



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA Z PRÁDELENSKÉHO PROVOZU

WASTE HEAT RECOVERY IN A LAUNDRY CARE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ANDREJ KRIŽAN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MGR. MAREK VONDRA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Andrej Križan

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

obor: **Procesní inženýrství (3909T003)**

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:

Využití odpadního tepla z prádelenského provozu

v anglickém jazyce:

Waste heat recovery in a laundry care process

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Profesionální údržba prádla patří mezi tzv. energeticky náročné procesy, v rámci nichž dochází ke spotřebě značného množství zdrojů (voda, pára, elektřina, zem. plyn). Postupem času sice dochází ke snižování spotřeb u jednotlivých zařízení, avšak využití energií v prádelenském provozu jako celku je mnohdy neefektivní. Možným řešením je využití odpadního tepla (např. horké vody z pračky), které by jinak bylo bez užitku odvedeno. Návrh energetických opatření je ovšem ztížen některými specifiky typickými pro prádelnictví, jako je nekontinuální provoz či návaznost jednotlivých operací.

Diplomová práce by měla představit a analyzovat možnosti využití odpadního tepla z prádelenského provozu, dále navrhnout a zhodnotit vhodnou technologii pro konkrétní procesní uzel. Diplomant bude využívat zázemí Laboratoře energeticky náročných procesů NETME Centre, kde by měla být navržená technologie použita.

Cíle diplomové práce:

Teoretické uvedení do problematiky využití odpadního tepla včetně rešerše použitelných metod a jejich analýzy. Zvláštní pozornost bude věnována tepelným výměníkům, tepelným čerpadlům a skladování energie.

Představení procesu profesní údržby prádla a jeho specifík. Přehled a parametry odpadních proudů v Laboratoři energeticky náročných procesů (LENP) NETME Centre.

Výběr a návrh technologie pro konkrétní procesní uzel v LENP. Zhodnocení navržené technologie v provozu po energetické i ekonomické stránce.

Seznam odborné literatury:

BOBÁK, P. Systém pro hodnocení energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla. Brno 2009. 47 s., 10 s. příloh. Diplomová práce na FSI VUT v Brně. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

KEMP, I. C. Pinch Analysis and Process Integration: A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy. B.m.: Butterworth-Heinemann, 2011. ISBN 9780080468266.

ROSEN, M. Energy Storage. New York: Nova Science Publishers, 2012. Environmental Remediation Technologies, Regulations and Safety. ISBN 9781613247082.

BOBÁK P., PAVLAS M., MÁŠA V., JEGLA Z. a KŠENZULIAK V. Heat recovery in professional laundry care process. Chemical Engineering Transactions [online]. 2012, vol. 29, s. 391–396. ISSN 1974-9791.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Mgr. Marek Vondra

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 31.10.2013

L.S.

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

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

ABSTRAKT

Predložená diplomová práca sa zaoberá problematikou využitia odpadného tepla. Jej podstatná časť sa preto zaoberá dostupnými metódami využitia odpadného tepla a ich analýzou, pričom sa vo veľkej miere venuje tepelným výmenníkom, tepelným čerpadlám a tepelnej akumulácii energie. Hlavnou témou diplomovej práce je využitie odpadného tepla z priemyselnej pracovne. Zároveň je predstavený proces profesnej údržby prádla spolu s jeho špecifikáciami a parametrami odpadných prúdov z pračiek. Riešením praktickej časti práce je návrh zariadenia na využitie odpadného tepla z pračiek. Toto zariadenie je navrhnuté na konkrétny procesný uzol v zázemí Laboratória energeticky náročných procesov (LENP) NETME Centre. V závere práce sa rieši navrhnuté zariadenie z pohľadu energetickej a ekonomickej stránky.

Kľúčové slová: profesionálna údržba prádla, odpadne teplo, tepelná akumulácia energie, tepelný výmenník, tepelné čerpadlo

ABSTRAKT

Main purpose of this thesis is to explain the issue of waste heat from broader point of view. It's substantial part therefore deals with various available methods of waste heat utilization and their analysis. Large part of the thesis is devoted to description and usage of heat exchangers, heat pumps and thermal energy storage. The main theme of the thesis is the use of waste heat from industrial laundry room. It also introduces the process of the professional maintenance service along with its specifications and parameters of waste streams from washing machines. Main goal of the practical part of the thesis is to design equipment which could be used to store waste heat from washing machines. This equipment is designed to be used for specific process in NETME Centre laboratory. In conclusion, thesis addresses the proposed equipment from the energetical and economical point of view.

Keywords: professional maintenance of laundry, waste heat, thermal energy storage, heat exchanger, heat pump

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KRIŽAN, A. Využití odpadního tepla z prádelenského provozu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 61 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Mgr. Marek Vondra.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Čestne prehlasujem, že na diplomovej práci som pracoval samostatne na základe vlastných teoretických a praktických poznatkov, konzultácii a štúdia odbornej literatúry, ktorej úplný prehľad je uvedený v zozname použitej literatúry.

V Brne dňa 30.5.2014

.....

Bc. Križan Andrej

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem pánu Ing. Mgr. Marekovi Vondrovi, za cenné pripomienky a rady týkajúce sa spracovania diplomovej práce.

Obsah

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	9
1. ÚVOD	11
2. PROCES PROFESNEJ ÚDRŽBY PRÁDLA.....	12
3. METÓDY VYUŽITIA ODPADOVÉHO TEPLA	16
3.1 Rekuperátor.....	16
3.2 Tepelná trubica	17
3.3 Tepelné kolesá	18
3.4 Ekonomizér.....	19
3.5 Tepelné výmenníky.....	19
3.5.1 Rúrkové výmenníky tepla.....	19
3.5.2 Doskové výmenníky tepla	21
3.5.3 Špirálové.....	24
3.5.4 Kompaktné výmenníky tepla.....	24
4.7 Tepelné čerpadlo.....	26
4. TEPELNÁ AKUMULÁCIA ENERGIE.....	28
4.1 Uskladnenie vlastného tepla	30
4.2 Latentné zásobníky tepla	33
4.3 Termo-chemické uskladnenie energie	34
5. LENP NETME CENTRE	36
6. PRAKTICKÁ ČASŤ DIPLOMOVEJ PRÁCE.....	39
6.1 Návrh technológie pre LENP.....	39
6.2 Parametre odpadných prúdov z pračiek v LENP	40
6.2.1 Teplota odpadnej vody	40
6.2.2 Množstvo odpadnej vody	41
6.2.3 Výpočet parametrov	44
7. ENERGETICKÉ ZHODNOTENIE TECHNOLOGIE.....	45
7.1 Výpočet odpadného tepla z pračiek.....	45
7.2 Výpočet tepelných strát odtokového potrubia	47
8. VÝBER KOMPONENTOV NA NÁVRH ZARIADENIA.....	51
8.1 Výber akumulačnej nádrže	51
8.2 Výber tepelného čerpadla	52

9.	EKONOMICKÁ STRÁNKA PROJEKTU	54
10.	ZÁVER.....	57
11.	POUŽITÁ LITERATÚRA.....	58
	ZOZNAM PRÍLOH.....	61

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

Zoznam skratiek

LENP	Laboratórium energeticky náročných procesov
NETME Centre	New Technologies for Mechanical Engineering Centre (výskumné a vývojové centrum)
PÚP	Proces údržby prádla
TAE	Tepelná akumulácia energie
TÚV	Teplá úžitková voda

Zoznam symbolov

Značka	Jednotka	Význam
A	$[m^2]$	prietoková plocha
BR	$[kg/kg]$	pomer vodného kúpeľa
c	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	merná tepelná kapacita
COP	$[-]$	topný faktor tepelného čerpadla
d	$[m]$	vnútorný priemer potrubia
D	$[m]$	vonkajší priemer potrubia
E_{SPOT}	$[kWh]$	množstvo spotrebovanej energie za jeden cyklus
$E_{UŠET}$	$[kWh]$	ušetrená energia za jeden prací cyklus
E_{SPOT}	$[kWh]$	množstvo spotrebovanej energie na jeden cyklus
k_i	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	súčiniteľ prestupu tepla
l_i	$[m]$	dĺžka potrubia
m	$[kg]$	hmotnosť látky
m_i	$[kg]$	hmotnosť odpadnej vody pri i -tom kroku
m_{OV}	$[kg]$	hmotnosť odpadnej vody
m_{SP}	$[kg]$	hmotnosť suchého prádla
m_{VP}	$[kg]$	hmotnosť vody viazanej v prádle
$P_{elTČ}$	$[kW]$	elektrický príkon kompresora
$P_{elČ}$	$[kW]$	elektrický príkon čerpadla
$P_{elTČ}$	$[kW]$	elektrický príkon tepelného čerpadla
P_{max}	$[kW]$	maximálny tepelný výkon odpadnej vody
$P_{TČ}$	$[kW]$	výkon tepelného čerpadla
Pr	$[-]$	Prandtlovo číslo
Q	$[J]$	teplo
Q_A	$[kJ]$	teplo odobrané z akumulačnej nádrže
Q_B	$[kJ]$	celkové odovzdané teplo
Q_1	$[kJ]$	teplo odobraté pri 1. kroku prania
Q_2	$[kJ]$	teplo odobraté pri 2. kroku prania
Q_3	$[kJ]$	teplo odobraté pri 3. kroku prania
Q_{A1}	$[kJ]$	celkové odpadné teplo z práčky WEX1
Q_{A2}	$[kJ]$	celkové odpadné teplo z práčky WEX2
Q_{A3}	$[kJ]$	celkové odpadné teplo z práčky WEX3
q_i	$[W \cdot m^{-1}]$	hustota tepelnej straty i -tého úseku
Q_{max}	$[kW]$	maximálne odpadné teplo z praciek
Q_{STR}	$[kW]$	celkové tepelné straty potrubia
$SMC_{SP,VP}$	$[kg/kg]$	merná vlhkosť prádla
t_{ckl}	$[hod]$	čas jedného cyklu

Značka	Jednotka	Význam
t_{mini}	[°C]	predpokladaná minimálna teplota
t_{OV}	[°C]	teplota odpadnej vody
t_{VZD}	[°C]	teplota okolitého vzduchu
$\dot{V}$	[m ³ .s ⁻¹]	objemový prietok potrubím
V_{OV}	[m ³]	objem odpadnej vody
W	[kW]	práca vykonaná tepelným čerpadlom
w	[m.s ⁻¹]	rýchlosť prúdenia vody v potrubí
α_1	[W.m ⁻² .K ⁻¹]	súčiniteľ prestupu tepla na vnútornej strane potrubia
α_2	[W.m ⁻² .K ⁻¹]	súčiniteľ prestupu tepla na vonkajšej strane potrubia
λ	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	tepelná vodivosť materiálu potrubia
λ_{H_2O}	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	merná tepelná vodivosť vody pri danej teplote
ν	[m ⁻² .s ⁻¹]	kinematická viskozita vody pri danej teplote
ρ_{H_2O}	[kg/m ³]	hustota vody

1. ÚVOD

V súčasnej dobe rastúce náklady na energie a právne požiadavky na zníženie emisií CO₂ vyžadujú efektívne riešenie, a to najmä v procesoch, ktoré spotrebúvajú veľké množstvo energie. Zároveň rastie aj svetová populácia a priamo úmerne s tým, rastie aj spotreba energie. Na druhú stranu sa ale zásoby fosílnych palív zmenšujú, a preto je potrebné ich šetriť. Jednou z možností, ktorá môže byť riešením tohto problému, je využitie energie z odpadného tepla.

Odpadne teplo je teplo, ktoré vzniká ako vedľajší produkt v technologických procesoch. Toto teplo je súčasťou energetických strát a môže sa viazať na rôzne teplonosné prostredia, ako sú voda, vzduch alebo spaliny. Odpadné teplo sa v niektorých prípadoch dá využiť na vykurovanie, výrobu pary alebo elektrickej energie. S odpadným teplom sa dá stretnúť vo väčšine priemyselných odvetví. Jedným z takýchto odvetví je aj profesionálna údržba prádla v priemyselnej práčovni.

Proces profesnej údržby prádla je energeticky náročný proces, pri ktorom dochádza k spotrebe veľkého množstva energie a zároveň z neho odchádza časť energie v podobe odpadných prúdov. Týmito prúdmi sú napríklad horúci vzduch alebo teplá voda. Aj napriek postupnému znižovaniu energetickej spotreby rôznych zariadení v práčovni, by bolo možné veľkú časť energie využiť aj z odpadného tepla produkovaného týmito zariadeniami a to návrhom vhodnej technológie.

Problematika využitia odpadného tepla je rozsiahlou témou, ktorej znalosť si vyžaduje potrebný prieskum použiteľných metód, analýz a dostupných zariadení na trhu. Diplomová práca bude zahŕňať prieskum dostupných zariadení na využitie odpadného tepla. Zároveň sa bude zaoberať aj tepelnými výmenníkmi, tepelnými čerpadlami a uskladnením energie.

Jedným z možných riešení ako využiť odpadne teplo, ktoré by bolo inak bez použitia odvedené, je návrh konkrétneho zariadenia na uskladnenie energie. Technológiu na uskladnenie tepla pri procese profesnej údržby prádla je potrebné navrhnuť pre konkrétny uzol v Laboratóriu energeticky náročných procesov v NETME Centre, ktorým bude odpadné teplo z pračiek. Pri návrhu tohto zariadenia je potrebné taktiež zohľadniť parametre odpadných prúdov a zohľadnením týchto parametrov prispôbiť vyber vhodných komponentov.

Výber a návrh technológie pre konkrétny pracovný uzol v laboratóriu bude okrem podrobného popisu zariadenia a jeho umiestnenia obsahovať aj jednu z najdôležitejších častí každého projektu, ktorou je ohodnotenie projektu z energetickej a ekonomickej stránky. Pri návrhu akéhokoľvek zariadenia, je práve ekonomická stránka tým, čo môže ovplyvniť celú realizáciu projektu. Pokiaľ je návratnosť celej investície nerentabilná, je pravdepodobné, že sa daný projekt nezrealizuje, a to najmä v prípade, keď ide o finančne náročnejší projekt.

Výsledkom diplomovej práce bude návrh zariadenia na využitie odpadného tepla s vysokou účinnosťou. Zároveň bude znižovať náklady na prevádzku laboratória a tým pádom sa zníži spotreba energetických zdrojov. Takéto riešenie je tiež v súlade s energetickou politikou štátov Európskej únie, medzi ktorú patria aj rôzne opatrenia na znižovanie rastu spotreby elektrickej energie.

2. PROCES PROFESNEJ ÚDRŽBY PRÁDLA

Proces profesnej údržby prádla (PÚP) je komplexný súbor navzájom na seba nadväzujúcich úkonov, ktoré vedú k úprave špinavého alebo inak znehodnoteného prádla tak, aby bolo toto prádlo po ukončení celého procesu možné následne znovu používať. Celý proces má okrem vstupných surovín, ktorými sú znečistené prádlo, a výstupných surovín, čiže čistého prádla aj ďalšie komponenty, ktoré sú dôležitými prvkami celého recyklačného procesu. Ako uvádza vo svojej práci Petr Bobák [1], proces PÚP môžeme pokladať za recyklačný alebo regeneračný proces, nakoľko hlavný produkt – prádlo sa dá po prejdení celým procesom znova používať a zároveň sa pri procese len minimálne mení jeho štruktúra a kvalita.

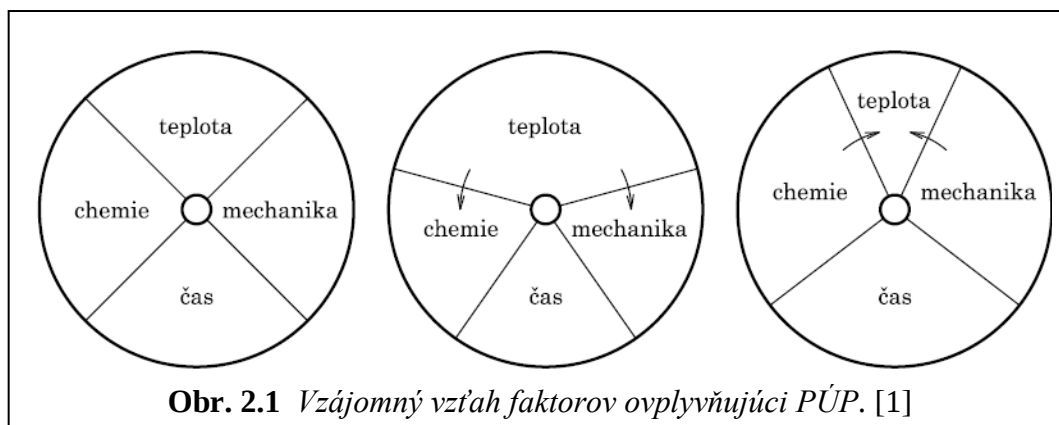
Medzi najdôležitejšie komponenty procesu PÚP patria:

1. Energie a palivo
2. Voda
3. Pracie prášky a iná použitá chémia
4. Mechanizácia
5. Ľudská práca

Proces PÚP prebiehajúci v LENP má svoje konkrétne kroky, ktoré sa dodržiavajú pri každom cykle a to:

1.	Doprava znečisteného prádla
2.	Príjem prádla a uskladnenie prádla
3.	Triedenie prádla podľa materiálu, farby a úrovne znečistenia
4.	Vlastný proces prania zahrňujúci zmáčanie, predpierku, hlavné pranie, plákanie a odvodnenie
5.	Predsušenie, alebo sušenie v prípade froté prádla
6.	Triedenie rovného a tvarového prádla
7.	Žehlenie a skladanie
8.	Kontrola kvality
9.	Balenie
10.	Uskladnenie pred expedíciou
11.	Expedícia
12.	Doprava čistého prádla k zákazníkovi

Hlavným krokom celého čistiaceho procesu je samotné pranie špinavého prádla v zohriatom vodnom kúpeli, za pridania pracieho prášku, aviváže a iných aditív. Vďaka pridaniu chemických látok na čistenie je celý prací proces zároveň aj fyzikálno-chemickým procesom, ktorého finálny výsledok ovplyvňujú štyri hlavné faktory: teplota vodného kúpeľa, mechanická časť prania, dĺžka pracieho programu a sila pracej chémie. Tieto štyri faktory sú na seba viazané a navzájom sa ovplyvňujú a to tak, že keď sa jeden z faktorov zníži, musí sa na dosiahnutie rovnakého výsledku jeden z ďalších faktorov navýšiť. Napríklad, keď sa zníži teplota prania, musí sa na dosiahnutie uspokojujúceho výsledku zvýšiť množstvo použitej pracej chémie. Tento vzájomný vzťah všetkých štyroch faktorov môžeme vidieť na obrázku 2.1.



Faktory ovplyvňujúce proces profesnej údržby prádla (PÚP)

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole, proces profesnej údržby prádla je komplexný proces, ktorého výsledok je ovplyvnený rôznymi faktormi. Pri návrhu akejkoľvek technológie zdokonaľujúcej alebo upravujúcej proces PÚP je najprv potrebné byť oboznámený so všetkými faktormi, ktoré by mohli tento výber ovplyvniť. Medzi kľúčové faktory ovplyvňujúce celý proces patria:

1. Typ prádla a miera jeho znečistenia

Typ a miera znečistenia prádla sú jedným z hlavných faktorov ovplyvňujúcich nie len samotný proces prania, ale dokonca aj fázu zariadenia samotnej pracovne, čiže kúpu potrebných zariadení a strojov. Tým pádom, predpokladaný druh budúcich zákazníkov ovplyvňuje nie len celé vybavenie pracovne, ale aj celkovú energetickú náročnosť celého procesu. Typ prádla a miera jeho znečistenia ovplyvňuje vo veľkej miere tiež štyri hlavné faktory celého pracieho procesu znázornené na obrázku 2.1: teplotu vodného kúpeľa, mechanickú časť prania, dĺžku pracieho programu a silu práce chémie. Vzhľadom na tieto štyri faktory ovplyvňujúce práci proces delíme prádlo podľa [1]:

- a) Farby (biele, farebné)
- b) Materiálu (bavlna, froté, polyester, a ich zmesi)
- c) Druh a miera znečistenia
- d) Kontaminácia biologicky aktívnymi látkami (infekčné prádlo)
- e) Množstvo a vlhkosť prádla

Najpodstatnejšie delenie prádla je podľa materiálu a farby, lebo tieto dve veci ovplyvňujú v značnej miere energetickú náročnosť celého pracieho procesu. Najčastejším materiálom poskytnutým na pranie je prádlo z bavlny, za ňou nasleduje polyester a na treťom miest sú zmesi týchto dvoch materiálov. Druh materiálu ovplyvňuje nielen vybranú teplotu a spôsob prania ale aj mieru mechanického odvodnenia daného materiálu. V tabuľke 2.1 môžeme vidieť priamu súvislosť medzi materiálom a farbou prádla a náročnosťou energetického procesu spojenú so zbytkovou vlhkosťou viazanou v prádle po odvodnení. Čím vyššia je zbytková vlhkosť na kilogram prádla po odvodnení, tým energeticky náročnejšie je toto prádlo následne vysušiť.[1]

Množstvo a vlastná vlhkosť prádla hrajú tiež dôležitú rolu pri pracom procese. Preto je pri výbere vhodného spôsobu prania potrebné najprv vedieť presnú hmotnosť prádla. Hmotnosť prádla vo veľkej miere ovplyvňuje vlhkosť viazaná

v prádle, či už sa jedná o vlhkosť prirodzenú (vzdušnú vlhkosť) alebo ide o vlhkosť ktorá sa do prádla dostala umelo, napríklad namočením vo vode. Podľa hmotnosti prádla, spolu s mierou jeho znečistenia, sa potom dá vyhodnotiť množstvo práce chémie potrebnej na jeho vyčistenie.[1]

Materiál prádla	Merná zbytková vlhkosť viazaná v prádle
Biela 100% bavlna	0.50
Farebná 100% bavlna	0.50
100% polyester	0.20
Zmes bavlny a polyesteru	0.25-0.45

Tab. 2.1 Merná zbytková vlhkosť viazaná v prádle. [1]

2. Subjektívne vnímanie výsledného produktu

Výsledným produktom celého procesu PÚP by malo byť čisté prádlo. Je ale potrebné uvedomiť si, že aj samotný pojem „čisté prádlo“ je veľmi subjektívny. Pod čistým prádlom sa vo všeobecnosti rozumie prádlo zbavené akýchkoľvek organických aj anorganických nečistôt, najmä tých, ktoré sú viditeľné voľným okom. Nesmie sa ale zabudnúť aj na to, že pod čistým prádlom sa rozumie aj zachovanie pôvodnej farby. Toto je obzvlášť dôležité najmä pri bielom prádle, ktorého zachovanie belosti je jedným z určovateľov jeho čistoty. Preto je potrebné navrhnuť proces PÚP tak, aby sa vlastnosť belosti praneho prádla opakovaným čistením nemenila.

3. Spotrebované množstvo prevádzkových látok a tepla

Pre správnu funkciu procesu PÚP je potrebné dodať nevyhnutné prevádzkové látky a energiu. Všetky látky potrebné na plynulú prevádzku pracovne, spolu s ich využitím sú kvôli lepšej prehľadnosti zhrnuté v tabuľke 2.2.

Látka	Využitie
Voda	Zmäčadlo, rozpúšťadlo, transportné a teplotné médium
Vodná para	Ohrev, naparovanie prádla, vyrovnávanie textilných vlákien
Tlakový vzduch	Pohon ventilov a iných mechanizmov
Zemný plyn	Ohrev sušiacieho vzduchu v sušičoch, ohrev žehličov
Elektrická energia	Pohon elektrických zariadení

Tab. 2.2 Prevádzkové látky. [1]

Zároveň je potrebné spomenúť okrem látok nevyhnutných na prevádzku pracovne aj odpadné látky, ktoré vznikajú ako vedľajší produkt počas celého procesu PÚP. Petr Bobák vo svojej práci uvádza, že medzi tieto látky patria hlavne: odpadná voda spolu so zbytkami práce chémie a organických a anorganických nečistôt, vlhký vzduch, spaliny zemného plynu a vedľajší textilný odpad (vlákna, prach).[1]

4. Znečistenie procesných prúdov

Ako sme už spomenuli vyššie, proces PÚP sa nezaobíde bez produkcie odpadných látok. Tieto látky sa z prádelných zariadení odvádzajú za pomoci procesných prúdov a svojou prítomnosťou ich znečisťujú. Energia sa z procesných prúdov dá ďalej využívať v iných zariadeniach, napríklad v podobe tepla vo výmenníkoch. Najprv je ale potrebné zbaviť procesné prúdy nečistôt, ktoré by mohli funkčnosť výmenníkov znížiť zanášaním. Prehľadný opis všetkých zariadení v LENP, spolu s ich odpadnými prúdmi a druhmi ich znečistenia je zobrazený v tabuľke 2.3.

Zariadenie	Odpadný prúd	Druh znečistenia
Práčka	Teplá voda z prania	Pevné a organické nečistoty a rozpustené detergenty
Sušič	Horúci vzduch s odparenou vlhkosťou	Textilný prach a vlákna, kvapky kondenzujúcej vlhkosti
Valcový žehlič	Horúci vzduch s odparenou vlhkosťou	Textilný prach, kvapky kondenzujúcej vlhkosti
Korytový žehlič	Horúci vzduch s odparenou vlhkosťou	Vosk z priedušných valcov, kvapky kondenzujúcej vlhkosti

Tab. 2.3 Zariadenia LENP s odpadnými prúdmi [1]

5. Dynamika a vzájomná náväznosť procesov

Počas procesu PÚP prebieha veľa navzájom sa viac či menej ovplyvňujúcich dynamických procesov, z ktorých sa vo veľkej miere dá recykláciou využiť odpadná energia a to najmä v podobe tepla. Všetky deje prebiehajúce v práci majú dynamický spád, čo znamená, že pri prevádzke všetkých zariadení v kontinuálnom slede by bolo ekonomicky aj ekologicky najvýhodnejšie zvyškovú energiu uskladniť a následne použiť v ďalšom zariadení.

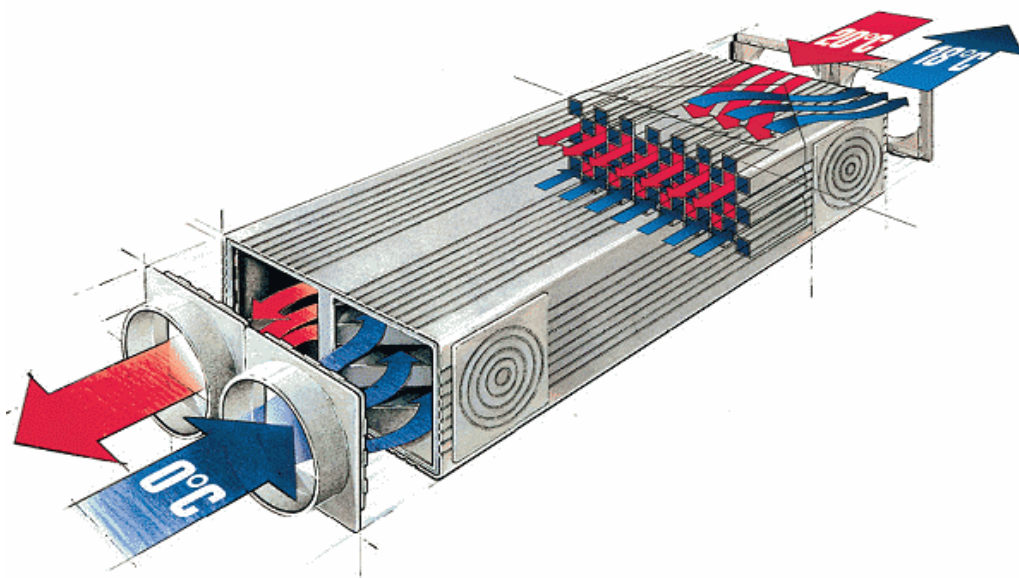
3. METÓDY VYUŽITIA ODPADOVÉHO TEPLA

Metódy využitia odpadného tepla zahŕňajú rôzne spôsoby ako sa dá odpadné teplo využívať. Nasledujúca kapitola bude charakterizovať rozličné zariadenia slúžiace na využívanie odpadného tepla, spolu s ich stručnou charakteristikou a výhodami, popr. nevýhodami.

3.1 Rekuperátor

Rekuperátor slúži na optimálnu výmenu vzduchu v objekte a taktiež na minimalizáciu tepelných strát pôsobením vetrania. Toto zariadenie pracuje na základe výmeny tepla medzi spalínami a vzduchom a to pomocou tepelného výmenníku. Tepelný výmenník odoberá teplo so spalín, alebo teplo v sebe akumuluje. Toto teplo sa odovzdáva do čerstvého vzduchu, ktorý privádzame z exteriéru do interiéru. Na obrázku 3.1 je zobrazený protiprúdový kanálový rekuperátor. Takýto typ rekuperátora je schopný dosiahnuť účinnosť rekuperácie 85-99 %.[2]

Pomocou protiprúdového kanálového rekuperátora je možné dosiahnuť o 70 až 80 % nižšie náklady na vykurovanie. Ďalšou významnou výhodou je možnosť zabudovania vzduchového filtra, ktorý odstraňuje prach, peľ a iné nečistoty, čo výrazne znižuje alergické reakcie pre alergikov. Vzduch v interiéri neustále prúdi, tým pádom je nižšia možnosť vzniku plesní a húb.[2]



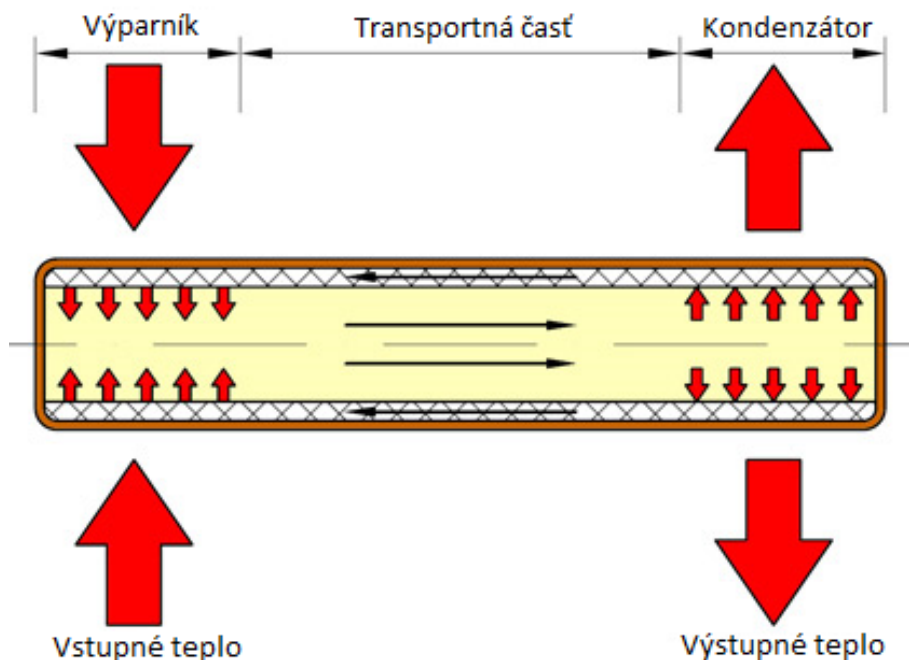
Obr. 3.1 Protiprúdový kanálový rekuperátor. [2]

3.2 Tepelná trubica

Tepelná trubica bola patentovaná v roku 1942 R. S. Gauglerom aby sa používala pri chladení ľadových boxov. R.S. Gaugler v priebehu svojho života svoj vynález zdokonaľoval a patentoval si niekoľko vylepšení.[3]

Základným princípom tepelnej trubice, ktorý je na obrázku 3.2, je prenos tepla z jedného miesta na druhé, pomocou pracovnej látky, pričom najpoužívanjšie látky sú voda, alkohol, čpavok, hélium, ortuť alebo freón. Malé množstvo kvapaliny je hermeticky uzavreté v kovovej trubici. Jeden koniec trubice je pripravený k zdroju tepla a druhý koniec ku chladiču. Pri dosiahnutí pracovnej teploty sa médium začne vyparovať a prúdiť k chladnejšiemu miestu, kde médium následne kondenzuje. Pohyb pary je zapríčinený rozdielnym tlakom v mieste vyparovanie a kondenzovania. Na vnútornej strane trubice je povrch porézny, vďaka čomu je kondenzát poháňaný kapilárnymi silami naspäť k zdroju tepla. Tým pádom môže byť výparník vyššie ako kondenzátor.[3]

Najčastejšie sa tepelná trubica používa tam, kde nie je možné umiestiť chladič priamo na zdroj tepla, v dôsledku rôznych príčin, ako sú: rozmery, vodotesnosť alebo vysoká teplota okolia. Preto je potrebné odvieť teplo na také miesto, kde je už možné chladič umiestniť.[3]



Obr. 3.2 Princíp tepelnej trubice. [3]

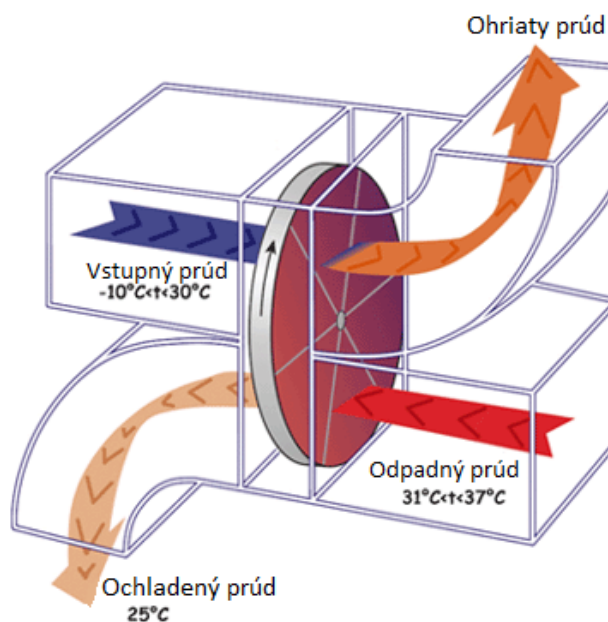
3.3 Tepelné kolesá

Tepelné kolesá sú perforované rotujúce kolesá alebo disky, ktoré umožňujú prenos tepla medzi dvoma susednými prúdmi vzduchu. Potrubie prichádzajúceho a odchádzajúceho vzduchu je paralelne zoradené. Vstupný vzduch je privádzaný na jednu stranu rotujúceho perforovaného tepelného kolesa, pričom odchádzajúci vzduch prúdi opačným smerom cez koleso. Tieto prúdy sú od seba oddelené prepážkou. Prenos tepla je zabezpečený veľkou prestupovou plochou, ktorá je z materiálu s dobrou tepelnou vodivosťou. Tento materiál je najčastejšie hliník. Ľahko absorbované teplo z privádzaného prúdu odovzdávajú tepelné kolesá druhému chladnejšiemu prúdu.[4]

Účinnosť tepelných kolies môže dosiahnuť až 80% v závislosti na počiatočných podmienkach, ako je napríklad teplotný rozdiel prúdov. [4]

Hlavnou nevýhodou tepelných kolies je malé množstvo miešania prichádzajúceho a odchádzajúceho prúdu. Tento problém je možné znížiť použitím rôznych tesnení, ale vzhľadom k povahe systému miešanie nie je možné úplne odstrániť. Pre väčšinu aplikácií je miešanie prúdov tak malé, že ho v podstate môžeme ignorovať.

Tepelné kolesá prechádzajú nárastom využívania v nízkych a stredných teplotách využitia odpadového tepla.



Obr. 3.3 Tepelné koleso. [5]

3.4 Ekonomizér

Prvý ekonimizér bol patentovaný v roku 1845 Edwardom Greenom. Slúžil pre zvýšenie účinnosti stacionárnych parných strojov. Jeho konštrukcia pozostávala zo zvislých železných trubiek, cez ktoré prúdili spaliny z kotla. Tieto trubky boli pripevnené k potrubiu na prívod vody. Vstupujúca voda bola predhrievaná, čo malo za následok znížovanie spotreby paliva. Toto usporiadanie je opačné ako býva zvyčajne, nakoľko u väčšiny prípadov v trubkách prúdi voda a spaliny prúdia v medzitrubkovom priestore.

Ekonomizér môže byť využitý dvoma rôznymi spôsobmi. Ako *dodatočný spalinový výmenník* alebo ako *kondenzačný výmenník*. [6]

Dodatočný spalinový výmenník

Dodatočný spalinový výmenník je energetické zariadenie, ktoré slúži na zlepšenie efektivity kogeneračných zariadení. Zabezpečuje vyššie schladenie spalín z kogeneračnej jednotky, čo má za následok vyššiu účinnosť a tepelný výkon zariadenia. Spaliny sa môžu schladiť na teplotu 80°C a to pri vstupnej teplote kvapaliny až 70°C.[6]

Kondenzačný výmenník

Pri kondenzačnom výmenníku dochádza ku kondenzácii vody a využíva sa kondenzačné teplo, čo výrazne zvyšuje účinnosť kogeneračnej jednotky oproti obvyčajnému schladeniu spalín.[6]

3.5 Tepelné výmenníky

Tepelné výmenníky sú zariadenia na efektívny prenos tepla. Podľa spôsobu prenosu ich rozdeľujeme na: *priame* a *nepriame* výmenníky tepla.[7]

- **Priame** výmenníky tepla pracujú na základe zmiešania teplého a chladného média, za vzniku homogénnej zmesi. Ich využitie je vhodné napríklad pri kondenzovaní pary. Chladiaca voda prichádza do priameho kontaktu s parou.
- **Nepriame** výmenníky tepla majú médiá oddelené tepelne vodiacou tuhou stenou.

Podľa konštrukcie rozdeľujeme tepelné výmenníky na: *rúrkové*, *doskové*, *špirálové* a *kompaktné výmenníky tepla*. [8]

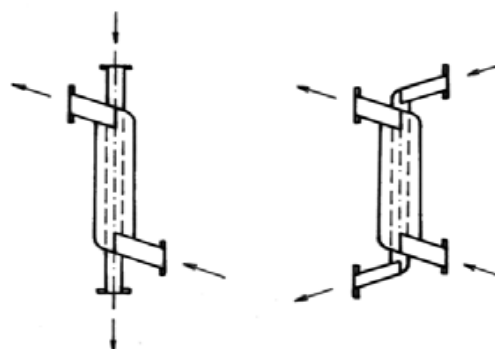
3.5.1 Rúrkové výmenníky tepla

Rúrkové výmenníky tepla pozostávajú z rúrok kruhového prierezu, kde jedna látka prúdi v rúrke a druhá látka ju obteká. Konštrukcia, tvar, veľkosť a materiál rúrkových výmenníkov je rôznorodý. Ich rôznorodosť je ovplyvňovaná vstupnými podmienkami.

Tepelné výmenníky typu rúrka v rúrke

Konštrukcia týchto výmenníkov je pomerne jednoduchá a zobrazená na obrázku 3.4. Pozostáva s koncentrického uloženia dvoch rúrok, ktoré majú rôzny priemer. Usporiadanie výmenníkov môže byť v rôznych radách a sústavách, aby sa minimalizovali tlakové straty a stredný logaritmický spád.

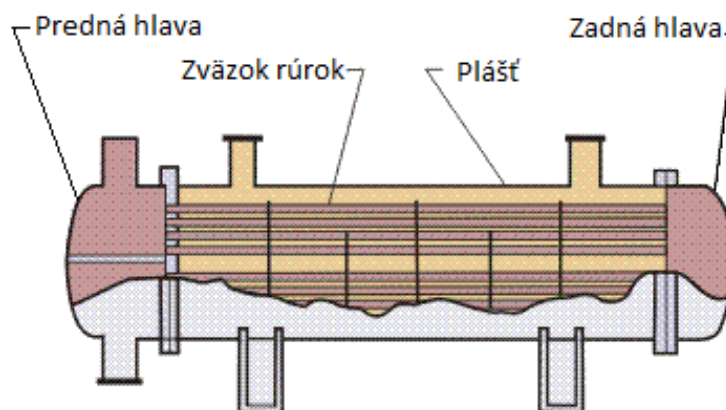
Najvhodnejšie využitie týchto výmenníkov je pri nízkych objemových tokoch.



Obr. 3.4 Tepelný výmenník typ rúrka v rúrke. [8]

Rúrkové zväzkové výmenníky

Zväzkové rúrkové výmenníky sú jednými z najobľúbenejších výmenníkov a to kvôli ich flexibilitě. Pri návrhu majú širokú možnú škálu tlakov a teplôt. Najčastejšia variácia je na konštrukcii plášťa a rúrok. Rúrky môžu byť priame alebo ohnuté do tvaru písmena U, ktoré sa nazývajú U-rúrky. Typický zväzkový výmenník je zobrazený na obrázku 3.5. Jedna látka prúdi v rúrkach, pričom druhá látka prúdi okolo rúrok, v plášti výmenníka.[9]



Obr. 3.5 Zväzkový výmenník. [9]

Predná komora je miesto, kde látka vstupuje do okruhu rúrok výmenníka. Zadná komora vracia látku prúdiacu v rúrkach späť do prednej hlavy. Vnútri plášťa sa nachádzajú trúbky, trúbkovnice a prepážky.

Základné konštrukčné typy prednej komory, zadnej komory a plášťa tepelného výmenníku sú označované podľa štandardu TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association).[9]

Prepážky sa inštalujú na stenu plášťa z dôvodu zvýšenia tepelnej prenosovej rýchlosti, a to za pomoci zvýšenia turbulentného prúdenia vnútri v plášti. Existuje

viacero rôznych typov prepážiek. Základné typy sú zobrazené na obrázku 3.6.



Obr. 3.6 Základné typy prepážiek. [9]

Vzdialenosť medzi prepážkami v praxi nie je väčšia ako priemer plášt'a menšia ako jedna pätina priemeru alebo 50,8mm.[9]

Výmenník s U-rúrkami sa skladá len z jednej trubkovnice, na ktorej je pripevnená komora s pozdĺžnou prepážkou pre oddelenie látok o rôznej teplote. Pre vstup a výstup ohrievaného a ochladzovaného média sú na plášti a komore privarené hrdlá s prírubou. Tieto tepelné výmenníky sa využívajú pri pracovných podmienkach, pri ktorých je rozdiel tepelnej rozťažnosti rúrok a plášt'a vyšší ako je povolený.[10]

3.5.2 Doskové výmenníky tepla

V roku 1878 si Albrecht Dracke zaregistroval patent na doskové výmenníky. Tieto výmenníky tepla používajú súbor tenkých kovových dosiek pre prenos tepla medzi dvoma kvapalinami nízkeho alebo stredného tlaku. Doska je najčastejšie vytlisovaná z nerezového plechu a má štyri otvory. Ohrievaná aj ochladzovaná tekutina má dva funkčné otvory a dva otvory, ktoré sú oddelené od prietoku kvapaliny pomocou tesnenia.

Doskové výmenníky sa vyrábajú vo viacerých rôznych prevedeniach ako[11]:

- Celonerezové doskové výmenníky
- Spájkované doskové výmenníky
- Rozoberateľné doskové výmenníky
- Opláštené doskové výmenníky
- Zvárané doskové výmenníky

Celonerezové doskové výmenníky

Tento typ výmenníkov je celý vyrobený z nerezovej ocele, špeciálnym spôsobom AlfaFusion. Pri tomto procese, ktorý prebieha v peci pri teplote 900°C, sa stykové plochy natavia a vytvorí sa pásmo zvaru medzi doskami.[11]

Celonerezové výmenníky tepla majú výnimočné vlastnosti. Sú kompaktné a tiež dobre odolávajú veľkým rázom. Majú vysokú odolnosť voči korózii a tiež voči tepelnej a mechanickej únave. V dôsledku celonerezovej konštrukcie nehrozí nebezpečenstvo bimetalickej korózie.[11]

Ich využitie je rôznorodé. Využívajú sa na vykurovanie a prípravu teplej vody ale tiež je možné ich využiť na chladenie. Vďaka odolnosti voči korózii sú vhodné na využitie pre korozívne látky a spĺňajú vysoké nároky na hygienické požiadavky.[11]



Obr. 3.7
Celonerezový
doskový výmenník.
[12]

Spájkované doskové výmenníky

Spájkované doskové výmenníky tepla sa skladajú z niekoľkých tenkých nerezových dosiek, ktoré sú k sebe precízne spájkované pomocou medi. Tým vytvárajú jeden celok nerozoberateľného výmenníka. Spájkovanie dosiek výmenníka prebieha pri vákuu a pri vysokých teplotách.[13]

Výhodou spájkovaných výmenníkov je ich vysoká kompaktnosť, čo zaručuje ľahkú inštaláciu výmenníkov v obmedzených priestoroch. Aj pri nízkych stredných logaritmických rozdieloch teplôt majú vysokú účinnosť prenosu tepla. Neobsahujú tesnenia, tým pádom dobre odolávajú vysokým teplotám a tlakom.

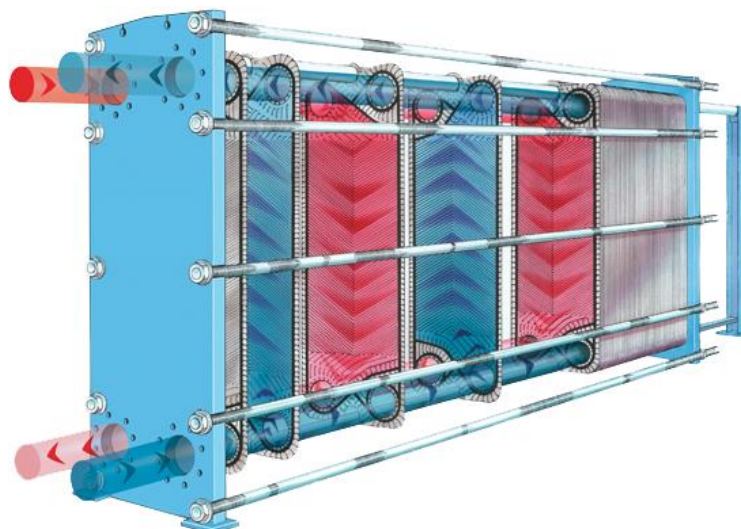
Sú vhodné pre rôzne aplikácie v oblasti zásobovania teplom, vykurovanie, chladenie a prípravu teplej vody. Využívajú sa aj pri ohreve bazénov a solárnych systémov.



Obr. 3.8 Spájkovaný doskový výmenník. [11]

Rozoberateľné doskové výmenníky

Rozoberateľné doskové výmenníky majú stavebnicovú konštrukciu. Pozostávajú zo zväzku tenkých profilovaných kovových dosiek, medzi ktorými sa nachádza tesnenie. Typický rozoberateľný výmenník je na obrázku 3.9. Medzi pevnú rámovú dosku a pohyblivú prítlačnú dosku je vložený súbor dosiek a prostredníctvom sťahovacích skrutiek sú spojené dokopy. Správna poloha dosiek je zabezpečená pomocou nosnej tyče, ktorá sa nachádza na vrchu výmenníka a pomocou spodnej vodiacej tyče.[11]



Obr. 3.9 Doskový výmenník. [14]

Tesnenie je možné vyrobiť s rôznych typov materiálov. Najčastejším materiálom na výrobu tesnení do rozoberateľných výmenníkov je NBR a EPDM guma. NBR je skratka z nitrile-butadienovej gumy (preklad z angličtiny *nitrile-butadiene rubber*). EPDM je skratka z ethyleno propylene diene monomerovej gumy (preklad z angličtiny *ethylene propylene diene monomer (M-class) rubber*). Ak to vyžadujú počiatočné podmienky, používajú sa tesnenia z vitonu. Viton je elastomér, ktorý je odolný voči agresívnym médiám a vysokým teplotám. [11]

Medzi hlavné výhody rozoberateľných doskových výmenníkov patrí, ako už ich názov napovedá, ich rozoberateľnosť. Vďaka tomu je možné ich jednoducho rozobrať, buď z dôvodu inšpekcie, údržby alebo mechanického čistenia. Pridaním alebo odobraním dosiek je možné zmeniť parametre alebo funkciu výmenníka. [11]

Rozoberateľné výmenníky sa používajú na systém centrálneho zásobovania teplom, prípravu teplej vody, solárne systémy. Je možné ich tiež využiť pre systémy využívajúce geotermálnu vodu. [11]

Opláštené doskové výmenníky

Opláštené výmenníky tepla sú vhodné pre použitie pri veľkom tlaku alebo pri agresívnych médiách, ako sú napríklad organické rozpúšťadlá. Konštrukcia opláštených doskových výmenníkov umožňuje protiprúdové alebo súprúdové zapojenie. Typický výmenník je na obrázku 3.10.



Obr. 3.10 Opláštený doskový výmenník. [11]

Zvárané doskové výmenníky

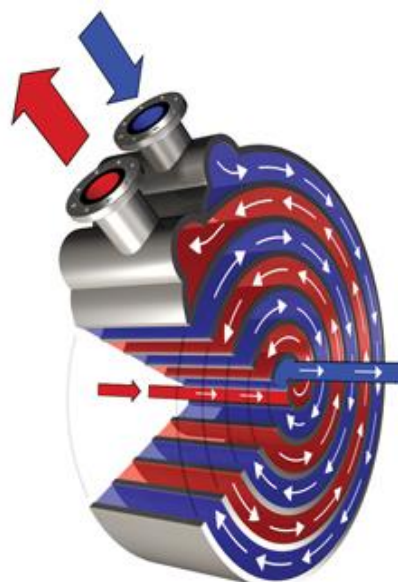
Patria k najkompaktnejším a najúčinnjším doskovým výmenníkom. Zväzok zvlnených dosiek je pozváraný dokopy bez použitia akéhokoľvek tesnenia. Profil dosiek spôsobuje vyššiu turbulenciu, čo obmedzuje zanášanie doskového výmenníka na minimum. [11]

Zvárané doskové výmenníky sa využívajú pri obtiažnych počiatočných podmienkach. Ich konštrukcia sa navrhuje podľa potrieb procesu. Najčastejšie využitie je pri rekuperácií tepla s korozívnymi alebo agresívnymi latkami. Neprítomnosť tesnenia im umožňuje pracovať pri vyšších teplotách a tlakoch.

3.5.3 Špirálové

Špirálové výmenníky tepla sú podobné ako doskové výmenníky. Ochladzovaná aj ohrievaná látka prúdi v špirálovo zakrivených pásoch, ako je vidieť na obrázku 3.11. Pomocou zakrivenia je vyššia miera prestupu tepla a dochádza k rýchlejšiemu prestupu na turbulentné prúdenie, vďaka nižšej kritickej hodnote Reynoldsovho čísla.[15]

Medzi ich hlavné výhody patrí znížená možnosť zanášania a relatívne malé tlakové straty, čo výrazne napomáha prevádzke. Je možné využívať pracovné látky, ktoré sú vysoko znečisťujúce. Nevýhodou špirálových výmenníkov je väčšie obmedzenie pracovného tlaku a teploty, pri porovnaní s doskovými výmenníkmi tepla. Najväčšie zastúpenie využitia je v papierenskom priemysle, metalurgii a v potravinárskom priemysle.



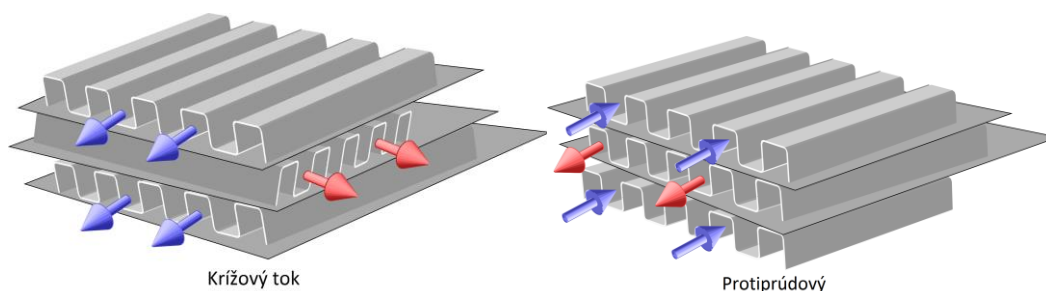
Obr. 3.11 Špirálový výmenník tepla. [11]

3.5.4 Kompaktné výmenníky tepla

Kompaktné výmenníky tepla sú výmenníky, ktoré majúmernú teplozmennú plochu väčšiu ako $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Teplozmenná plocha je plocha, kde sa sprostredkúva prestup alebo výmena tepla medzi látkami. Ich vynálezcom je taliansky mechanik Paolo Fruncillo. [8]

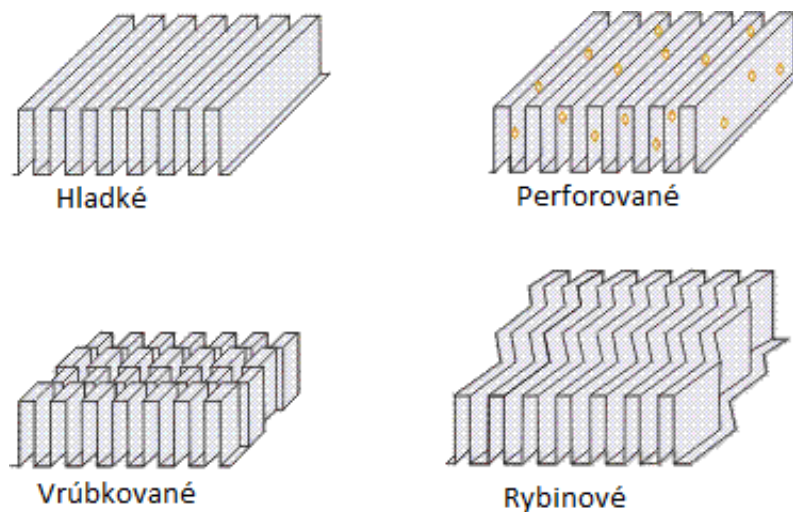
Dosko-rebrové výmenníky tepla

Konštrukcia dosko-rebrových výmenníkov pozostáva najčastejšie zo zvlnenej kovovej dosky, ktorá je vložená medzi dvoma plochými doskami. Dosky sú spojené spájkovaním. Vyhotovenie dosko-rebrových výmenníkov je najčastejšie za pomoci krížového toku alebo protiprúdového toku, ktoré sú vyobrazené na obrázku 3.12.



Obr. 3.12 Zobrazenie najčastejšieho prúdenia v dosko-rebrových výmenníkoch. [16]

Zvlnenie dosiek zapríčiňuje lepší prenos tepla. Základné typy zvlnenia vidieť na obrázku 3.13. Hladké zvlnenie je základná forma a používa sa zvyčajne pre prúdy s nízkymi tlakovými stratami. Perforované zvlnenie má väčší tepelný výkon ako hladké zvlnenie. Pri vrúbkovanom zvlnení je zvlnenie rozdelené na 3,2 mm široké lamely, ktoré sú posunuté do strany o polovicu šírky jednej vlny. Toto výrazne zvyšuje prestup tepla. Rybinové zvlnenie je vyrobené pomocou premiestnenia lamiel po vrstevnici každých 9,5 mm, čo zapríčiňuje striedavé zakrivenie.[17]



Obr. 3.13 Základné typy zvlnenia. [17]

Výška zvlnenia je závislá na type používaného média. Pre látky s vyšším tlakom, ako sú kvapaliny, je výška nižšia a pri látkach s nižším pracovným tlakom môže byť výška zvlnenia vyššia.[17]

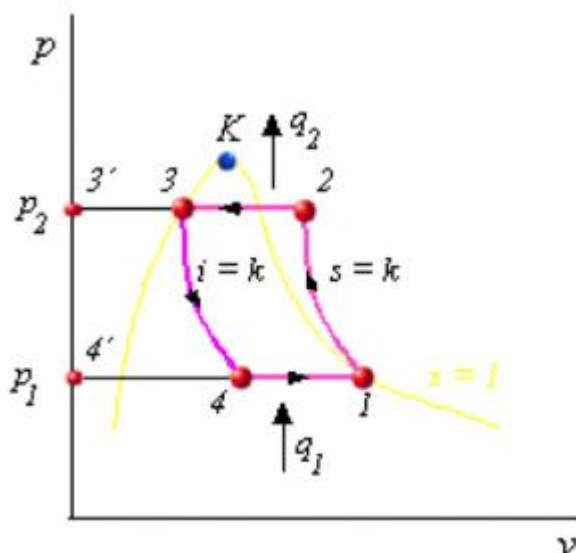
Polypropylénový výmenník tepla

Polypropylénový výmenník tepla patri medzi novodobé výmenníky tepla. Konštrukcia pozostáva z použitia tenkých dutých polypropylénových vlákien, ktoré sú upevnené pomocou lepidla do polyuretánových trubiek. Maximálna prevádzková teplota polypropylénových výmenníkov je 70°C. [18]

4.7 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je kompresorový prístroj, ktorý slúži na prenos tepla vynaložením vonkajšej práce. Prvé tepelné čerpadlo navrhol Slovák Aurel Stodola v roku 1928, ktoré je ešte stále v prevádzke v Ženeve, kde vykuruje radnicu pomocou tepla z jazerneho vody.

Základný princíp tepelného čerpadla je založený na obrátenom Rankinovom obeh, ktorý je na obrázku 4.1. Rankinov obeh vznikol úpravami Carnotovho obehu.[19]



Obr. 4.1 Pracovný p-v diagram tepelného čerpadla. [20]

- 1-2 je proces, pri ktorom v kompresore nastáva adiabatická kompresia z počiatočného tlaku p_1 na tlak p_2 . Zároveň dochádza k nárastu teploty z T_1 na T_2 .
- 2-3 prebieha izobarická kondenzácia v kondenzátore, ktorá je zapríčinená odvedením tepla q_2 .
- 3-4 dochádza k adiabetickej expanzii, pri ktorej sa znižuje tlak p_2 na tlak p_1 a tiež sa znižuje teplota T_2 na teplotu T_1 .
- 4-1 prebieha izobarické odparenie vo výparníku

Tepelné čerpadlo sa skladá z výparníka, kompresoru, kondenzátora a škrtiaceho ventilu.[20]

Výparník

Výparník slúži na prívod nízko potenciálneho tepla prostredníctvom okolitého vzduchu. Chladivo sa vyparuje pôsobením privádzaného tepla. Vzniknutá para prenáša tepelnú energiu do kompresora.

Kompresor

Pomocou kompresora je para z výparníka stlačená a prepravená do kondenzátora. Vynaložená práca kompresorom sa mení na teplo, ktoré sa pripočíta ku teplu z výparníka.

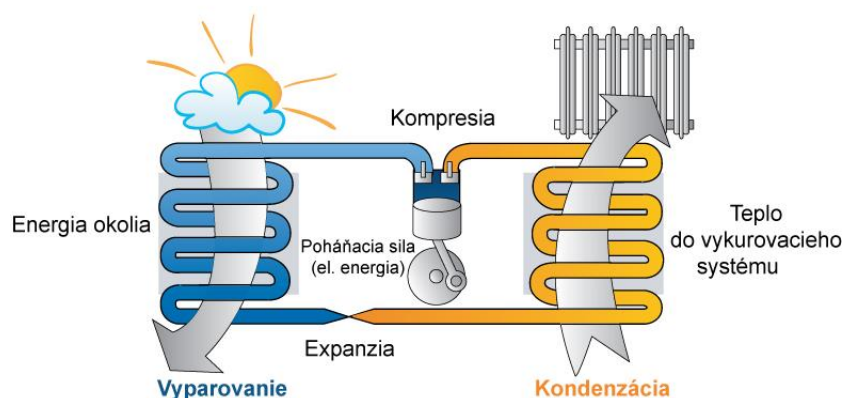
Kondenzátor

V kondenzátore sa prenáša teplo z výparníka a kompresora do cirkulujúceho vykurovacieho média. Para z kompresora a výparníka kondenzuje v dôsledku vyššieho tlaku. Odovzdávané teplo vykurovaciemu médiu je navýšené o kondenzačné teplo.

Škrtiaci ventil

Skondenzovaná kvapalina sa pomocou škrtiaceho ventilu vstrekuje do výparníka aby sa mohla opätovne vypariť pôsobením nižšieho tlaku vo výparníku. Prítomnosťou škrtiaceho ventilu, namiesto expanznej nádoby, sa líši Rankinov obeh od Carnotovho obehu.[20]

Základný princíp funkcie tepelného čerpadla je na obrázku 4.2.



Obr. 4.2 Princíp tepelného čerpadla. [21]

Podľa zdroja tepla, ktorým môže byť napríklad podzemná voda, povrchová voda, vonkajší vzduch alebo pôda, rozdeľujeme tepelné čerpadlá na: **vzduch-voda, voda-voda, zem-voda, vzduch-vzduch**. [19]

Výkon tepelného čerpadla určuje výkonové číslo, ktoré sa označuje COP.

$$COP = \frac{|Q|}{W} \quad (1)$$

Je to pomer tepelného výkonu kondenzátora a energie privádzanej do kompresora. Je to teda vzťah medzi energiou v kW vydávanou tepelným čerpadlom a energiou v kW privádzanou do kompresora. Výkonové číslo býva väčšinou medzi 3 až 5. [19]

4 TEPELNÁ AKUMULÁCIA ENERGIE

Tepelná akumulácia energie (TAE) je technológia, ktorá sa zaoberá skladovaním tepelnej energie vo forme vykurovania alebo chladenia, za účelom jej neskoršieho využitia. Táto energia sa následne využíva na vykurovanie, chladenie alebo výrobu elektrickej energie. TAE systémy sa používajú najmä v priemyselných procesoch. [22]

Pojem TAE zahŕňa množstvo rôznych technológií. Tepelná energia môže byť uskladnená v rozmedzí teplôt -40°C až po 400°C . [22]

Systémy uskladnenia energie sú navrhnuté na jej akumulovanie, a to v prípade, keď jej produkcia presiahne dopyt po tejto energii. A práve systémy uskladnenia energie sú schopné udržať energiu a následne ju vydať v závislosti na potrebách používateľa.

Úlohou týchto systémov je v dlhšom časovom úseku zabezpečiť vyrovnanie medzi dodávkou energie a jej odbytom. TAE napomáha vývoju ďalších druhov obnoviteľných zdrojov energie, zvyšovaniu efektivity energetických systémov a k redukcii skleníkových plynov. TAE môže byť charakterizovaná pomocou základných vlastností ako sú: [22]

- Kapacita - definuje energiu uskladnenú v systéme v závislosti na skladovacom procese, uskladňovacom médiu a veľkosti systému.
- Napájanie - určuje rýchlosť nabíjania a vybíjania energie zo systému.
- Efektivita - stanovuje pomer energie poskytnutej užívateľovi a energie potrebnej na nabitie systému.
- Doba skladovania - definuje ako dlho je energia uskladnená
- Nabíjací čas a čas vybíjania - určuje dobu potrebnú na nabitie alebo na vybitie.
- Cena - určuje sa na kapacitu (€/ kWh) alebo výkon (€/ kW) skladovacieho systému. Závisí na kapitálových alebo prevádzkových nákladoch na skladovanie a životnosť systému

Existujú tri druhy TAE systémov, ktoré sa rozdeľujú na základe spôsobu uskladnenia energie na: tepelné uskladnenie vlastného tepla, latentné zásobníky tepla a termo - chemické uskladnenie tepla. [22] Ich základné vlastnosti, výhody a nevýhody sú zobrazené v tabuľke 4.1

Parameter	Typ tepelnej akumulácie tepla		
	TAE vlastného tepla	Latentná TAE	Termo - chemická TAE
Teplotný rozsah	Od 110°C (vodné nádrže) do 400°C (betón)	20-40 °C (parafín) 30-80 °C (hydráty soli)	20-200 °C
Kapacita	Slabá 0.2 GJ/m ³	Mierna 0.3-0.5 GJ/m ³	Vyššia 0.5-3 GJ/m ³
Životnosť	Dlhá	Limitovaná periódou procesov	Závislá na degradácii
Výhody	• Nízka cena • Spoľahlivosť • Jednoduchá aplikácia	• Stredná kapacita • Malý objem	• Vysoká kapacita • Nízke tepelné straty • Dlhá doba skladovania • Vysoko kompaktné skladovanie energie
Nevýhody	• Tepelné straty • Potrebný veľký objem	• Nízka tepelná vodivosť • Korózia materiálov • Vysoké tepelné straty	• Vysoká cena • Zložitosť systémov

Tab. 4.1 Základné vlastnosti TAE systémov. [22]

4.1 Uskladnenie vlastného tepla

Uskladnenie energie vo forme vlastnej energie je založené na základe zohriatia konkrétneho pracovného média. Toto médium sa väčšinou uskladňuje v akumulčných nádržiach s vysokou tepelnou izoláciou.

Z rovnice 2 pre výpočet tepla potrebného na ohriatie telesa je evidentné, že táto veličina je závislá na mernej tepelnej kapacite. V tabuľke 4.2 vidieť merné tepelné kapacity rôznych materiálov.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

kde	Q	je	teplo	[J]
	m		hmotnosť látky	[kg]
	c		merná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
	ΔT		zmena teploty	[°C]

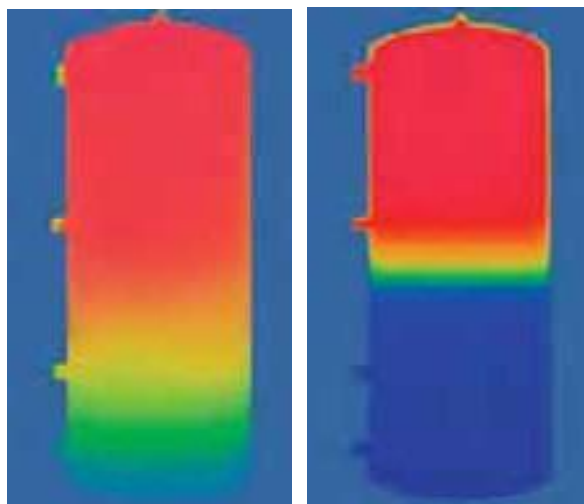
Látka	Merná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
Voda	4180
Vzduch	1003
Etanol	2430
Ľad	2090
Olej	2000
Suché drevo	1450
Železo	450
Meď	383
Zinok	385
Hliník	896
Kameň	2400
Olovo	129
Cín	227
Kremík	703
Betón	2100
Striebro	235

Tab. 4.2 Merná tepelná kapacita rôznych materiálov.

Z tabuľky 4.2 vidieť, že voda je ideálny materiál k využitiu pre akumuláciu tepla, pretože má vysokú mernú tepelnú kapacitu a pritom má nízke počiatočné náklady. Použitie zásobníkov teplej vody je dobre známa technológia, ktorá sa využíva už dlhú dobu. Účelom zásobníkov teplej vody je úspora energie, za pomoci vodou zohrievaných systémov.

Vodné akumulčné nádrže sú nielen cenovo prístupným riešením uskladnenia energie, ale ich efektivita môže byť taktiež ďalej zvyšovaná za pomoci zabezpečenia optimálnych podmienok, ako je napríklad stratifikácia vody v nádrži a vysoká účinnosť izolácie nádrží. V súčasnosti sa už dá za pomoci technologicky vyspelých spôsobov izolácie dosiahnuť až ku zníženiu koeficientu prestupu tepla na hodnotu $\lambda=0,01$ W/mK.[23]

Stratifikácia vody je rozhodujúca pre optimálnu akumuláciu vody. Je to vrstvenie objemu v zásobníku podľa teploty. Vrstvenie vody je možné vďaka rozdielnej hustote látky pri danej teplote. Studená voda má väčšiu hustotu a nachádza sa pri dne nádrže, pričom teplá voda stúpa nahor. Pre zaručenie správnej funkcie stratifikácie je potrebné udržať vrstvy teplôt, nie iba ich vytvoriť. Najväčší vplyv na vrstvenie majú pracovné parametre a spôsob prívodu a odvodu látky zo a do zásobníka. Na obrázku 4.1 je vidieť rozdiel medzi nádržami so stratifikáciou a bez nej.[24]



Obr.4.1 Nádrž bez stratifikácie vody a nádrž so stratifikáciou vody. [24]

Akumulačné nádrže sa využívajú aj v domácnostiach a to na uskladnenie prebytočného tepla, ktoré sa nedá v daný čas využiť. Zdroj tepla býva najčastejšie kotol na tuhé palivo, tepelné čerpadlo, slnečné kolektory, krbová vložka a iné.[25]

Nádrže pre bežné využitie a pre domácnosti sa rozdeľujú na základe ich konštrukcie na nádrže bez ohrevu teplej úžitkovej vody, nádrže s rúrkovým výmenníkom pre ohrev teplej úžitkovej vody, nádrže s vnoreným zásobníkom TÚV vo vnútri.

Uskladnenie vlastného tepla je relatívne lacnejší spôsob uskladnenia tepla v porovnaní s latentnými zásobníkmi tepla alebo termo chemickým uskladnením tepla. Akumulačné nádrže slúžia na vyrovnanie výkonu, kotol môže pracovať s optimálnou účinnosťou, čo znižuje spotrebu paliva.

Nádrže bez ohrevu teplej vody

Akumulačné nádrže bez ohrevu TÚV sú najčastejšie vyrobené z kvalitnej ocele. Ich konštrukcia je pomerne jednoduchá, nakoľko sa v nich nenachádza žiadny výmenník alebo ďalšia nádrž. Štandardne majú tieto nádrže deväť vstupov a výstupov G6/4“. Základný typ nádrže bez ohrevu TÚV je na obrázku 4.2.[26]



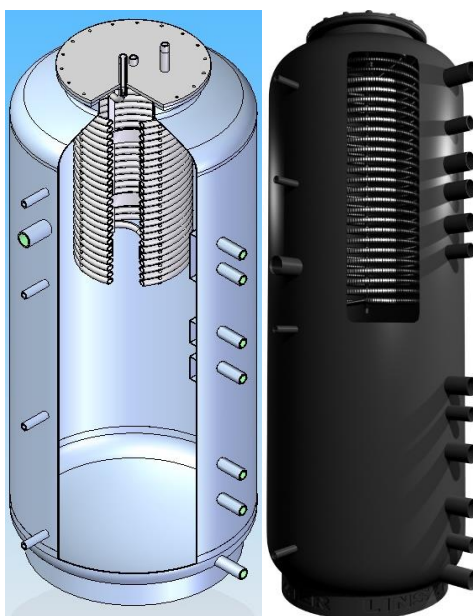
Obr. 4.2 Nádrž bez ohrevu TÚV. [26]

Nádrže s rúrkovým výmenníkom

Akumulačné nádrže sú vybavené jedným alebo dvoma vysokoúčinnými nerezovými rúrkovými výmenníkmi, ktoré slúžia na ohrev TÚV. Na obrázku 4.3 je základná akumulčná nádrž model LMT. [27]

Technické parametre:

- Kvalitný základný materiál - oceľ S235JRG2
- Základný vonkajší náter nádrže, vnútro surová oceľ
- Hrúbka plášťa akumulčnej nádrže: 3mm
- Hrúbka dna akumulčnej nádrže: 4 mm
- Maximálny pracovný tlak v nádrži: 0,3 MPa (3 bar)
- Maximálny pracovný tlak vo výmenníku: 1 MPa (10 bar)
- Pracovná teplota: 0-95°C



Obr. 4.3 Akumulačná nádrž s výmenníkom.[27]

Nádrže s vnoreným zásobníkom

Akumulačné nádrže s vnoreným zásobníkom obsahujú prídavnú nádrž na TÚV, vo vnútri akumulčnej nádrže. Táto prídavná nádrž je vnútri pokrytá smaltovaným náterom, pre lepšiu ochranu voči korózii. Na obrázku 4.3 je akumulčná nádrž model HR od firmy Attack, spolu s technickými parametrami tohto modelu nádrže.[28]

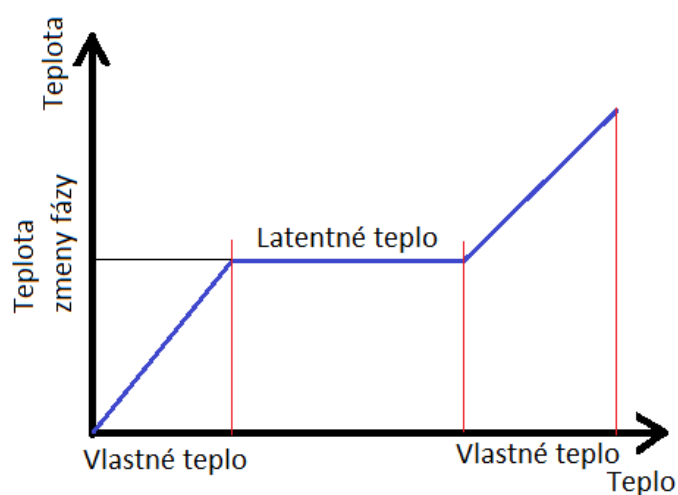
- Maximálny prevádzkový tlak v akumulčnej nádrži: 3 bar
- Maximálna prevádzková teplota v nádrži: 95°C
- Maximálny prevádzkový tlak v zásobníku TÚV: 6 bar
- 10x nátrubok G 1 1/2", 6x nátrubok G 1/2", 2x nátrubok G 1" – TÚV



Obr. 4.3 Nádrž s vnoreným zásobníkom Attack HR.[28]

4.2 Latentné zásobníky tepla

Latentné zásobníky tepla využívajú zmenu fázy pracovnej látky pri akumulácii energie. Zmena fázy zabezpečuje vyššie skladovacie kapacity a môže byť buď z pevnej na kvapalnú alebo z pevnej na pevnú. Na začiatku procesu „pevná – kvapalná latentná látka“ dochádza k rovnakému správaniu ako pri akumulácii vlastného tepla. Teplota látky stúpa, pretože absorbuje teplo, až po teplotu tavenia látky. Pri tejto teplote sa mení fáza a látka absorbuje veľké množstvo energie pri malej zmene teploty, až kým sa celá látka neroztaví do kvapalnej fázy. Ak sa teplota okolia látky zníži, následne tuhne a vylučuje latentné teplo, ktoré je v nej uložené. Tento proces je znázornený v grafe 4.1.



Graf 4.1 Latentné teplo.

Latentné látky rozdeľujeme na:[29]

- Organické
- Anorganické
- Eutektické

V tabuľke 4.1 sú vypísané látky s teplotou tavenia, entalpiou pri tavení a hustotou, ktoré sú najvhodnejšie na využitie pri latentných zásobníkoch tepla. Parafín má dobré vlastnosti pre použitie na uskladnenie tepla. Pridáva sa do sadrokartónov alebo omietok na dosiahnutie pasívneho chladenia. Počas dňa sa roztaví a v noci tuhne, čo znižuje teplotu okolia.

Látka	Teplota tavenia [°C]	Entalpia [kJ/kg]	Hustota [kg/m ³]
Ľad	0	333	0,92
Sodium acetate trihydrate	58	250	1,3
Parafín	-5 až 120	150-240	0,77
Erytritol	118	340	1,3

Tab. 4.1 Látky na latentné využitie. [22]

Latentné uskladnenie tepla je zložitejšie a nákladnejšie ako uskladnenie vlastného tepla. Náklady na proces sú 10-50 €/kWh. [22]

Zmena fázy materiálu môže byť použitá nielen pre krátkodobé skladovanie energie ale použitím rôznych techník a materiálov je možné ju využiť aj na dlhodobé uskladnenie energie.

4.3 Termo-chemické uskladnenie energie

Termo - chemické uskladnenie energie je založené na chemických reakciách, ktoré môžu byť reverzné. Základný princíp je znázornený pomocou rovnice (3).



Najzaujímavejšie chemické reakcie, ktoré sa môžu využiť v termo - chemickom uskladnení energie sú znázornené v tabuľke 4.2.

Reakcia	Teplota [°C]	Merná entalpia [kJ/kg]
Parná reformácia metánu $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2$	480-1195	6053
Disociácia amoniaku $2\text{NH}_3 = \text{N}_2 + 3\text{H}_2$	400-500	3940
Tepelná dehydrogenácia kovových hydridov $\text{MgH}_2 = \text{Mg} + \text{H}_2$	250-500	3079
Dehydratácia hydroxidov $\text{Ca(OH)}_2 = \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	402-572	1415
Katalytická disociácia $\text{SO}_3 = \text{SO}_2 + 0.5\text{O}_2$	520-960	1235

Tab. 4.2 Základné reakcie pri termo-chemickom uskladnení energie.[30]

Látka C absorbuje energiu vo forme tepla a rozkladá sa chemicky na dve zložky A a B, ktoré sú reaktanty. Látka C je zvyčajne pevná alebo kvapalná látka, pričom A a B látky môžu byť ľubovoľného skupenstva.

Termo - chemický proces zahŕňa tri procesy: [31]

- Nabíjanie
- Skladovanie
- Vybíjanie

Nabíjanie

Nabíjanie je endotermický proces, pri ktorom dochádza k absorbovaniu energie z energetického zdroja. Týmto zdrojom môže byť odpadové teplo, ktoré nemá ďalšie využitie. Následne slúži energia na disociáciu termo - chemickej látky a je ekvivalentná reakčnému teplu alebo entalpii. Po procese nabíjania majú látky A a B rôzne vlastnosti.

Skladovanie

Skladovanie je proces pri ktorom sú látky A a B uskladnené zvlášť, s malými alebo žiadnymi stratami energie. Látky sa uskladňujú pri teplote okolia. Strata energie je spôsobená degradáciou materiálu.

Vybíjanie

Počas tohto procesu dochádza k spojeniu látky A a B a nastáva exotermická reakcia. Exotermická reakcia je reakcia, pri ktorej dochádza k uvoľneniu tepla. Po procese vybíjania môže byť látka C regenerovaná a použitá znova v procese.

Medzi zaujímavé materiály vhodné na termo - chemické uskladnenie energie patrí aj *Zeolit*.

Zeolit

Zeolit je nerast. Jeho jedinečnosť je priestorové usporiadanie atómov, ktoré vytvárajú kanáliky a dutiny konštantných rozmerov. Kanáliky slúžia na zachytávanie látky ľubovoľnej fázy. Kryštalická štruktúra ovplyvňuje jeho fyzikálno - chemické vlastnosti. Je to jedinečný materiál, ktorý pri zvýšení tlaku zväčšuje svoj objem. Jeho využitie v termo - chemickom uskladnení energie je možné vďaka jeho vysokej sorpčnej schopnosti.

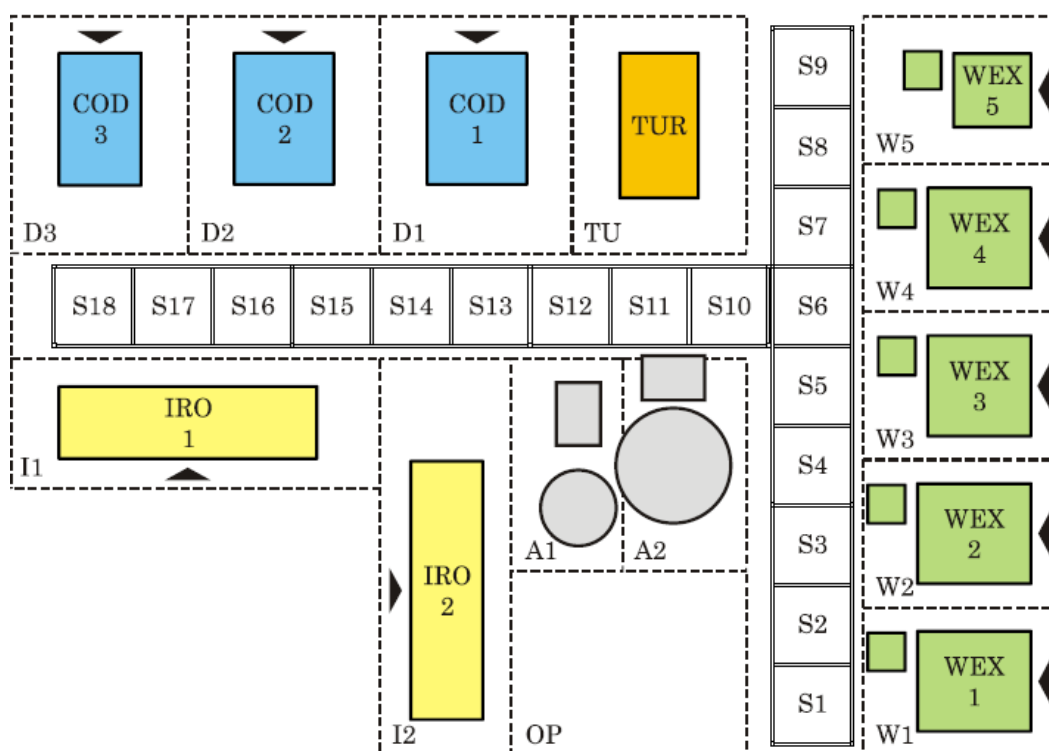
Existuje 130 druhov zeolitov. Jeden z nich je klinoptitol, ktorý sa ťaží aj na Slovensku.

5 LENP NETME CENTRE

NETME Centre, celým názvom **New Technologies for Mechanical Engineering**, je výskumné a vývojové centrum pre nové technológie v obore strojárstva. Oficiálny začiatok projektu bol 1. Januára 2010, ktorý naviazal na dlhodobú vedeckú, výskumnú a vývojovú činnosť FSI VUT v Brne. Cieľom NETME Centra je zvýšenie spolupráce s aplikačnou sférou a posilnenie konkurencieschopnosti oblasti.

Laboratórium energeticky náročných procesov sa zameriava na výskum, ktorý je rozvíjaný pracoviskom nazvaným Model energeticky náročného spotrebiteľa. V laboratóriu je zriadená moderná priemyselná pracovňa s kapacitou až 500 kg prádla za zmenu. Súčasťou laboratória sú pračky, sušičky, žehliče, žehliace lisy, úprava vody a systém dávkovania práce chémie, testovacie prádlo, systém na identifikáciu prádla pomocou rádiových frekvencií a ďalšie príslušenstvo potrebné na správnu prevádzku priemyselnej pracovne.

Základné vybavenie LENP tvorí: 5 pračiek, 3 bubnové sušiče, 2 valcové žehliče (IRO1-2), 1 žehliaci lis. Na obrázku 5.1 je znázornené priestorové rozmiestnenie s legendou príslušných zariadení v LENP.



- W1-5 plocha s pračkami
- D 1-3 plocha s bubnovými sušičkami
- I 1-2 plocha s valcovými žehličkami
- TU plynová turbína
- A1 umiestnenie akumulačnej nádrže
- A2 umiestnenie systému pre recykláciu plákanvej vody.
- OP stanovište operátora pracovne
- S1-18 stojanová konštrukcia s rozvodmi médií

Obr. 5.1 Schéma LENP.[1]

Pračky

Pračky v laboratóriu sú značky Primus modelovej rady FX. Dve pračky modelu FX240 majú bubnovú kapacitu 24kg, dve pračky modelu FX180 majú kapacitu 18 kg a jedna pračka modelu FX80 má bubnovú kapacitu 8kg. Základné parametre sú znázornené v tabuľke 5.1.

Typ Označenie		Primus FX240 WEX1-2	Primus FX180 WEX3-4	Primus FX80 WEX5
Kapacita bubna	[kg]	24	18	8
Objem bubna	[l]	240	180	75
Priemer bubna	[mm]	750	750	530
Druh ohrevu	[-]	Elektricky/parný	Elektricky/parný	Elektricky/parný
Príkon el. Ohrevu	[kW]	18	18	6
Napájanie odtoku vody	[mm]	76	76	76
Prietoková rýchlosť vypúšťania	[l/min]	210	210	-

Tab. 5.1 Parametre pračiek. [1]

Bubnové sušiče

Pre zabezpečenie sušenia prádla slúžia 3 sušiče, modelovej rady T, pričom každý z nich má iný zdroj ohrevu. Základné parametre každého modelu bubnovej sušičky sú znázornené v tabuľke 5.2.

Typ Označenie		Primus T24G COD1	Primus T24S COD2	Primus T16E COD3
Kapacita bubna	[kg]	24	24	16
Objem bubna	[l]	530	530	345
Priemer bubna	[mm]	930	930	760
Druh ohrevu	[-]	Plynový	Parný	Elektrický
Príkon ohrevu	[kW]	33	27-36,2	24
Limit teploty sušenia	[°C]	82	70	70
Prietok vzduchu	[m ³ /h]	900	950	600

Tab. 5.2 Parametre bubnových sušičiek. [1]

Valcové žehliče

V LENP sa nachádzajú dva valcové žehliče modelu I33-200 G a I33-200 E. Tieto lisy slúžia na odstránenie zvyšnej vlhkosti a na žehlenie plošného pravidelného prádla. Základne parametre týchto valcových žehličov sú znázornené v tabuľke 5.2

Typ		Primus I33-200G	Primus I33-200E
Kapacita podľa ISO 9398-1	[kg]	72	70
Priemer valca	[mm]	320	320
Dĺžka valca	[mm]	2080	2080
Druh ohrevu	[-]	plynový	Elektricky
Príkon ohrevu	[kW]	30	27,9
Rýchlosť žehlenia	[m/min]	1-6	1-6

Tab. 5.2 Parametre valcových žehličov. [1]

6. PRAKTICKÁ ČASŤ DIPLOMOVEJ PRÁCE

Úlohou praktickej časti diplomovej práce je návrh energetického zariadenia na využitie odpadnej energie. V tabuľke 2.3 v kapitole 2. PROCES PROFESNEJ ÚDRŽBY PRÁDLA sú vymenované hlavné odpadné látky, ktorých následné energetické využitie je vzhľadom k ich potenciálu z energetického a ekonomického hľadiska najzaujímavejšie. Praktická časť diplomovej práce je zameraná na jeden konkrétny druh odpadnej látky, ktorou je odpadná voda z pračiek. A to z dôvodu, že odpadná voda má určité parametre, ktoré ju zvyhodňujú v porovnaní s ostatnými odpadnými látkami. Jednými z týchto parametrov sú napríklad: vysoká teplota, množstvo odpadnej vody, pomerne jednoduchá technológia a iné.

Systém na využitie odpadného tepla z pračiek bude navrhnutý na základe spracovania informácií z dostupných zariadení na využitie odpadného tepla. Po návrhu najvhodnejšieho systému sa v diplomovej práci zhrnie nielen jeho popis ale aj presné umiestnenie, energetické a ekonomické zhodnotenie daného návrhu.

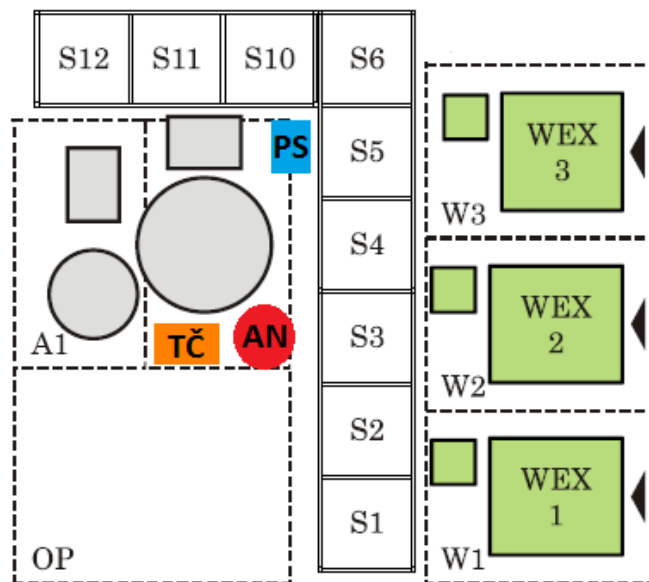
V energetickej časti sa rozoberie energetický potenciál odpadného prúdu. Ďalej sa určia tepelné straty daného zariadenia. V ekonomickej časti sa bude klásť dôraz na náklady potrebné na zriadenie návrhu a v závere tejto časti bude zhodnotená celková finančná stránka celého projektu, spolu s predpokladanou dobou návratnosti.

6.1 Návrh technológie pre LENP

Pri návrhu technológie, ktorá by sa dala použiť sa muselo zohľadniť viacero faktorov, ktoré ovplyvnili konečný výber najvhodnejšieho zariadenia na využitie odpadného tepla z pračiek. Medzi rozhodujúce faktory patrilo vyústenie odpadných rozvodov pracovne, obmedzené priestory, množstvo odpadnej vody, účinnosť zariadenia a jednoduchá inštalácia (malý zásah do prevádzky).

Najrozhodujúcejším faktorom, ovplyvňujúcim návrh technológie boli práve rozvody odpadných vôd z pračiek a obmedzené priestory. Pračky WEX 1, WEX2 a WEX 3 ústia do prvej odtokovej rúry (ďalej iba odt. rúra A) a pračky WEX4 a WEX5 ústia do druhej odtokovej rúry (ďalej iba odt. rúra B). V laboratóriu je málo miest, na ktoré by sa dalo zariadenie na využitie odpadného tepla umiestniť. Aj pri výbere kompaktniejšieho zariadenia budú potrebné určité rozmery na jeho umiestnenie a prevádzku. Na základe grafického planu laboratória, ktorý vidíme na obrázku 5.1, je jediným miestom vhodným na inštaláciu daného zariadenie časť zasahujúca do operátorského stanovišťa.

Predbežný návrh technológie na využitie odpadného tepla z pračiek je zobrazený na obrázku 6.1. Prečerpávacía stanica (PS) je napojená na odtokovú rúru A v zóne S10. Tato stanica bude prečerpávať vodu z potrubia do akumuláčnej nádrže (AN). Tepelné čerpadlo (TČ) je napojené na akumuláčnú nádrž a slúži na prečerpávanie tepla z akumuláčnej nádrže (AN) do akumuláčnej nádrže (A1), ktorá je zásobárňou predhriatej vody na pranie. Výber konkrétnych komponentov bude rozobratý v ďalších kapitolách.



Obr. 6.1 Umiestnenie navrhnutej technológie.

Väčšina špinavého prádla v práci je zo závodnej kuchyne. Z toho dôvodu sa v praktickej časti zohľadní aktuálna prevádzka pracovne, s tým, že sa pri výpočtoch sa použije ten program prania, ktorý sa používa vo väčšine prípadov. Základné informácie najpoužívanejšieho programu 7 - KUCHYNE 60°+90° sú zobrazené v prílohe č. 1.

6.2 Parametre odpadných prúdov z pračiek v LENP

Medzi potrebné parametre odpadových prúdov z pračiek pre návrh zariadenie v LENP sú:

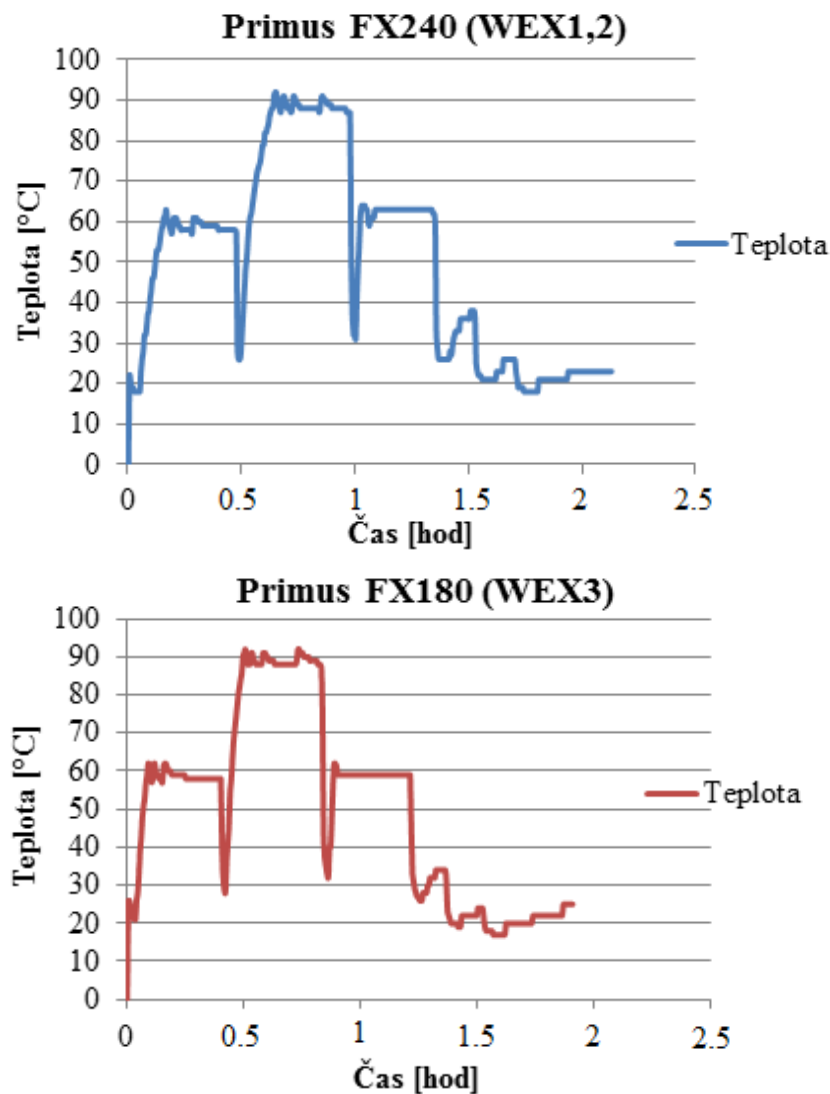
- Teplota odpadnej vody
- Množstvo odpadnej vody

Tieto parametre budú stanovené na základe prevedených meraní zo dňa 3.2.2014, 4.2.2014 a 14.3.2014. Ďalšie rozhodujúce parametre budú vypočítané za pomoci nameraných údajov.

Návrh technológie počíta s využitím pračiek WEX 1 až 3, preto bude potrebné určiť výstupy z pračiek: Primus FX240 (WEX1,2) a Primus FX180 (WEX3).

6.2.1 Teplota odpadnej vody

Presnú teplotu odpadnej vody na výstupe z pračiek nie je možné určiť, nakoľko pre zmeranie teploty by bol potrebný deštruktívny zásah do prevádzky. Teplotu odpadnej vody určíme na základe výstupov z pračiek počas experimentálnych meraní (prílohy). V grafe 6.1 vidieť priebeh teplôt počas pracieho cyklu 7 - KUCHYNE 60°+90°.



Graf 6.1 *Priebeh teplôt počas pracieho cyklu.*

Na základe grafu 6.1 a predpokladu nulovej tepelnej straty sa hodnota výstupnej odpadnej teploty určila tak, aby sa rovnala teplote v pračke. Stanovené teploty odpadných vôd sú znázornené v tabuľke 6.1

Teplota [°C]	Typ pracky	
	Primus FX240	Primus FX180
1. pranie	60	60
2. pranie	90	90
3. pranie	60	60

Tab. 6.1 *Teplota odpadnej vody.*

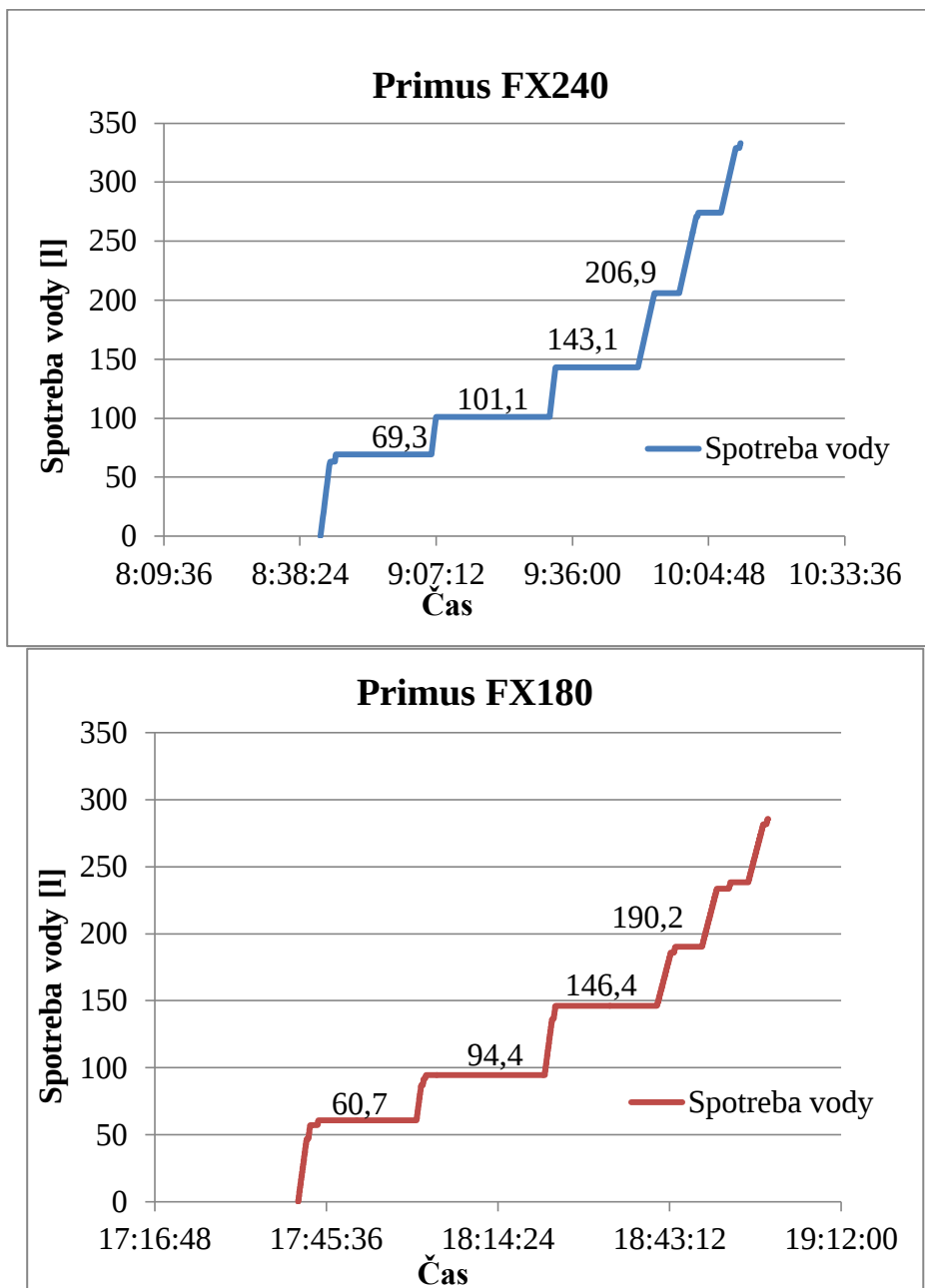
6.2.2 Množstvo odpadnej vody

Na kompletný návrh zariadenia na využitie odpadného tepla z pračiek je potrebné vedieť množstvo odpadnej vody z jednotlivých pračiek. Toto množstvo odpadnej vody z pračiek nebolo možné priamo odmerať, lebo by bol nutný zásah do odtokového

systemu, ktorého rozobratie by bolo komplikované. Z tohto dôvodu je potrebné množstvo odpadnej vody z pračiek vypočítať za pomoci iných veličín, a to spotreby vody a výšky hladiny v pračkách. Tieto veličiny boli získané pri experimentálnom meraní a z tabuľkových výstupov z pračiek.

Spotreba vody

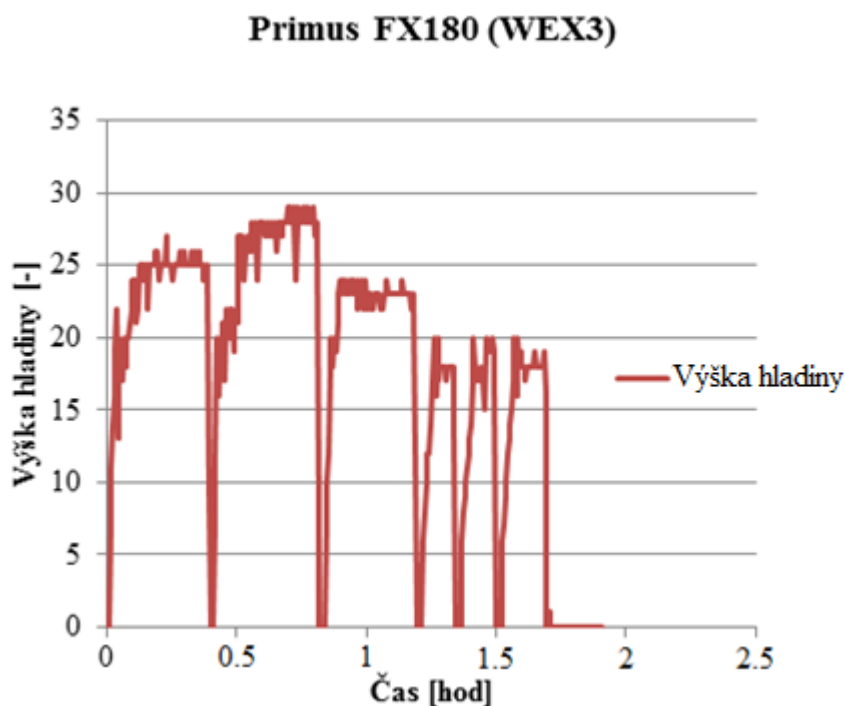
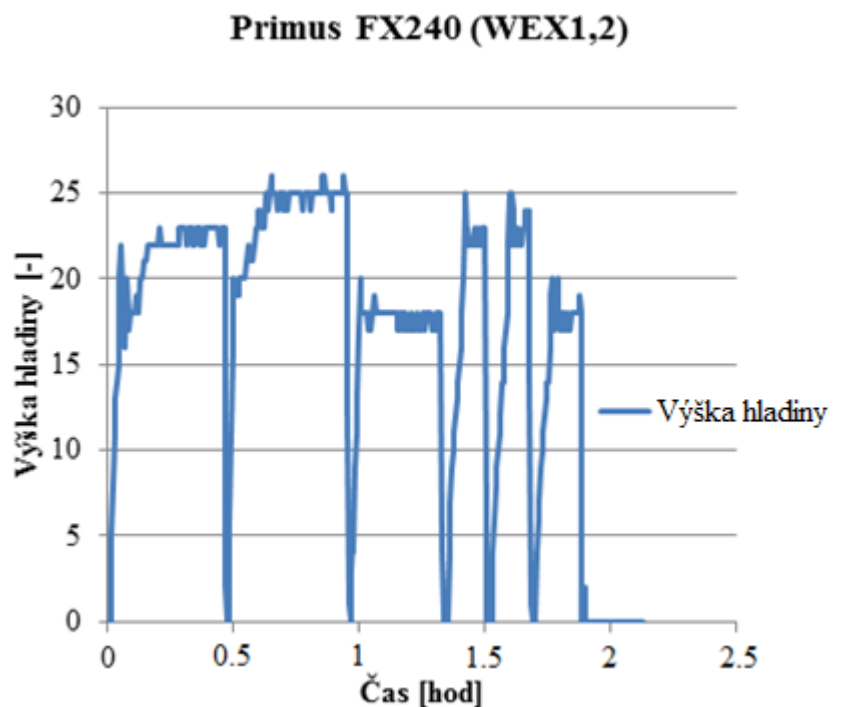
Na grafe 6.2 je znázornená spotreba vody v pračke Primus FX240 (WEX1,2). Z grafu môžeme vyčítať, aká je spotreba vody v jednotlivých krokoch prania, vrátane plákania. Tieto isté veličiny sú odmerané aj pre pračku Primus FX180 (WEX3) a sú znázornené v grafe 6.2



Graf 6.2 Spotreba vody v pračkách.

Hladina vody v práčke

Výška hladiny vody v práčke je parameter pračky, ktorý stanovuje mieru zatopenia bubna v práčke. Na grafe 6.3 sú znázornené výšky hladiny v práčke Primus FX240 a Primus FX180. Podľa stanoveného pracieho programu 7 - KUCHYNE 60°+90° by mala byť výška hladiny počas všetkých troch krokov prania 20. Ako môžeme vidieť na grafe 6.3, reálna výška hladiny je pri oboch pračkách podstatne vyššia.



Graf 6.3 Výška hladiny vody.

6.2.3 Výpočet parametrov

Experimentálne veličiny uvedené v predchádzajúcej kapitole sa do potrebných výpočtov nedajú dosadiť, nakoľko majú príliš veľké odchýlky a s ich použitím by bol konečný výsledok nepresný. Preto bude výpočet množstva odpadnej vody založený na presnejších výsledkoch z výskumu Petra Bobáka, uvedených v dizertačnej práci. [1]

Pre výpočet odpadnej vody z pračiek je nutné určiť množstvo vody viazanej v prádle. Hmotnosť vody viazanej v prádle m_{VP} , určíme na základe vzťahu (4). Merná vlhkosť prádla $SMC_{SP,VP}$ sa stanovila na základe použitej literatúry. [1]

$$m_{VP} = SMC_{SP,VP} * m_{SP} \quad (4)$$

kde m_{SP} je hmotnosť suchého prádla [kg]

Hmotnosť odpadnej vody m_{OV} sa určí zo vzťahu (5)

$$m_{OV} = BR * m_{SP} - m_{VP} \quad (5)$$

kde BR je pomer vodného kúpeľa [kg/kg]

Objem odpadnej vody V_{OV} je vypočítaný zo vzťahu (6)

$$V_{OV} = \frac{m_{OV}}{\rho_{H_2O}} \quad (6)$$

kde ρ_{H_2O} je hustota vody = 998,2 [kg/m³]

V tabuľkách 6.2 a 6.3 sú zhrnuté výsledky pre pračku FX240 a pračku FX180 pri pracom programe 7 - KUCHYNE 60°+90°.

Primus FX240						
Krok prania	m_{SP} [kg]	$SMC_{SP,VP}$ [kg/kg]	m_{VP} [kg]	BR [kg/kg]	m_{OV} [kg]	V_{OV} [l]
1.	24	1.3	31.2	3	40.8	40.874
2.	24	1	24	3	48	48.087
3.	24	1.3	31.2	3	40.8	40.874
Suma	-	-	-	-	129.6	129.834

Tab. 6.2 Výsledky pre pračku Primus FX240.

Primus FX180						
Krok prania	m_{SP} [kg]	$SMC_{SP,VP}$ [kg/kg]	m_{VP} [kg]	BR [kg/kg]	m_{OV} [kg]	V_{OV} [l]
1.	18	1.3	23.4	3	30.6	30.655
2.	18	1	18	3	36	36.065
3.	18	1.3	23.4	3	30.6	30.655
Suma	-	-	-	-	97.2	97.375

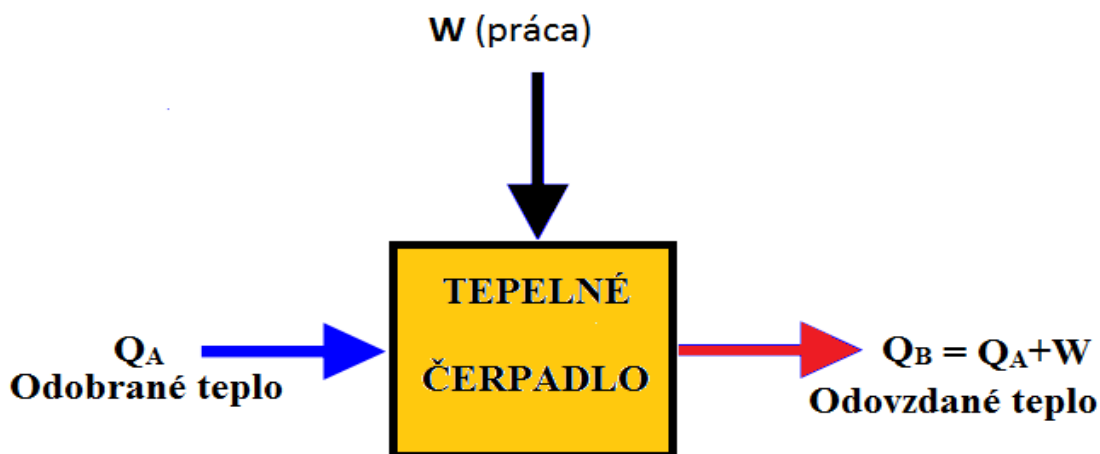
Tab. 6.3 Výsledky pre pračku Primus FX180.

7. ENERGETICKÉ ZHODNOTENIE TECHNOLOGIE

Pri návrhu každého projektu je potrebné okrem teoretickej časti návrhu zobrať do úvahy aj použitie v praxi a v reálnych podmienkach. Preto sa v tejto časti rieši celkové odpadné teplo z pračiek a tepelné straty potrubia. Výpočet tepelných strát potrubia je potrebný aj z toho dôvodu, aby sa vedelo ako veľmi ovplyvňuje izolácia výsledné množstvo odpadného tepla.

7.1 Výpočet odpadného tepla z pračiek

Táto časť obsahuje výpočet tepla, ktoré vychádza z pračiek. Tento údaj je potrebný na vypočítanie celkového množstva odpadného tepla, ktoré bude možné následne ďalej využiť. Na výpočet odpadného tepla je potrebné vedieť vzťahy z energetickej bilancie tepelného čerpadla, ktoré sú znázornené na obrázku 7.1.



Obr. 7.1 Bilancia tepelného čerpadla.

Celkové odovvzané teplo Q_B pomocou tepelného čerpadla vypočítame zo vzťahu (7)

$$Q_B = Q_A + W \quad (7)$$

kde	Q_A	je	teplo odobrané z akumuláčnej nádrže	[kJ]
	W		práca vykonaná tepelným čerpadlom	[kW]

Celkové teplo Q_A , ktoré je možné odobrať z odpadnej vody z práčky vypočítame na základe vzťahu (8).

$$Q_A = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (8)$$

kde	Q_1	je	teplo odobraté pri 1. kroku prania	[kJ]
	Q_2		teplo odobraté pri 2. kroku prania	[kJ]
	Q_3		teplo odobraté pri 3. kroku prania	[kJ]

Teplu odobrané z i -tého kroku vypočítame zo vzťahu (9)

$$Q_i = m_i \cdot c_i \cdot (t_{ovi} - t_{mini}) \quad (9)$$

kde	m_i	je	hmotnosť odpadnej vody pri i -tom kroku	[kg]
	c_i		merná tepelná kapacita vody pri i -tom kroku	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
	t_{ovi}		teplota odpadnej vody	[°C]
	t_{mini}		predpokladaná minimálna teplota	[°C]

Predpokladaná minimálna teplota je určená na základe minimálnej teploty s ktorou tepelné čerpadlo dokáže pracovať a za predpokladu, že tepelné čerpadlo dokáže odobrať potrebné množstvo tepla, aby táto teplota bola dosiahnutá. Výsledky odpadného tepla pre jednotlivé kroky pračiek sú znázornené v tabuľkách 7.1 a 7.2.

Krok prania	Hmotnosť odpadnej vody	Výstupná teplota	Predpokladaná minimálna teplota	Merná tepelná kapacita vody	Teplo
	[kg]	[°C]	[°C]	[kg]	[kJ]
1.	40,8	60	8	4,18	8868,288
2.	48	90	8	4,18	16452,48
3.	40,8	60	8	4,18	8868,288

Tab. 7.1 *Odpadné teplo pračky Primus FX240.*

Krok prania	Hmotnosť odpadnej vody	Výstupná teplota	Predpokladaná minimálna teplota	Merná tepelná kapacita vody	Teplo
	[kg]	[°C]	[°C]	[kg]	[kJ]
1.	30,6	60	8	4,18	6651,216
2.	36	90	8	4,18	12339,36
3.	30,6	60	8	4,18	6651,216

Tab. 7.2 *Odpadné teplo pračky Primus FX180.*

Najpoužívanejšia jednotka v energetike je kilowatthodina. Preto je lepšie uvádzať hodnoty v týchto jednotkách. Celkové teplo za jeden prací cyklus 7 KUCHYNE 60°+90° pre jednotlivé pračky je znázornený v tabuľke 7.3

Typ pračky	Primus FX240	Primus FX180
Celkové teplo		
	[kJ]	34189,056
	[kWh]	9,497
		7,123

Tab. 7.3 *Celkové výsledky odpadného tepla za prací cyklus.*

7.2 Výpočet tepelných strát odtokového potrubia

Tepelné straty sú najväčším problémom pri akumulácii tepla. K týmto stratám dochádza v prípade, že teplota média je vyššia ako teplota okolia. Zníženie tepelných strát sa realizuje prostredníctvom tepelnej izolácie.

Potrubie je zariadenie, ktoré sa skladá najčastejšie z rúr kruhového prierezu. Ich hlavnou úlohou je doprava rôznych materiálov, či už plynov, pár, kvapalín, alebo pevných a sypkých zmesí. Odtokové potrubie z pračiek pozostáva z HT odpadnej rúry. Potrubná trasa jednotlivých pračiek pozostáva z dvoch rôznych rúr s rôznou menovitou svetlosťou DN70 a DN100. Potrebné údaje o HT potrubí sú znázornené na obrázku 7.2. Dĺžka jednotlivých potrubí je znázornená v tabuľke 7.4



Obr. 7.2 Základné vlastnosti HT potrubia (32)

Práčky	Dĺžka úsekov [mm]		Celková dĺžka potrubia [mm]
	DN70	DN100	
WEX1	1330	4250	5580
WEX2	1330	2500	3830
WEX3	1330	1000	2330

Tab. 7.4 Dĺžka úsekov potrubia.

Pre výpočet tepelných strát je nutné vypočítať hustotu tepelnej straty jednotlivých úsekov q_i zo vzťahu (10). Teplota okolitého vzduchu je približne 22 °C.

$$q_i = k_i \cdot (t_{OV} - t_{VZD}) \quad (10)$$

kde	q_i	je	hustota tepelnej straty i-tého úseku	[W.m ⁻¹]
	k_i	je	súčiniteľ prestupu tepla valcovou stenou	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
	t_{OV}		teplota odpadnej vody	[°C]
	t_{VZD}		teplota okolitého vzduchu $t_{VZD} = 22^\circ\text{C}$	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]

Neznámou veličinou zo vzťahu (10) je súčiniteľ prechodu tepla k_i , ktorý určíme na základe vzťahu (11).

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot d} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot D} \right)} \quad (11)$$

kde	α_1	je	súčiniteľ prestupu tepla na vnútornej strane potrubia	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
	α_2		súčiniteľ prestupu tepla na vonkajšej strane potrubia	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
	λ		tepelná vodivosť materiálu potrubia	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
	d		vnútorný priemer potrubia	[m]
	D		vonkajší priemer potrubia	[m]

Základné vlastnosti vody v závislosti na teplote sú znázornené v tabuľke 7.5. Súčiniteľ prestupu tepla na vnútornej strane potrubia α_1 je potrebné vypočítať pomocou vzťahu (12). Zároveň je súčiniteľ prestupu tepla na vonkajšej strane potrubia $\alpha_2=10 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, keďže sa jedná o voľnú konvekciu vzduchu pri malých rýchlostiach prúdenia. HT potrubie je vyrobené z polypropylénu, ktorého tepelná vodivosť je $\lambda=0,16 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Teplota	hustota	Merná tepelná kapacita	Tepelná vodivosť	Kinematická viskozita	Dynamická viskozita	Prandtlovo číslo
[°C]	[kg.m ⁻³]	$\left[\frac{\text{J}}{\text{kg}.\text{K}}\right]$	$[\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$	$\frac{\nu \cdot 10^6}{[\text{m}^2.\text{s}^{-1}]}$	$\frac{\eta \cdot 10^4}{[\text{m}]}$	[-]
0	999,8	4220	0,551	1,792	17,926	13,7
10	999,6	4190	0,575	1,308	13,07	9,56
20	998,2	4180	0,599	1,007	10,05	7,06
30	995,6	4180	0,618	0,804	8,00	5,50
40	992,2	4180	0,634	0,661	6,56	4,30
50	988,0	4180	0,648	0,556	5,49	3,56
60	983,2	4180	0,660	0,477	4,69	3,00
70	977,7	4190	0,668	0,415	4,06	2,56
80	971,8	4200	0,675	0,367	3,57	2,23
90	965,3	4210	0,681	0,328	3,17	1,95
100	958,3	4220	0,683	0,296	2,84	1,75

Tab. 7.5 Základné vlastnosti vody v závislosti na teplote.

$$\alpha_1 = \frac{0.023 \cdot \left(\frac{w \cdot d}{\nu}\right)^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \cdot \lambda_{H_2O}}{d} \quad (12)$$

kde w je rýchlosť prúdenia vody v potrubí [m.s⁻¹]
 ν kinematická viskozita vody pri danej teplote [m².s⁻¹]
 λ_{H_2O} merná tepelná vodivosť vody pri danej teplote [W.m⁻¹.K⁻¹]
 Pr Prandtlovo číslo [-]

Na získanie súčiniteľa prestupu tepla valcovou stenou je potrebné poznať rýchlosť prúdenia vody v potrubí w , ktorú zistíme zo vzťahu (13)

$$w = \frac{\dot{V}}{A} \quad (13)$$

kde $\dot{V}$ je objemový prietok potrubím [m³.s⁻¹]
 A prietoková plocha [m²]

Z kapitoly 5. vieme, že výtoková rýchlosť vypúšťacieho ventilu pračiek je 210 l.min⁻¹, z toho vyplýva že objemový prietok potrubím je $\dot{V} = 0,0035 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

Tepelnú stratu $Q_{\dot{USEK}}$ jednotlivých úsekov určíme na základe vzťahu(14)

$$Q_{\dot{USEK}}=q_i * l_i \quad (14)$$

kde l_i je dĺžka potrubia [m]

Výsledky hustoty tepelnej straty úsekov závislej na teplote sú zobrazené v tabuľke 7.6.

DN	A	w	Pre teplotu 60°C			Pre teplotu 90°C		
			α_1	k_i	q_i	α_1	k_i	q_i
[-]	[m ²]	[m.s ⁻¹]	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$	$\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$	$\left[\frac{W}{m}\right]$	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$	$\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$	$\left[\frac{W}{m}\right]$
70	0,003847	0,910	4241,191	3,552	134,984	4970,178	3,553	135,022
100	0,00785	0,446	2231,846	4,161	158,117	2615,462	4,163	158,186

Tab.7.6 Hustota tepelnej straty pre úseky DN70 a DN100.

Pre lepšie znázornenie sú výsledky tepelných strát potrubí jednotlivých pračiek zobrazené v tabuľkách 7.7, 7.8, 7.9.

WEX1 (Primus FX240)						
Krok	Teplota	Potrubie DN70		Potrubie DN100		Tepelné straty potrubia pračiek
		Hustota tepelnej straty	Tepelné straty úseku	Hustota tepelnej straty	Tepelné straty úseku	
prania	[°C]	[W.m ⁻¹]	[W]	[W.m ⁻¹]	[W]	[W]
1.	60	134,984	179,529	158,117	671,998	851,527
2.	90	135,022	179,58	158,186	672,291	851,87
3.	60	134,984	179,529	158,117	671,998	851,527
Suma						2554,92

Tab. 7.7 Tepelné straty potrubia pračky WEX1 (Primus FX240).

WEX2 (Primus FX240)						
Krok	Teplota	Potrubie DN70		Potrubie DN100		Tepelné straty potrubia pračiek
		Hustota tepelnej straty	Tepelné straty úseku	Hustota tepelnej straty	Tepelné straty úseku	
prania	[°C]	[W.m ⁻¹]	[W]	[W.m ⁻¹]	[W]	[W]
1.	60	134,984	179,529	158,117	395,293	574,822
2.	90	135,022	179,58	158,186	395,465	575,045
3.	60	134,984	179,529	158,117	395,293	574,822
Suma						1724,69

Tab. 7.8 Tepelné straty potrubia pračky WEX2 (Primus FX240).

WEX3 (Primus FX180)						
Krok	Teplota	Potrubie DN70		Potrubie DN100		Tepelné straty potrubia pračiek
		Hustota tepelnej straty	Tepelné straty úseku	Hustota tepelnej straty	Tepelné straty úseku	
prania	[°C]	[W.m ⁻¹]	[W]	[W.m ⁻¹]	[W]	[W]
1.	60	134,984	179,529	158,117	158,117	337,647
2.	90	135,022	179,58	158,186	158,186	337,766
3.	60	134,984	179,529	158,117	158,117	337,647
Suma						1013,06

Tab. 7.9 Tepelné straty potrubia pračky WEX3 (Primus FX180).

Celkové tepelné straty potrubia Q_{STR} sú:

$$Q_{STR}=2554,92 + 1724,69 + 1013,06 = 5292,67 \text{ W} \cong 5,293 \text{ kW}$$

8. VÝBER KOMPONENTOV NA NÁVRH ZARIADENIA

Pre realizáciu návrhu využitia odpadného tepla z pračiek je nutné riešiť výber nasledujúcich komponentov:

- Akumulačná nádrž
- Tepelné čerpadlo

8.1 Výber akumulacej nádrže

Množstvo odpadnej vody ovplyvňuje výber akumulacej nádrže. Pri výbere akumulacej nádrže sa musí počítať s maximálnym možným množstvom odpadnej vody. Pračky WEX1, WEX2 a WEX3 sú napojené na odt. rúru A. Množstvo odpadnej vody je merané počas jedného cyklu. Čo sa týka maximálneho množstva odpadnej vody, tak pri súbežnej prevádzke všetkých troch pračiek, je množstvo odpadnej vody pretekajúcej cez odt rúru A 357,042 litrov vody.

Množstvo odpadnej vody za cyklus [l]			Maximálne množstvo odpadnej vody za cyklus prania [l]
Primus FX240 WEX1	Primus FX240 WEX2	Primus FX180 WEX3	
129,834	129,834	97,375	

Tab. 8.1 Maximálne množstvo odpadnej vody.

Na základe výsledkov z tabuľky 8.1 je potrebné vybrať akumulacnú nádrž s minimálnym objemom 357,042 litrov. Samotnému výberu najvhodnejšej akumulacej nádrže predchádzal dôkladný prieskum trhu a dodávateľov. Tak isto sa zohľadnili informácie získané pri osobných konzultáciách s výrobcami akumulacných nádrží dňa 12.02.2014 na 16. medzinárodnom odbornom veľtrhu vykurovania, vetrania, klimatizácie, meracej, regulačnej, sanitárnej a ekologickej techniky - AQUA-THERM NITRA 2014.

Po analýze získaných faktov sa zvolila akumulacná nádrž značky Attack model Attack TUV 400K znázornená na obrázku 8.1. Parametre tejto akumulacej nádrže sú zhrnuté v tabuľke 8.2



Obr. 8.1 Akumulačná nádrž.
[28]

Poloha 1-6	1121mm
Poloha 2-7	817mm
Poloha 3	707mm
Poloha 4-8	514mm
Poloha 5-9	211mm
Ø D1 – Priemer bez izolácie	650mm
Ø D2 – Priemer s izoláciou	850mm
Výška	1371mm
R – Sklopný rozmer bez izolácie	1425mm
Minimálna inštalacná výška	1571mm
Max. pracovná teplota	95°C
Max. pracovný tlak	3 bar
Plocha výmenníka TUV	4,54 m ²
Objem	397 l
Hmotnosť	92 kg

Tab. 8.2 Parametre akumulacej nádrže.

8.2 Výber tepelného čerpadla

Výber tepelného čerpadla ovplyvňuje množstvo energie, ktoré je tepelné čerpadlo schopné prečerpať. Toto množstvo je brané za ideálnych podmienok, tým pádom sa nezohľadňujú tepelné straty potrubia, nakoľko sa v budúcnosti ráta so znížením týchto strát. Teplo sa prečerpáva z akumuláciej nádrže na odpadnú vodu z pračiek do akumuláciej nádrže pre predhrev teplej vody. Táto akumulácia nádrž predhrieva vodu pre následné použitie pri pracom procese.

Pri výbere tepelného čerpadla bolo potrebné zohľadniť maximálnu možnú produkciu odpadného tepla za jeden prací cyklus. V predchádzajúcej kapitole sa spomenulo, že práčky WEX 1 až 3, sú napojené na tú istú odtokovú rúru A, vďaka ktorej sa dá zo všetkých práčok odčerpávať odpadná voda do akumuláciej nádrže. Táto odpadná voda nesie zbytkovú energiu vo forme tepla. K uvoľneniu maximálneho možného odpadného tepla dochádza vtedy, keď všetky tri práčky vypúšťajú odpadnú vodu do akumuláciej nádrže paralelne. Maximálne odpadné teplo Q_{max} vypočítame na základe vzťahu (15)

$$Q_{max} = Q_{A_1} + Q_{A_2} + Q_{A_3} \quad (15)$$

kde Q_{A_1} je celkové odpadné teplo z práčky WEX1 [kJ]
 Q_{A_2} celkové odpadné teplo z práčky WEX2 [kJ]
 Q_{A_3} celkové odpadné teplo z práčky WEX3 [kJ]

Výsledky výpočtu maximálneho odpadného tepla sú znázornené v tabuľke 8.3.

Celkové odpadné teplo za cyklus						Maximálne množstvo odpadného tepla	
Primus FX240		Primus FX240		Primus FX180		[kJ]	[kWh]
[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]	[kJ]	[kWh]		
34189,06	9,497	34189,06	9,497	25641,79	7,123	94019,9	26,117

Tab. 8.3 Maximálne množstvo odpadného tepla.

Maximálne množstvo odpadného tepla je 26,117 kWh, preto je potrebné také tepelné čerpadlo, ktoré dokáže prečerpať toto množstvo tepla za dobu jedného cyklu. Pre výber tepelného čerpadla je nutné vypočítať tepelný výkon odpadnej vody z pračiek. Na základe výstupov z pračiek je čas jedného cyklu t_{ckl} približne 1,75 hod. Pomocou vzťahu (16) sa môže vypočítať maximálny tepelný výkon odpadnej vody P_{max} , ktorý je 14,924 kW.

$$P_{max} = \frac{Q_{max}}{t_{ckl}} = \frac{26,117}{1,75} = 14,924 \text{ kW} \quad (16)$$

Úpravou rovnice (7) dostaneme vzťah (17), podľa ktorého sa určí minimálny výkon tepelného čerpadla.

$$P_{T\check{c}} - P_{elT\check{c}} \geq P_{max} \quad (17)$$

kde $P_{T\check{c}}$ je výkon tepelného čerpadla [kW]
 $P_{elT\check{c}}$ elektrický príkon kompresora [kW]

Po zohľadnení všetkých údajov a nadobudnutých informácií získaných z dostupných zdrojov a osobných konzultácií, sa vybralo tepelné čerpadlo značky WAMAK model WAMAK WW 20, ktoré je na obrázku 8.2.



Obr. 8.2 Tepelné čerpadlo WAMAK WW 20. [33]

WAMAK WW 20 je tepelné čerpadlo typu voda-voda, ktoré slúži na odčerpávanie nízko potenciálnej energie. Medzi jeho najväčšie výhody patrí to, že má zabudované hlavné hydraulické komponenty, a to obehové čerpadlo primárnej a tiež obehové čerpadlo sekundárnej strany. Ďalšími výhodami tepelného čerpadla je možnosť diaľkového ovládania cez internet, jednoduchá a rýchla inštalácia a extrémne tichá prevádzka. [33]

Základné parametre tepelného čerpadla WAMAK WW 20 sú zobrazené v tabuľke 8.4.

Tepelný výkon	Elektrický príkon	Topný faktor	Maximálna výstupná teplota	Šírka	Hĺbka	Výška	Hmotnosť
[kW]	[kW]	[-]	[°C]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
19,54	3,43	5,7	55	600	580	1100	149

Tab. 8.4 Základné parametre tepelného čerpadla WAMAK WW 20. [33]

9. EKONOMICKÁ STRÁNKA PROJEKTU

Najdôležitejšou súčasťou každého projektu je jeho ekonomická stránka, ktorá je v konečnom dôsledku hlavným faktorom, ktorý určuje či sa do realizácie daného projektu oplatí investovať. Čo sa týka ekonomických parametrov, musíme v prvom rade zohľadniť počiatočné náklady, ktoré zahŕňujú nákup potrebnej technológie, jej inštaláciu a uvedenie do prevádzky. Ďalším faktorom, ktorý ovplyvní realizáciu projektu sú prevádzkové náklady. Rozhodujúcou časťou ekonomickej stránky je doba návratnosti daného projektu. Na jej výsledku závisí, či má realizácia projektu zmysel.

Táto kapitola diplomovej práce sa bude zaoberať všetkými hore uvedenými časťami ekonomickej stránky projektu, pričom pri vyhodnotení projektu bude kladený dôraz najmä na ich výsledky.

Investovaný kapitál

Počiatočné investičné náklady na nákup technológie na využitie odpadného tepla z pračiek sú zobrazené v tabuľke 9.1. Najdôležitejšou a zároveň najdrahšou položkou technológie je tepelné čerpadlo, ktorého cena tvorí skoro 90% všetkých počiatočných nákladov.

Zariadenie	Model	Cena [eur]
Tepelné čerpadlo	WAMAK WW 20	7 362,00
Akumulačná nádrž	ATTACK AK400K	510,00
Čerpadlo	GRUNDFOS SOLOLIFT2 C-3	363,00
Potrubie a armatúry	-	150,00
Spolu	-	8385,00

Tab. 9.1 Investovaný kapitál projektu.

Ušetrená energia

Účelom projektu je opätovné využitie energie za účelom ušetrenia finančných prostriedkov. Na dosiahnutie tohto cieľa je najprv potrebné vypočítať množstvo ušetrenej energie. Toto množstvo ušetrenej energie sa vypočíta za pomoci nasledujúcich veličín:

- *Maximálne množstvo odpadnej energie z pračiek* - Q_{max} . Vypočítame zo vzťahu (15) a jeho hodnota je v tabuľke 8.3.
- *Množstvo spotrebovanej energie na jeden cyklus* - E_{SPOT} . Toto množstvo predstavuje súčet všetkých energií spotrebovaných zariadeniami na akumuláciu tepla v práčovni. Vypočíta sa zo vzťahu (18).

$$E_{SPOT} = (P_{elTČ} + P_{elČ}) * t_{ckl} \quad (18)$$

kde	E_{SPOT}	je množstvo spotrebovanej energie za jeden cyklus	[kWh]
	$P_{elTČ}$	elektrický príkon tepelného čerpadla	[kW]
	$P_{elČ}$	elektrický príkon čerpadla	[kW]
	t_{ckl}	čas jedného cyklu	[hod]

- *Ušetrená energia za jeden prací cyklus* - $E_{UŠET}$. Vypočítame zo vzťahu (19)

$$E_{UŠET} = Q_{max} - E_{SPOT} \quad (19)$$

kde $E_{UŠET}$ je ušetrená energia za jeden prací cyklus [kWh]
 Q_{max} maximálne množstvo odpadnej energie z praciek [kWh]
 E_{SPOT} množstvo spotrebovanej energie na jeden cyklus [kWh]

- *Ušetrená energia za jeden pracovný deň*. Počas jedného dňa je v práci možné absolvovať 5 pracích cyklov.
- *Ušetrená energia za jeden rok*. Počet pracovných dní v roku je 248. [34]
- *Ušetrené financie za rok*. Cena energie je 0,0732 eur/kWh. [35]

Výsledky výpočtov sú znázornené v tabuľke 9.2

Maximálne množstvo odpadnej energie z praciek	[kWh]	26,117
Množstvo spotrebovanej energie za jeden cyklus	[kWh]	7,123
Ušetrená energia za jeden prací cyklus	[kWh]	18,994
Ušetrená energia za jeden pracovný deň	[kWh]	94,970
Ušetrená energia za jeden rok	[kWh]	23552,560
Ušetrené financie za rok	[eur]	1724,047

Tab. 9.2 *Ušetrená energia a financie za rok.*

Tento prípad štúdie bol za ideálnych podmienok, bez zohľadnenia tepelných strát potrubia. Na získanie presnejších výsledkov sa tepelne straty zohľadnili v nasledujúcom výpočte ušetrenej energie za rok. Výpočty sú skoro rovnaké ale v ušetrenej energii za jeden prací cyklus je potrebné zohľadniť tepelné straty potrubia. Výsledky výpočtov ušetrenej energie a financií zohľadnením tepelných strát potrubia sú znázornené v tabuľke 9.3

Maximálne množstvo odpadnej energie z praciek	[kWh]	26,117
Množstvo spotrebovanej energie za jeden cyklus	[kWh]	7,123
Tepelné straty potrubia	[kWh]	9,263
Ušetrená energia za jeden prací cyklus	[kWh]	9,731
Ušetrená energia za jeden pracovný deň	[kWh]	48,656
Ušetrená energia za jeden rok	[kWh]	12066,688
Ušetrené financie za rok	[eur]	883,282

Tab. 9.3 *Ušetrená energia a financie za rok s tepelnými stratami potrubia.*

Za pomoci výsledkov v tabuľkách 9.2 a 9.3 sa vypočíta doba, za ktorú sa vrátia investované finančné prostriedky do navrhnutého zariadenia. Táto doba návratnosti sa vypočíta bez tepelných strát a po zohľadnení tepelných strát. Vypočíta sa pomocou vzťahu (20) a jej výsledky sú uvedené v tabuľke 9.4.

$$Doba\ návratnosti = \frac{Investovaný\ kapitál}{Ušetrené\ financie\ za\ rok} \quad (20)$$

Varianta prevádzky	Investovaný kapitál [eur]	Ušetrené financie za rok [eur/rok]	Doba návratnosti [rokov]
Prevádzka bez tepelných strát	8385,000	1724,047	5
Prevádzka s tepelnými stratami potrubia	8385,000	883,282	9,5

Tab. 9.4 Doba návratnosti projektu.

Doba návratnosti pri zanedbaní tepelných strát je približne päť rokov. Pričom pri zohľadnení tepelných strát je táto doba deväť a pol roka. Pri porovnaní týchto dvoch údajov vidieť, že pri minimalizovaní tepelných strát by bolo možné skrátiť dobu návratnosti na polovicu.

10. ZÁVER

Spolu so stále sa rozvíjajúcou mechanizáciou procesov sa zároveň zvyšuje množstvo spotrebovanej elektrickej energie. Preto je potrebné pri navrhovaní projektov, ktorých prevádzka sa radí medzi energeticky náročné procesy, navrhovať konštrukčné prevedenia tak, aby sa odpadná energia nimi vyprodukovaná, dala opätovne využiť.

Cieľom diplomovej práce bolo navrhnúť zariadenie na využitie konkrétnej odpadnej energie z laboratória energeticky náročných procesov v NETME Centre. Zároveň bol predstavený proces profesnej údržby prádla so svojimi špecifikáciami, vrátane zariadenia celého laboratória. V ďalšej kapitole diplomovej práce sa rozoberala problematika využitia odpadného tepla a rôznych metód jeho využitia. Veľká pozornosť bola venovaná hlavne tepelným výmenníkom a tepelným čerpadlám. Ďalej sa rozoberali spôsoby uskladnenia energie a to uskladnenie vlastného tepla, latentné uskladnenie tepla a termo - chemické uskladnenie tepla.

Riešením praktickej časti diplomovej práce bolo navrhnutie zariadenia na využitie odpadného tepla z pračiek v prevádzke priemyselnej pracovne. Návrhom konkrétneho zariadenia na využitie odpadného tepla z pračiek je akumulčná nádrž, ktorá uskladňuje odpadnú vodu z pračiek. Ďalšou súčasťou návrhu je tepelné čerpadlo, ktoré slúži na prečerpávanie energie z odpadnej vody do akumulácie nádrže určenej na predhrev vody.

Dve najdôležitejšie časti diplomovej práce boli energetická stránka a ekonomická stránka návrhu. V energetickom zhodnotení technológie sa vypočítalo množstvo odpadnej energie z jednotlivých pračiek. Pračka Primus FX240 vyprodukovala 9,497 kWh a pračka Primus FX180 vyprodukovala 7,123 kWh energie. Na základe týchto veličín sa určil maximálny tepelný výkon pračiek, ktorý je 14,924 kW. Ďalším krokom energetického zhodnotenia bol výpočet tepelných strát odtokového potrubia. Výpočet prebehol pri kontinuálnej prevádzke všetkých pračiek a hodnota tepelných strát odtokového potrubia z pračiek je 5,293 kW. Čo sa týka ekonomickej časti, najprv sa vypočítal potrebný kapitál na realizáciu návrhu na využitie odpadného tepla z pračiek, ktorý predstavoval približne 8 385 eur. Dôležitým ukazovateľom toho či sa oplatí investovať do danej technológie je jeho doba návratnosti. Doba návratnosti je približne 9,5 roka. Pri minimalizovaní tepelných strát odtokového potrubia by bolo možné dobu návratnosti skrátiť takmer na polovicu.

V závere diplomovej práce môžeme povedať, že hlavný cieľ, ktorým bol návrh technológie na využitie odpadného tepla z pračiek bol splnený. Navrhnuté zariadenie by pri zvýšení aktuálnej vyťaženia pracovne nielen ušetrilo finančné prostriedky ale zároveň by sa využilo odpadné teplo, čím sa prispieva k šetreniu energetických zdrojov.

11. POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] BOBÁK, P. *Snižování energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 95 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
- [2] Paul Wärmerückgewinnung. *Princíp Výmenníka Tepla*. [Online]. Dostupné na internete: http://www.vetranie.sk/index.php?page=princip_vymennik. 2014.
- [3] KOTLÍK, V. *Heat Pipe: princip a konstrukce*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.svethardware.cz/heat-pipe-princip-a-konstrukce/15941>. 1. Február, 2007.
- [4] Bureau of Energy Efficiency. *WASTE HEAT RECOVERY*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.energymanagertraining.com/GuideBooks/2Ch8.pdf>. 2004.
- [5] MILLER, R. *Cooling: Heat Wheel Could Cut Data Center Cooling Bills*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2008/11/14/heat-wheel-could-cut-data>. 14. November, 2008.
- [6] TEDOM. *Ekonomizéry*. [Online]. Dostupné na internete: <http://kogenerace.tedom.com/kogeneracni-jednotky-prislusenstvi-ekonomizery.html>. 2014
- [7] Miklovičová, E. *Výmenníky Tepla*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.kasr.elf.stuba.sk/predmety/dp/tepelne2.pdf>. 2014.
- [8] JELEMENSKÝ, K. *Výmenníky Tepla – Princípy, Výhody a Nevýhody*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.idbjournal.sk/buxus/docs/idb%20journal%202%202011%2034-36.pdf>. Február, 2011.
- [9] BROGAN, R., J. *Shell and Tube Heat Exchangers*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.thermopedia.com/content/1121/?tid=110&sn=23>. 8. Február, 2011.
- [10] ZVU Engineering a. s., *Tepelné Výměníky*. [Online]. Dostupné na internete: http://www.zvuengineering.cz/files/cz/brozury/Tepelne_vymeniky_brozura_revi ze_0.pdf. 2014.
- [11] ALFA LAVAL. *Prenos Tepla*. [Online]. Dostupné na internete: <http://local.alfalaval.com/>. 2014.
- [12] BLACK, P. *Diffusion Bonded Heat Exchanger for Higher Pressure Process Duties*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.processindustryinformer.com/latest-news/heating-cooling/diffusion-bonded-heat-exchanger-for-higher-pressure-process-duties>. 16. Júl, 2010.

- [13] SONDEX. *Pájané Deskové Výměníky Tepla*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.sondex.info/sk-SK/Produkty/Deskov%C3%A9-v%C3%BDm%C4%9Bn%C3%ADky-tepla/P%C3%A1jen%C3%A9-deskov%C3%A9-v%C3%BDm%C4%9Bn%C3%ADky-tepla.aspx>. 2012.
- [14] TRANTER. *Plate Heat Exchangers*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.tranter.com/Pages/products/plate-heat-exchangers/description-benefits.aspx>. 2014.
- [15] *Výmenníky Tepla*. [Online]. Dostupné na internete: file:///E:/Stiahnute%20subory/tps_ex2.pdf. 2014.
- [16] WordPress Entries. *Heat Transfer*. [Online]. Dostupné na internete: <http://thisisecs.com/blog/2008/11/04/heat-transfer/>. 4. November, 2008.
- [17] GREGORZ, E., J. *Plate Fin Heat Exchangers*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.thermopedia.com/content/1036/?tid=110&sn=20>. 7. Február, 2011.
- [18] ČARNOGURSKÁ, M. *VÝMENNÍK TEPLA Z POLYPROPYLENOVÝCH VLÁKIEN*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.tzbportal.sk/sprava-budov/vymennik-tepla-z-polypropylenovych-vlakien.html>. 20. Júl, 2012.
- [19] MURÍN, J., a kol. : *Mechanika a Termomechanika : Vybrané kapitoly pre elektrotechnikov*. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 2006. ISBN 80-227-2393-2
- [20] PETREK, D. *Návrh Tepelného Čerpadla Pre Rodinný Dom*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.posterus.sk/?p=12255>. 9. December, 2011.
- [21] Airconfuji Slovensko s.r.o. *Princíp Tepelných Čerpadiel*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.airconfuji.sk/tepelne-cerpadla/princip-tepelných-cerpadiel>. 2014
- [22] IRENA. *Thermal Energy Storage*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP%20Tech%20Brief%20E17%20Thermal%20Energy%20Storage.pdf>. Január, 2013.
- [23] HEJHÁLEK, J. *Súčiniteľ prestupu tepla a ako sa počíta*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.istavebnictvo.sk/clanky/sucinitel-prestupu-tepla-a-ako-sa-pocita/>. 2014.
- [24] Froling. *Akumulačné Nádrže*. [Online]. Dostupné na internete: http://www.morus.sk/foto/files/Fr%C3%B6ling/Akumulacne_nadrze.pdf. 2014.
- [25] HAST ALFA, s.r.o. *Akumulačné Nádrže*. [Online]. Dostupné na internete: http://www.hastalfa.sk/akum_nadrze.htm. 2010.
- [26] TIMEX - K, s.r.o. *Regulus Izolácia Akumulačnej Nádrže PS 1000 N 10125*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.stavbaeu.sk/regulus-izolacia-akumulacnej-nadrze-ps-1000-n-10125-106487>. 2014.

- [27] Akumulačné-nádrže, s.r.o. *Akumulačné Nádrže LMT*. [Online]. Dostupné na internete: <http://akumulacne-nadrze.eu/lmt.php>. 2014.
- [28] Attack, s.r.o. *ATTACK HR, HRS*. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.attack-sro.sk/?run=produkt&id=210&lang=sk>. 2014.
- [29] Energy Efficiency Systems. Phase Change Energy Storage Technology. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.rgees.com/technology.php>. 2014.
- [30] Garg, H.P. et al., *Solar Thermal Energy Storage*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht/Boston/Lancaster, 1985, ISBN 90-277-1930-6.8. Bogdanovic, A., B. Ritter, Spliethoff, Active MgH₂-Mg systems for reversible chemical energy storage, *Angewandte Chemie (International Edition)*, Vol. 29, Nr.3, pages 223 – 328.
- [31] ALI H. ABEDIN and MARC A. ROSEN. *A Critical Review of Thermochemical Energy Storage Systems*. [Online]. Dostupné na internete: <http://benthamscience.com/open/torej/articles/V004/42TOREJ.pdf>. 2011.
- [32] Campri, s.r.o. Rúra Hrdlovaná HT. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.campri.sk/sk/69/16/ht-socket-pipe>. 2013.
- [33] WAMAK. s.r.o. *Wamak WW 20*. [Online]. Dostupné na internete: <http://wamak.eu/sk/tepelne-cerpadla/voda-voda/ww>. 2014.
- [34] Slovak Telekom. Fond Pracovného Času – Slovensko 2014. [Online]. Dostupné na internete: <http://calendar.zoznam.sk/worktime-sksk.php>. 2014.
- [35] ZSE. Cenník pre Domácnosti. [Online]. Dostupné na internete: http://www.zse.sk/documents/7350608/Cennik_domacnosti_EE_01012014.pdf. 2014.

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha č. 1 Parametre pracieho programu 7 - KUCHYNE 60°+90°