



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

SYSTÉM NA VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA S TEPELNÝM ČERPADLEM

HEAT PUMP SYSTEM FOR WASTE HEAT UTILIZATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Filip Toman

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Petr Bobák, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: **Filip Toman**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Petr Bobák, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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 bakalářské práce:

System na využití odpadního tepla s tepelným čerpadlem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma je vhodné zejména pro ty studenty, kteří mají ambici a schopnosti zpracovat časově náročnější bakalářskou práci zaměřenou na projekční činnost. Téma předpokládá samostatnou tvůrčí činnost studenta a jeho opravdový zájem o tuto problematiku.

Práce zapadá do výzkumného programu Centra nových technologií pro strojírenství (NETME Centre) při Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně, konkrétně Laboratoře energeticky náročných procesů, v rámci které byl vybudován provoz průmyslové prádely jako model energeticky náročného procesu. Téma je možné v budoucnu rozšířit do podoby diplomové práce řešené v rámci navazujícího magisterského studia Procesní inženýrství.

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat stručný úvod do problematiky systémů tepelných čerpadel typu voda/voda s odkazy na vhodnou literaturu.

Podílet se na návrhu systému s tepelným čerpadlem, který bude využívat teplo z odpadní vody z pračky a předehtívát čerstvou vodu v rámci provozu experimentální prádely v Laboratoři energeticky náročných procesů, NETME Centre, včetně definice potřebných parametrů systému.

Navrhnout různé varianty integrace tepelného čerpadla.

Vytipovat hlavní komponenty tepelného čerpadla (kompresor, expanzní ventil, tepelné výměníky – výparník a kondenzátor, bezpečnostní prvky), chladiivo, případně měřicí prvky.

Vytvořit předběžný návrh konstrukce tepelného čerpadla s rozmístěním hlavních komponent.

Seznam literatury:

Žeravík, A. (2003): Stavíme tepelné čerpadlo. Vydáno vlastním nákladem. ISBN 80-239-0275-X

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Obsahem této bakalářské práce je určení konfigurace a parametrů systému na využití tepla z odpadní vody z praček s využitím tepelného čerpadla. V první části se práce zabývá principem a konstrukcí tepelných čerpadel, dále využitím tepla z odpadních vod pomocí tepelných čerpadel nebo výměníků. Druhá část práce je věnována samotnému návrhu systému pro předehřev čisté vody přiváděné do praček, včetně návrhu komponent tepelného čerpadla a zhodnocení navrženého řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

odpadní voda, energie, využití odpadního tepla, tepelný výměník, tepelné čerpadlo

ABSTRACT

The aim of this thesis is determination of the configurations and parameters of the system for heat recovery from waste water from washing machines with a heat pump. The first part of the thesis deals with the principle and construction of heat pumps and the use of heat from waste water. The second part of the thesis deals with the construction of the system for preheating of clear water which flows to washing machines. The main section of the second part of the thesis is the design of the heat pump with evaluation of the proposed solution.

KEYWORDS

waste water, energy, use of the waste water, heat exchanger, heat pump

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TOMAN, F. *System na využití odpadního tepla s tepelným čerpadlem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Bobák, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Bobákovi, Ph.D., za trpělivost, ochotu a konzultace při zpracování této bakalářské práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Bobáka, Ph.D, a s použitím literatury uvedené v seznamu

V Brně dne

.....

Filip Toman

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Princip fungování tepelného čerpadla	2
1.2	Části tepelného čerpadla.....	4
1.3	Aplikace tepelného čerpadla	7
2	Využití energie z odpadních vod.....	9
2.1	Osazování starých kanalizačních stok tepelnými výměníky	9
2.2	Tepelná energie z nově budovaných kanalizačních stok.....	9
2.3	Přímé využití odpadního vzduchu v prostoru kanalizace	10
2.4	Nepřímé využití tepla z odpadního vzduchu z kanalizace	10
2.5	Porovnání metod na využití potenciální energie z odpadních vod	10
3	Návrh systému.....	12
3.1	Požadované parametry	12
3.2	Možné konfigurace systému	12
3.3	Konfigurace systému s výměníkem a tepelným čerpadlem.....	13
3.4	Výběr konfigurace	15
4	Návrh rekuperačního výměníku	17
4.1	Výpočet výkonu výměníku	18
5	Návrh tepelného čerpadla.....	19
5.1	Kompresor	19
5.2	P-h diagram	19
5.3	Výparník.....	20
5.4	Kondenzátor	21
5.5	Expanzní ventil.....	22
5.6	Ostatní části TČ.....	23
5.7	Konstrukční zásady	25
5.8	Program Coolpack	27
5.9	Tepelný faktor (COP)	28
6	Závěr	29
7	Seznam použitých zkratk	30
8	Seznam obrázků	31
9	Seznam literatury	32

1 Úvod

Od počátku věků využíváme energii ke svému užitku. Jak se společnost vyvíjela, byly zvyšovány i její energetické nároky a množství energie, kterým společnost disponovala, určovalo i její vyspělost. Velký skok přinesla průmyslová revoluce, která přinesla i nové směry, kterými se budeme ubírat. Mimo mechanizace ručních prací se objevili i nové možnosti, jak vyrábět velké množství energie.

S rostoucí populací v dnešní době a obrovské poptávce po energii se musíme stále více věnovat i otázkám ohledně šetření s energií a její recyklací. Získávání tepla z odpadních vod pomocí tepelných čerpadel a výměníků je vhodným způsobem, jak tepelnou energii recyklovat a buď ji navracet zpátky do oběhu kde byla využita, nebo ji využít v dalších aplikacích a snížit tak náklady spojené s provozem.

Tepelná čerpadla (dále jen TČ) se v poslední době dostávají do popředí zájmu jako alternativní zdroje energie. Je to proto, že dokáží odnímat energii z prostředí ve formě tepla, zvýšit její hladinu s dodáním sekundární energie a potom ji účelně použít v různých tepelných aplikacích.

1.1 Princip fungování tepelného čerpadla

TČ je uzavřený okruh (viz obr. 1.1), který obsahuje čtyři základní části: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Sofistikovanější systémy používané v praxi jsou složitější, ale v principu nám stačí pouze tyto čtyři části.

K odebrání tepelné energie z prostředí dochází ve výparníku, kde nízkopotenciální teplo okolí ohřeje podchlazené chladicí medium uvnitř TČ. Ohřáté, ale ještě relativně studené páry chladiva jsou poté nasávány kompresorem, který je stlačí na vyšší tlak, přičemž teplota par prudce stoupne.

Z kompresoru odchází horké páry do kondenzátoru, kde při kondenzaci předá své teplo dalšímu médiu (voda, vzduch). Zkapalněné chladivo, které je stále pod velkým tlakem, přechází do expanzního ventilu, kde se při snižování tlaku opět vypaří a podchladí na nižší teplotu a vrací se zpátky do výparníku, kde cyklus znovu začíná a neustále se opakuje. [3]

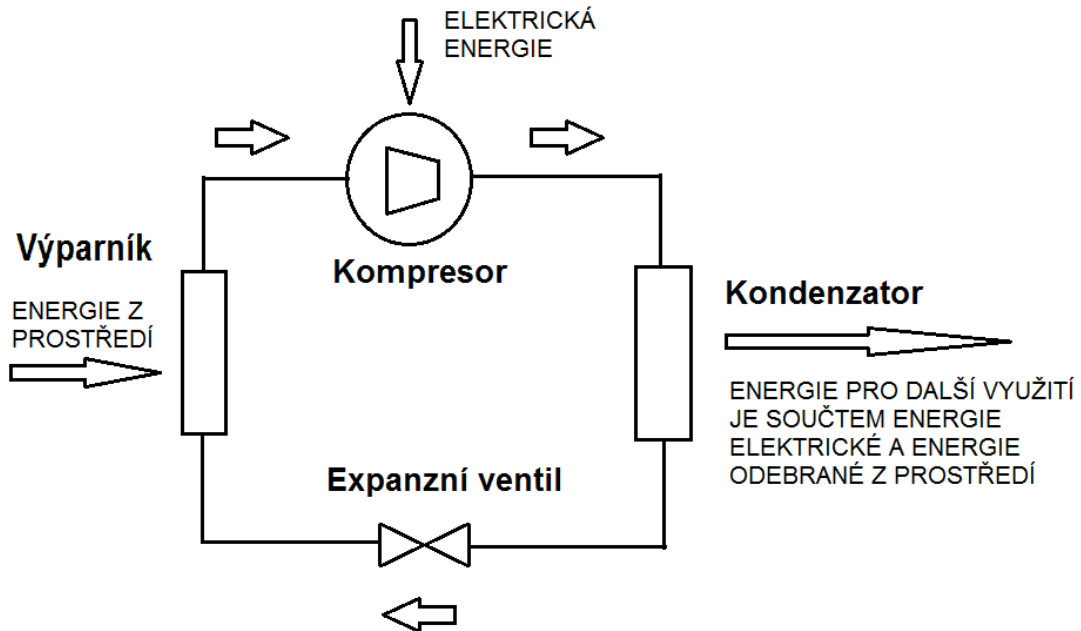
Celý cyklus TČ se řídí podle prvního a druhého termodynamického zákona.

První termodynamický zákon je zákon zachování energie, který říká, že množství energie v uzavřené soustavě je konstantní. To znamená, že nemůže dojít k jejímu nárůstu nebo ztrátě. Můžeme jí pouze přeměnit v jinou formu.

Druhý termodynamický zákon určuje přirozený směr, kterým přírodní procesy probíhají. Pro náš účel použijeme Clausiusovu formulaci, která zní:

„Teplo nemůže při styku dvou těles různých teplot samovolně přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší.“ [2]

Jak je vidět, právě kvůli druhému termodynamickému zákonu musíme pro přenos energie z chladnějšího prostředí do teplejšího prostředí použít TČ. [2]



obr. 1.1 – Schéma tepelného čerpadla

Pracovní cyklus TČ

Teoretický pracovní cyklus TČ lze znázornit v T-S diagramu. Teoretický pracovní cyklus se od reálného trochu liší, ale usnadňuje výpočty parametrů čerpadla.

Z obrázku 1.2, je dobře vidět, že celková energie je součtem energie přijaté z prostředí a energie dodané kompresorem při stlačení.

Ve skutečnosti cyklus neprobíhá tak ideálně, jak je znázorněno v diagramu, a to zejména kvůli tlakovým ztrátám v systému, fyzikálním vlastnostem chladiv, nedokonalému kompresoru a mnoha dalším příčinám, kterým se věnuje řada jiných odborných publikací [1].

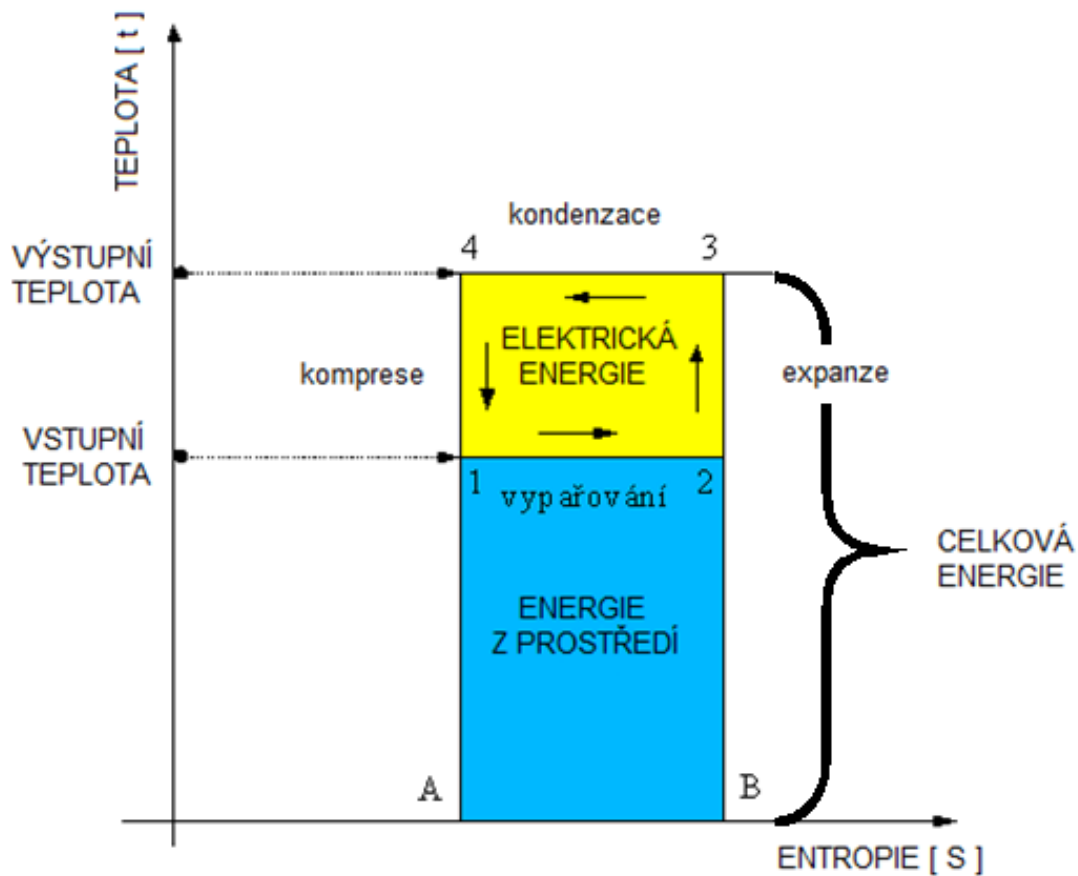
Ukazatel účinnosti TČ se nazývá topný faktor (*COP*) [-]. Správně navržené TČ musí mít *COP* vyšší než jedna. Topný faktor je poměr energie výstupní a energie dodané kompresorem, a lze ho vypočítat podle rovnice 1.1 následovně:

$$COP = \frac{Q_{celk}}{Q_{komp}} \quad (1.1)$$

kde: Q_{celk} výstupní energie [J],

Q_{komp} energie potřebná pro provoz kompresoru [J].

V praxi se snažíme, aby TČ mělo faktor COP co největší, a toho lze dosáhnout jak použitím vhodného kompresoru, tak vhodnou aplikací tepelného čerpadla, protože COP se zvyšuje, když rozdíl mezi teplotami na vstupu a výstupu je co nejmenší. Z toho vyplývá, že TČ se výborně hodí třeba na podlahové vytápění nebo jako předehřev teplé užitkové vody. [2]



obr. 1.2 – Teoretický pracovní cyklus TČ [2]

1.2 Části tepelného čerpadla

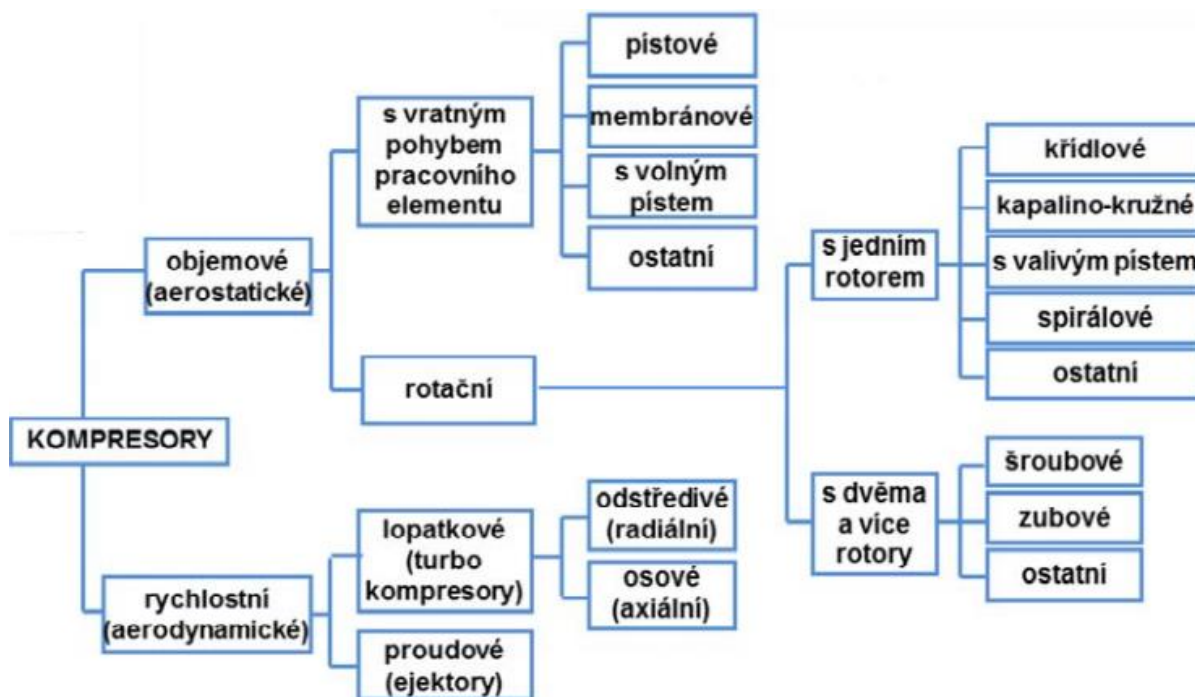
Každé TČ je složeno z mnoha různých částí. Od těch nejjednodušších, které obsahují kolem sedmi částí, až po ty technicky vyspělé, které mohou obsahovat až desítky různých součástí. Zde jsou uvedeny pouze ty nezákladnější.

Kompresor

Kompresor se v tepelném čerpadle používá na stlačení a transport chladiva po celém systému. Kompresor patří k nejdůležitějším částem TČ a jeho volba razantně ovlivní výsledný výkon.

Provedení kompresorů je různé a při volbě typu kompresoru se musí zohlednit celá řada aspektů. Kvůli nárokům, které jsou na kompresory kladeny, patří mezi nejdražší součást v TČ.

Obrázek 1.3 ukazuje rozdělení kompresorů podle principu komprese.



obr. 1.3 – Rozdělení kompresorů podle jejich principu komprese [6]

V objemových kompresorech se nasátý plyn stlačuje. U rychlostních kompresorů se plyn urychluje v oběžném kole odstředivým zrychlením a v difuzéru stlačuje přeměnou kinetické energie v tlakovou. Pístové kompresory se používají především do chladicích zařízení (ledničky, mrazničky) o malém výkonu, ale COP se pohybuje pouze kolem 1. Jde tedy především o ochlazení potravin a ne o úsporu energie.

Pro velké výkony chladicích agregátů, jako jsou klimatizační jednotky velkých budov, skladů nebo mrazáky velkých rybářských lodí, jsou používány kompresory šroubové, kterých se pro ještě větší výkon použije více kusů zapojených paralelně do chladicího oběhu.

V tepelných čerpadlech určených pro domácí použití se začínají prosazovat kompresory typu scroll, jejichž masivnímu rozšíření dosud bránila nedokonalá výroba.

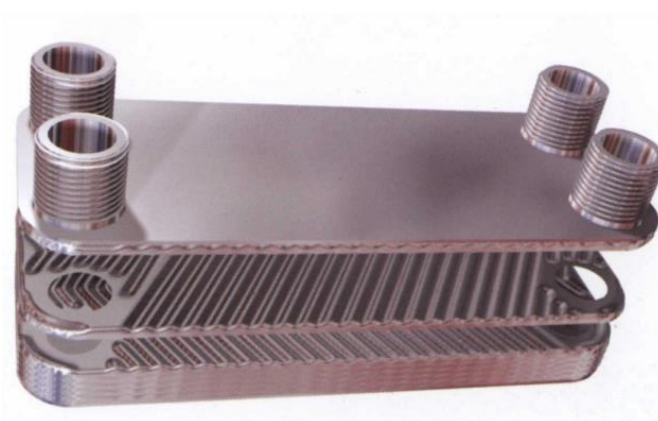
Mezi nejznámější výrobce kompresorů pro TČ v České Republice patří firma Copeland a Maneurop. Zatímco firma Copeland se soustředí na kompresory typu scroll (viz obr. 1.4), firma Maneurop dodává na náš trh kompresory pístové. [2]



obr. 1.4 – Funkční část kompresoru typu scroll [7]

Výparník

Výparník je tepelný výměník (viz obr. 1.5), který je v systému použit pro odebrání nízkopotenciální tepelné energie z prostředí. Volba výparníku závisí na médiu, ze kterého budeme teplo čerpat. Nejčastěji se jako nízkopotenciálních zdrojů tepla používá vzduch, voda a země. Výparník má velmi variabilní velikost. V praxi se používají jak malé vzduchové výměníky, tak velké podzemní kolektory. [3]



obr. 1.5 – Jedna z variant výparníku, deskový výparník Hitachi [8]

Kondenzátor

Kondenzátor je tepelný výměník určený pro předání tepelné energie čerpadla do topného systému. Nejčastěji můžeme narazit na kondenzátory, kde se předává teplo vzduchu nebo vodě. [2]

Expanzní ventil

Expanzní ventil slouží v okruhu TČ ke snížení tlaku kapalného chladiva, které zkondenzovalo v kondenzátoru. Ke snížení tlaku kapaliny dochází při průchodu tryskou, která je řízená teplotou a tlakem v potrubí, které vede do výparníku. K expanznímu ventilu je velmi často připevněná tykavka (viz obr. 1.6), která je s ventilem spojená tenkou kapilárou a zlepšuje funkci ventilu. Tykavka se umísťuje k potrubí vedoucí z výparníku a reaguje na teplotu par uvnitř potrubí. [2]



obr. 1.6 – Expanzní ventil s tykavkou [2]

Speciální skupinou expanzních ventilů jsou tzv. MOP ventily, které mají vypařovací tlak počátečním nastavením omezený.

Chladivo

Chladivo je v TČ přenašečem tepelné energie. Jako chladivo lze teoreticky použít jakoukoliv kapalinu, ale v praxi se vybírají speciální typy chladiv, které se odpařují při nízkých teplotách a snadno kondenzují.

Chladiva do chladicích jednotek nebo tepelných čerpadel mají označení R. V minulosti bylo nejrozšířenější chladivo R12, které ale při úniku do atmosféry narušovalo ozon. R12 se ale stále považuje za referenční chladivo a všechna další chladiva jsou s ní porovnávána.

V dnešní době se vývoj chladiv ubírá především směrem k ekologické nenáročnosti a bezpečnosti. Pěkný přehled chladiv je možné najít v literatuře. [2]

1.3 Aplikace tepelného čerpadla

V praxi existuje několik způsobů použití TČ. Následující část se bude věnovat aplikaci tepelného čerpadla pro přečerpávání tepla z vody do vody. Následující podkapitoly blíže popisují tři možnosti, odkud můžeme tepelnou energii z vodního zdroje čerpat. [2]

Energie z podzemní vody

V ČR jde o nejrozšířenější typ zdroje z vody. Velkou předností tohoto řešení je velká stálost teploty zdroje, a to i v zimním období, takže koeficient COP se nijak razantně nemění.

Konstrukční řešení využití tepla z podzemních vod spočívá ve vyvrtání dvou studní, které jsou od sebe vhodně vzdálené. Vzdálenost záleží na geologickém podloží, přičemž jedna studna je použita jako čerpací studna a druhá jako studna vsakovací. Není možné použít pouze jednu studnu, protože by při provozu TČ mohla zamrzat. Také není možné použítou vodu svést do kanalizace, a to především z legislativního důvodu.

Relativním omezením tohoto řešení je v určitých místech nedostatek spodní vody, či její nedostatečné proudění. Vyvrtání nových studen je také finančně náročné a nemusí vždy vést k požadovanému výsledku. [2]

Energie ze stojatých nebo tekoucích vod

Tenhle zdroj tepla z vody není v ČR příliš rozšířený a to především kvůli malému počtu větších toků a mělkým rybníkům.

V případě malého toku nejde ani tak o malý průtok vody, jako o jeho teplotu, která v zimě může klesnout téměř k nule, což znemožňuje provoz TČ. Pokud tedy chceme využít teplo z řek, musíme umístit kolektor v řece na takové místo, kde nejsou v průběhu roku velké výchyly průtoku, a kde teplota neklesne pod 4°C.

V případě rybníků se sběrný kolektor umístí na úplné dno, kde je většinou v průběhu zimy konstantní teplota. Problémem bývá skutečnost, že se musí dbát na dodržení požadavků vodohospodářů na maximální chlazení. Díky těmto požadavkům a velikosti našich rybníků bývá následný výkon TČ tak malý, že se nevyplatí vůbec instalovat. [2]

Energie z odpadních vod

O tomhle typu zdroje energie pojednává kapitola číslo dva.

2 Využití energie z odpadních vod

Odpadní vody jako zdroj tepla pro TČ se jak v ČR, tak v celém světě, začínají využívat stále více. Je to to jak z důvodů ekologických, tak především z důvodů ekonomických. V zahraničí jsou velmi rozšířené systémy HVAC, které využívají odpadní teplo z kanálů pro vyhřívání budov v zimě. HVAC systémem jsou vytápěny nejen obytné nebo kancelářské budovy, ale i školy, nemocnice nebo kryté bazény. Kromě vody z kanalizace se jako nezanedbatelný zdroj tepla z odpadní vody využívají i vody z čističek odpadních vod, které pomocí TČ vytápí nejen vlastní objekty, ale i přilehlé stavby. V poslední době se začínají instalovat do jednotlivých budov nebo do provozů i menší rekuperační jednotky na bázi TČ, kde vzniká větší množství teplé odpadní vody. Při dimenzování systému na využití odpadního tepla se musí dbát na chladicí výkon čerpadla, aby nedošlo k zamrznutí odpadní vody ve stokách nebo potrubí.[4]

Metody využití energie z odpadní vody popisují následující podkapitoly.

2.1 Osazování starých kanalizačních stok tepelnými výměníky

Při osazování starých kanalizačních stok tepelnými výměníky by se výměník z pravidla instaloval nad stoku, kvůli menším stavebním úpravám. Tato aplikace kombinuje výhody klasického podzemního výměníku spolu s využitím odpadního tepla z kanalizace.

Mezi hlavní výhody patří fakt, že není nutné zasahovat přímo do kanalizace a navíc se oproti klasickým podzemním výměníkům nemusí hloubit tak hluboké výkopy, přičemž získávání energie by mělo být ještě účinnější. Naopak nevýhodou je nutnost odkrýt delší úsek kanalizace z důvodů osazení výměníku a k dosažení požadovaného výkonu. Tato aplikace je zatím ve fázi vývoje. [5]

2.2 Tepelná energie z nově budovaných kanalizačních stok

Další možností získávání tepla z kanalizace je osazovat účinnější výměníky do právě budovaných kanalizačních systémů. Jedním z vyvinutých systémů, který využívá tuto možnost je PKS Thermpipe, který vyvinula německá společnost FRANK (viz obr. 2.1).



obr. 2.1 – Část potrubí se systémem PKS Thermpipe [5]

Systém PKS Thermpipe je složený z plastového kanalizačního potrubí, na kterém je po obvodu namotaný tepelný výměník. Systém má velkou výhodu v tom, že nijak nezasahuje do vnitřního prostoru kanalizace a navíc dokáže využít potenciální energii z okolní země a tím není vázaný pouze na dobu využívání kanalizace. [5]

2.3 Přímé využití odpadního vzduchu v prostoru kanalizace

U přímého využití odpadního vzduchu v prostoru kanalizace se jedná o instalaci tepelných čerpadel přímo do podzemních prostor kanalizačního systému a využití ohřivaného teplého vzduchu jako zdroje tepla. Vzhledem k nutnosti zásahu do kanalizačního systému a potřeby velkého prostoru je tato aplikace vhodná především pro staré kanalizační stoky, které v minulosti byli konstruovány jako prostorné tunely. Aplikace je zatím ve fázi studie a je vhodná především k ekologickému vytápění domů v centru měst, kde není možné rozsáhlé dodávání tepla z jiných ekologických zdrojů bez nutnosti velkých stavebních úprav. [5]

2.4 Nepřímé využití tepla z odpadního vzduchu z kanalizace

Koncept nepřímého využití tepla z odpadního vzduchu z kanalizační stoky vychází z myšlenky přímého využití vzduchu jako zdroje tepla, ale s tím rozdílem, že tepelný výměník by se nenacházel přímo v prostorech kanalizačního systému. K výměníku by byl vzduch dopraven, a pak následně zase odveden prostřednictvím potrubí, které by ústilo v kanalizační stoce. Nevýhodou tohoto řešení je fakt, že se musí vrtat do již postavených kanalizačních stok, což je technologicky a legislativně obtížné. [5]

2.5 Porovnání metod na využití potenciální energie z odpadních vod

	Typ čerpadla	Rozsah použití	Nutnost zasahovat do vnitřního prostoru	Stupeň vývoje	Účinnost
PKS Thermpipe	Voda - voda	Nově realizované stoky	NE	Komerční využití	Vysoká
Nepřímé využití energie OV	Vzduch - voda	Kanalizační přípojky dle dimenzování	ANO	Studie	Nízká
Přímé využití energie OV	Vzduch - voda	Starší stoky	ANO	Studie	Vysoká
Výměník nad kanalizační stokou	Voda - voda	Všechny stoky dle dimenzování	NE	Studie	Střední

obr. 2.2 – Porovnání metod [5]

Z porovnání jednotlivých metod (viz obr. 2.2) lze vidět, že efektivní systém pro odebrání tepla z odpadních vod už existuje (např. PKS Thermpipe), I přesto, že je limitován pouze na výstavbu nových kanalizačních sítí, bude jeho použití v budoucnosti, v rámci recyklace energie, nevyhnutelné. [5]

3 Návrh systému

Tato část bakalářské práce se zabývá možným využitím tepla z odpadní vody v laboratoři energeticky náročných procesů v NETME Centre na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně.

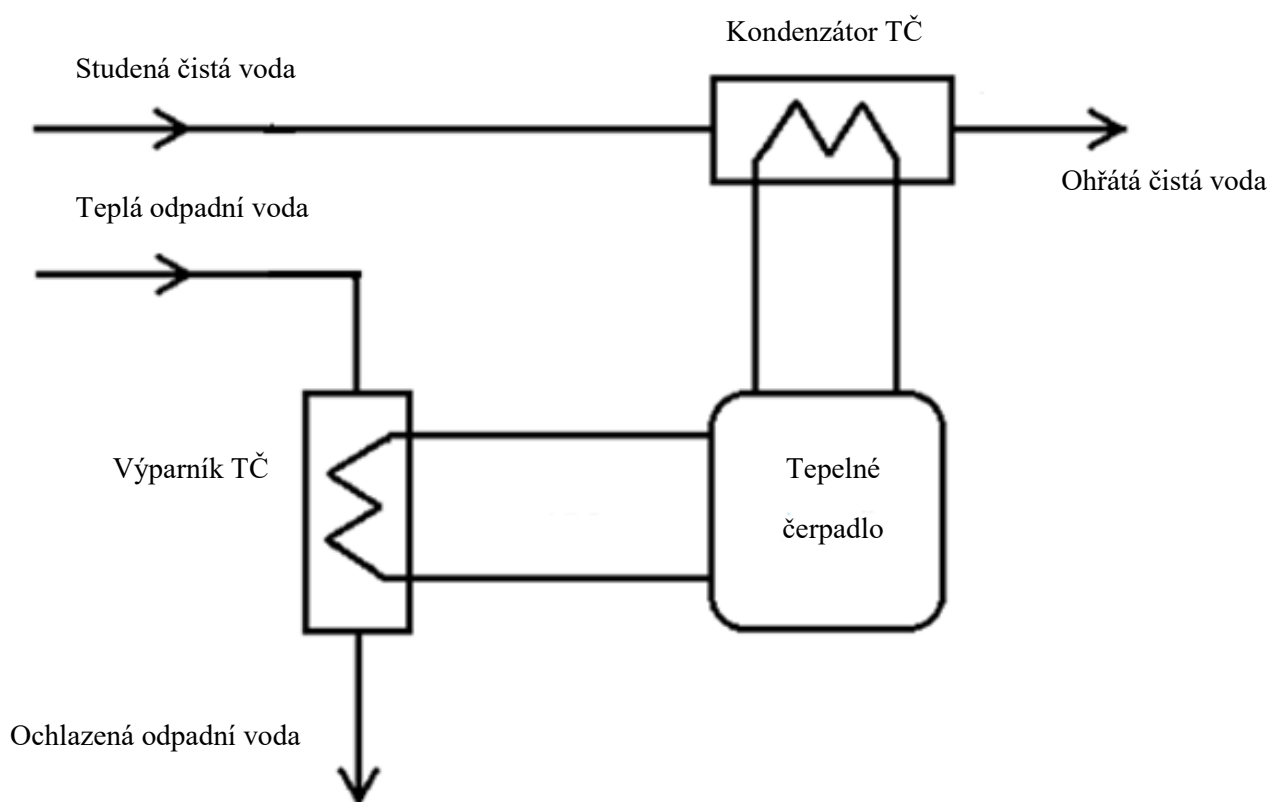
3.1 Požadované parametry

V zadání práce je určeno, že daný systém bude využívat TČ.

Pro TČ byl již dopředu vybrán kompresor od firmy Copeland typu scroll s označením: ZR 28K3e-TFF. Jedná se o třetí nejmenší kompresor v kategorii ZR a je určený pro chladiva R22, R134a, R404a, R407c, R507. Dále bylo zadáno, že odpadní voda vypouštěná z praček bude mít 60 °C a čistá voda z vodního řádu 10 °C.

3.2 Možné konfigurace systému

Nejjednodušším zapojením je zapojení podle obrázku 3.1, kde je výparník TČ zapojen přímo na odtok odpadní vody z praček a kondenzátorem TČ protéká studená voda z vodního řádu.



obr. 3.1 – Zapojení TČ do systému

Z technického hlediska ale přímé zapojení výparníku TČ na odpadní vodu není možné, protože teplota odpadní vody je moc vysoká. Chladivo by bylo přehříváno po stlačení v kompresoru do teplot, kdy by nebylo možné zajistit správné chlazení kompresoru, a tím by došlo k jeho přehřátí.

Aby se předešlo přehřátí kompresoru, musí být do systému zabudovaný před TČ i tepelný výměník, který horkou odpadní vodu, před průtokem kondenzátorem, dostatečně zchladí.

3.3 Konfigurace systému s výměníkem a tepelným čerpadlem

V praxi lze tepelný výměník a TČ zapojit do systému více způsoby. Každý způsob má své klady a zápory. Kvůli špinavé vodě z praček bude potřeba využít trubkových výměníků všude tam, kde bude docházet k přenosu tepla mezi špinavou vodou a druhým médiem. Při použití deskových výměníků by docházelo k jejich zanášení a snižování účinnosti.

Kondenzátor TČ v akumulární nádrži

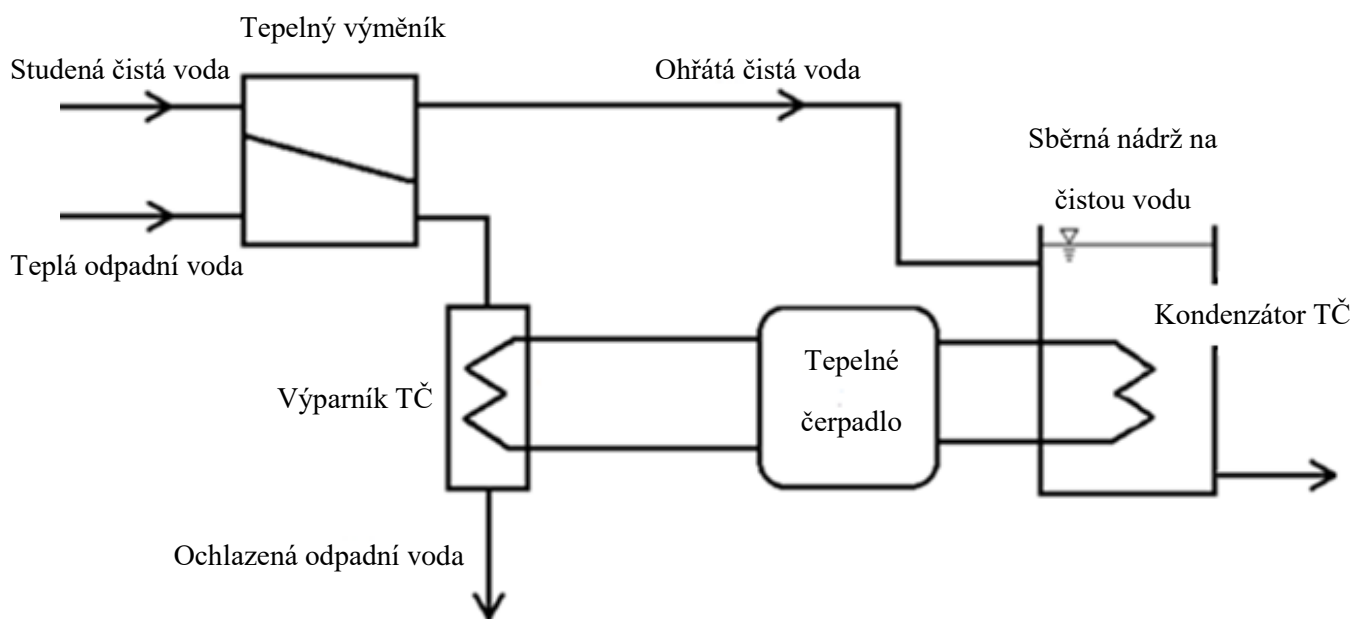
Princip zapojení systému zobrazený na obr. 3.2 spočívá v tom, že teplá odpadní voda nejdříve odevzdá podstatnou část tepelné energie čisté studené vodě v tepelném výměníku, a poté, ke zlepšení efektivity systému, prochází přes výparník tepelného čerpadla, kde dojde k předání tepelné energie chladivu tepelného čerpadla.

Čistá voda ohřátá v tepelném výměníku je načerpána do akumulární nádrže, kde následně dochází k jejímu dalšímu ohřívání vlivem odebírání tepla kondenzátorem tepelného čerpadla.

Tento systém se jeví jako velmi jednoduchý, ale obsahuje několik podstatných technologických problémů.

Velkým problémem je samotný start systému. Před spuštěním musí být akumulární nádrž naplněná vodou, aby bylo zajištěno správné chlazení kondenzátoru TČ a nedocházelo k jeho přehřátí. Tuto vodu je ale potřeba přehřát pomocí jiného zdroje na požadovanou teplotu, aby nedocházelo k příliš velkému chlazení kondenzátoru. Tento fakt snižuje efektivnost celého systému.

Druhý problém nastane při nedostatečné cirkulaci vody v akumulární nádrži, kdy opět dojde k nedostatečnému chlazení kondenzátoru, a to při špatné cirkulaci vody v nádrži samotné, tak v případě nedostatečné cirkulace vody do nádrže přitékající a odtékající.



obr. 3.2 – Kondenzátor v akumulární nádrži

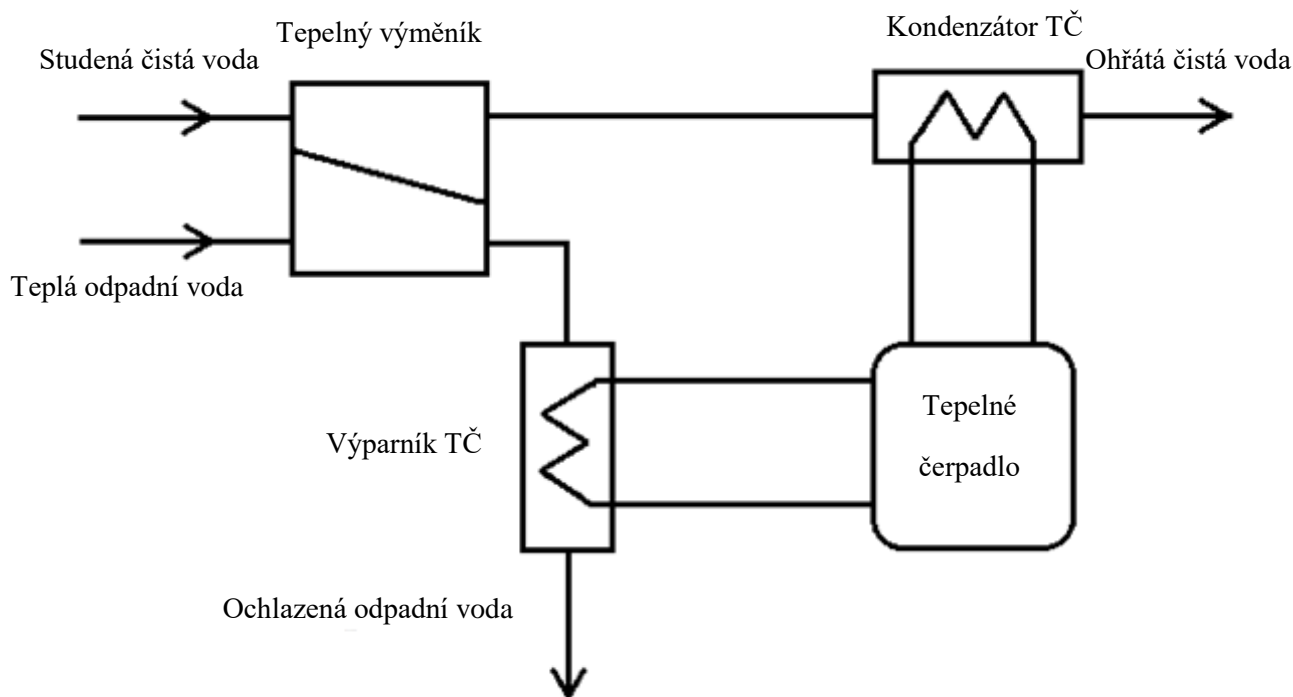
Průtokový kondenzátor TČ

Zapojení systému, zobrazené na obrázku 3.3, využívá podobný princip jako předchozí zapojení. Také zde teplá odpadní voda nejdříve odevzdá podstatnou část tepelné energie čisté studené vodě v tepelném výměníku, a poté prochází přes výparník tepelného čerpadla, kde dojde k předání tepelné energie chladivu tepelného čerpadla.

Rozdíl oproti předchozímu zapojení je v tom, že čistá voda po ohřátí v tepelném výměníku následně protéká i kondenzátorem tepelného čerpadla, kterému odebírá teplo, čímž ho ochlazuje. Z kondenzátoru je voda svedena do akumulární nádrže, kde již nedochází k dalšímu ohřevu.

Toto řešení odstraňuje potřebu před startem naplňovat akumulární nádrž přehřátou vodou, čímž výrazně zvyšuje efektivnost.

U tohoto zapojení je velmi důležité, aby systém obsahoval bezpečnostní prvky, které při přerušení průtoku čisté vody vypnou tepelné čerpadlo. V opačném případě bude kondenzátor nedostatečně chlazen a hrozí poškození tepelného čerpadla.



obr. 3.3 – Průtokový kondenzátor TČ

3.4 Výběr konfigurace

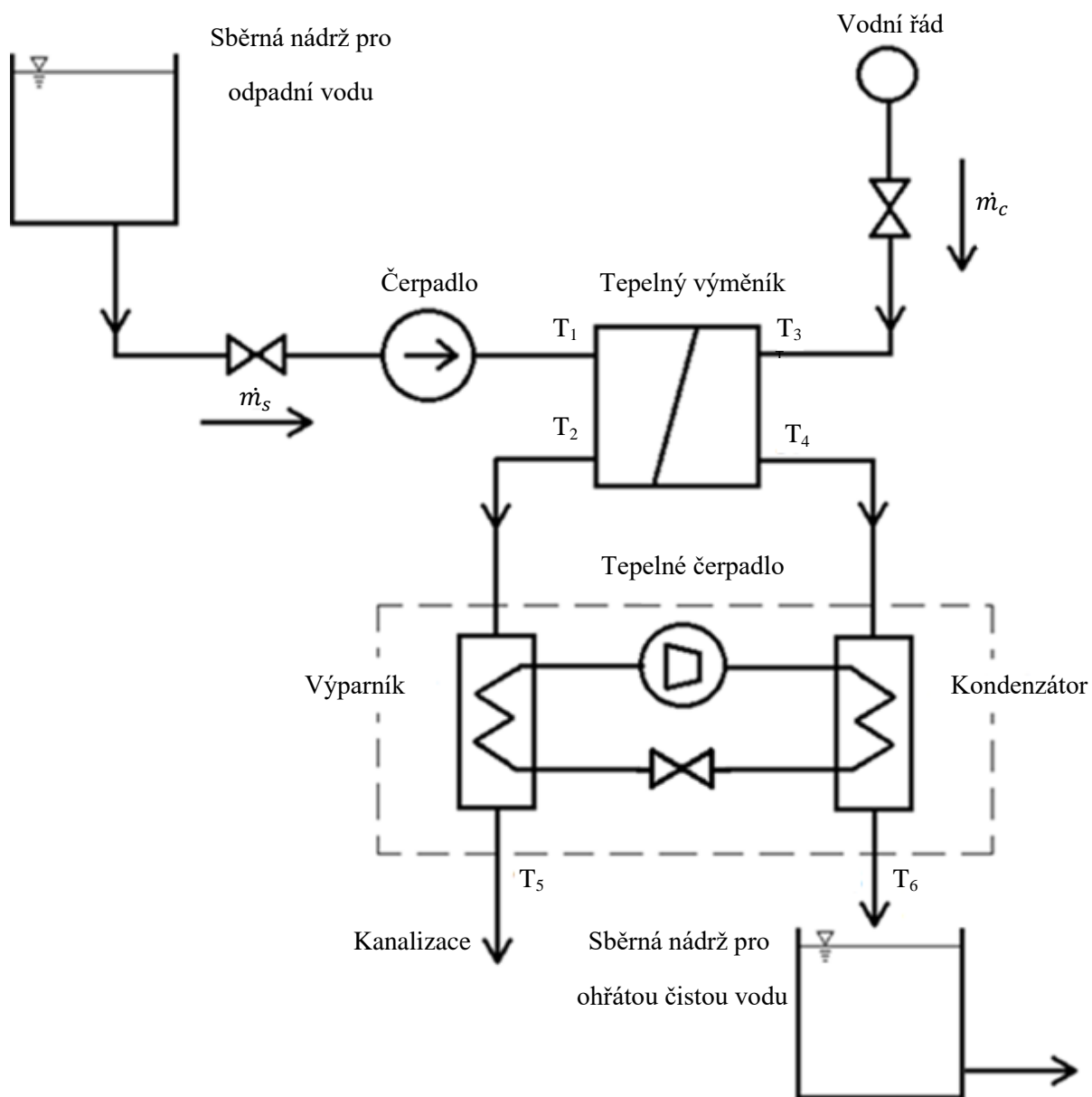
Po porovnání obou variant byla vybrána jako nejvhodnější verze s průtokovým kondenzátorem, vzhledem k menší technologické a energetické náročnosti.

Jak je vidět z obrázku 3.4, teplá odpadní voda z praček bude shromažďována ve sběrné nádrži na odpadní vodu, odkud bude čerpadlem čerpána konstantním průtokem přes trubkový výměník a výparník TČ do kanalizace.

Studená voda bude do systému dodávána z vodního řádu, a její průtok bude kontrolován škrtícím ventilem. Po průchodu trubkovým výměníkem a kondenzátorem tepelného čerpadla bude ohřátá čistá voda skladována ve sběrné nádrži na čistou vodu, připravená pro další využití.

Teploty T_1 a T_3 byly zadány:

teplota odpadní vody (vstup)	T_1	60 °C,
teplota čisté vody (vstup)	T_3	10 °C.



obr. 3.4 – Schéma systému na využití odpadního tepla v LENP

Aby byla předána co největší část tepelné energie a zároveň byla velikost trubkového výměníku únosná, byly průtoky m_s a m_c zvoleny následovně:

průtok odpadní vody	\dot{m}_s	$0,2 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$,
průtok čisté vody	\dot{m}_c	$0,2 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

Průtoky čisté vody i odpadní vody byly zvoleny shodně, což zjednoduší výpočty i konstrukci zařízení. Pozn.: $0,2 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ odpovídá $12 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ respektive $0,72 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

4 Návrh rekuperačního výměníku

Pro systém zapojený podle schématu na obr 3.4 byl vybrán trubkový výměník, a to kvůli lepší odolnosti proti zanášení a ucpávání odpadní vodou. Nevýhodou oproti deskovému výměníku bude při stejné teplosměnné ploše jeho větší velikost. Trubkový výměník, jehož možná podoba je na obrázku 4.1, je jednoduché zařízení sestávající z jedné nebo více stočených trubek, kde přestupní plochu tvoří vnější plášť této trubky. Typickým příkladem těchto výměníků jsou integrované tepelné výměníky v zásobnících teplé vody nebo v akumulacích nádržích. Tyto výměníky jsou jednoduché, mají malou tlakovou ztrátu a jsou levné. [9]

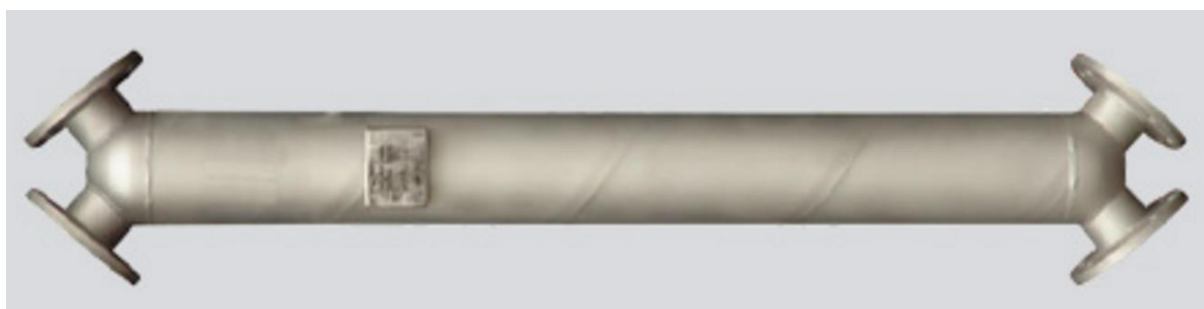
Bohužel mají nízký přestupní koeficient, což znamená, že pro předání i relativně malého výkonu potřebují velkou přestupní plochu. Proto se trubkový výměník, který se použije jako výparník nebo kondenzátor v tepelném čerpadle, instaluje do čerpadel dosahujících výkonů maximálně v řádech několika desítek kilowat a zároveň není požadavek na malý teplotní rozdíl mezi topnou a ohřívanou kapalinou. Jelikož v žádném tepelném výměníku nelze dosáhnout 100% účinnosti přenosu tepla, existuje vždy větší či menší teplotní rozdíl mezi vstupní topnou kapalinou a výstupní ohřívanou kapalinou. Návrh tepelného výměníku je v každém systému velice důležitý a většinou na něm závisí funkčnost a účinnost celého systému. [9]

Nejdůležitějším parametrem každého tepelného výměníku je bezpochyby předávaný výkon. Ten se však mění s mnoha faktory, zejména s teplotním rozdílem mezi topnou a ohřívanou stranou výměníku, průtokem v topné i ohřívané straně výměníku a s typem protékající kapaliny. Teplotní rozdíl mezi topnou a ohřívanou stranou výměníku je označován jako teplotní spád výměníku nebo střední teplotní rozdíl výměníku, Čím je navržený teplotní spád tepelného výměníku vyšší, tím je potřebná velikost výměníku nižší a tedy i investice do výměníku bude nižší. [9]

Aby bylo dosaženo velkého teplotního spádu ve výměníku a pro správnou funkčnost systému, byly teploty T_3 a T_4 zvoleny:

teplota odpadní vody (výstup)	T_2	20 °C
teplota čisté vody (výstup)	T_4	50 °C

Trubkový výměník bude zapojen protiproudě.



obr. 4.1 – Trubkový výměník Elte max [9]

4.1 Výpočet výkonu výměníku

Výkon výměníku se vypočítá podle rovnice 4.1 následovně:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

kde: \dot{Q} výkon [W],

\dot{m} hmotnostní průtok média [kg/s],

c tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] (pro vodu uvažujeme $c_{H_2O} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [15]),

ΔT rozdíl teplot média na vstupu a výstupu [K].

Dle rovnice 4.1 lze vypočítat přibližný výkon výměníku.

$$\dot{Q} = \dot{m}_s \cdot c_{H_2O} \cdot (T_1 - T_2) \quad (4.2)$$

$$\dot{Q} = 0,2 \cdot 4180 \cdot 40$$

$$\dot{Q} = 33\,440 \text{ W}$$

Z výsledku je patrné, že přenosový výkon výměníku by se měl vzhledem k daným podmínkám pohybovat kolem 33 kW.

5 Návrh tepelného čerpadla

Druhou součástí systému, ve které bude docházet k další výměně tepla je TČ. Výkon TČ bude oproti tepelnému výměníku o řád nižší, ale pracuje v teplotách, kde by již tepelný výměník nebylo možné efektivně využít.

Aby nedocházelo k zamrznání vody ve výparníku, k přehřívání kompresoru a zároveň, aby byl systém efektivní, byla vypařovací a kondenzační teplota zvolena:

vypařovací teplota	T_{evp}	10 °C,
kondenzační teplota	T_{con}	60 °C.

Aby bylo zaručené, že v parách nasávaných kompresorem nebude kapalina, bude přehřátí chladiva nejméně 5K. Podchlazení kondenzátorem by mělo být kolem 1-2K.

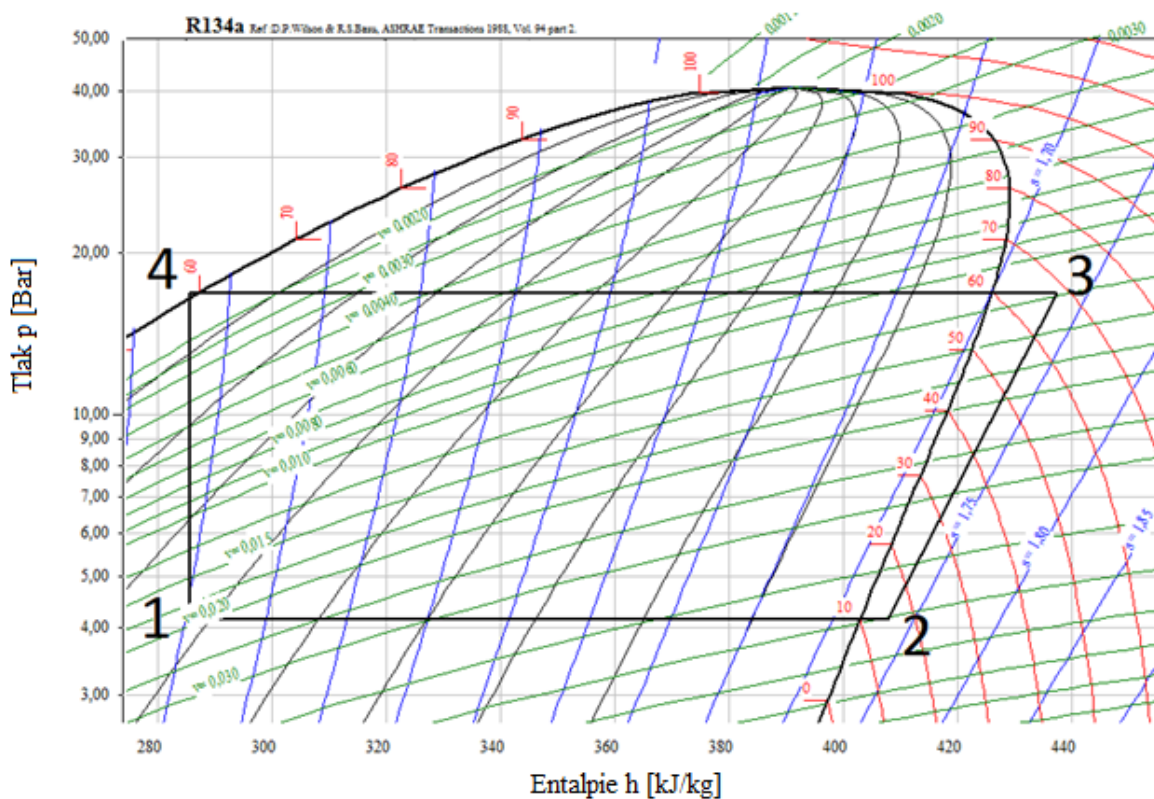
5.1 Kompresor

Podle zadání bude využit kompresor od firmy Copeland typu scroll s označením: ZR 28K3e-TFD. Tento kompresor je určený pro chladiva R22, R134a, R404a, R407c, R507. Podle výrobce má kompresor parametry: [10]

výtlač [m ³ /h]	\dot{V}	6,8 m ³ ·h ⁻¹ ,
maximální tlak [bar]	P_{max}	29,5 bar,
maximální pracovní tlak	P_{pmax}	20 bar,
maximální teplota na sání	T_{inmax}	50 °C.

5.2 P-h diagram

Jako chladivo byla vybrána směs 1,1,1,2-tetrafluoroethan neboli R134a, a to kvůli nulovému tlakovému spádu. Cyklus TČ se většinou zobrazuje v p-h diagramu. Každé chladivo má svůj specifický diagram, proto diagram na obrázku 5.1 platí pouze pro toto chladivo. V diagramu je zaznačený ideální cyklus TČ bez tlakových ztrát. Komprese je brána jako izoentropická. Mezi body 1 a 2 chladivo přijímá teplo ve výparníku. Z bodu 2 do bodu 3 probíhá komprese chladiva v kompresoru. Mezi body 3 a 4 chladivo odevzdává teplo ve výparníku. Děj v expanzním ventilu je zobrazen spojnicí bodů 4 a 1.



obr. 5.1 – p-h diagram; cyklus TČ pro chladivo R134a vytvořený v programu Coolpack

5.3 Výparník

Protože jedním z použitých medií bude odpadní voda, bude jako výparník použit trubkový výměník. Potřebný tepelný výkon výparníku se vypočítá podle vztahu 5.1 následovně:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (5.1)$$

kde: \dot{Q} výkon [W],

\dot{m} hmotnostní průtok média (chladiwa) kompresorem [kg/s],

h_1 entalpie chladiwa vstupujícího do výparníku [J/kg],

h_2 entalpie chladiwa vystupujícího z výparníku [J/kg].

Pro náš případ entalpii h_1 odpovídá bod 1 a entalpii h_2 odpovídá bod 2.

Rovnice 5.2 udává závislost mezi výtlakem čerpadla a hmotnostním průtokem chladiwa

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (5.2)$$

kde: \dot{V} výtlač kompresoru [m^3/h],
 ρ měrná hmotnost [kg/m^3].

Kombinací rovnic 5.1 a 5.2 vznikne rovnice 5.3, podle které lze vypočítat přibližný výkon výparníku. Pro R134a uvažujeme mezi body 1 a 2 měrnou hmotnost $\rho = 20,32 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. [16]

$$\begin{aligned} \dot{Q}_v &= \dot{V} \cdot \rho \cdot (h_2 - h_1) & (5.3) \\ \dot{Q}_v &= 0,038 \cdot (407\,000 - 285\,000) \\ \dot{Q}_v &= 4636\text{W} \end{aligned}$$

Z výsledku je patrné, že přenosový výkon výparníku bude kolem 4,6 kW.

5.4 Kondenzátor

V kondenzátoru bude probíhat tepelná výměna mezi chladivem a čistou vodou. Protože se nepředpokládá větší znečištění protékajících medií, bude použit deskový výměník. Pro potřebný výkon kondenzátoru vycházíme z rovnice 5.3, přičemž záměnou rozdílů entalpií bodu 1 a 2 za rozdíl entalpií bodu 3 a 4 dostaneme rovnici 5.4.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_k &= \dot{V} \cdot \rho \cdot (h_3 - h_4) & (5.4) \\ \dot{Q}_k &= 0,038 \cdot (440\,000 - 285\,000) \\ \dot{Q}_k &= 5890\text{W} \end{aligned}$$

Podle výpočtu musí být výkon kondenzátoru 5,9 kW. Rozdíl výkonů mezi výparníkem a kondenzátorem pokrývá kompresor. V navrhovaném případě to bude kolem 1,3 kW.

5.5 Expanzní ventil

Expanzní ventil reguluje množství chladivo proudícího do výparníku. Regulování probíhá na základě nastaveného přehřátí par chladiva za výparníkem. Pro systém na využití tepla v LENP bude použit elektronický pulzní expanzní ventil, jehož výhodou oproti mechanickým expanzním ventilům, je lepší přesnost regulace množství chladiva.

Hlavním kritériem pro výběr elektronického pulzního expanzního ventilu je výkon, který se z pravidla určuje vloženou tryskou. V ideálním případě je výkon expanzního ventilu totožný s tepelným výkonem čerpadla. V praxi ale takové přesnosti nelze dosáhnout a musí se vybrat tryska z výrobní řady výrobce. V případě, že použitá tryska bude hodně poddimenzovaná, zařízení citelně ztratí na výkonu. V opačném případě, kdy tryska bude značně předimenzovaná, dojde k velké necitlivosti ventilu, která může vést až k tzv. huntingu, při kterém se ventil bude neustále otevírat a zavírat pro dosažení nastaveného přehřátí, ale nikdy jej konstantně nedosáhne. [2]

Na obrázku 5.2 je příklad ventilu, který může být použit pro navrhovaný systém do LENP. Jedná se o elektronický pulzní ventil EX2 od firmy ALCO. Pro výběr správné trysky se lze řídit rovnicí 5.5, předepsanou v návodu od výrobce:

$$P_t = P_p \cdot K_{dp} \cdot K_t \quad (5.5)$$

kde: P_t výkon trysky [W],

P_p požadovaný tepelný výkon trysky [W],

K_{dp} opravný součinitel pro rozdíl tlaku v kondenzátoru a výparníku [-],

K_t opravný součinitel pro vypařovací teplotu [-].



obr. 5.2 – Elektronický pulzní ventil EX2 od firmy ALCO[11]

Pro navrhovaný systém do LENP platí při použití chladiva R134a pro proměnné z rovnice 5.3 tyto hodnoty: [11]

požadovaný tepelný výkon trysky	P_p	6000W,
opravný součinitel pro rozdíl tlaku	K_{dp}	0,72,
opravný součinitel pro vypařovací teplotu	K_t	1,23.

Výkon trysky lze spočítat podle rovnice 5.5.

$$P_t = P_p \cdot K_{dp} \cdot K_t$$

$$P_t = 6000 \cdot 0,72 \cdot 1,23$$

$$P_t = 5313W$$

Podle materiálů výrobce odpovídá výsledku tryska EXO-003, která dosahuje jmenovitého výkonu 5,6 kW

5.6 Ostatní části tepelného čerpadla

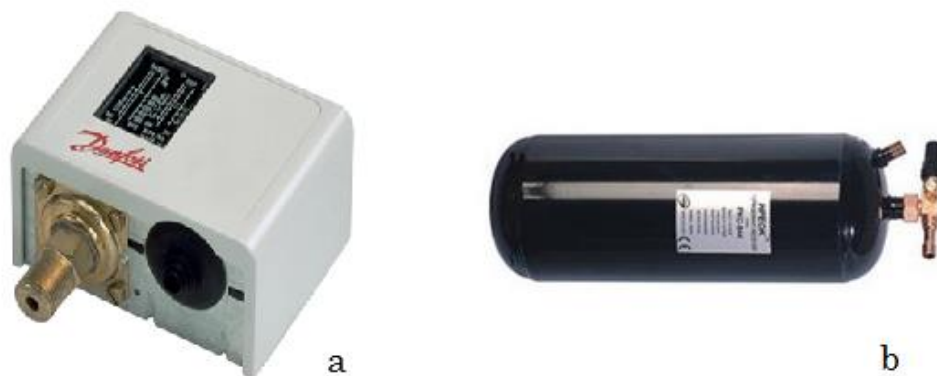
Pro správnou funkčnost obsahuje TČ řadu drobnějších konstrukčních dílů.

Presostat

Presostat je nastavitelný tlakový spínač (obr. 5.3 a), který vypíná kompresor při překročení nastavených hodnot tlaku. V navrhovaném systému bude použit vysokotlaký i nízkotlaký presostat, aby se předešlo poškození systému. [2]

Sběrač kapalného chladiva

Sběrač (obr. 5.3 b) slouží jako zásobník kapalného chladiva. Zaručuje, že do TEV přichází pouze kapalina bez bublinek. Pro výkon kolem 6kW bude stačit sběrač s objemem 4 litrů. [2]



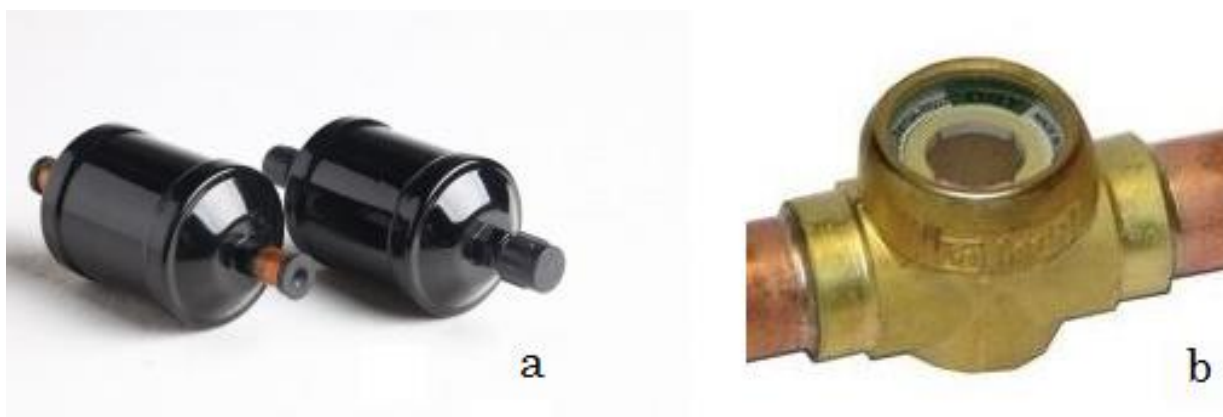
obr. 5.3 – Presostat (a) [12] a sběrač kapalného chladiva (b) [13]

Filtrdehydrátor

Filtrdehydrátor (obr. 5.4 a) čistí chladivo od drobných nečistot a vlhkosti. Má daný směr průtoku chladiva, který musí být dodržen. Většinou se montuje do svislé polohy, aby bylo dosaženo rovnoměrnějšího průtoku chladiva s tím, že přívod chladiva je nahoře. Pokud se v systému objeví vlhkost, je nutné filtrdehydrátor vyměnit. [2]

Průhledítko

Průhledítko (obr. 5.4 b) je trubka s průhlednou částí, která slouží k pozorování chladiva uvnitř systému. Po okraji průhledné části je instalován indikátor vlhkosti, který v přítomnosti vlhkosti změni barvu. Změna barvy je vratná, takže při výskytu vlhkosti v systému lze po jejím odstranění průhledítko znovu použít. V okruhu se zařazuje za filtrdehydrátor před vstupem do TEV. Průhledítko musí být vždy plné chladiva bez bublinek, v opačném případě je někde závada. [2]



obr. 5.4 – Filtrdehydrátor (a) [13] a průhledítko (b) [14]

Ventily

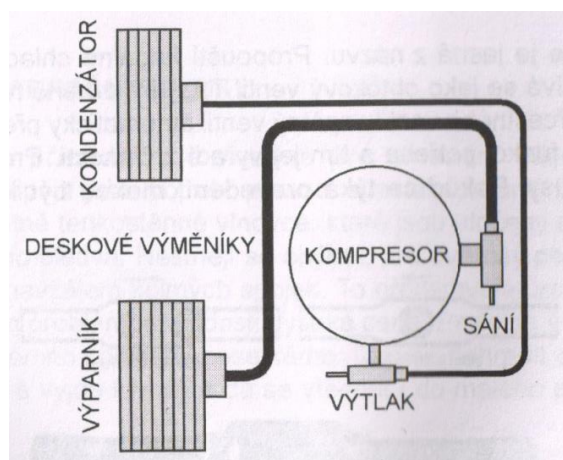
V praxi bývají v okruhu tepelného čerpadla instalovány různé ventily. Jedná se především o provozní ventily nebo o ventily servisní. Ventily provozní slouží především k oddělování určitých částí TČ. Servisní se používají třeba pro doplnění chladiva. [2]

5.7 Konstrukční zásady

Při konstrukci TČ musí být dodrženo několik zásad, které umožňují bezporuchový provoz.

Vibrace kompresoru

Každý kompresor při provozu vibruje a při zapnutí nebo vypnutí může docházet i k větším otřesům. Aby se zabránilo přenosu vibrací na podložku a tím zvýšené hlučnosti, je vhodné umístit kompresor na silentbloky. Potrubí, které vede do kompresoru nebo z kompresoru ven, musí být těmto vibracím přizpůsobeno a musí mít takový tvar, aby se vibrace přes něj nepřenášely na další komponenty TČ. Běžně se používají delší smyčky z Cu potrubí, které jsou dostatečně pružné. Možné zapojení potrubí je na obrázku 5.5. Také lze použít speciální antivibrační spojky, které jsou ale drahé. [2]



obr. 5.5 – Příklad vedení potrubí pro zmírnění vibrací [2]

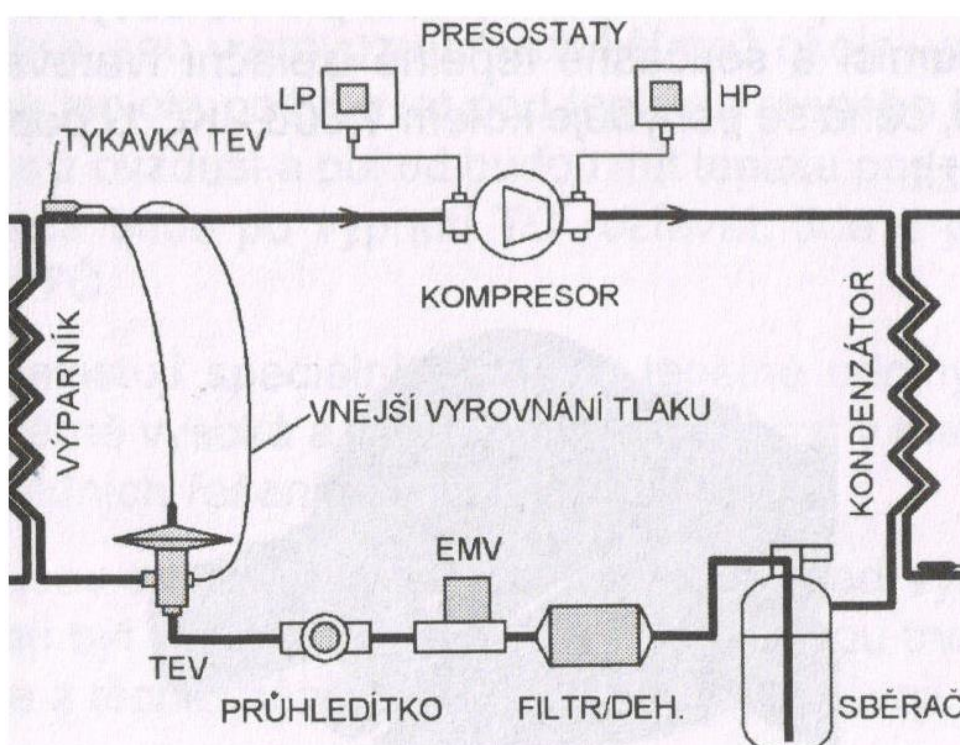
Průměr trubek

Průměr spojujících trubek se volí v závislosti na rychlosti proudění par chladiva uvnitř trubek. Olej, který promazává kompresor, je chladivem unášen po celém okruhu a rychlost proudění par chladiva musí být dostatečná, aby nedocházelo k usazování oleje v jiné části systému. Vždy se také jedná o kompromis mezi rychlostí par a tlakovými ztrátami. Doporučené rychlosti pro chladivo R134a jsou: [2]

sací potrubí	$8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,
výtlačné potrubí	$12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,
kapalinové potrubí	$0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Rozmístění prvků v okruhu TČ

Jednotlivé součásti TČ musí být v okruhu zapojeny podle schématu na obrázku 5.6. Z obrázku je vidět, že za kondenzátor se umísťuje sběrač kapalného chladiva, filtrdehydrátor a průhledítko, a to v uvedeném pořadí. Na obrázku je navíc mezi filtrdehydrátor a průhledítko instalován elektromagnetický ventil.



obr. 5.6 – Jednoduchý okruh tepelného čerpadla[2]

Presostat pro nízký tlak se instaluje před sání kompresoru a presostat pro tlak vysoký za kompresor. V případě použití mechanického expanzního ventilu se tykavka přikládá na potrubí hned za výparníkem. Při použití elektrického expanzního ventilu se místo tykavky instaluje tepelné čidlo.

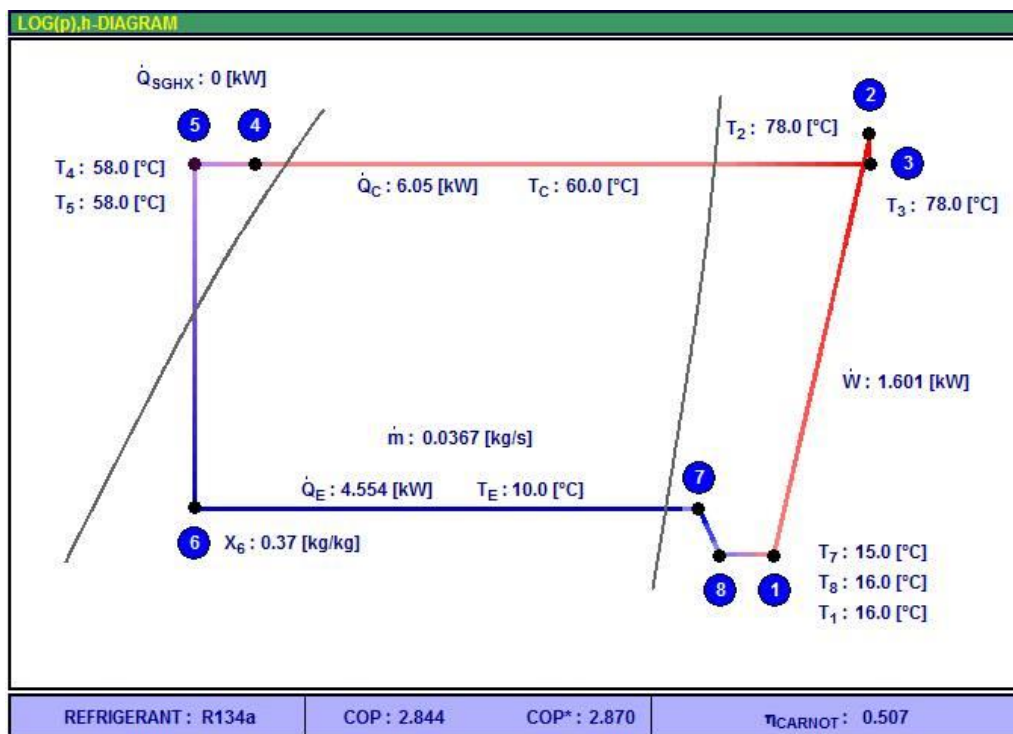
Vzájemná poloha kondenzátoru a sběrače chladiva

Pokud je to konstrukčně možné, je vhodné umístit kondenzátor nad úroveň sběrače chladiva, aby mohlo chladivo z kondenzátoru volně vytékat. Pro chod systému to není nezbytně nutné, ale šetří to množství chladiva v trubkách. [2]

5.8 Program Coolpack

Pro výpočet parametrů tepelných čerpadel existuje několik inženýrských softwarů. Jeden z nich je Coolpack, který je možné bezplatně stáhnout ze stránek výrobce [17]. V menu programu si vyberete, jaké zapojení tepelného čerpadla realizujete, a poté zadáte vstupní parametry systému, jako je výtlačk kompresoru nebo použité chladivo. Také lze do výpočtu zahrnout účinnost kompresoru nebo tlakové ztráty.

Pro zobrazení vypočítaných hodnot nám program vytvoří diagram, ve kterém vyznačí parametry okruhu. Na obrázku 5.7 je diagram vytvořený na základě parametru systému určeného pro LENP.



obr. 5.7 – Okruh navrhovaného TČ v p-h diagramu vytvořený v programu Coolpack

V programu Coolpack lze do okruhu přidat mnoho dalších prvků, jako je vnitřní výměna tepla anebo podchlazení chladiva pomocí vnějšího zdroje. Proto diagram vytvořený pomocí Coolpacku obsahuje mnoho bodů, které ale vždy nemusí plnit nějakou funkci. V diagramu na obrázku 5.5 zobrazuje úsečka mezi body 1-2 kompresor, 2-5 kondenzátor, 5-6 expanzní ventil, 6-1 výparník. Pro doporučené hodnoty rychlosti chladiva lze v programu Coolpack dopočítat průměry spojovacích trubek s ohledem na použité chladivo (viz obr. 5.8).

	rychlost proudění [m/s]	Průměr trubky (vnitřní) [mm]
Sací potrubí	8.0	15.5
Výtlačné potrubí	12.0	7.1
kapalinové potrubí	0.6	8.6

obr. 5.8 – Průměry trubek vypočítané programem Coolpack

5.9 Tepelný faktor (COP)

Koeficient COP se v průběhu činnosti TČ neustále mění, proto se udává jeho průměrná hodnota. Koeficient COP tepelného čerpadla navrženého pro LENP vypočítáme podle rovnice 1.1. Příkon kompresoru se podle tabulek výrobce pohybuje, při zadaných parametrech, kolem 1,6kW.

$$COP = \frac{Q_{celk}}{Q_{komp}}$$

$$COP = \frac{6000}{1600}$$

$$COP = 3,75$$

Z výsledku je patrné, že koeficient COP by se měl teoreticky pohybovat kolem 3,75.

6 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout systém pro výměnu tepla mezi teplou odpadní vodou odtékající z praček a studenou čistou vodou z vodního řádu pro LENP. Práce je rozdělena do dvou větších částí, a to do části teoretické a do části praktické.

V teoretické části práce pojednávala o principu tepelných čerpadel z hlediska termodynamiky a o jejich konstrukci, především o tom, z jakých částí je tepelné čerpadlo složeno a jak jsou prvky poskládány v okruhu za sebe. Také se zde jednotlivé prvky okruhu probraly více do detailu. V druhé polovině teoretické části byly rozebrány různé možnosti a konfigurace systémů, sloužících pro výměnu tepla z odpadních vod. V závěru teoretické části je srovnání těchto systémů.

Praktická část se věnovala návrhu systému na využití odpadní vody v laboratoři energeticky náročných procesů. První část pojednávala o vstupních parametrech, neboli parametrech, které byly zadány nebo určeny, jako byla teplota odpadní vody $T_1 = 60\text{ °C}$ a teplota čisté vody $T_3 = 10\text{ °C}$. Dále byly nastíněny možné konfigurace systému, přičemž byly popsány jejich výhody či nevýhody. V průběhu návrhu konfigurace se dospělo k problému přehřátí tepelného čerpadla, který byl vyřešen přidáním tepelného výměníku do systému před tepelné čerpadlo, který odpadní vodu teoreticky zchladí na teplotu $T_2 = 20\text{ °C}$ a zároveň čistou vodu předeheje na $T_4 = 50\text{ °C}$. Kvůli odpadní vodě byl na základě zkušenosti vybrán trubkový tepelný výměník, aby nedocházelo k zanášení a pro stanovené teploty byl určen jeho přenosový výkon $P = 33\text{ kW}$, podle kterého se vybere ideální typ. Na základě získaných znalostí byla vybrána nejlepší konfigurace zapojení TČ do systému a vytvořeno schéma budoucího systému.

Druhá polovina praktické části byla věnovaná návrhu tepelného čerpadla. Byly definovány všechny nezbytné prvky tepelného čerpadla (kompresor, výparník, kondenzátor, expanzní ventil a další funkční prvky) a na základě známých hodnot byly dopočítány výkony výparníku $P_v = 4,6\text{ kW}$, kondenzátoru $P_k = 5,9\text{ kW}$ a trysky expanzního ventilu $P_t = 5,6\text{ kW}$.

Závěr práce pojednával o konstrukčních zásadách a umístění prvků v okruhu, čímž byla nastíněna budoucí podoba konstrukce tepelného čerpadla. Dále byl zmíněn software Coolpack, pomocí kterého byl vytvořen pracovní diagram s parametry okruhu, ze kterého lze vyčíst, že páry chladiva dosahují za kompresorem teploty 78 °C . Software Coolpack také na základě použitého chladiva a definovaných rychlostí vypočítal, že průměr sacího potrubí se bude pohybovat kolem 16 mm , průměr výtlačného potrubí bude přibližně 7 mm a průměr kapalinové potrubí bude kolem 9 mm . Celou práci zakončilo energetické zhodnocení s výpočtem tepelného faktoru (COP koeficientu), který dosahoval hodnoty $3,75$.

7 Seznam použitých zkratek

<u>zkratka</u>	<u>význam</u>
TČ	tepelné čerpadlo
COP	tepelný faktor
MOP	omezovač maximálního tlaku (Maximum Operating Pressure)
HVAC	topení, větrání a klimatizace (heating, ventilating, air-conditioning)
NETME	centrum nových technologií pro strojírenství (New Technologies for Mechanical Engineering)
VUT	Vysoké učení technické
LENP	laboratoř energeticky náročných procesů
TEV	termoelektronický ventil
LP	presostat pro nízký tlak (low pressure)
HP	presostat pro vysoký tlak (high pressure)
EMV	elektromagnetický ventil

8 Seznam obrázků

obr. 1.1 – Schéma tepelného čerpadla.....	3
obr. 1.2 – Teoretický pracovní cyklus TČ [2].....	4
obr. 1.3 – Rozdělení kompresorů podle jejich principu komprese [6].....	5
obr. 1.4 – Funkční část kompresoru typu scroll [7]	6
obr. 1.5 – Jedna z variant výparníku, deskový výparník Hitachi [8]	6
obr. 1.6 – Expanzní ventil s tykavkou [2]	7
obr. 2.1 – Část potrubí se systémem PKS Thermpipe [5].....	9
obr. 3.1 – Zapojení TČ do systému	12
obr. 3.2 – Kondenzátor v akumulární nádrži	14
obr. 3.3 – Průtokový kondenzátor TČ	15
obr. 3.4 – Schéma systému na využití odpadního tepla v LENP	16
obr. 4.1 – Trubkový výměník Elte max [9].....	17
obr. 5.1 – p-h diagram; cyklus TČ pro chladivo R134a vytvořený v programu Coolpack.....	20
obr. 5.2 – Elektronický pulzní ventil EX2 od firmy ALCO[11].....	22
obr. 5.3 – Presostat (a) [12] a sběrač kapalného chladiva (b) [13].....	24
obr. 5.4 – Filtrdehydrátor (a) [13] a průhledítka (b)[13] [14].....	24
obr. 5.5 – Příklad vedení potrubí pro zmírnění vibrací [2]	25
obr. 5.6 – Jednoduchý okruh tepelného čerpadla[2]	26
obr. 5.7 – Okruh navrhovaného TČ v p-h diagramu vytvořený v programu Coolpack.....	27
obr. 5.8 – Průměry trubek vypočítané programem Coolpack	27

9 Seznam literatury

- [1] DVOŘÁK, Z., KLAZAR, L., PETRÁK, J., Tepelná čerpadla, SNTL, 1987
- [2] ŽERAVÍK, A., Stavíme tepelné čerpadlo, Vydáno vlastním nákladem, 2003
- [3] KARLÍK, R., Tepelné čerpadlo pro váš dům. GRADA 2009
- [4] TLAŠEK, Miroslav. Využití tepla z odpadní vody. Brno, 2014. 65 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA.
- [5] NEČAS, Michal, Využití energie z odpadních vod. Praha, 2014. 18 s. Středoškolská odborná práce. Střední průmyslová škola stavební Josefa Gočára Praha 4
- [6] ŠTETINA J. Kompresory [Internet]. [2015] [cit. 2.3.2016]. [15s]. Dostupné z: https://drive.google.com/a/vutbr.cz/folderview?id=0B7nmoC7ND2vvRGt1SjNRQ180T0k&usp=drive_web&usp=drive_web&urp=https://drive.google.com/a/vutbr.cz/folderview?id%3D&tid=0B7nmoC7ND2vvVUtwOUZlaWJ3REU
- [7] Internetový blog [online]. Hermawan's Blog: ©2011 [cit. 2.3.2016]. Dostupné z: <https://hvactutorial.wordpress.com>
- [8] Energetický informační systém [online]. EIS. [cit. 2.3.2016]. Dostupné z: <http://www.eis.cz/>
- [9] Váš partner v energetice [online]. ELTE. [cit. 3.3.2016]. Dostupné z: <http://www.elte-cz.com/>
- [10] Climate technologies [online]. EMERSON. [cit. 4.3.2016]. Dostupné z: <http://www.emersonclimate.com/>
- [11] ALCO. Produktový list [Internet]. [2004] [cit. 2.5.2016]. [5s]. Dostupné z: http://www.emersonclimate.com/europe/ProductDocuments/AlcoLiterature/CZ_EX2_35016.pdf
- [12] Klimatizace, chladičství [online]. SAFRANO. [cit. 15.5.2016]. Dostupné z: <http://www.safrano.pl/676,presostat-kp-5-danfoss.html>
- [13] Chladičský servis [online]. JEDLIČKA. [cit. 15.5.2016]. Dostupné z: <http://www.chsjedlicka.cz/chladici-zarizeni/technologie/ostatni-komponenty/>
- [14] Chladič a výčepní technika [online]. SINOP. [cit. 15.5.2016]. Dostupné z: <http://www.esinop.cz/pruhleditko-22-castel>
- [15] BOBÁK, Petr. Snižování energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla. Brno, 2014. 95 s. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství. Vedoucí práce prof. Ing. PETR STEHLÍK, CSc., dr. h. c.
- [16] Termodynamické tabulky pro chladivo R134a [online]. CAMBRIDGE [cit. 20.4.2016]. Dostupné z: www.cambridge.org/us/download_file/212553/
- [17] Software informer [online]. COOLPACK. [cit. 4.5.2016]. Dostupné z: <http://coolpack.software.informer.com/1.5/>