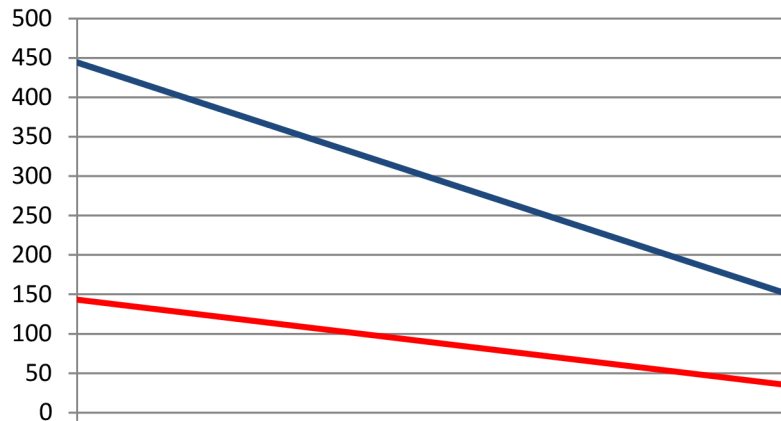
Výpočet součinitele prostupu tepla:

$$k = \frac{1}{\frac{D}{d} \cdot \frac{1}{\alpha_1} + \frac{D}{2 \cdot \lambda_{t_{stř}}} \cdot \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha_2}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{0,038}{0,0328} \cdot \frac{1}{45,024} + \frac{0,038}{2 \cdot 37,39} \cdot \ln \frac{0,038}{0,0328} + \frac{1}{15000}} = 38,65 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Abychom mohly vypočítat teplo-směnnou plochu je potřeba znát střední logaritmický teplotní spád generátoru páry. Bylo zvoleno protiproudé uspořádání.

$$\Delta T = \frac{(444 - 143,2) - (150 - 34,76)}{\ln \frac{(444 - 143,2)}{(150 - 34,76)}} = 193,4 \text{ °C}$$



Obr. 37 Průběh teplot v parogenerátoru

Samotný výpočet potřebné velikosti teplo-směnné plochy:

$$A = \frac{Q}{\Delta T \cdot k} = \frac{296000}{193,4 \cdot 38,65} = 39,598 \text{ m}^2$$

Výpočet průměrné délky trubek:

$$l_{pr} = \frac{A}{\pi \cdot D \cdot 2 \cdot n} = \frac{39,598}{\pi \cdot 0,038 \cdot 2 \cdot 84} = 3,949 \text{ m}$$

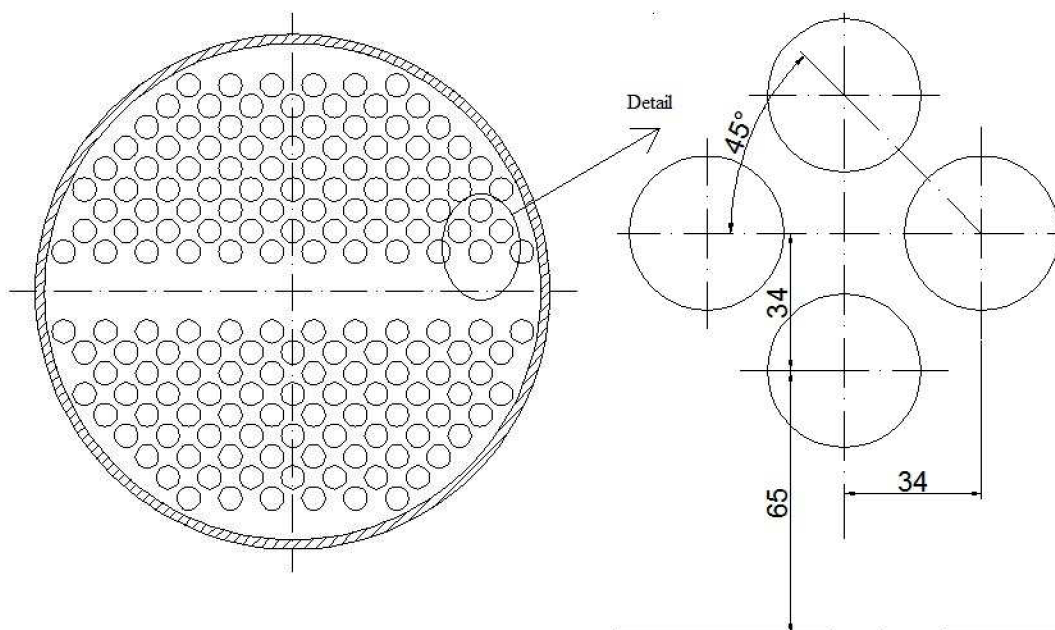
Dopočet délky rovných úseků trubek:

Volím:

Vzdálenost prvních svazků od středu: $R = 0,065 \text{ m}$

Rozteč mezi svazky trubek: $s = 0,034 \text{ m}$

Počet trubek: $n = 84$



Obr. 38 Rozložení trubek a jejich vzdálenosti na trubkovnici

Plocha vniklá ohnutím trubek. Jedná se totiž o Anuloid (torus):

řada	počet tr.	$n_i \cdot \pi^2 \cdot D \cdot (R+x \cdot s)$	Vnější strana tr. [m ²]	Vnitřní strana tr. [m ²]
1	12	$12 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot R$	0,293	0,253
2	11	$11 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot (R+s)$	0,408	0,353
3	10	$10 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot (R+2 \cdot s)$	0,499	0,517
4	11	$11 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot (R+3 \cdot s)$	0,689	0,595
5	10	$10 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot (R+4 \cdot s)$	0,754	0,651
6	9	$9 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot (R+5 \cdot s)$	0,793	0,685
7	8	$8 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot (R+6 \cdot s)$	0,807	0,697
8	7	$7 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot (R+7 \cdot s)$	0,795	0,678
9	6	$6 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot (R+8 \cdot s)$	0,758	0,655
Σ	84		$A_o \approx 5,8$	$\approx 5,09$

Zbylá plocha na rovné úseky podělena počtem trubek:

$$A_r = \frac{A - A_o}{2 \cdot n} = \frac{39,598 - 5,8}{2 \cdot 84} = 0,2012 \text{ m}^2$$

Výpočet délky rovného úseku jedné trubky:

$$l_{1r} = \frac{A_r}{D \cdot \pi} = \frac{0,2012}{0,038 \cdot \pi} = 1,685 \text{ m} \approx 1,69 \text{ m}$$

Přepočet plochy:

$$A_{sk} = 2 \cdot n \cdot \pi \cdot D \cdot l_{1r} + A_o = 2 \cdot 84 \cdot \pi \cdot 0,038 \cdot 1,69 + 5,8 = 39,7 \text{ m}^2$$

Odchylka od navržené plochy ($A=39,598\text{m}^2$) je 0,235 % $\Rightarrow \Delta t_{sk} = 192,95 \text{ }^\circ\text{C}$.

Výpočet tlakových ztrát v trubkovém prostoru:

K výpočtu tlakové ztráty je potřeba dopočítat několik faktorů a koeficientů.

Pro plyny a $Re > 2320$ se korekční faktor z_2 vypočítá:

$$z_2 = \left(\frac{t_{sp}}{t_s}\right)^a = \left(\frac{297}{131,4}\right)^{0,6} = 0,613$$

Kde $a = 0,6$ neboť se jedná o tepelný tok z trubkového prostoru a t_s je teplota stěny a ta se vypočítá pomocí vztahu:

$$t_s = T_{sp} - \frac{Q}{A_{sk} \cdot \alpha_1} = 297 - \frac{296 \cdot 10^3}{39,7 \cdot 45,024} = 131,4^\circ\text{C}$$

Výpočet korekčního faktoru z_1 :

$$z_1 = \frac{l_{pr}}{d} = \frac{3,949}{0,0328} = 120,4$$

Relativní drsnost stěny:

K je vnitřní drsnost trubky hodnota je 0,05 mm

$$k_r = \frac{K}{d} = \frac{0,05}{32,8} = 0,0015$$

Substituční faktory:

$$\begin{aligned} x_9 &= \left\{ 2,457 \cdot \ln \left[\frac{1}{\left(\frac{7}{Re}\right)^{0,9} + 0,27 \cdot k_r} \right] \right\}^{16} = \\ &= \left\{ 2,457 \cdot \ln \left[\frac{1}{\left(\frac{7}{7231,5}\right)^{0,9} + 0,27 \cdot 0,0015} \right] \right\}^{16} = \\ &= 5,738 \cdot 10^{18} \end{aligned}$$

$$x_{10} = \left(\frac{37530}{Re}\right)^{16} = \left(\frac{37530}{7231,5}\right)^{16} = 2,769 \cdot 10^{11}$$

Ztrátový součinitel λ

$$\begin{aligned} \lambda &= 8 \left[\left(\frac{8}{Re}\right)^{12} + \frac{1}{(x_9 + x_{10})^{3/2}} \right]^{1/12} = \\ &= 8 \left[\left(\frac{8}{7231,5}\right)^{12} + \frac{1}{(5,738 \cdot 10^{18} + 2,769 \cdot 10^{11})^{3/2}} \right]^{1/12} = 0,036 \end{aligned}$$

Samotný výpočet tlakové ztráty třením:

$n_{ch} = 2$ jedná se o počet chodů

$$\begin{aligned} \Delta p_t &= \lambda \cdot \frac{\rho_{sp} \cdot w_{sp,skut}^2}{2} \cdot n_{ch} \cdot z_1 \cdot z_2 = 0,036 \cdot \frac{1,2867 \cdot 9,9132^2}{2} \cdot 2 \cdot 120,4 \cdot 0,613 \\ &= 337,424 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Výpočet místní tlakové ztráty:

$$\begin{aligned} \Delta p_m &= [\xi_1 \cdot n_{ch} + \xi_2 \cdot (n_{ch} - 1)] \cdot \frac{\rho_{sp} \cdot w_{sp}^2}{2} = \\ &= [0,7 \cdot 2 + 0,4 \cdot (2 - 1)] \cdot \frac{1,2867 \cdot 9,9132^2}{2} = 113,802 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$\xi_1 = 0,7$ je ztrátový součinitel místního odporu pro vstup a výstup

$\xi_2 = 0,4$ je ztrátový součinitel místního odporu pro ohyb proudu

Výsledná tlaková ztráta v trubkovém prostoru:

$$\Delta p_z = \Delta p_t + \Delta p_m = 337,424 + 113,802 = 451,226 \text{ Pa}$$

Tlaková ztráta v mezi-trubkovém prostoru:

Jedná se o ztrátu způsobenou převážně vlivem hydrostatického tlaku kapaliny, zbylé ztráty zanedbáme vzhledem k jejím velikostem. Budu předpokládat výšku hladiny nad hrdlem 2m.

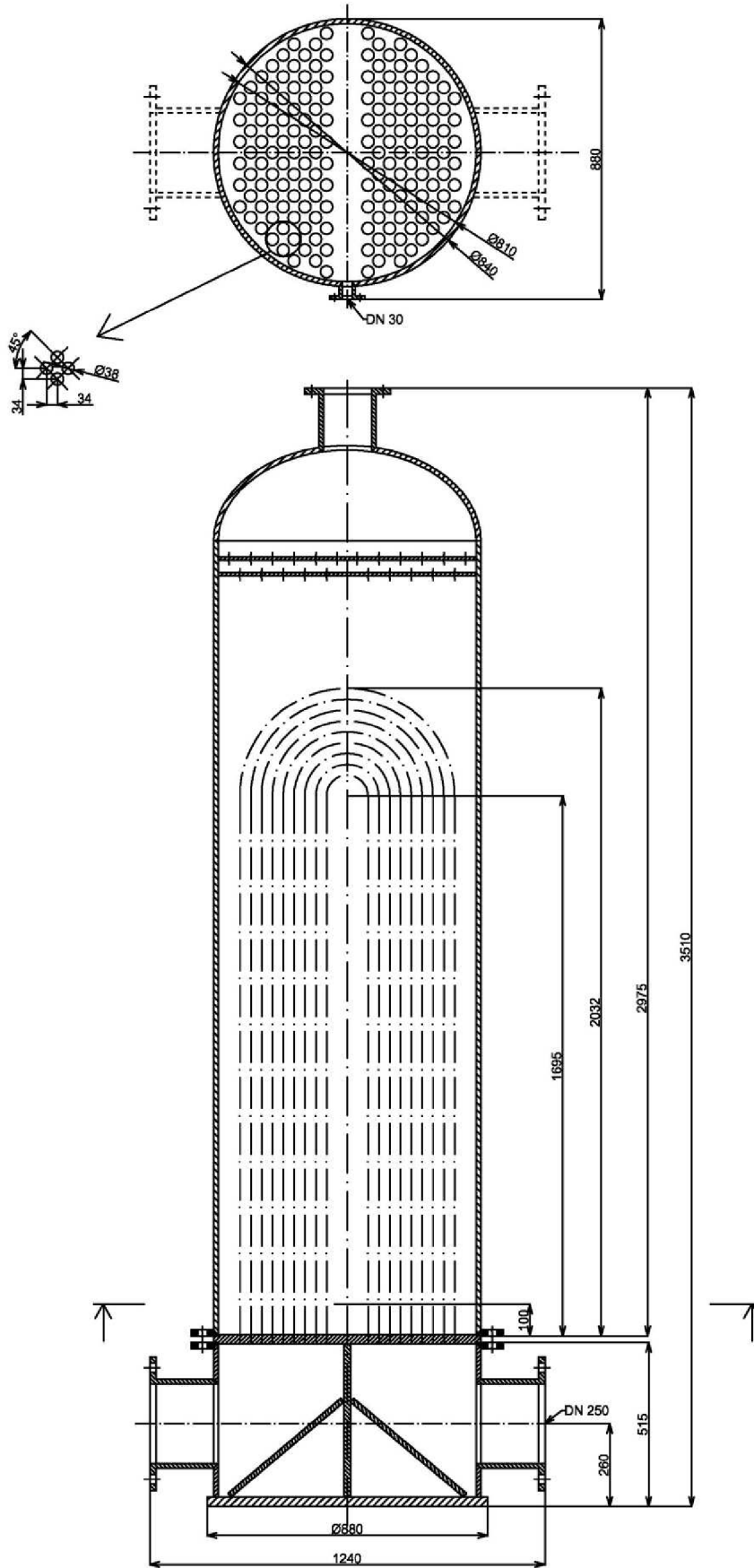
$$\text{Hustota R245fa: } \rho_k = f(p_3; x = 0) = 835,279 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta p = \rho_k \cdot g \cdot h = 835,279 \cdot 9,81 \cdot 2 = 16388,134 \text{ Pa}$$

Přehled konstrukčních a tepelných údajů výměníku spaliny/pára:

Výkon parogenerátoru	296 kW
Teplota spalin na vstupu do PG	444 °C
Teplota spalin na výstupu do PG	150 °C
Teplota R245fa na vstupu do PG	143,2 °C
Teplota R245fa na výstupu do PG	34,77 °C
Hustota spalin	1,2867 kg/Nm ³
Hmotnostní průtok spalin	3259,2 kg/h
Vnější průměr trubky	0,038 m
Vnitřní průměr trubky	0,0328 m
Počet trubek	84
Skutečná rychlost spalin v trubkách	9,91 m/s
Součinitel přestupu tepla pro trubkový prostor	45,024 W/mK
Součinitel přestupu tepla pro mezi-trubkový prostor	15 000 W/mK
Součinitel prostupu tepla	38,65 W/m ² K
Velikost teplo-směnné plochy	39,7 m ²
Délka trubky	3,949 m
Délka rovného úseku 1 trubky	1,69 m
Tlaková ztráta třením v trubkovém prostoru	337,424 Pa
Místní tlaková ztráta v trubkovém prostoru	113,802 Pa
Tlaková ztráta v mezi-trubkovém prostoru	16 388,134 Pa

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ



Obr. 39 Náčrt parogenerátoru

6. Technicko-ekonomické zhodnocení

V technicko-ekonomickém zhodnocení jde převážně o návratnost. Tzn., za jak dlouho se nám investice do zařízení vrátí. A také o celkový tok peněžních prostředků tzv. Cash Flow.

Pro své zhodnocení jsem zvolil variantu zapojení navržené ORC jednotky v předchozím bodě, za kogenerační jednotku Quanto D580 SP BIO. Tato kogenerační jednotka je použita v BPS Čejč, z dostupných informací je zřejmé, že mají dvě tyto jednotky a obě plně využívají a to i teplo obsažené ve spalinách pro vlastní vytápění.

Z těchto informací jsem usoudil, že jednou z variant je, že teplo ve spalinách z jedné kogenerační jednotky by se dalo využít pro ORC jednotku a z druhé nadále pro vytápění. Proto nebudu ve výpočtu uvažovat cenu vstupního paliva a ani nic dalšího týkající se kogenerační jednotky, fermentoru a dalších potřebných zařízení k fungování bioplynové stanice, neboť se jedná o již fungující zařízení. Bude se tedy jednat o rozšíření a zvýšení rentability celého komplexu. Bude se jednat o ORC jednotku, která bude dimenzována výhradně na výrobu el. energie.

Využitelný výkon ve spalinách:	296 kW
Životnost ORC:	20 let
Počet hodin za rok:	8400 h (dle KJ)

Hrubá výroba el. energie:	41,40 kW
Vlastní spotřeba el. energie:	3,8 kW
Čistá výroba el. energie:	37,6 kW
Čistá výroba el. energie za den:	902,4 kW
Čistá výroba el. energie za rok:	315 840 kW

Uvažuji výkup elektrické energie garantovaný státem. Dle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.4/2012 ze dne 26. 11. 2012. V kategorii pro výrobu elektřiny při spalování bioplynu si určuji výkupní cenu 4120 Kč/MWh.

Roční výnos za prodej el. energie:	1 301 261,2 Kč
------------------------------------	----------------

Dále budu uvažovat dle výše zmíněného cenového rozhodnutí i zelené bonusy pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla využívající obnovitelné zdroje energie do jmenovitého výkonu 5000 kW, zelený bonus, který byl stanoven na 45 Kč/MWh.

Roční výnos ze zeleného bonusu:	14 212,8 Kč
---------------------------------	-------------

Celkový roční výnos:	<u>1 315 474 Kč</u>
----------------------	---------------------

ORC jednotka by byla pořízena od firmy ElectraTherm a cena celé jednotky a jejího příslušenství by se pohybovala okolo 5 800 000 Kč, která by se celá uhradila na začátku.

Vzhledem k jednoduché údržbě, neboť se jedná skoro o bezúdržbový provoz a již fungující BPS, která má několik svých zaměstnanců, volím 80 000 Kč za rok na údržbu ORC.

ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ

Při určování návratnosti zohledním inflaci, neboť jak je zřejmé po dobu životnosti bude kolísat hodnota peněz. Ze stránek ČNB jsem si proto určil míru předpokládané inflace a to 2%. Budu ji uvažovat po celou dobu životnosti.

Při výpočtu návratnosti jsem postupoval následovně:

Roční zisk (výnos – údržba) : 1 235 474 Kč

Budoucí stav = Předchozí stav + Roční zisk * $0,98^{\text{Rok} - 1}$

Cash Flow 1 = - 5 800 000 + 1 235 474 * $0,98^{1-1}$ = - 4 564 526 Kč

Cash Flow 2 = - 4 564 526 + 1 235 474 * $0,98^{2-1}$ = - 3 353 762 Kč

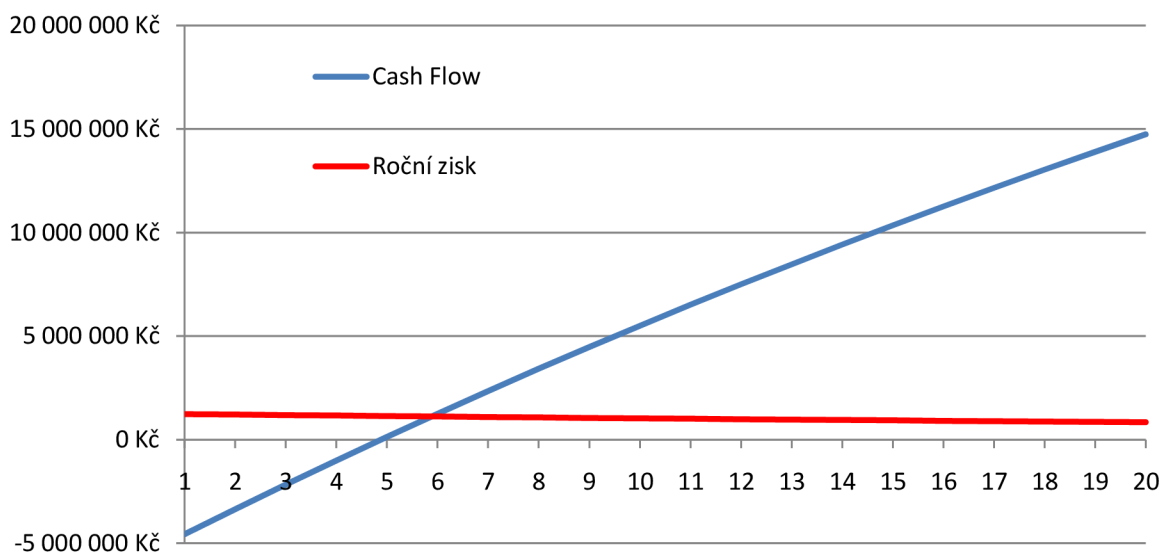
Cash Flow 4 = - 2 167 213 + 1 235 474 * $0,98^{4-1}$ = - 1 004 396 Kč

Cash Flow 5 = 1 004 396 + 1 235 474 * $0,98^{5-1}$ = 135 166 Kč

Cash Flow 10 = 4 470 012 + 1 235 474 * $0,98^{10-1}$ = 5 500 086 Kč

Cash Flow 20 = 13 891 434 + 1 235 474 * $0,98^{20-1}$ = 14 733 079 Kč

Kč/rok	1	2	4	5	10	20
Čistý zisk	1 235 474	1 210 764	1 162 818	1 139 562	1 030 073	858 821
Cash flow	-4 564 526	-3 353 762	-1 004 396	135 166	5 500 086	14 733 079



Obr. 40 Průběh Cash Flow

Z výpočtu a grafu je zřejmé, že návratnost investice se pohybuje mezi 4 a 5 rokem.

7. Závěr

Pojem kogenerace je čím dál více diskutovanějším tématem, především kvůli úspoře paliva, které v případě vyčerpatelných zdrojů tlačí ceny energií nahoru. S tímto souvisí kolísání ceny vstupních paliv, které jsou ovlivňovány dostupností, technologiemi a také politickým děním ve světě.

Vznikají myšlenky o možných alternativních zdrojích, které přivádí lidstvo ke snižování vlastních energetických nároků a také ještě více zefektivnit využití vstupního paliva, ale přitom zachovat nezávislost na fosilních palivech. Jednou z možností je využití technologie ORC, které má široké uplatnění v mnoha odvětví těžkého průmyslu a hlavně energetiky. Jedná se totiž o možnost využití nízkopotenciálního tepla, které by se jinak mařilo v kondenzátorech či chladičích. ORC přeměňuje tuto energii na dále užitečnou energii a to především na elektrickou energii. ORC technologie dokáže využít solární energii i geotermální energii. V této práci jsou vypsána již fungující nebo rozestavěné aplikace ORC v České Republice. Jak je patrné jedná se o velice zajímavou technologii, u které počty aplikací enormně rostou a nejen u nás.

Jelikož je možné použít ORC technologii na několik druhů zdrojů, tak je potřeba mít i vhodně zvolenou k danému zdroji tepla pracovní látku. Pracovních látek je mnoho jedná se především o chladiva či jinak chemicky vzniklé kapaliny, které mají vhodné termodynamické vlastnosti. Jednou z hlavních požadovaných vlastností je nízký bod varu, nízkou kritickou teplotu a tlak, které ohraničují možnosti aplikace. Další vlastnosti, které je potřeba brát v potaz jsou toxicita, hořlavost, případné poškození ozónové vrstvy a také případný vliv na globální oteplování. Každá možná pracovní látka má své specifické termodynamické vlastnosti, proto se nedá jednoznačně říci, které jsou nejvhodnější. Možným ukazatelem může být velikost latentního tepla a výparné teploty, které jsou konstantní při určitém tlaku.

Jedním z hlavních bodů je výpočet parametrů ORC oběhu v zapojení za kogenerační jednotku o výkonu 600 kWe. Jsou dvě možné „nastavení“ ORC oběhu první je nadimenzování oběhu na maximalizaci výroby elektrické energie a druhá uvažování i využití tepla, čímž se sníží výnosnost elektrické energie. Další možnost úpravy ORC oběhu použití regenerátoru. Největší elektrickou účinnost má nastavení oběhu na maximalizaci elektrické energie s regenerátorem, avšak v případě bez regenerátoru je účinnost jen o cca 1% nižší. Výpočet jsem provedl i pro jinou kogenerační jednotku, avšak účinnost se nezměnila, jen se úměrně zvětšil elektrický výkon ke vstupnímu tepelnému výkonu.

V další kapitole této práce je návrh parogenerátoru v něm jsem provedl výpočet geometrie parogenerátoru, velikosti teplosměnných ploch a tlakových ztrát. Celkovým výstupem je náčrt parogenerátoru a tabulka údajů zahrnující konstrukční a tepelné veličiny.

Závěrem práce bylo technicko-ekonomické zhodnocení použití ORC v našich podmínkách, z dostupných informací jsem zjistil, že návratnost se pohybuje mezi 4 a 5 rokem i s uvažovanou 2% inflací. Investice by se vrátila přibližně trojnásobně.

Zdroje informací

- [1] KRBEK, J.: *Zásobování teplem a kogenerace*, 1. vyd., Brno, 1999, 143 s. ISBN 80-214-1347-6.
- [2] DVORSKÝ, E., HEJTMÁNKOVÁ, P.: *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*, 1. vyd., Praha: BEN, 2005, 288 s., ISBN 80-7300-118-7.
- [3] BUDAJ, F.: *Parní kotle*, 4. vyd. VUT Brno, 1992, 200 s., ISBN 80-214-0426-4
- [4] STEHLÍK, P. a kol.: *Tepelné pochody. Výpočet výměníku tepla*, 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 129 s., ISBN 80-214-0363-2.
- [5] LESLIE, N., SWEETSER, R., ZIMRON, O., STOVALL, T., *Recovered Energy Generation Using an Organic Rankine Cycle System*, [online] URL:< <http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub10841.pdf> > [cit. 2012-7-11]
- [6] VÉLEZ, F., SEGOVIA, J.J., MARTÍN, M.C., ANTOLÍNA, G., CHEJNEC, F., QUIJANO, A.: *A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation*, [online] URL:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112002055> > [cit. 2013-4-10]
- [7] VANSLAMBROUCK, B., VANKEIRSBILCK, I., GUSEV, S.: *Energetical, Technical and Economical considerations by choosing between a Steam and an Organic Rankine Cycle for Small Scale Power Generation*, [online] URL:< <http://www.orc2011.nl/uploads/File/presentations1/Energetical,%20Technical%20and%20Economical%20consideration%20by%20choosing%20between%20a%20steam%20and%20ORC%20for%20small%20scale%20power%20generation.pdf> > [cit. 2013-4-14]
- [8] QUOILIN, S.: *Experimental Study and Modeling of a Low Temperature Rankine Cycle for Small Scale Cogeneration*, [online] URL:< http://www.labohtap.ulg.ac.be/staff/squoilin/files/TFE_SQ010607.pdf > [cit. 2013-4-04]
- [9] EKOTEZ s.r.o.: *Bezpečnostní list chladivo R 245fa*, [online] URL:< <http://www.ekotez.cz/pub///Chladivo%20R%20245fa.pdf> > [cit. 2013-4-04]
- [10] VÍTEK, S. Trigenerace. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 46 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..
- [11] QUOILIN, S., LEMORT, V.: *Technological and Economical Survey of Organic Rankine Cycle Systems*, [online] URL:< http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/14609/1/ECEME1_PaperULg_SOVL090916.pdf > [cit. 2012-7-11]

-
- [12] ŠTĚPÁN, D.,: *Spalovací motory a jejich vliv na životní prostředí*, [online] URL:< envi.upce.cz/pisprace/prezencni/23_05_3.doc > [cit. 2013-5-15]
- [13] Tepelné hospodářství Města T. Sviny spol. s.r.o. [online] URL:< <http://www.tsviny.cz/pages/stranka.php?id=45> >
- [14] TTS Group, [online] URL:< <http://www.tts.cz/cz/energo/> >
- [15] Žatecká teplárenská, a.s., [online] URL: < <http://www.ztas.cz/> >
- [16] KUNC, J.,: ORC technologie v realizaci (II), [online] URL: < <http://www.tzb-info.cz/2834-orc-technologie-v-realizaci-ii-trhove-sviny-srovnani> > [cit. 2013-5-15]
- [17] KUNC, J.,: ORC technologie v realizaci (I), [online] URL: < <http://www.tzb-info.cz/2537-orc-technologie-v-realizaci-i-lienz-trebic> > [cit. 2013-5-15]
- [18] B:POWER INVESTMENT, a. s., [online] URL: < <http://www.bpower.cz> >
- [19] GB Consulting, s.r.o., [online] URL: < <http://www.gbconsulting.cz/> >
- [20] Schiestl spol. s r.o., Kotle na biomasu, [online] URL: < <http://www.schiestl.cz/> >
- [21] TEDOM s.r.o., Kogenerační jednotky, [online] URL: < <http://kogenerace.tedom.com/> >
- [22] GROSS STAHL, s.r.o., Katalog trubek, [online] URL: < <http://www.gross-stahl.cz/katalog/trubky-kruhove-pistnice1.pdf> > [cit. 2013-4-25]
- [23] Lucefin S.p.A., [online] URL: < http://www.lucefin.com/wp-content/files_mf/0410crmo91023.pdf > [cit. 2013-5-05]
- [24] Energetický regulační úřad, Energetický regulační věstník, [online] URL:< http://www.eru.cz/user_data/files/ERV/ERV8_2012.pdf > [cit. 2013-5-19]
- [25] Česká Národní Banka, [online] URL:< <http://cnb.cz>>, [cit. 2013-5-19].

Seznam použitých obrázků

Obr. 1 Schéma kogenerační jednotky s kondenzační turbínou [10]	3
Obr. 2 Energetická bilance oddělené a kombinované výroby [10]	4
Obr. 3 Schéma a T-s diagram ORC oběhu [4]	7
Obr. 4 Možnosti aplikace ORC oběhu [6]	8
Obr. 5 Schéma zapojení ORC v návaznosti na spalování biomasy [6]	9
Obr. 6 Schéma zapojení ORC v návaznosti na spalování bioplynu [6]	10
Obr. 7 Schéma zapojení ORC v návaznosti na spalování SynGasu [6]	10
Obr. 8 Schéma zapojení ORC v návaznosti na geotermální energii [6]	11
Obr. 9 Schéma zapojení ORC v návaznosti na solární energii [6]	11
Obr. 10 Schéma zapojení ORC pro využití zbytkového tepla ve spalinách [6]	12
Obr. 11 Schéma zapojení ORC pro využití odpadního tepla [6]	12
Obr. 12 Slepá mapa ČR s aplikacemi ORC	13
Obr. 13 ORC jednotka při montáži [16]	14
Obr. 14 Teplárna v Třebíči [14]	15
Obr. 15 Zapojení ORC jednotky v teplárně v Třebíči [17]	16
Obr. 16 Teplárna v Žatci [15]	17
Obr. 17 T-s diagramy chladiv R22, R11, isopentane [8]	20
Obr. 18 Graf závislosti výparného tepla na tlaku	24
Obr. 19 Graf závislosti výparného teploty na tlaku	27
Obr. 20 T-s diagram R245fa bez regenerace (REFPROP)	28
Obr. 21 Výpočet parametrů ORC bez regenerace $\Delta p = 3 - 0,65$ MPa (Cycle-Tempo)	30
Obr. 22 QT-diagram přenosu tepla v kondenzátoru $\Delta p = 3 - 0,65$ MPa (Cycle-Tempo)	31
Obr. 23 Výpočet parametrů ORC bez regenerace $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)	31
Obr. 24 QT-diagram přenosu tepla v kondenzátoru $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)	31
Obr. 25 T-s diagram R245fa bez regenerace (REFPROP)	32
Obr. 26 Obecný QT diagram regenerátoru (Cycle-Tempo)	32
Obr. 27 Výpočet parametrů ORC s regenerací $\Delta p = 3 - 0,65$ MPa (Cycle-Tempo)	33
Obr. 28 QT diagramy kondenzátoru a regenerátoru $\Delta p = 3 - 0,65$ MPa (Cycle-Tempo)	34
Obr. 29 Výpočet parametrů ORC s regenerací $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)	34
Obr. 30 QT diagramy kondenzátoru a regenerátoru $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)	34
Obr. 31 Výpočet parametrů ORC bez regenerace $\Delta p = 3 - 0,65$ MPa (Cycle-Tempo)	35
Obr. 32 Výpočet parametrů ORC bez regenerace $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)	36
Obr. 33 Výpočet parametrů ORC s regenerací $\Delta p = 3 - 0,65$ MPa (Cycle-Tempo)	36
Obr. 34 Výpočet parametrů ORC s regenerací $\Delta p = 3 - 0,2$ MPa (Cycle-Tempo)	37
Obr. 35 KJ Quanto D580 SP BIO [21]	39
Obr. 36 Výpočet parametrů ORC provedený v programu Cycle-Tempo	39
Obr. 37 Průběh teplot v parogenerátoru	44
Obr. 38 Rozložení trubek a jejich vzdálenosti na trubkovnici	44
Obr. 39 Náčrt parogenerátoru	48
Obr. 40 Průběh Cash Flow	50

Seznam použitých symbolů

Při výpočtu provozních parametrů:

Označení	Jednotka	Název
p	Pa	tlak
η	%	účinnost
t	°C	teplota
i	kJ/kg	entalpie
X	-	suchost
\dot{m}	kg/s	hmotnostní průtok
Δp	Pa	tlakový spád

Indexy

1,2,3,4,21,41	stav v diagramu
t	turbína
č	čerpadlo
iz	izoentropický děj
pg	parogenerátor
m,el	mechanická, elektrická (celková)

Při návrhu parogenerátoru:

Označení	Jednotka	Název
\dot{V}	Nm ³ /h	objemový průtok
\dot{M}	kg/h	hmotnostní průtok
ρ	kg/Nm ³	hustota
t	°C	teplota
i	kJ/Nm ³ ;kJ/kg	entalpie
Q	W	tepelný výkon
w	m/s	rychlost
n	-	počet trubek
D	m	vnější průměr trubky
d	m	vnitřní průměr trubky
φ_{H2O}	%	objemový zlomek vody
λ	W/mK	součinitel tepelné vodivosti
ν	m ² /s	kinematická viskozita
cp	kJ/Nm ³ ;kJ/kgK	měrná tepelná kapacita
Re	-	Reynoldsovo číslo
Nu	-	Nusseltovo číslo
x	-	substituční faktor
Pr	-	Prandtlovo číslo
y	-	korekční faktor
α	W/mK	součinitel přestupu tepla
k	W/m ² K	součinitel prostupu tepla
Δt	°C	teplotní spád
A	m ²	plocha
l	m	délka

R	m	vzdálenost svazků od osy
s	m	rozteč mezi svazky
z	-	korekční faktor
K	mm	střední drsnost trubek
ξ	-	součinitel ztrát
Δp	Pa	tlaková ztráta
g	m/s ²	gravitační zrychlení
h	m	výška

Indexy

sp	spaliny
12	vstup pracovní látky
22	výstup pracovní látky
11	vstup spalin
21	výstup spalin
s	stěna
stř	střední
pr	průměrný
o	ohyb
r	rovný
sk,skut	skutečný
z	ztráty
t	třecí
m	místní

Seznam příloh

Příloha 1	Charakteristika KJ Quanto 580 SP BIO
Příloha 2	Charakteristika KJ Quanto 1100 SP BIO KON
Příloha 3	Bezpečnostní list R245fa
Příloha 4	Charakteristika materiálu 10CrMo9-10

Přílohy:

Základní charakteristika

Kogenerační jednotky (dále KJ) TEDOM řady Quanto se řadí mezi stroje středních a vyšších výkonů (cca od 190 kW), v nichž jsou použity průmyslové plynové motory renomovaných výrobců.

Vlastní KJ Quanto D580 je určena k instalaci do strojovny a je tvořena několika částmi. První z nich je modul motorgenerátoru obsahující soustrojí motoru s generátorem, umístěné na základovém rámu a opatřené protihlukovým krytem. Další částí je technologický modul a tlumič výfuku k volné zástavbě do spalínovodu strojovny, dále volně stojící elektrické rozvaděče a plynová trasa určená k zástavbě do plynovodu. KJ je určena k provozu na bioplyn skupiny č. 1, pro paralelní provoz se sítí: 400V/50Hz. Teplovodní okruh je přizpůsoben teplotnímu spádu 90/70°C.

Přednosti KJ TEDOM

- automatická regulace bohatosti směsi - cesta ke snížení emisí patří ke standardní výbavě KJ
- KJ tvoří lehce připojitelný kompaktní celek
- použití protihlukového krytu vykazuje KJ nízkou hlučnost
- možnost přizpůsobení k různým tepelným spádům otopných soustav
- díky modulárnímu uspořádání řídicího systému je možno snadno rozšířit množství binárních a analogových vstupů pro monitorování a řízení následných zařízení, případně umožnit změnu provozu z pohledu el. připojení (SPE, SPI, atd..)
- na zákaznickou svorkovnici je možno připojit základní signály pro ovládání KJ (externí nouzové zastavení, externí spouštění) – na požadavek zákazníka
- jednotka je funkčně odzkoušena ve výrobním závodě
- KJ TEDOM jsou na základě poznatků z již realizovaných zakázek neustále inovovány

Z rozhodnutí notifikované osoby 1015* byl vydán certifikát „E-30-01001-10“ potvrzující shodu výrobků řady Quanto s požadavky směrnice 2009/142/ES (nařízení vlády č. 22/2003 Sb.). Společnost TEDOM je také držitelem certifikátů řízení jakosti QMS a EMS. Na základě zkoušek provedených na řídicím rozvaděči udělil Elektrotechnický zkušební ústav, certifikační orgán č. 3018 akreditovaný Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. podle ČSN EN 45011, certifikát č. 1081012. Výrobek je mimo jiné certifikován pro Rusko, Ukrajinu a Bělorusko.

* Strojírenský zkušební ústav s.p., Brno



Ilustrační obrázek

provedení	protihlukový kryt
provoz	SP – synchronní, paralelně se sítí
palivo	bioplyn

Základní technické údaje

jmenovitý elektrický výkon	600 kW
maximální tepelný výkon	646kW
příkon v palivu	1405 kW
účinnost elektrická	42,7%
účinnost tepelná	46,0 %
účinnost celková (využití paliva)	88,7%
spotřeba plynu při 100% výkonu	216 Nm ³ /h
spotřeba plynu při 75% výkonu	167 Nm ³ /h
spotřeba plynu při 50% výkonu	121 Nm ³ /h

Základní technické údaje jsou platné pro bioplyn skupiny 1, o obj. obsahu 65% metanu a podmínkách dle dokumentů „Platnost technických údajů“ a „Technická instrukce – plynná paliva“

Požadovaný min. trvalý elektrický výkon je 50% jmenovitého výkonu

Spotřeba plynu je uvedena pro bioplyn s obsahem metanu 65%, při normálních podmínkách (0°C, 101,325 kPa).

Plnění emisních limitů

emise (při 5%O ₂ ve spalínách)	CO	NO _x
Česká Republika: NV ČR č 146 z roku 2007	1300 mg/Nm ³	500 mg/Nm ³
zahraničí: TA-Luft 2002	1000 mg/Nm ³	500 mg/Nm ³

Generátor

Zdrojem elektrické energie je synchronní generátor MJB 400 LA4, výrobek firmy Marelli, nebo rovnocenný výrobek, se základními parametry dle uvedeného přehledu.

výkon generátoru	743 kVA / 600 kW
cos φ	0,8 / 1,0
účinnost v pracovním bodě	96,7 %
napětí	400 V
frekvence	50 Hz

Motor

K pohonu jednotky je použit plynový spalovací motor TCG 2016 V12 C, výrobek firmy MWM, Německo.

počet válců	12
uspořádání válců	do V
vrátání × zdvih	132 x 160 mm
zdvihový objem	26,3 dm ³
kompresní poměr	15 : 1
otáčky	1500 min ⁻¹
spotřeba oleje normál / max.	0,20 g/kWh
max. výkon motoru	620 kW

Tedom TCG 2016 V12 BG65%CH₄ ;26.09.2011



Ilustrační obrázek

Tepelný systém

Tepelný systém KJ je z hlediska odběru tepelného výkonu tvořen dvěma nezávislými okruhy, sekundárním a technologickým. Maximální tepelný výkon jednotky je součtem tepelných výkonů obou okruhů při jejich plném využití.

Sekundární okruh

- představuje okruh, kterým je zajištěno vyvedení hlavního tepelného výkonu jednotky (získané částečným předchlazením plnicí směsí, chlazením vodního pláště motoru a spalin). Okruh standardně pracuje s teplotami vratné vody od 40 do 70°C. Dodržení nejvyšší teploty 70°C je nutné pro bezporuchový chod jednotky. Okruh není vybaven oběhovým čerpadlem. Okruh je osazen trojcestným ventilem se servopohonem (vč. ovládní) pro dosažení teplotní stabilizace vody vracející se do sek. okruhu.

Parametry sekundárního okruhu:

teplonosné médium	voda
maximální tepelný výkon okruhu	597 kW
jmenovitá teplota vody vstup / výstup	70/90 °C
teplota vratné vody min / max	40/70 °C
jmenovitý průtok	7,2 kg/s
max. pracovní tlak	600 kPa
min. pracovní tlak	100 kPa
hydraulický objem KJ ¹⁾	335 dm ³
tlaková ztráta při jmenovitém průtoku	90 kPa
jmenovitý teplotní spád	20 °C

1) celková hodnota (modul motorogenerátoru a technologický modul bez propojovacího potrubí)

Komponenty sek. okruhu jsou osazeny jak na modulu motorogenerátoru, tak na technol. modulu. Při instalaci KJ se provádí potrubní propojení obou modulů.

Pro využití tepelného výkonu spalin k jiným účelům, jsou uvedeny parametry spalin:

tepelný výkon spalin (vychlazení na 150°C)	296kW
teplota spalin	444 °C

Není-li v okrajových provozních režimech možné odvést tepelný výkon okruhu, lze tento výkon, nebo jeho část odvádět chladicí jednotkou pro nouzové chlazení, kterou je možné samostatně dodat.

primární okruh

-představuje vnitřní uzavřený tlakový okruh, který odebírá teplo z vodního pláště motoru a předává ho do sekundárního okruhu.

tepelný výkon okruhu	301 kW
max. pracovní tlak	300 kPa
množství chladicí kapaliny v prim. okruhu	160 dm ³

Technologický okruh

- představuje okruh chlazení plnicí směsí. Úroveň vychlazení tohoto okruhu bezprostředně ovlivňuje dosažení základních technických parametrů jednotky. Okruh pracuje s teplotou vratné kapaliny 50°C (na vstupu do chladicí plnicí směsí spalovacího motoru). Okruh je uvnitř modulu KJ osazen vyrovnávací tlakovou expanzí, poj. ventilem a oběhovým čerpadlem.

Parametry technologického okruhu:

teplonosné médium	voda+ etylenglykol
koncentrace etylenglykolu	35 %
tepelný výkon okruhu ¹⁾	49kW
teplota chladicí kapaliny (výstup z KJ - informativní)	(45,0) °C
teplota chladicí kapaliny (vstup do KJ)	40,0 °C
jmenovitý průtok	2,6 kg/s
tlaková rezerva ²⁾	85 kPa
nejvýše přípustná max. hydrostat. výška soustavy	10 m
max. připojitelný objem soustavy mimo modul KJ ³⁾	255 dm ³
max. pracovní přetlak soustavy v KJ	300 kPa
min. pracovní tlak soustavy v KJ	50 kPa
hydraulický objem okruhu v KJ	cca 45 dm ³

1) pro návrh chladicích jednotek a ostatních zařízení pro přenos tepla se doporučuje navýšit uvedenou hodnotu o „výpočtovou rezervu“ cca 20 %

2) tlaková rezerva vnitřního čerpadla pro krytí tlakových ztrát vnějších částí okruhu

3) překročí-li připojený objem uvedenou hodnotu, je nutno instalovat do soustavy přídatnou expanzní nádobu

Tepelný výkon technologického okruhu je určen pro využití v nízkoteplotní soustavě (předehřev TUV, ohřev vody v bazénech či jiných technologiích). Není-li v okrajových provozních režimech KJ možné odvést celý tepelný výkon jednotky, je možné na přání dodat chladicí jednotku pro nouzové chlazení části nebo celého tepelného výkonu okruhu.

Topná voda pro náplň hydraulických okruhů musí být upravená, její složení musí odpovídat dokumentu „Technická instrukce – vodní okruhy“.

Palivo, přívod plynu

Technické parametry uvedené v této specifikaci jsou platné pro bioplyn skupiny č. 1 (ve smyslu navazujícího dokumentu „Technická instrukce- plyná paliva“).

obsah metanu (obj.)	65 %
min. obsah metanu (obj.)	> 50 %
výhřevnost	23,4 MJ\N/m ³
min. metanové číslo	> 80
tlak plynu ¹⁾	8 ÷ 15 kPa
max. změna tlaku plynu při změnách spotřeby	10 %
teplota plynu	10 ÷ 35 °C

1) jedná se o pevnou hodnotu nastavitelnou v uvedených mezích

Plyn musí splňovat další parametry uvedené v dokumentu „Technická instrukce - plyná paliva“. Plynová trasa jednotky je sestavena v souladu s TPG G 811 01 a obsahuje ruční uzavírací armaturu čistič plynu, sestavu dvou nezávislých rychlouzavíracích elektromagnetických ventilů s odvodušněním mezikusu pro uzavření přívodu plynu při vypnutí jednotky, nulový regulátor tlaku plynu. Tato sestava je dodána volně s modulem motorgenerátoru (určena pro zástavbu do přívodu plynu mimo modul motorgenerátoru dle příslušné montážní instrukce). Vnitřní část plynové trasy, v modulu motorgenerátoru pro připojení ke směšovači, obsahuje kompenzátor pro spojení pevné a pohyblivé části KJ. Pro správný provoz jednotky je požadována plynová přípojka o patřičné dimenzi s přiměřeným akumulacním objemem, aby nedošlo k poklesu tlaku plynu v rozvodu v době skokového odběru plynu, zakončená ručním plynovým uzávěrem a opatřená tlakoměrem. Dále je nutné propojit vyvedení odvětrání mezikusu elektromagnetických ventilů s odvětrávacím potrubím kotelny.

Spalovací a ventilační vzduch

Nevyužitelné teplo (vysálané z horkých částí) je z modulu motorgenerátoru odváděno ventilačním vzduchem. Ten vstupuje do protihlukového krytu motorgenerátoru a vystupuje z něj prostřednictvím tlumičů hluku, umístěných na přírubách na stropě protihlukového krytu. Na tlumiče je možno napojit vzduchotechnické potrubí. Proudění ventilačního vzduchu zajišťují ventilátory na stropě protihlukového krytu.

nevyužitelné teplo odvedené ventilačním vzduchem	48 kW
množství spalovacího vzduchu	2 337 Nm ³ /h
min. množství ventilačního vzduchu	12 734 Nm ³ /h
teplota vzduchu na vstupu ventilace min / max	20 ÷ 35 °C
teplota vzduchu na vstupu ventilace doporučená	25 °C
max. teplota vzduchu na výstupní přírubě	50 °C
max. protitlak na přírubě odvodu ventilačního vzduchu ¹⁾	120 Pa

1) celkový součet tlakových ztrát připojených vzduchotechnických potrubí bez nutnosti použití dalšího ventilátoru

Pro přívod vzduchu do strojovny je třeba se řídit dokumentem „Technická instrukce – spalovací a ventilační vzduch“.

Odvod spalin a kondenzátu

Vyvedení spalin z vlastního modulu motorgenerátoru je zakončeno přírubou. Tato příruba se propojí potrubní soustavou s technologickým modulem. Technologický modul je tvořen rámovou konstrukcí, na které je umístěno příslušenství motorgenerátoru:

- spalinový výměník
- trojcestný ventil sek. okruhu

Z technologického modulu jsou spalinové odváděny do komína. Do spalinovodu za technol. modul se provede instalace tlumiče výfuku.

Materiál spalinovodu a tepelná izolace spalinovodu mezi modulem motorgenerátoru a technologickým modulem musí být odolná teplotám do 700°C, kouřovod mezi technologickým modulem a komínem teplotám do 200°C. Maximální tlaková ztráta celého spalinovodu (bez technologického modulu, tlumiče výfuku) od přírub modulu motorgenerátoru nesmí být větší než 10 mbar.

Při startu jednotky, nebo při nízké teplotě vstupní vody do KJ vzniká ve spalinovodech odvádět. Kondenzát je vhodné odvádět přes odváděč kondenzátu (možno též samostatně dodat společně s KJ). Jeho likvidaci je nutno projednat s příslušným správcem kanalizace v místě instalace.

množství spalin	2533 Nm ³ /h
teplota spalin mezi soustrojím a spalinovým výměníkem jmen / max	444/550 °C
teplota spalin za spal. výměníkem jmen / max	150/180 °C
max. protitlak spalin za přírubou modulu motorgenerátoru *	10 mbar
rychlost spalin na výstupu (DN 250)	22,2 m/s

* = \sum max. hodnot odporů spalinovodů (spojení motorgenerátor - tepelný modul + spalinovod za technol. modulem)

Náplně maziv

množství mazacího oleje v motoru	300 dm ³
objem olejové nádrže pro doplňování	130 dm ³

Hlukové parametry

Hlukové parametry udávají úroveň akustického tlaku, měřenou ve volném zvukovém poli. Stanovení měřících míst a způsob vyhodnocení odpovídá ČSN 09 0862.

protihlukový kryt KJ v 1 m	79 dB(A)
vývod spalin v 1 m od příruby	81 dB(A)

Elektrické parametry

jmenovité napětí	230/400 V
jmenovitý kmitočet	50 Hz
účinnost	0,88L+0,88C
jmenovitý proud při $\cos \varphi=0,8$	1082 A
jištic generátoru	NR400F 3P
zkratová odolnost rozváděče	35 kA
příspěvek vlastního zdroje ke zkratovému proudu	< 15 kA
krytí rozváděče R1 (silový) zavřeno/otevřeno	IP 32/00
krytí rozváděče R2 (ovládací) zavřeno/otevřeno	IP 32/20
krytí rozváděče R3 (frekvenční měniče) zavřeno/otevřeno	IP 32/20
doporučené nadřazené jištění	1600 A
doporučený připojovací kabel * (l < 50m, při t < 35°C)	2x1CYKY (3x240+120)

* Uvedené kabely jsou informativní. Nutno provést kontrolní výpočet na oteplení a úbytek napětí dle skutečné délky, uložení a typu kabelu (maximální povolený úbytek napětí je 10 V)

Provedení rozváděče

Elektrická část KJ je umístěna ve třech samostatně stojících oceloplechových rozváděčích.

Rozváděč R1 (silový) obsahuje:

- jistič generátoru s motorovým pohonem, který jednak chrání generátor a část přívodního vedení proti nadproudu a zkratu a jednak slouží jako spínací prvek při fázování generátoru k síti.
- svorkovnici XV určenou pro připojení kabelu pro vyvedení výkonu
- svorkovnici XG určenou pro připojení generátoru
- měřicí transformátory proudu

Rozváděč R2 (ovládací) obsahuje:

- centrální část řídicího systému a případně jeho rozšiřující moduly
- ovládací panel řídicího systému motoru TEM-EVO a jeho rozšiřující I/O moduly
- jistič a spínací prvky
- ovládací prvky určené pro servisní účely
- napájecí zdroj pro spotřebiče 24VDC
- svorkovnice pro připojení analogových snímačů, binárních spínačů, ovládaných spotřebičů, dálkové komunikace apod.
- zákaznická svorkovnice X4

Rozváděč R3 obsahuje:

- frekvenční měnič ventilátorů chlazení T.O.+N.C.

- frekvenční měnič ventilátorů kapoty

Rozměry jednotlivých rozváděčů jsou uvedeny v následující tabulce:

	Výška [mm]	Šířka [mm]	Hloubka [mm]
R1	2100	800	500
R2	2100	1200	500
R3	2100	600	500

Řídicí systém

Pro ovládání KJ je použit řídicí systém ProCon Sight, který zajišťuje plně automatický chod soustrojí. Jedná se o víceprocesorový modulární systém, sestávající z centrální části, zobrazovací jednotky a rozšiřujících modulů analogových a binárních vstupů a výstupů.

Zobrazovací jednotka

Díky barevnému displeji s velkým rozlišením a kontextovým a navigačním tlačítkům poskytuje zobrazovací jednotka snadnou dostupnost všech údajů o soustrojí, sledovaných hodnot a časových průběhů veličin. Zobrazovací jednotka řídicího systému ProCon Sight komunikuje až v sedmi různých jazycích, z nichž jeden může být grafický (čínština, korejština).



Základní vlastnosti zobrazovací jednotky:

- velký 8" barevný TFT displej s rozlišením 800 x 600 bodů
- jednodušší a rychlejší ovládání použitím kontextových tlačítek
- trvale zobrazený stavový řádek
- zobrazení časových průběhů vybraných veličin – grafy
- přehlednější zobrazení historie
- operační systém Windows CE

Zobrazovací jednotka řídicího systému TEM EVO



Základní vlastnosti zobrazovací jednotky:

- velký 15" barevný TFT displej
- jednodušší a rychlejší ovládání použitím kontextových tlačítek
- trvale zobrazený stavový řádek
- zobrazení časových průběhů vybraných veličin – grafy

Měření veličiny

Řídicí systém měří a vyhodnocuje následující veličiny.

Elektrické hodnoty:

- 3×napětí generátoru
- 3×proud generátoru
- 3×napětí sítě
- 1×proud sítě

Uvedené elektrické veličiny slouží pro:

- vyhodnocení parametrů sítě
- automatické fázování generátoru k síti,
- výpočty a vyhodnocování potřebných elektrických veličin

Technologické hodnoty:

KJ je vybavena sadou binárních a analogových snímačů monitorující veškeré potřebné procesy s cílem jejich optimalizace, která probíhá prostřednictvím příslušných výstupů vlastních spotřeb. Způsoby ovládání

Způsoby ovládání

Místní:

- pomocí tlačítek na řídicím systému nebo na zobrazovací jednotce

Dálkové (na přání):

- bez-napětovým kontaktem (časové hodiny, přijímač hromadného dálkového ovládání, apod.)
- podle úrovně požadovaného výkonu či úrovně spotřeby objektu
- z místního či vzdáleného PC
- pomocí SMS zpráv

Regulace dle spotřeby objektu (na přání):

- informaci o spotřebě objektu řídicí systém získává z převodníku, který měří směr a velikost odběru/dodávky ze/do sítě

Regulace na požadovaný výkon (na přání):

- analogovým signálem – např. signálem 0/4÷20mA
- datovou cestou – např. prostřednictvím protokolu MODBUS-RTU

Monitorování chodu soustrojí

Z místního PC – možnosti připojení:

- RS232
- RS485
- USB

Ze vzdáleného PC – možnosti připojení:

- analogový modem
- GSM modem
- internet

Prostřednictvím SMS

Barevné provedení

motor, generátor	RAL 5010 (modrá)
protihlukový kryt, vnitřní části jednotky	RAL 5013 (modrá)
základový rám	RAL 9017 (černá)

Rozměry a hmotnosti jednotky

	modul motorgenerátoru	technologický modul
délka transportní	5 100 mm ¹⁾	4 400 mm
šířka	2 500 mm	1 300 mm
výška transportní	2 700 mm ²⁾	2 150 mm
přepravní hmotnost	9 500 kg	1 900 kg

1) rozměr nezahrnuje délku vč. nainstalované plynové trasy

2) rozměr nezahrnuje výšku vč. vzduchotechnických tlumičů

	tlumič výfuku
délka celková	3 600 mm
průměr	ø 700 mm
montážní poloha	horizontální
přepravní hmotnost	cca 700 kg

Navazující podklady

- rozměrový náčrt: TEDOM Quanto D580, č.v. R0573D
- schéma: Quanto D580, č.v. SD5.01A
- obecně závazné podklady dle dokumentu „Přehled platných tech. dokumentů“

Rozsah dodávky

Standardní

- modul motorgenerátoru KJ vč. protihlukového krytu
- technologický modul KJ
- vzduchotechnický tlumič sání a výtlačku (2ks) k zástavbě do vzduchotechnických potrubí strojovny
- tlumič výfuku k zástavbě do kouřovodu strojovny
- plynová trasa k zástavbě do přívodu plynu
- samostatně stojící elektrické rozváděče

Mimo standardní rozsah

- chladicí jednotka pro chlazení technologického okruhu
- chladicí jednotka pro nouzové chlazení sek. okruhu
- odváděč kondenzátu
- dovybavení elektro dle požadavků zákazníka viz kapitola Způsoby ovládání

Upozornění

Výrobce si vyhrazuje právo změny tohoto dokumentu a navazujících podkladů.

Základní charakteristika

Kogenerační jednotky TEDOM řady QUANTO se řadí mezi stroje středních a vyšších výkonů. Varianta strojů Quanto C používá vysoce kvalitní plynové motory americké firmy Caterpillar. Řada středních výkonů je představována rozsahem výkonů od 190 do 1200 kW_{el}. Blokové uspořádání těchto jednotek obsahuje soustrojí motor-generátor, kompletní tepelné zařízení jednotky a tlumiče výfuku. Kogenerační jednotka dle této technické specifikace je určena pro použití na bioplyn, je v kontejnerovém provedení, určená pro venkovní provoz, se synchronním generátorem, pro paralelní provoz se sítí o napětí 400V, pro teplovodní okruhy 90/70°C a plní emisní limity dle nařízení vlády č. 352 z 3.7. 2002.

Základní technické údaje

jmenovitý elektrický výkon	1100	kW
maximální tepelný výkon sek. okruhu	1187	kW
příkon v palivu	2981	kW
účinnost elektrická	36,9	%
účinnost tepelná	39,8	%
účinnost celková (využití paliva)	76,7	%
spotřeba plynu při 100% výkonu	459	Nm ³ /h
spotřeba plynu při 75 % výkonu	363	Nm ³ /h
spotřeba plynu při 50 % výkonu	257	Nm ³ /h

Základní technické údaje jsou platné pro standardní podmínky podle dokumentu „Platnost technických údajů“ a dokumentu „Technická instrukce - plyná paliva“

Požadovaný min. trvalý elektrický výkon je 50% maximálního výkonu

Spotřeba bioplynu plynu je uvedena pro bioplyn s objemovým obsahem CH₄ 65% při normálních podmínkách (0 °C, 101,325 kPa)

Motor

K pohonu jednotky je použit plynový spalovací motor G 3516, výrobek firmy Caterpillar, USA

počet válců	16	stupeň komprese	11 : 1
uspořádání válců	do V	pracovní otáčky	1500 min ⁻¹
vrtání x zdvih	170 x 190 mm	spotřeba oleje normal/max	0,1/0,5 g/kWh
zdvihový objem	69000 cm ³	max. výkon motoru	1136 kW

Generátor

Zdrojem elektrické energie je synchronní generátor SR 4 B, výrobek firmy Caterpillar USA, s parametry generátoru dle uvedeného přehledu.

výkon generátoru	1375/1100 kVA/kW	napětí	400 V
cos φ	0,8/1 -	frekvence	50 Hz
účinnost v pracovním bodě	97,7 %	jmenovité otáčky	1500 min ⁻¹
zapojení statorového vinutí	do hvězdy	krytí	IP 22
max. pracovní teplota	40 °C		

Tepelný systém

Tepelný systém kogenerační jednotky je tvořen dvěma nezávislými okruhy, sekundárním (SO) a technologickým (TO). Tepelný výkon SO je určen k využití v topné soustavě uživatele, nebo je mařen chladicí jednotkou SO (pokud je produkce tepla nežádoucí). Tepelný výkon TO je mařen vlastní chladicí jednotkou.

a) **Sekundární okruh** - představuje okruh, kterým je zajištěno vyvedení hlavního tepelného výkonu jednotky (získaného chlazením spalovacího motoru a spalin) do topného systému. SO pracuje

s teplotami vratné vody od 65 do 70°C. Dodržení limitních hranic je bezpodmínečně nutné pro bezporuchový chod jednotky. Části sekundárního okruhu umístěné ve venkovním prostoru (propojovací potrubí) musí být zabezpečeny proti zamrznutí dostatečnou koncentrací etylenglykolu ve vodním roztoku. Okruh není osazen oběhovým čerpadlem.

Parametry sekundárního okruhu jednotky:

tepelný výkon okruhu	1187	kW
jmenovitá teplota kapaliny vstup / výstup	70/90	°C
teplota vratné vody min / max	65/70	°C
jmenovitý průtok	15,2 ¹⁾	kg/s
tlaková ztráta při jm. průtoku	30	kPa
max. prac. přetlak	600	kPa
hydraulický objem okruhu v kogenerační jednotce	100	l
jmenovitý teplotní spád	20	K

¹⁾ průtok vztážen k médiu etylen-glykol koncentrace 35 % ve vodním roztoku

Pro teoretické úvahy o využití tepelného výkonu spalin k jiným účelům, jsou uvedeny parametry spalin:

tepelný výkon spalin (pro vychlazení na 150°C)	733	kW
teplota spalin	512	°C

Není-li žádoucí využívat tepelný výkon okruhu, je tepelný výkon sek. okruhu odváděn chladicí jednotkou pro nouzové chlazení (výměník voda-vzduch).

b) Technologický okruh - představuje úplný okruh chlazení plnicí směsi spalovacího motoru. Teplotní úroveň kapaliny tohoto okruhu bezprostředně ovlivňuje vychlazení plnicí směsi spalovacího motoru a tím dosažení základních technických údajů kogenerační jednotky. Okruh pracuje s teplotou chladicí kapaliny (na vstupu do chladiče plnicí směsi) 43°C. Chladicí jednotka pro předávání tepelného výkonu okruhu do venkovního prostředí (výměník voda - vzduch) je instalována na střeše kontejnerové skříně.

Palivo, přívod plynu

Technické parametry uvedené v této specifikaci jsou platné pro bioplyn skupiny č.1 o dále uvedených vlastnostech.

obsah metanu (výhřevnost 23,4 MJ/Nm ³)	65	%
tlak plynu	10 ÷ 20	kPa
max. změna tlaku plynu při změnách spotřeby	10	%
max. teplota plynu	30	°C

Ostatní mezní parametry bioplynu omezující jeho použitelnost jsou uvedeny ve skupině č.1 dokumentu „Technická instrukce – Plynná paliva“.

Plynová trasa kogenerační jednotky je sestavena v souladu s TPG G 811 01 a obsahuje čistič plynu, sestavu dvou nezávislých rychlouzavíracích elektromagnetických ventilů s odvodušněním mezikusu pro uzavření přívodu plynu při vypnutí jednotky, zařízení pro regulaci tlaku plynu a kovovou hadici pro připojení ke směšovači spalovacího motoru. Pro správný provoz jednotky je požadována plynová přípojka o patřičné dimenzi s přiměřeným akumulacním objemem, aby nedošlo k poklesu tlaku plynu v rozvodu v době skokového odběru plynu, zakončená ručním plynovým uzávěrem a opatřená tlakoměrem. Dále je nutné vhodným způsobem realizovat odvětrání mezikusu elektromagnetických ventilů

Spalovací a ventilační vzduch

Nevyužitelné teplo (vysálané z horkých částí) je z prostoru kontejneru odváděno ventilačním vzduchem, který do kog. jednotky vstupuje otvory ve stěně kontejneru a kontejnerovou skříň opouští v protilehlém prostoru. Proudění ventilačního vzduchu zajišťuje ventilátor uvnitř kontejnerové skříně. Vstupní i výstupní

otvor ventilace je opatřen protidešťovou žaluzií. Část vzduchu je uvnitř kontejnerové skříně oddělována od ventilačního vzduchu a použita jako spalovací vzduch.

nevyužitelné teplo odvedené ventilačním vzduchem	153	kW
množství spalovacího vzduchu	4360	Nm ³ /h
jm. množství ventilačního vzduchu	28 500	Nm ³ /h
teplota venkovního vzduchu min / max	-20/35	°C

Pro teplotu vnitřního prostoru kontejnerové skříně jsou instalována elektrická topná tělesa. Ty umožní během odstávky kogenerační jednotky v období topné sezóny temperovat vnitřní prostor kontejnerové skříně a zajistit tak teplotu v kontejnerové skříně potřebnou pro start motorgenerátoru. Topná tělesa jsou navržena pro tepoty výše uvedené tabulky.

Odvod spalin a kondenzátu

Spaliny vystupují z kogenerační jednotky výstupním spalinovodem napojeným na výstupní přírubu tlumiče výfuku. Tlumič výfuku je umístěn na střeše kontejneru. Spaliny je možné dle potřeby odvést do vhodného komínu spalinovodem, nebo mohou přímo vystupovat do venkovního prostředí. Navazující spalinovod (pokud je použit) musí být spádován směrem od KJ. Při použití spalinovodu nesmí být maximální tlaková ztráta celého spalinovodu od příruby jednotky větší než 10 mbar.

množství spalin	4950	Nm ³ /h
teplota spalin jmen / max	150/180	°C

Náplně

množství mazacího oleje v motoru	423	l
objem olejové nádrže pro doplňování	130	l
množství chladicí kapaliny v technol. okruhu	190	l
množství chladicí kapaliny v prim. okruhu	1450	l

Topná voda pro náplň sekundárního okruhu a technologického okruhu musí být upravená, její složení musí odpovídat dokumentu „Technická instrukce – vodní okruhy“. V případě odstavení KJ v období topné sezóny nutno chránit proti zamrznutí vnější části okruhu.

Hlukové parametry

Hlukové parametry udávají úroveň akustického tlaku, měřenou ve volném zvukovém poli. Stanovení měřících míst a způsob vyhodnocení odpovídá ČSN 09 0862.

kog. jednotka ve vzdálenosti 10 m od povrchu kont. skříně	76*	dB(A)
---	-----	-------

**hluk vztážen pro provoz motorgenerátoru a chladících jednotek*

Barevné provedení

motor, generátor, vnitřní části jednotky kontejnerová skřín	CATERPILLAR YELLOW RAL 5013	(žlutá) (modrá)
--	--------------------------------	--------------------

Rozměry kogenerační jednotky

délka	12195	mm
šířka celková / transportní	4250 / / 3000	mm
výška celková / transportní	8250 / 3200	mm
přepravní hmotnost modulu KJ	30 000	kg
přepravní hmotnost ostatních dílů	5 000	kg
provozní hmotnost celé KJ	37 100	kg

Navazující podklady:

- rozměrový náčrt: Quanto C1100 KON č.v. R0448
- obecně závazné podklady dle dokumentu „Přehled platných tech. specifikací“

Rozsah dodávky

standardní

- kontejnerové provedení kogenerační jednotky s chladicími jednotkami technologického a sek.okruhu
- na přání**
- přídatný tlumič výfuku

Chladivo R 245fa

Datum vytvoření 10. února 2012

ODDÍL 1: Identifikace látky/směsi a společnosti/podniku

- 1.1. Identifikátor výrobku** Chladivo R 245fa
 Látka / směs: Látka
 Číslo
 Další názvy látky HFC-245fa, Genetron® 245fa
- 1.2. Příslušná určená použití látky**
 Určená použití látky/směsi Chladicí činidlo, přenos tepla kapaliny
 Nedoporučená použití látky
 Zpráva o chemické bezpečnosti
- 1.3. Podrobné údaje o dodavateli bezpečnostního listu**
- Jméno nebo obchodní jméno EKOTEZ spol. s r.o.
 Místo podnikání nebo sídlo Koněvova 857/47, 130 00 Praha 3
 Česká republika
 Telefon 221599111
 Adresa elektronické pošty ekotez@ekotez.cz
 Adresa www stránek www.ekotez.cz
- 1.4. Telefonní číslo pro naléhavé situace v ČR**
 Toxikologické informační středisko, Na Bojišti 1, 128 08 Praha 2, telefon (24 hodin/den) - 224 919 293, 224 915 402
Telefonní číslo pro naléhavé situace v zahraničí
 neuvedeno

ODDÍL 2: Identifikace nebezpečnosti

- 2.1. Klasifikace látky nebo směsi**
Klasifikace látky podle Nařízení (ES) 1272/2008
 neklasifikováno
Klasifikace látky podle směrnice Rady/548/EHS
 neklasifikováno
Nepříznivé fyzikálně-chemické účinky, účinky na zdraví a životní prostředí, symptomy související s použitím a možným nevhodným použitím
 Vysoké koncentrace par mohou vyvolávat bolesti hlavy, závratě, malátnost a nevolnost a mohou vést k bezvědomí. Látka může způsobit srdeční arytmií. Působí poškození následujících orgánů: kardiiovaskulárního systému, horních cest dýchacích.
- 2.2. Prvky označení**
Nebezpečné látky
 1,1,1,3,3-pentafluorpropan (ES: 419-170-6)
Označení pro aerosolová balení
 Nádobka je pod tlakem: nevystavujte slunečnímu záření a teplotám nad 50°C. Ani vyprázdněnou nádobku neprorážejte a nevhazujte do ohně.
- 2.3. Další nebezpečnost**
 neuvedeno

ODDÍL 3: Složení/informace o složkách

- 3.1. Látky**
Směs obsahuje tyto nebezpečné látky a látky se stanovenými nejvyššími přípustnými koncentracemi v pracovním ovzduší

Identifikační čísla	Název látky	Obsah v % hmotnosti směsi	Klasifikace 67/548//EHS	Klasifikace CLP		Označení CLP			Pozn.
				Kódy tříd a kategorií nebezpečnosti	Kódy standardních vět o nebezpečnosti	Kódy výstražných symbolů a signálních slov	Kódy standardních vět o nebezpečnosti	Kódy doplň. standardních vět o nebezpečnosti	
CAS:460-73-1 ES:419-170-6	hlavní složka látky 1,1,1,3,3-pentafluorpropan	100							

Chladivo R 245fa

Datum vytvoření 10. února 2012

ODDÍL 4: Pokyny pro první pomoc**4.1. Popis první pomoci**

Projeví-li se zdravotní potíže nebo v případě pochybností, uvědomte lékaře a poskytněte mu informace z tohoto Bezpečnostního listu. Při bezvědomí umístěte postiženého do stabilizované polohy na boku, s mírně zakloněnou hlavou, a dbejte o průchodnost dýchacích cest, nikdy nevyvolávejte zvracení. Zvrací-li postižený sám, dbejte aby nedošlo k vdechnutí zvratků.

Při vdechnutí

Odvedte postiženého na čerstvý vzduch. Pokud je to nutné provádějte umělé dýchání a/nebo dýchání kyslíku. Ihned přivolejte lékaře.

Při styku s kůží

Okamžitě odložte veškeré kontaminované oblečení. Zasažené části pokožky umyjte velkým množstvím vody. Při přetrvávajícím podráždění pokožky je uvědomte lékaře.

Při zasažení očí

Vyjměte kontaktní čočky. Při násilně otevřených víčkách vyplachujte 10 - 15 minut čistou pokud možno vlažnou tekoucí vodou a při přetrvávajícím podráždění vyhledejte lékařskou pomoc.

Při požití

Postiženého umístěte v klidu. Ústa vypláchněte vodou (pouze za předpokladu, že postižený je při vědomí); nikdy nevyvolávejte zvracení bez pokynu lékaře. Neprodleně vyhledejte lékařskou pomoc.

4.2. Nejdůležitější akutní a opožděné symptomy a účinky**při vdechnutí**

Látka může způsobit srdeční arytmii.

při styku s kůží

Dráždí

při zasažení očí

Dráždí

při požití

Neexistuje žádné za zmínku stojící nebezpečí.

4.3. Pokyn týkající se okamžité lékařské pomoci a zvláštního ošetření

Nepodávejte adrenalin ani jeho deriváty.

ODDÍL 5: Opatření pro hašení požáru**5.1. Hasiva****Vhodná hasiva**

proud vody, pěna vhodná k hašení alkoholu, práškový hasicí prostředek nebo oxid uhličitý.

Nevhodná hasiva

neuveдено

5.2. Zvláštní nebezpečnost vyplývající z látky nebo směsi

Při požáru může docházet k nebezpečným reakcím v důsledku obsahu fluoru. Ohřev způsobí zvýšení tlaku a nebezpečí prasknutí. Obaly vystavené ohni ochlazujte proudem vody.

Tento produkt není hořlavý při pokojových teplotách a za atmosférického tlaku. Tento materiál se nicméně může vznítit při smísení se vzduchem pod tlakem a po vystavení silným zdrojům hoření.

5.3. Pokyny pro hasiče

Mějte připraven izolační dýchací přístroj a ochranný chemický oděv.

ODDÍL 6: Opatření v případě náhodného úniku**6.1. Opatření na ochranu osob, ochranné prostředky a nouzové postupy**

Okamžitě kontaktujte pohotovostní pracovníky. Noste ochranné vybavení. Chraňte osoby bez ochranného vybavení. Zajistěte přiměřené větrání. V případě nedostatečného větrání používejte vhodné vybavení pro ochranu dýchacích orgánů.

6.2. Opatření na ochranu životního prostředí

Zabraňte dalšímu unikání nebo rozlití, není-li to spojeno s rizikem. Výrobek se rychle odpařuje.

6.3. Metody a materiál pro omezení úniku a pro čištění

neuveдено

6.4. Odkaz na jiné oddíly

neuveдено

Chladivo R 245fa

Datum vytvoření 10. února 2012

ODDÍL 7: Zacházení a skladování**7.1. Opatření pro bezpečné zacházení**

Nádobu otvírejte opatrně, může být pod tlakem. Materiál smí být používán pouze na místech, kde nejsou nechráněná světla, oheň a jiné zápalné zdroje. Nádobka je pod tlakem: nevystavujte slunečnímu záření a teplotám nad 50 °C. Nádobku neprorázejte a nespalujte, ani po použití. Nestříkejte do ohně nebo na žhavé předměty. Nepoužívejte v místech bez dostatečného větrání. Kontaminované pomůcky (kartáče, utěrky) ihned očistěte pomocí vody.

7.2. Podmínky pro bezpečné skladování látek a směsí včetně neslučitelných látek a směsí

Skladujte v původních obalech. Chraňte před přímým slunečním světlem. Nádoby skladujte dobře uzavřené na chladném, dobře větraném místě.

Materiál obalu

FE (40), Ocel (Kovy)



FE

7.3. Specifické konečné/specifická konečná použití

neuveдено

ODDÍL 8: Omezování expozice/osobní ochranné prostředky**8.1. Kontrolní parametry**

žádné

8.2. Omezování expozice**Vhodné technické kontroly**

Pracujte v dobře větraných prostorách. Nekuřte, nejezte a nepijte při práci. Po manipulaci s produktem si vždy umyjte ruce.

Ochrana očí a obličeje

Používejte ochranné brýle s bočními kryty vyhovující normě. V případě nebezpečí rozstříku použijte ochranný obličejový štít

Ochrana kůže

Na ochranu rukou používejte Ochranné rukavice nejlépe z Vitonu (R), Doba průniku: > 480 min, Tloušťka rukavic: 0,7 mm, Vitoject 890, Poznámky: Dodatečný pokyn: Údaje se opírají o kontroly a informace níže uvedeného výrobce rukavic nebo jsou odvozeny dle analogických klíčů podobných substancí. Je nutno dbát na to, že doba použití ochranných rukavic proti chemikáliím může být v praxi na základě mnoha faktorů (např. teplota, jiné nároky, atd.) podstatně kratší než čas permeace uváděný normou. Protože podmínky nasazení zpravidla neodpovídají standardním měřicím podmínkám, neměl by čas nasazení dle doporučení níže uvedeného výrobce rukavic přesahovat z 50% doporučený čas permeace. Z důvodu velké rozmanitosti typů je nutno dbát návodu k použití příslušných výrobců.

Používejte ochranný pracovní oděv a ochrannou obuv.

Ochrana dýchacích cest

Poznámky: V případě nedostatečného větrání použijte vhodné vybavení pro ochranu dýchacích orgánů.

Tepelné nebezpečí

neuveдено

Omezování expozice životního prostředí

neuveдено

Chladivo R 245fa

Datum vytvoření 10. února 2012

ODDÍL 9: Fyzikální a chemické vlastnosti**9.1. Informace o základních fyzikálních a chemických vlastnostech**

vzhled	bezbarvý zkapalněný plyn
skupenství	plynné při 20 °C
barva	bezbarvý
zápach	slabý
teplota tání	-103 °C
teplota varu	15,3 °C
relativní hustota	1,32 g/cm ³ při 20 °C
rozpuštnost ve vodě	7,18 g/l
v methanolu a Diethyletheru	částečně rozpustný
tlak páry	1.227 hPa při 20 °C

9.2. Další informace

Tlak páry při 54,4 °C - 3.882 hPa,
Rychlost odpařování :
<1 Metoda: Ve srovnání s etherem (anhydrid).
>1 Metoda: Ve srovnání s CCl₄.

ODDÍL 10: Stálost a reaktivita**10.1. Reaktivita**

neuveдено

10.2. Chemická stabilita

Termický rozklad: >250 °C

10.3. Možnost nebezpečných reakcí

neuveдено

10.4. Podmínky, kterým je třeba zabránit

Ohřev způsobí zvýšení tlaku a nebezpečí prasknutí. Nádobka je pod tlakem: nevystavujte slunečnímu záření a teplotám nad 50 °C. Nádobku neporážíte a nespalujte, ani po použití. Nestříkejte do ohně nebo na žhavé předměty.

10.5. Neslučitelné materiály

Oxidační činidla, Možnost nekompatibility s materiály citlivými vůči alkáliím. S práškovými kovy

10.6. Nebezpečné produkty rozkladu

Halogenované sloučeniny
Fluorovodík
Karbonylhalogenidy
Oxidy uhlíku

ODDÍL 11: Toxikologické informace**Akutní toxicita komponent směsi**

1,1,1,3,3-pentafluorpropan
LD50, dermálně, potkan nebo králík >2000 mg.kg⁻¹

Známky/symptomy přílišného vystavení: Cílové orgány: Působí poškození následujících orgánů: kardiiovaskulárního systému, poruchy srdečního rytmu, horních cest dýchacích.

11.1. Informace o toxikologických účincích

neuveдено

ODDÍL 12: Ekologické informace**12.1. Toxicita****Akutní toxicita směsi pro vodní organismy**

neuveдено

Akutní toxicita komponent směsi pro vodní organismy

1,1,1,3,3-pentafluorpropan
LC50, 96hod., ryby >81,8 mg.l⁻¹
EC50, 48 hod., dafnie >97,9 mg.l⁻¹

Hromadění ve vodních organismech je nepravděpodobné.

12.2. Persistence a rozložitelnost

neuveдено

12.3. Bioakumulační potenciál

Chladivo R 245fa

Datum vytvoření 10. února 2012

neuveдено

12.4. Mobilita v půdě

neuveдено

12.5. Výsledky posouzení PBT a vPvB

neuveдено

12.6. Jiné nepříznivé účinky

Schopnost vytvořit

skleníkový efekt (GWP): 950

ODDÍL 13: Pokyny pro odstraňování

neuveдено

13.1. Metody nakládání s odpady

Zbytková množství a nezregenerovatelné roztoky předejte osvědčené likvidační firmě. Informujte se u výrobce nebo dodavatele o regeneraci nebo recyklaci. Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a zákon č. 188/2004 Sb., kterým se doplňuje zákon č.185/2001 Sb.

Kód druhu odpadu

140601

Název druhu odpadu

Chlorofluoruhlodíky, hydrochlorofluoruhlodíky (HCFC), hydrofluoruhlodíky (HFC)

Kategorie

N

Podskupina

Odpadní organická rozpouštědla, chladicí média a hnací média rozprašovačů pěn a aerosolů

Skupina odpadu

Odpady organických rozpouštědel, chladiv a hnacích médií (kromě odpadů uvedených ve skupinách 07 a 08)

ODDÍL 14: Informace pro přepravu**14.1. Číslo OSN**

OSN 3163

14.2. Náležitý název OSN pro zásilku

PLYN ZKAPALNĚNÝ, J.N.

14.3. Třída/třídy nebezpečnosti pro přepravu

2 Plyny

14.4. Obalová skupina

neuveдено

14.5. Nebezpečnost pro životní prostředí

neuveдено

14.6. Zvláštní bezpečnostní opatření pro uživatele

neuveдено

14.7. Hromadná přeprava podle přílohy II MARPOL 73/78 a předpisu IBC

neuveдено

14.8. Doplnující informace

Identifikační číslo nebezpečnosti

20

(Kemlerův kód)

UN číslo

3163

Klasifikační kód

2A

Bezpečnostní značky

2.2

**IMDG**

EMS (pohotovostní plán)

F-C, S-V

Námořní znečištění

Ne

Chladivo R 245fa

Datum vytvoření 10. února 2012

ODDÍL 15: Informace o předpisech**15.1. Nařízení týkající se bezpečnosti, zdraví a životního prostředí/specifické právní předpisy týkající se látky nebo směsi****Zdravotnické předpisy**

Nařízení vlády č.361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Zákon č.20/1966 Sb., o péči o zdraví lidu v platném znění. Zákon č.258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví v platném znění.

Předpisy na ochranu ovzduší

Vyhláška č.355/2002 Sb. v platném znění, o emisních limitech.

Požární předpisy

Zákon ČNR č.133/1985 Sb., ve znění platných předpisů. ČSN 65 0201 - Hořlavé kapaliny, provozy a sklady. Vyhláška č.246/2001 Sb., o požární prevenci. Nařízení vlády č.194/2001 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na aerosolové rozprašovače ve znění nařízení vlády č.305/2006.

Právní předpisy, které se vztahují na látku/přípravek: zákon č. 356/2003 Sb. včetně platných vyhlášek a nařízení, odstraňování odpadů se řídí zákonem č. 185/2001 Sb. a č. 188/2004 Sb, ve znění pozdějších předpisů. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č.1907/2006 (REACH). Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, o změně a zrušení směrnice 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006. Seznam závažně klasifikovaných látek dle vyhlášky č.232/2004 Sb. v platném znění. Směrnice Rady 1999/13/ES o omezování emisí těkavých organických sloučenin vznikajících při používání organických rozpouštědel při některých činnostech a v některých zařízeních.

15.2. Posouzení chemické bezpečnosti

neuveдено

16. ODDÍL 16: Další informace**Další informace důležité z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví člověka**

Výrobek nesmí být - bez zvláštního souhlasu výrobce/dovozce - používán k jinému účelu, než je uvedeno v oddílu 1. Uživatel je odpovědný za dodržování všech souvisejících předpisů na ochranu zdraví.

Legenda ke zkratkám a zkratkovým slovům použitým v bezpečnostním listu

CAS	Jednoznačný numerický identifikátor, používaný v chemii pro chemické látky
CLP	Klasifikace, označování a balení
ČSN	Česká technická norma
EC50	Koncentrace látky při které je zasaženo 50 % populace
IC50	Koncentrace působící 50% blokádu
LC50	Smrtelná koncentrace látky, při které lze očekávat, že způsobí smrt 50 % populace
LD50	Smrtelná dávka látky, při které lze očekávat, že způsobí smrt 50 % populace
EINECS	Evropský seznam existujících obchodovaných chemických látek
EmS	Pohotovostní plán
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IATA	Mezinárodní asociace leteckých dopravců
IMDG	Mezinárodní námořní přeprava nebezpečného zboží
MFAG	Příručka první pomoci
MARPOL	Mezinárodní úmluva o zabránění znečišťování z lodí
REACH	Registrace, hodnocení a omezování chemických látek (nařízení EP a Rady (ES) č.1907/2006)
PBT	Persistentní, bioakumulativní a toxický
vPvB	Vysoce perzistentní a vysoce bioakumulativní
IBC	Mezinárodní předpis pro stavbu a vybavení lodí hromadně přepravujících nebezpečné chemikálie

Pokyny pro školení

Seznámit pracovníky s doporučeným způsobem použití, povinnými ochrannými prostředky, první pomocí a zakázanými manipulacemi se směsí.

Doporučená omezení použití

neuveдено

Informace o zdrojích údajů použitých při sestavování bezpečnostního listu

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č.1907/2006 (REACH) v platném znění, Nařízení Evropské komise a Rady (ES) č.1272/2008 v platném znění, Nařízení Komise (EU) č.453/2010, směrnice 67/548/EHS ve znění pozdějších předpisů a 1999/45/ES, Zákon č.356/2004 Sb., o chemických látkách a přípravcích v platném znění, seznam klasifikovaných látek dle Vyhlášky č.232/2004 Sb. v platném znění, údaje od společnosti nebo podniku, databáze nebezpečných látek.

Prohlášení

Chladivo R 245fa

Datum vytvoření 10. února 2012

Bezpečnostní list obsahuje údaje pro zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a ochrany životního prostředí. Uvedené údaje odpovídají současnému stavu vědomostí a zkušeností a jsou v souladu s platnými právními předpisy. Nemohou být považovány za záruku vhodnosti a použitelnosti výrobku pro konkrétní aplikaci.

Quality	10CrMo9-10	<i>Technical card</i>
According to standard	UNI EN 10273: 2008	<i>Lucefin Group</i>
Number	1.7380	

Chemical composition

C%	Si% max	Mn%	P% max	S% max	Cr%	Mo%	Cu% max	Product deviations are allowed
0,08-0,14 + 0.02	0,50 ± 0.05	0,40-0,80 +0.10 -0.05	0,030 + 0.005	0,025 + 0.005	2,00-2,50 ± 0.10	0,90-1,10 + 0.04	0,30 + 0.05	

The aluminium content of the casting should be determined and indicated in the control document

Temperature °C

Hot-forming	Normalizing	Quenching	Tempering	Stress-relieving			Step cooling
1050-900	940-980 air	950 water	650-750 air	50° under the temperature of tempering			593 furnace EN 10028-2
Soft annealing	Spheroidizing	Pre-heating welding	Stress-relieving after welding (PWHT)				
650-700 air (HB max 210)	880-900 furnace cooling	300	600-690 furnace cooling	Ac1 795	Ac3 850	Ms 440	Mf 230

Mechanical properties

Hot-rolled mechanical properties in the delivery condition ^{b)} UNI EN 10273: 2008

size mm		Heat treatment ^{b)}	Kv and traction test at room temperature in longitudinal						
from	to		R	ReH	A%	Kv +20 °C	Kv 0 °C	Kv -20 °C	HB
			N/mm ²	N/mm ² min.	min.	J min.	J min.	J min.	
	16	+NT	480-630	310	18	40			146-192
16	40	+NT	480-630	300	18	40			146-192
40	60	+NT	480-630	290	18	40			146-192
60	100	+NT / +QT	470-620	270	17	40			141-190
100	150	+NT / +QT	460-610	250	17	40			139-183

+NT = normalized and tempered; +QT = quenched and tempered

Min. proof strength 0.2 % at high temperatures UNI EN 10273: 2008

from	to	H.T.	Rp 0.2 N/mm ²									
	16	+NT	288	266	254	248	243	236	225	212	197	185
16	40	+NT	279	257	246	240	235	228	218	205	191	179
40	60	+NT	270	249	238	232	227	221	211	198	185	173
60	100	+NT / +QT	260	240	230	224	220	213	204	191	178	167
100	150	+NT / +QT	250	237	228	222	219	213	204	191	178	167
		°C	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500

Temp.	Mod. of elasticity GPa	Thermal expansion	Thermal conductivity	Specific heat capacity	Specific electric resist.	Density
°C	E long.	10 ⁻⁶ · K ⁻¹	W/(m·K)	J/(Kg·K)	Ohm·mm ² /m	Kg/dm ³
-100	217	10.5		423		
0	213	11.4		456		
20	212	11.5	34.9	461	0.298	7.84
100	207	12.1	37.3	479	0.343	
200	199	12.7	38.2	499	0.413	
300	192	13.2	37.8	517	0.497	
400	184	13.6	36.6	536	0.595	
500	175	14.0	35.2	558	0.703	
600	164	14.4	33.6	587	0.825	

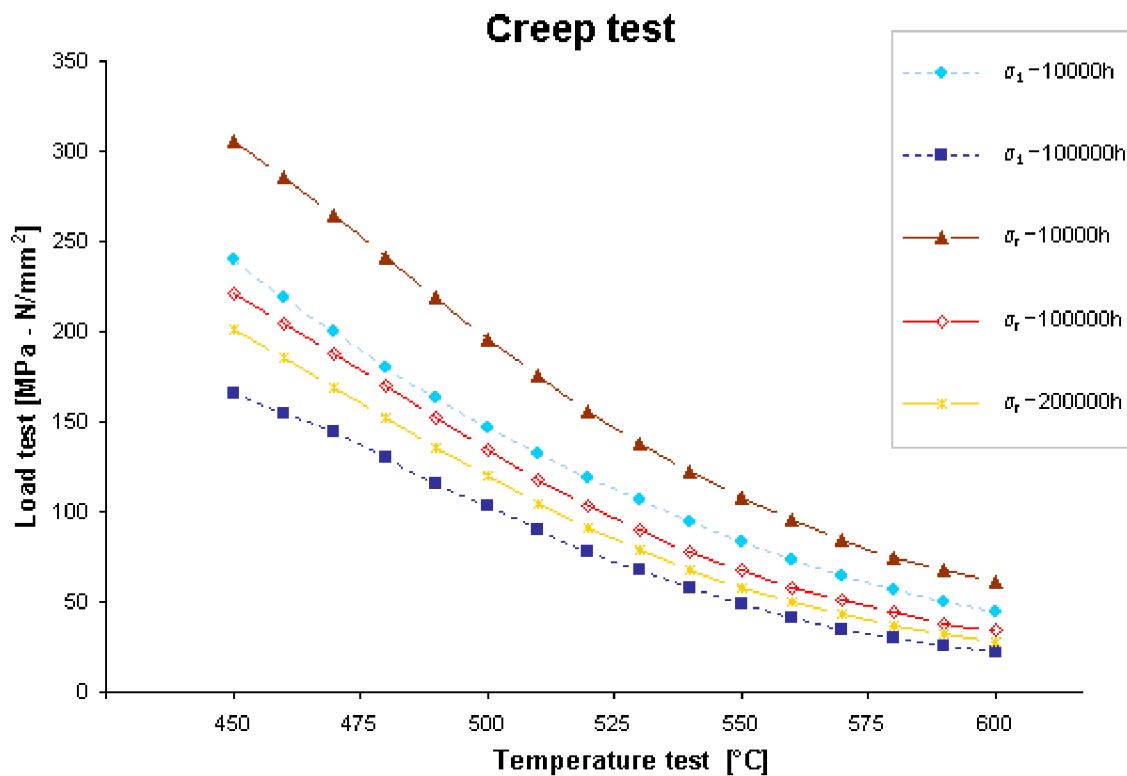
EUROPE EN	ITALY UNI	CHINA GB	GERMANY DIN	FRANCE AFNOR	U.K. B.S.	RUSSIA GOST	USA AISI/SAE
10CrMo9-10	10CrMo9-10	12Cr2MoG	10CrMo9-10	12CD9-10	622/B3	12Ch8	A182 F22

Plastic deformations and creep rupture resistance EN 10273: 2002

°C	σ_1 (1%) N/mm ²		σ_R N/mm ²		
	10.000 h	100.000 h	10.000 h	100.000 h	200.000 h
450	240	166	306	221	201
460	219	155	286	205	186
470	200	145	264	188	169
480	180	130	241	170	152
490	163	116	219	152	136
500	147	103	196	135	120
510	132	90	176	118	105
520	119	78	156	103	91
530	107	68	138	90	79
540	94	58	122	78	68
550	83	49	108	68	58
560	73	41	96	58	50
570	65	35	85	51	43
580	57	30	75	44	37
590	50	26	68	38	32
600	44	22	61	34	28

σ_1 = permanent creep strain 1%

σ_R = creep rupture strength



Lucefin experience. Heat treatment on 15 mm hot-rolled thickness											FATT (Fracture Appearance Transition Temperature)		
Impact test	Kv J	12	18	42	110	130	150	180	200	200	+NT	N = 980 °C air	T = 720 °C air
Fibrosity		2	4	10	50	62	74	100	100	100			
°C		-60	-50	-40	-20	0	+20	+50	+80	+100			
Impact test	Kv J	6	10	90	190	230	250	260	260	260	Q = 950 °C water	T = 720 °C air	
Fibrosity		9	10	25	85	95	100	100	100	100	+PWHT = 690 °C x 10 h furn. cool.		
°C		-110	-100	-80	-60	-40	-20	0	+20	+50	(Post Weld Heat Treatment)		