ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

OPTIMALIZACE SPRCHOVÉHO VÝMĚNÍKU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BC. KRYŠTOF BROKEŠ 4 – TŽP – 2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Brokeš** Jméno: **Kryštof** Osobní číslo: **437701**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**

Studijní program: **Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace sprchového výměníku

Název diplomové práce anglicky:

Optimization of Shower Heat Exchanger

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte úpravy stávajícího prototypu sprchového výměníku pro zpětné získávání tepla z odpadní vody dle užitného vzoru č. 32692 u patentového úřadu ČR ze dne 19.3.2019. Optimalizaci zaměřte zejména na možnost využití nového prototypu v zapojení pro současný předehřev studené vody pro směšovací sprchovou hlavici a zdroj tepla pro přípravu teplé vody. Navržené prototypy experimentálně ověřte v souladu s požadavky na testování výměníků pro zpětné získávání tepla z odpadní vody dle International Passive House Association. Získané výsledky aplikujte na reálné provozní podmínky instalace sprchového výměníku u vybraného typu rodinného domu, bytového domu a plaveckého bazénu.

Seznam doporučené literatury:

1) Sukdol, J.: Návrh a optimalizace deskového výměníku pro zpětné získávání tepla z odpadní vody. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí.
2) Vavřička, R., Matuška T.: Zpětné získávání tepla v oblasti přípravy teplé vody. Vytápění, větrání, instalace. 2016, roč. 25, č. 3, str. 114–199. ISSN 1210-1389.
3) Vavřička, R. a kolektiv. Příprava teplé vody. Sešit projektanta č. 3. STP – OS 02 – Vytápění. Praha 2017, 182 s. ISBN 978-80-02-02713-3.
4) Passivhaus Institut (PHI). International Passive House Association [online]. 2018. Dostupné z: http://www.passiv.de/downloads/03_zertifizierungskriterien_ww_wrg_de.pdf

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Roman Vavřička, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020** Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Roman Vavřička, Ph.D.	doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

3. 7. 2020
Datum převzetí zadání

Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

SOUHRN

Předmětem diplomové práce "Optimalizace sprchového výměníku" je návrh úprav stávajícího sprchového výměníku pro zpětné získávání tepla z odpadní vody dle užitného vzoru č. 32692 zapsaného u patentového úřadu České republiky dne 19. 3. 2019. Konstrukční změny výměníku jsou provedeny s ohledem na dosáhnutí co nejvyšší účinnosti přenosu tepla mezi odpadní a studenou vodou z vodovodního řadu. Zvýšením účinnosti se dosáhne výrazné úspory energie, respektive snížení provozních nákladů na ohřev vody. Navržené a optimalizované prototypy jsou testovány na experimentální měřicí trati ve dvou zapojeních: pro předehřev studené vody pouze pro směšovací sprchovou baterii a následně pro předehřev studené vody jak pro část studené vody do sprchové baterie, tak i pro předehřev studené vody pro zdroj tepla.

Prototypy jsou ověřeny v souladu s požadavky na testování výměníků zpětného získávání tepla z odpadní vody dle International Passive House Association a zařazeny do jednotlivých klasifikačních kategorií PHi. Výsledky měření jsou aplikovány na reálné provozní podmínky nasazení jednotlivých sprchových výměníků u zvoleného rodinného domu, bytového domu a plaveckého bazénu. Výsledkem práce je ekonomické zhodnocení z hlediska investičních nákladů a jejich návratnosti.

SUMMARY

The subject of thesis "Optimalization of shower heat exchanger" is a proposal of modifications of the current shower heat exchanger for drain water heat recovery according to the utility model No. 32692 registered at the Patent Office of the Czech Republic on 19th March 2019. The design changes of the exchanger are made considering the goal of achieving the highest possible efficiency of heat transfer between waste water and cold water from the water supply system. With increased efficiency, significant energy savings (respectively reduced operating costs) will be achieved. The designed and optimized prototypes are tested on an experimental measuring track in two different configurations: the first one is for preheating cold water for the mixing shower battery only; the second one is for preheating cold water for the shower battery as well as for preheating cold water as a heat source.

The prototypes are verified according to the requirements for testing heat exchangers for drain water heat recovery by the International Passive House Association and they are divided into individual classification categories PHi. The results of the experimental measuring are applied to real operating conditions using each of the designed shower exchangers at selected places: a family house, an apartment and a public swimming pool. The result of this thesis is an economic evaluation of the investment costs and their recoverability.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci pod názvem: „Optimalizace sprchového výměníku“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavřičky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 31. 07. 2020 ……

Bc. Kryštof Brokeš

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Romanu Vavřičkovi, Ph.D., kterému vděčím za veškerou pomoc, spolupráci a cenné informace poskytnuté při konzultacích. Závěrem patří poděkování také mé rodině, přátelům a partnerce za velkou podporu nejen při psaní práce, ale i během celého studia.

OBSAH

1 **ÚVOD** ... 13

2 **SYSTÉMY VNITŘNÍ KANALIZACE** ... 15

2.1 Systém I, II a III ... 15

2.2 Systém IV ... 16

3 **VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD** ... 17

3.1 Zacházení s odpadními vodami ... 17

3.2 Černé odpadní vody ... 18

3.3 Šedé odpadní vody ... 18

4 **SYSTÉMY ZPĚTNÉHO VYUŽITÍ TEPLA** ... 19

4.1 Požadavky na provozní teplotu vody ... 19

4.2 Centrální systémy ... 20

4.2.1 Centrální systémy s okamžitým odběrem ... 20

4.2.2 Centrální systémy s akumulačním zásobníkem ... 21

4.3 Lokální systémy ... 21

4.3.1 Lokální systém pro zapojení do směšovací baterie ... 22

4.3.2 Lokální systém pro zapojení do zdroje ... 22

4.3.3 Lokální systém pro kombinované zapojení ... 23

4.4 Systémy využití tepelného čerpadla ... 23

4.4.1 Lokální systém s využitím TČ voda-voda ... 24

5 **TEORETICKÝ NÁVRH VÝMĚNÍKU** ... 26

5.1 Přenos tepla u výměníků ZZT ... 26

5.2 Stanovení účinnosti výměníku ZZT ... 28

5.3 Stanovení úspory výměníku ZZT ... 30

5.3.1 Zapojení přímo do směšovací baterie ... 31

5.3.2 Zapojení jak do zdroje tepla, tak i do směšovací baterie 31

6 **SOUČASNÝ STAV VÝMĚNÍKŮ ZZT NA TRHU** 32

6.1 Q-Blue Showersave 33

6.2 Sakal 34

6.3 Wagner Solar Ecoshower 35

6.4 Ecodrain 37

6.5 Ivar 38

6.6 Cerian Shower 39

6.7 Zypho 40

6.8 Joulia 41

7 **APLIKACE REKUPERAČNÍCH VÝMĚNÍKŮ** 42

7.1 Výměník NELA v praxi 42

7.2 Aplikace výměníků Zypho 46

7.3 Restaurace Minneapolis v USA 47

7.4 Krytý bazén Trutnov 48

7.5 Obchodní dům Ikea v Berlíně 49

7.6 Prádelna a čistírna Jihlava 50

8 **EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ VÝMĚNÍKŮ** 50

8.1 Experimentální měřící trať 50

8.2 Postup měření prototypů 52

8.3 Návrh a měření prototypů 53

8.3.1 Prototyp 1A 54

8.3.2 Prototyp 1B 56

8.3.3 Prototyp 2A 58

8.3.4 Prototyp 2B 60

8.3.5 Přehled jednotlivých úprav výměníku 62

8.4 Testování výměníků dle IPHA ... 64
8.4.1 Okrajové podmínky a přesnost měření ... 64
8.4.2 Certifikační třídy dle IPHA ... 64
8.4.3 Zařazení prototypů do certifikačních tříd dle IPHA ... 65
8.5 Stanovení poměrné úspory ... 68
8.5.1 Zapojení přímo do směšovací baterie ... 68
8.5.2 Zapojení jak do zdroje tepla, tak i do směšovací baterie ... 71
9 **REÁLNÉ NASAZENÍ PROTOTYPŮ DO PROVOZU** ... 73
9.1 Okrajové podmínky ... 73
9.1.1 Teplota studené vody v reálných provozech ... 74
9.1.2 Ochlazení vody ... 75
9.2 Reálná návratnost investic ... 77
9.2.1 Výpočet potřeby tepla pro přípravu TV ... 78
9.2.2 Rodinný dům ... 78
9.2.3 Bytový dům ... 86
9.2.4 Plavecký bazén ... 89
10 **ZÁVĚR** ... 91
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY ... 95
SEZNAM OBRÁZKŮ ... 100
SEZNAM TABULEK ... 104
SEZNAM PŘÍLOH ... 106
SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH ... 106

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

Značka	Jednotka	Veličina
$\dot{C}$	$[\mathrm{W \cdot K^{-1}}]$	tepelná kapacita průtoku
Q	[kWh]	potřeba tepla pro přípravu teplé vody
$\dot{Q}$	[W]	tepelný výkon přenesený sprchovým výměníkem
S	$[\mathrm{m^2}]$	teplosměnná plocha výměníku
T'	[°C]	vstupní teplota
T''	[°C]	výstupní teplota
U	$[\mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}]$	součinitel prostupu tepla
$\dot{V}$	$[\mathrm{m^3 \cdot s^{-1}}]$	objemový průtok
COP	[1]	topný faktor
SPF	[1]	sezónní topný faktor
c	$[\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}]$	měrná tepelná kapacita vody
d	[den]	počet dnů
k	[1]	koeficient
$\dot{m}$	$[\mathrm{kg \cdot s^{-1}}]$	hmotnostní průtok tekutiny
t	[°C]	teplota
z	[1]	poměrná ztráta při ohřevu a distribuci teplé vody

ΔQ	$[\mathrm{W \cdot s}]$	úspora
ΔT	[K]	teplotní spád
$\Delta T'$	[K]	rozdíl vstupních teplot
$\Delta T''$	[K]	rozdíl výstupních teplot
Δt	[K]	teplotní rozdíl tekutiny výměníku
$\Delta \tau$	[s]	doba sprchování
δ	[°C]	rozdíl teplot na straně výměníku
ρ	$[\mathrm{kg \cdot m^{-3}}]$	hustota
η	[1]	účinnost
η^*	[1]	korigovaná účinnost
θ	[1]	poměrná úspora

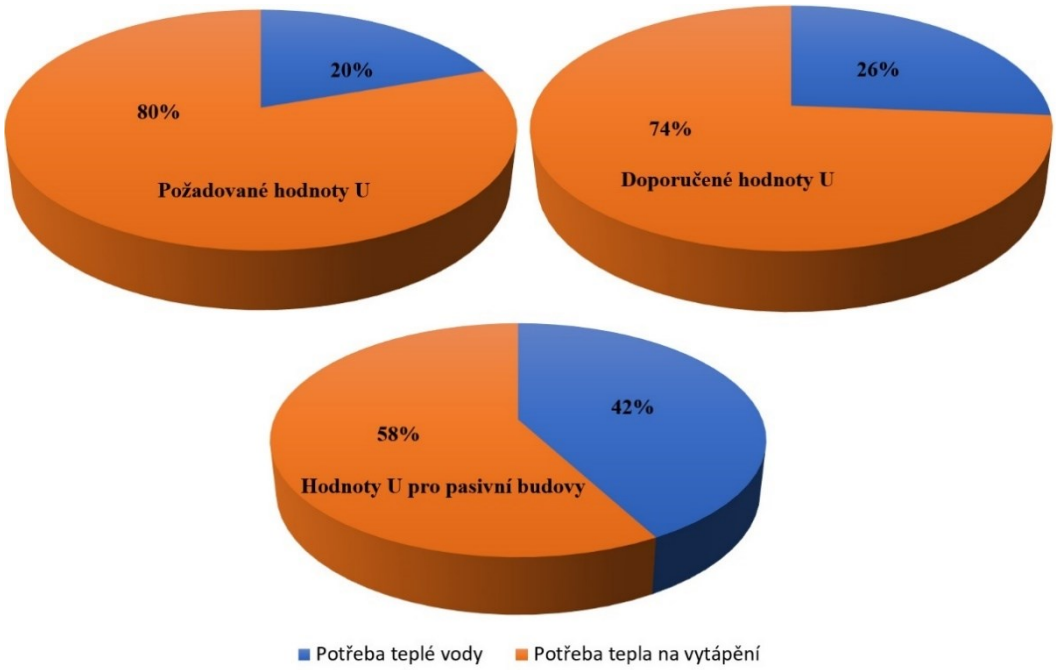
INDEXY

Značka	**Index**
1	ochlazovaná tekutina, vstupní
2	ohřívaná tekutina, výstupní
O	regulace, ovládání
R	rozvody
S	s použitím sprchového výměníku

Z	zdroj tepla
$PŘ$	předehřátá studená voda
SV	studená voda přiváděná do výměníku
TV	teplá voda
BEZ	bez použití sprchového výměníku, bez dodávky energie
MAX	maximální
MIN	minimální
MIX	odpadní voda ze sprchové baterie
$OCHL$	ochlazená odpadní voda
PKK	plynový kondenzační kotel
$TČ$	tepelné čerpadlo
ZZT	zpětné získávání tepla
m	střední logarimtický
s	ochlazení vody ve sprchovém koutu

1 ÚVOD

Ve své předešlé práci bakalářského studia jsem se zabýval energetickou náročností rodinného domu z pohledu vytápění a přípravy teplé vody. Součástí práce bylo porovnání třech variant rodinného domu splňující požadované, doporučené a doporučené hodnoty pro pasivní budovy dle normy ČSN 73 0540-2. Výsledek byl takový, že největší potřeba tepla na vytápění byla v zimních měsících a nejmenší naopak v letních měsících, kde dosahovala nulové potřeby. Potřeba tepla na přípravu teplé vody se během roku až tak nelišila. Výjimka byla pouze v červenci a srpnu, kde bylo uvažováno se sníženou potřebou z důvodu čerpání dovolených a snížené obsazenosti domu. Výsledkem bakalářské práce bylo srovnání, jaké procento potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na přípravu teplé vody je v jednotlivých variantách zastoupeno viz obr. 1.1. Z grafu je zřejmé, že procentuální vyjádření poměru potřeby tepla na přípravu teplé vody roste se zlepšujícími se tepelně-technickými vlastnostmi budovy. Je to dáno snižující se potřebou tepla na vytápění a zároveň téměř konstantním odběrem teplé vody během celého roku. V současnosti je již celkem běžné, že se příprava teplé vody stává dominantní potřebou tepla, a proto se v této diplomové práci zaměřím na snížení energetické náročnosti přípravy teplé vody nasazením sprchového výměníku pro zpětné získávání tepla z odpadní vody. [1]



Obr. 1.1 Poměr potřeby tepla na vytápění a potřeby teplé vody jednotlivých variant [1]

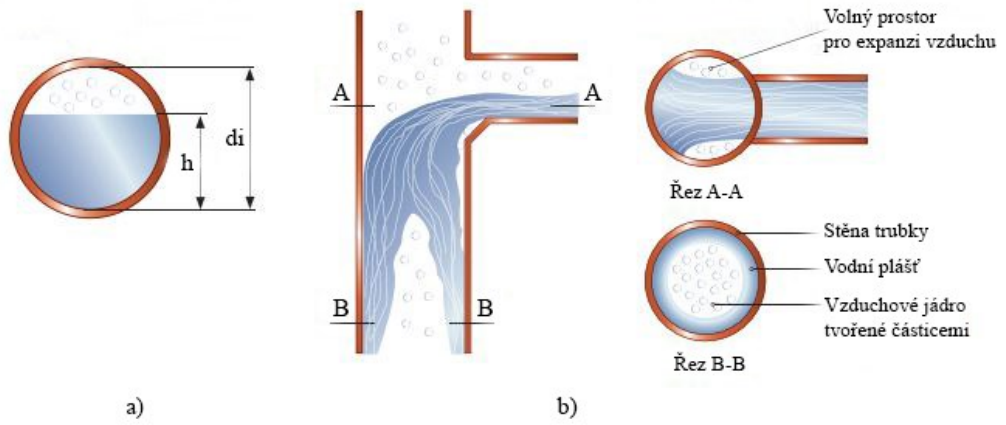
Zpětné získávání tepla má uplatnění především ve vzduchotechnice, kde za použití rekuperačního výměníku dochází ke snížení množství energie na ohřev čerstvého venkovního vzduchu vzduchem odpadním. Stejně jako s sebou nese určité množství tepla odpadní vzduch, tak i odpadní voda tekoucí do kanalizace má v sobě dostatečný energetický potenciál k dalšímu využití.

Teoretická část diplomové práce bude zaměřena na přiblížení problematiky související se zpětným získáváním tepla z odpadních vod. V prvé řadě budou definovány typy vnitřních kanalizačních systémů. Konkrétně se bude psát o tom, kde se systémy převážně používají, jak jsou charakterizovány a zda jsou použitelné pro nasazení rekuperačního výměníku. Následně bude popsáno, jaké jsou možnosti likvidace odpadních vod a jak jsou tyto vody dle jejich složení a využití rozdělovány. Důležitou částí bude rozdělení jednotlivých systémů zpětného využití tepla. Zpočátku bude zde vysvětleno, čím jsou systémy limitovány z hlediska provozní teploty vody a jaké problémy mohou při špatném návrhu nastat. Hlavním obsahem kapitoly bude však popis principů jednotlivých systémů s uvedením příslušných schémat. Dále bude práce směřovat konkrétně k návrhu výměníku a jeho teoretickému základu, ve kterém budou vysvětleny základní mechanismy přestupu tepla včetně vzorců a rovnic. Poslední dvě kapitoly se budou zabývat konkrétními rekuperačními výměníky. První z nich bude uvádět rešerši současného stavu výměníků na trhu se snahou uvedení zástupců z co nejvíce různých zemí a druhá bude ukazovat zajímavé reálné aplikace výměníků ve světě.

Experimentální část diplomové práce se bude zabývat optimalizací sprchového výměníku. Budou navrženy celkem čtyři prototypy, úpravy stávajícího sprchového výměníku dle užitného vzoru č. 32692, s cílem dosáhnutí co nejvyšší účinnosti přestupu tepla mezi odpadní a studenou vodou. Navržené modely budou následně testovány na experimentální měřící trati. Tato část bude věnována popisu měřícího místa, postupu měření prototypů a samotnému navrhování a testování modelů včetně vyjádření poměrné úspory. Dále budou upřesněny podmínky testování výměníků dle mezinárodního institutu a na tomto základě budou navržené prototypy vyhodnoceny a zařazeny do certifikačních tříd. Závěr práce bude věnován celkovému vyhodnocení prototypů z pohledu reálného nasazení výměníků do provozu se stanovením reálné návratnosti investic pro tři různé typy provozů: rodinný dům, bytový dům a plavecký bazén. Součástí bude zaměření se na okrajové podmínky výpočtu, především na reálnou teplotu studené vody a ochlazení vody. Nakonec bude práce shrnuta a vyhodnocena.

2 SYSTÉMY VNITŘNÍ KANALIZACE

V dnešní době je poměrně mnoho systémů vnitřní kanalizace, které se od sebe liší druhem a způsobem využívání zařizovacích předmětů. Každá země preferuje jiný systém na základě svých technických zvyklostí. Systémy se rozdělují do čtyř kategorií z hlediska způsobu napojení vnitřní kanalizace na připojovací a odpadní potrubí. U definování jednotlivých systému je zmiňován takzvaný stupeň plnění. Plnění připojovacího a vodorovného potrubí je definováno jako poměr hloubky vody k vnitřnímu průměru viz obr. 2.1a. U odpadního potrubí se tento stupeň plnění vyjadřuje jako vztah příčného řezu trubky naplněné vodou k celkovému příčnému řezu. Schématické znázornění tvorby vodního pláště a vzduchových částic v odpadním potrubí za odbočkou je znázorněno na obr. 2.1b. [2] [3]

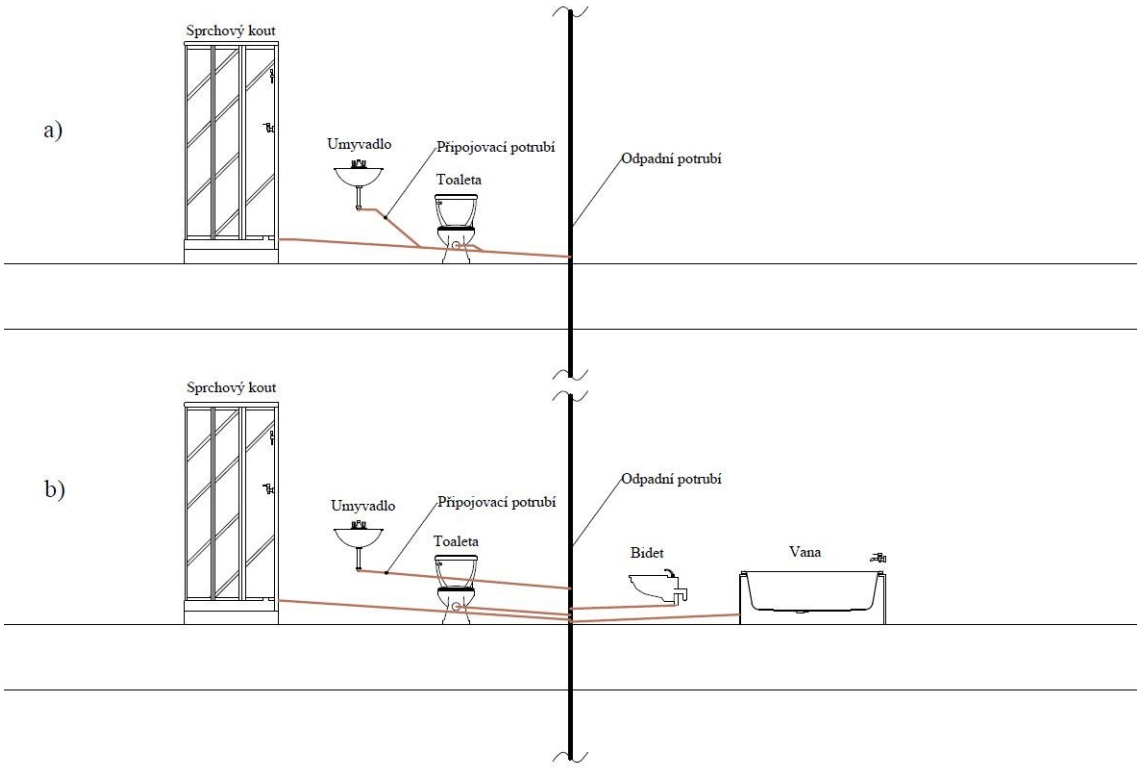


Obr. 2.1 a) stupeň plnění připojovacího a vodorovného potrubí b) stupeň plnění odpadního potrubí [3]

2.1 Systém I, II a III

Systém I, II a III jsou systémy vyznačující se jediným odpadním potrubím, na které je napojeno připojovací potrubí od veškerých zařizovacích předmětů viz obr. 2.2a, b. Systém I je používaný především státy střední Evropy. Příkladem může být Česká republika, Německo nebo Rakousko. Využívá částečně plněné připojovací potrubí se stupněm plnění 0,5 (50 %). Systém II používaný hlavně ve Skandinávii se na rozdíl od systému I navrhuje na stupeň plnění připojovacích potrubí 0,7 (70 %). Výhodou oproti prvnímu systému jsou menší světlosti potrubí. [3] [4]

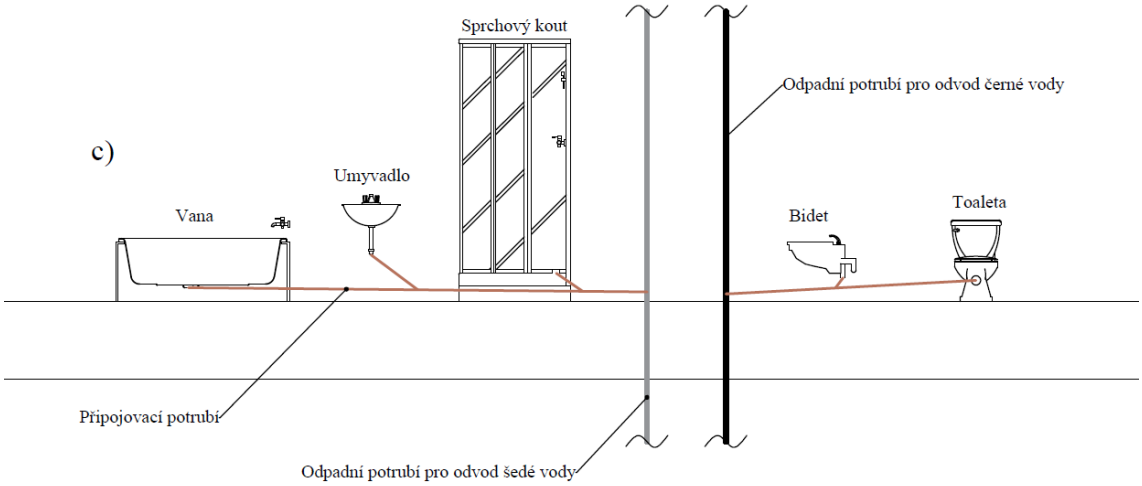
Poslední z trojice systémů je systém III využívaný zejména ve Velké Británii. Hlavním rozdílem od ostatních systémů je, že na odpadní potrubí se napojují připojovací potrubí od zařizovacích předmětů samostatně. Stupeň plnění odpovídá plnému plnění s hodnotou 1 (100 %). Jelikož je v těchto systémech pouze jediné odpadní potrubí, ve kterých se mísí černá i šedá odpadní voda, není vhodné jej použít pro zpětné získávání tepla z odpadní vody. [3] [4]



Obr. 2.2 a) schématické znázornění systému I a II b) schématické znázornění systému III

2.2 Systém IV

Výrazně odlišným systémem od předchozích systémů je systém IV viz obr. 2.3c, který odděluje odpadní potrubí dle využití odpadních vod. Tohoto systému lze dosáhnout například úpravou systému I, II nebo III tak, že mohou být rozděleny do dvou odpadních potrubí, z nichž jedno odvádí šedou vodu a druhé odvádí vodu černou. Tento systém je v současnosti velmi perspektivní z hlediska využití a úspory zdrojů vody. Díky své koncepci je vhodný pro zpětné získávání tepla z odpadní vody. [3] [4]



Obr. 2.3 c) schématické znázornění systému IV

3 VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD

V současné době klimatických změn je ochrana životního prostředí aktuálním tématem. Důsledkem těchto změn je například snižující se množství obnovitelných zdrojů nebo výrazný pokles zásob podzemních vod. V roce 2008 proto přijal Evropský parlament usnesení o řešení problému s nedostatkem vody. Parlament vydal několik opatření, která se týkala optimalizace existujících zdrojů v rámci koloběhu vody a vytváření nových zdrojů. Díky tomuto uvědomění se mění pohled k odpadním vodám, které je možné znovu využít a tím docílit poměrně vysokých úspor financí a vody. [5]

3.1 Zacházení s odpadními vodami

Likvidace odpadních vod probíhá v zásadě dvěma hlavními způsoby, centralizovaně a decentralizovaně. Centralizovaný způsob je založen na odvodu odpadních vod veřejnou stokovou sítí na centrální čističku odpadních vod. Druhý způsob je naopak zaměřen na akumulaci a čištění odpadních vod co nejblíže místu vzniku znečištění. Výhodou decentralizovaného systému je zpětné využívání odpadní vody jakožto cenné suroviny, kterou lze znovu využít a zpracovat. V zahraničí se pro decentralizované odvádění a následné zpětné využití odpadních vod v jednotlivých domech používá název DESAR (decentralized sanitation and reuse). [6]

V dnešní době se systém začíná objevovat i u nás. Principem tohoto systému je oddělování znečištění od zdroje, separované čištění odpadních vod a jejich zpětné využití a také hospodaření s dešťovou vodu. Systém udržuje jednotlivé druhy odpadních vod v blízkosti jejich vzniku a umožňuje tím zkrácení a uzavření vodního cyklu v domácnostech. Odpadní vody můžeme dělit do dvou základních kategorií. [6]

3.2 Černé odpadní vody

Dle normy *ČSN EN 12056-1 až 5: Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy část 1 až 5* je černá voda splašková odpadní voda obsahující fekálie a moč. Jedná se v zásadě o vodu, která je klasicky odváděna z toalet a pisoárů. Dělí se dále na žlutou a hnědou odpadní vodu. V případě žluté odpadní vody jde tedy o moč, která se skládá z roztoku metabolických odpadů, především močoviny, rozpuštěných solí a dalších organických látek. Moč se dá využít jako velmi dobré hnojivo. Hnědá odpadní voda je pak voda s fekáliemi, která je také tvořena organickými látkami. Kvůli velikému znečištění představují hnědé vody vysoké hygienické riziko. Z důvodu významného obsahu agresivních látek v těchto černých odpadních vodách, velké míře zanášení a tvorbě usazenin je použití v systémech zpětného získávání tepla z odpadní vody vyloučeno. [5] [7]

3.3 Šedé odpadní vody

Šedá odpadní voda je definována dle ČSN EN 12056 a DIN 4045 jako splašková odpadní (komunální) voda neobsahující fekálie a moč odtékající ze sprch, van, umyvadel apod. Za komunální vody od obyvatelstva se považují vody z míst, kde se shromažďují lidé jako jsou například hotely, sportoviště, restaurace nebo plavecké bazény. Šedá voda zvláště z koupelen se po úpravě dá používat jako takzvaná bílá voda. Tato voda nalézá využití pro splachování toalet a pisoárů či zalévaní zahrad. Konkrétně se jedná o technologicky upravenou a vyčištěnou šedou vodu. Nevýznamnější znečištění šedých vod je zapříčiněné detergenty z mycích a pracích prostředků jako jsou šampóny, mýdla, prací prášky či zubní pasty. Odpadní vody z kuchyňských dřezů jsou často vyjímány ze skupiny šedých vod z důvodu vyšší koncentrace znečištění. [5] [7] [8]

4 SYSTÉMY ZPĚTNÉHO VYUŽITÍ TEPLA

4.1 Požadavky na provozní teplotu vody

Návrh rozvodů vody je limitován z hlediska uživatelského komfortu, zejména dostatečného množství teplé vody s dostatečnými parametry teploty, a z hlediska právních předpisů. Požadavky na provozní teplotu studené i teplé vody jsou dány evropskou normou ČSN EN 806-2. Tento právní předpis říká, že do 30 sekund od úplného otevření výtokové armatury nemá být teplota teplé vody nižší než 60 °C a studené vody vyšší než 25 °C, pokud není v národních či místních předpisech uvedeno jinak. V případě nesplnění časového intervalu dodávky teplé vody, je nutností navrhnout cirkulaci či řešit přípravu teplé vody lokálně. V České republice je teplota teplé vody vytékající z výtokové armatury ustanovena vyhláškou č. 194/2007 Sb. (45 až 60 °C, krátkodobě minimálně 45 °C), české normy ČSN 06 0320 (ve stavbách pro bydlení 50 až 55 °C, krátkodobě minimálně 45 °C a ČSN 73 6660 (pro ústřední přípravu teplé vody s maximální teplotou 55 °C, vyšší teplota jen u lokální přípravy). [9] [10]

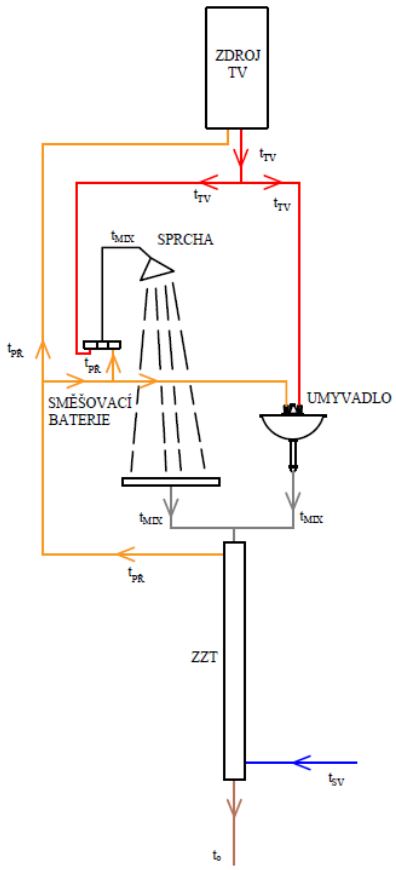
Oblast, kterou není dobré při návrhu opomenout, jsou hygienické požadavky na kvalitu vody, zvláště na dostatečnou ochranu před mikroorganismy žijícími v teplé vodě. Této problematice se věnuje vyhláška č. 252/2004 zákon č. 25/2000 Sb. Říká, že teplá voda nesmí obsahovat mikroorganismy, parazity a látky jakéhokoliv druhu v počtu nebo koncentraci, které by mohli ohrozit veřejné zdraví. Jedna z nejznámějších bakterií způsobující plicní onemocnění se nazývá Legionella pneumophila. Vyskytuje se hlavně v teplé vodě, kde dochází k jejímu množení. Ve studené vodě je pouze v zanedbatelném množství. Ideální podmínky pro nárust koncentrací bakterie jsou stojící či pomalu proudící místa vodovodních rozvodů při teplotách teplé vody v rozmezí 35 až 42 °C. Z těchto míst se pak bakterie může šířit do celého systému. Například u sprchování, kde je výskyt vodní páry, je velké riziko vdechnutí aerosolu s bakteriemi. V případě propuknutí nemoci jsou ohroženi především lidé se sníženou imunitou. Příznaky jsou velmi podobné jako u běžné chřipky (únava, nevolnost, zvýšená teplota nebo průjem). Bakterie přežívá i vyšší teploty okolo 60 °C. Základním způsobem ochrany před mikroorganismy je termická dezinfekce, při které je navýšena teplota na více jak 70 °C. Dalšími způsoby odstranění bakterie může být chlorování potrubí, sterilizace UV zářením, filtrace nebo ionizace vody ionty stříbra či mědi. [10]

4.2 Centrální systémy

Systémy zpětného využití tepla jsou rozdělovány do dvou základních systémů. První z nich, pojmenovaný jako centrální systém, je vhodný především pro větší objekty produkující větší množství šedých odpadních vod. Centrální systémy se vyznačují využíváním odpadního tepla nejen ze sprchového koutu, ale i od ostatních zařizovacích předmětů odvádějících šedou vodu. Tyto systémy se mohou provozovat buď s okamžitým odběrem, nebo za použití akumulační nádrže. [11] [12]

4.2.1 Centrální systémy s okamžitým odběrem

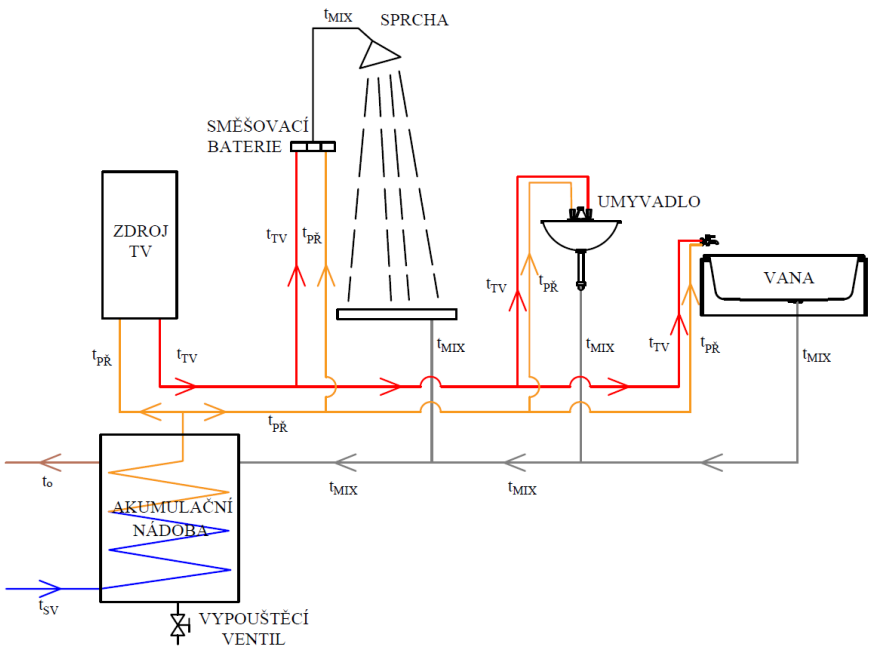
Levnější a prostorově nenáročná varianta je varianta s okamžitým odběrem viz obr. 4.1, kde se uplatňuje především vertikální zapojení výměníku ZZT. Podrobnější vysvětlení principu předávání tepla studené vodě u tohoto zapojení je popsáno v kapitole 6.1. Pro rodinné a bytové domy je tato varianta nevhodná z důvodu problému současnosti odběru. Vhodné provozní podmínky představují například koupaliště, sportoviště nebo hotely, kde se nachází velký počet zařizovacích předmětů odvádějících šedou vodu s vysokými průtoky vody. [11] [12]



Obr. 4.1 Schéma centrálního systému s okamžitým odběrem

4.2.2 Centrální systémy s akumulačním zásobníkem

Na obr. 4.2 je znázorněn princip rekuperace za použití akumulační nádrže pro více zařizovacích předmětů. Výhodou systému je nezávislost na okamžitým odběru teplé vody. Na druhou stranu je nutností oddělit černou vodu od šedé (systém IV), což přináší navýšení počáteční investice. Separaci odpadních vod je nutné mít na paměti už na začátku projektu. Je mnohem jednodušší instalovat systém do novostaveb, než zpětně aplikovat při rekonstrukci budov. Další nevýhodou je umístění akumulační nádrže, která vyžaduje větší prostorové nároky. Nádrž by měla být pravidelně čištěna včetně jejího vypouštění z důvodu možného vzniku kalů a nečistot. [11] [12]



Obr. 4.2 Schéma centrálního systému s akumulační nádobou

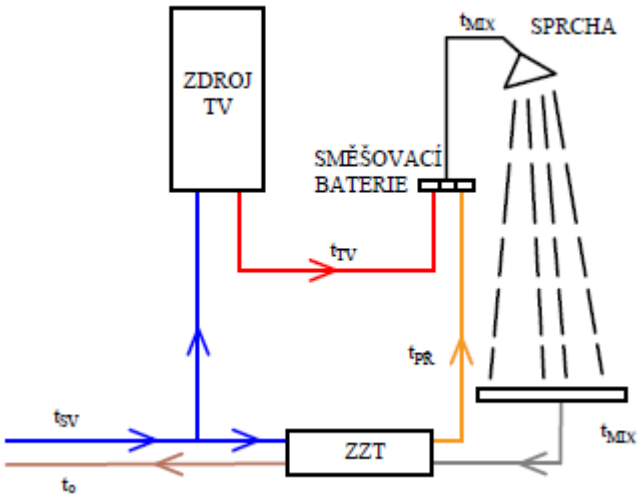
4.3 Lokální systémy

Tento způsob využívání odpadní vody je velmi účinný a lze díky němu uspořit velké množství energie. Na rozdíl od centrálního systému není nutné přemýšlet nad oddělováním černých a šedých vod, jelikož výměník ZZT je instalován přímo na odpadní potrubí jednotlivých zařizovacích předmětů odvádějících šedé vody. Další výhodou je snadnější instalace a menší prostorové nároky. Horizontální výměník je z většiny případů umisťován do prostoru pod sprchový kout. Pokud to však jeho rozměry nedovolují, lze jej umístit do podlahy poblíž sprchového koutu. [11] [12]

Mezi nevýhody patří velké riziko zanášení vnitřního prostoru výměníku například vlasy nebo mycími prostředky. S tím je spojené problematické mechanické čištění, proto je potřeba výměník pravidelně čistit chemickou cestou. Lokální systémy mohou být ve třech základních provedení. [11] [12]

4.3.1 Lokální systém pro zapojení do směšovací baterie

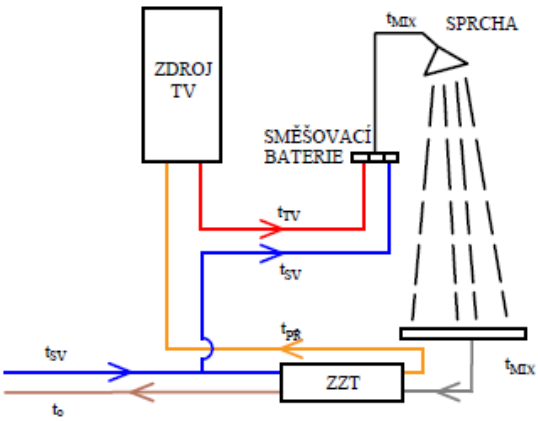
První případ lokálního systému je zapojení přímo do směšovací baterie obr. 4.3, kde se využívá menší množství teplé vody pro namíchání teploty t_{MIX}. Při sprchování odpadní voda odtéká kanálkem do protiproudého výměníku, kde ohřívá studenou vodu z vodovodního řadu. Odpadní voda, která předala teplo studené vodě, odtéká do kanalizace. Předehřátá voda míří do sprchové baterie, kde se mísí s teplou vodou na příslušnou teplotu, a tím se spoří náklady na přípravu teplé vody. Cyklus se opakuje do té doby, než je ukončeno sprchování. [11] [12]



Obr. 4.3 Princip lokálního systému ve sprchovém koutu: předehřev SV pouze pro směšovací sprchovou baterii

4.3.2 Lokální systém pro zapojení do zdroje

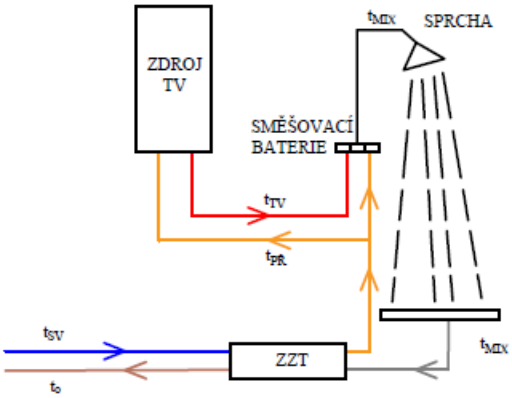
Druhým případem je zapojení do zdroje obr. 4.4, kam je přiváděna předehřátá voda místo studené vody. Díky tomu je spotřebováno méně energie pro dosažení požadované teploty teplé vody na výstupu ze zdroje tepla. [11] [12]



Obr. 4.4 Princip lokálního systému ve sprchovém koutu: předehřev SV pouze pro zdroj tepla

4.3.3 Lokální systém pro kombinované zapojení

Poslední variantou je kombinace předchozích zapojení obr. 4.5, kde část předehřáté vody je využita jak pro sprchovou směšovací baterii, tak i pro zdroj tepla. V případě většího množství odběrných míst pro tento typ zapojení se stává být situace složitější. Je nutné zohlednit tlakové poměry v potrubí při nesoučasnosti jejich používání. [11] [12]



Obr. 4.5 Princip lokálního systému ve sprchovém koutu: předehřev SV jak pro část SV do sprchové baterie, tak i pro předehřev SV pro zdroj tepla.

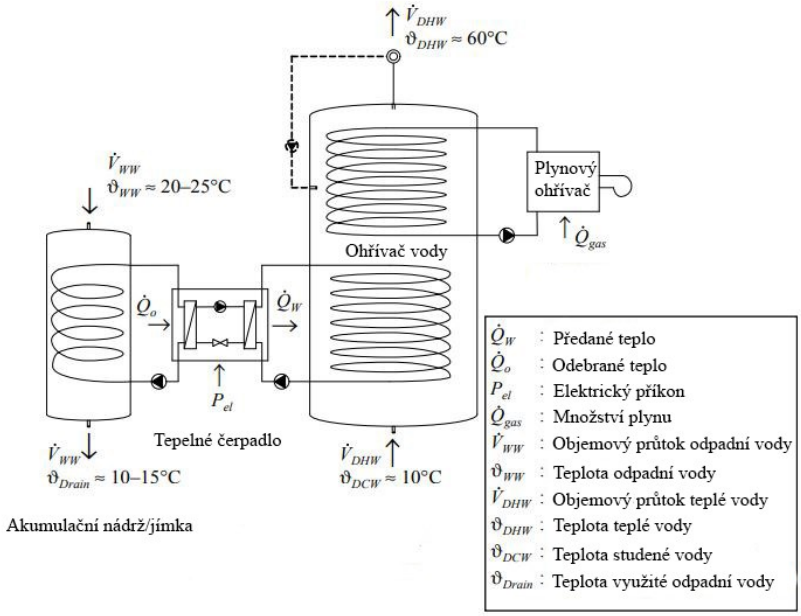
4.4 Systémy využití tepelného čerpadla

V současnosti velmi využívaným systémem je varianta zpětného získávání tepla z odpadní vody v kombinaci s nízkopotenciálním zdrojem tepla, konkrétně s tepelným čerpadlem voda-voda. Uplatnění nachází především v zahraničí (Německo, Rakousko, Švýcarsko či skandinávské státy). V České republice je typickým příkladem Aquapalace Praha v Průhonicích, kde je využito právě tohoto systému. Použití tepelného čerpadla je však limitováno teplotou odpadních vod. U většiny zařízeních je maximální přípustná teplota na primárním okruhu dána kolem 20 °C. Ve výjimečných případech zvládnou čerpadla teploty až do 35 °C. [13]

Nad tuto teplotu není schopno čerpadlo dále pokračovat v provozu. Odpadní vody jsou přes výměník napojeny přímo na primární okruh tepelného čerpadla. Jako zdroj tepla pro primární okruh TČ může například sloužit akumulační jímka obr. 4.6. V tomto případě je třeba si dát pozor na teplotu vody, aby nedosáhla bodu mrazu. Pokud systém vyhodnotí, že je překročena limitní teplota, čerpadlo začne odebírat teplo z jiného zdroje nebo jej nahradí zdroj pracující s tepelným čerpadlem v bivalentním provozu. Systémy lze taktéž rozdělovat dle distribuce energie na centrální a lokální. [13]

4.4.1 Lokální systém s využitím TČ voda-voda

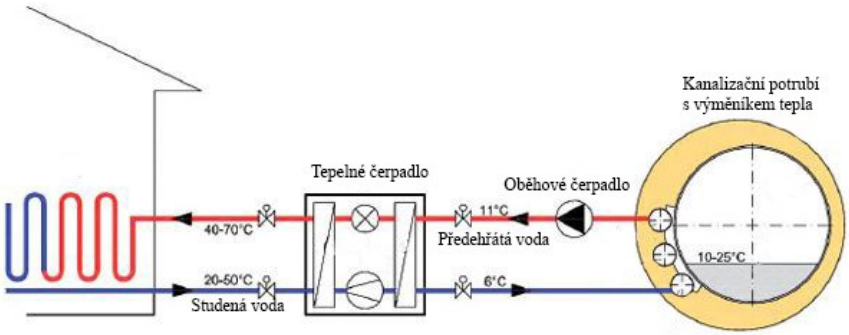
U lokálního systému je využíváno společného místa pro shromažďování odpadní vody. Pokud objekt leží ve větší vzdálenosti od kanalizační stoky, je lokální systém vhodným řešením. Distribuce tepla poté probíhá v rámci jedné budovy v místě instalace tepelného čerpadla, kterou může být rodinný dům, bytový dům nebo například administrativní budova. Výhodou systému je možnost akumulace vody v akumulační nádrži či jímce. Tato skutečnost má i své nevýhody, jako je například riziko většího vychlazení odpadní naakumulované vody nebo přesáhnutí již zmiňované limitní hodnoty na straně výparníku. V případě schématu obr. 4.6 se jedná o dvoustupňový systém, kde v prvním stupni tepelné čerpadlo předehřívá vodu a následně plynový ohřívač zvyšuje teplotu vody na 60 °C pro zajištění hygienických požadavků. Akumulační nádrž kompenzuje fluktuace přitékající odpadní vody během dne a zároveň se využívá jako místo instalace rekuperačního výměníku na straně kanalizace absorbující teplo z odpadní vody. [14]



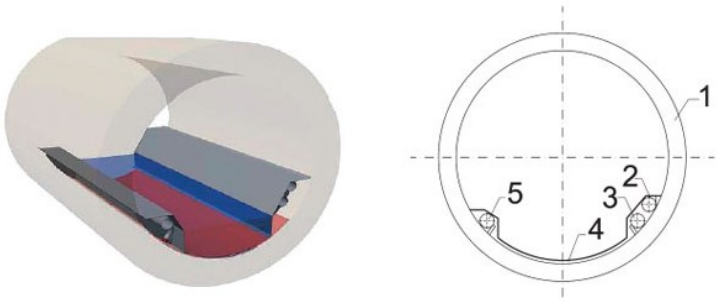
Obr. 4.6 Schéma lokálního systému s využitím tepelného čerpadla [14]

4.4.2 Centrální systém s využitím TČ voda-voda

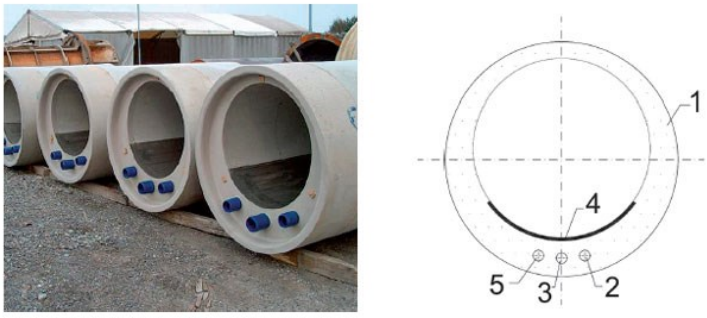
Centrální systém obr. 4.7 využívá taktéž jedno místo k odběru tepla. Oproti lokálnímu systému je následně energie distribuována do jednoho či více objektů. Rekuperační výměník je vložen či integrován do kanalizační stoky v závislosti na tom, zda se jedná o novou či stávající kanalizaci. V případě integrace výměníku obr. 4.9, je teplosměnná plocha tvořena již vnitřkem potrubí, kdežto v případě druhém obr. 4.8 je výměník vložen na dno odpadní trouby dodatečně. Aby nedocházelo k výrazným tepelným ztrátám, kanalizační potrubí je předizolováváno. Výhodou tohoto systému je zajištění vysokého a konstantního průtoku odpadní vody s jejím minimálním vychlazením. [15]



Obr. 4.7 Schéma centrálního systému s využitím tepelného čerpadla [15]



Obr. 4.8 Ocelový výměník tepla vložený do kanalizační stoky:1–kanalizační potrubí; 2-přívod SV do výměníku; 3-rozdělovací potrubí; 4-výměník tepla; 5-výstup ohřáté vody z výměníku [15]



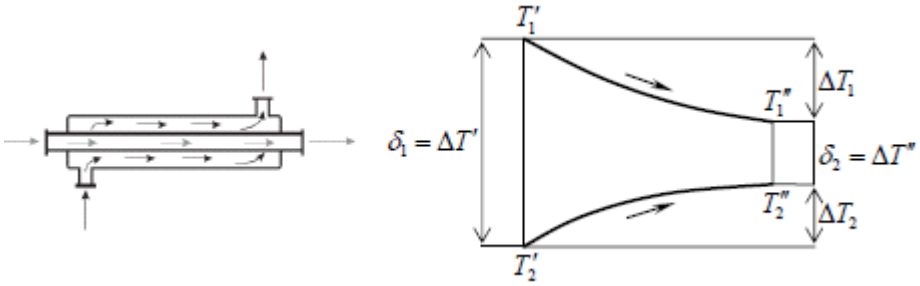
Obr. 4.9 Integrovaný výměník tepla ve stěně kanalizačního potrubí: 1-betonové potrubí; 2-přívod SV do výměníku; 3-rozdělovací potrubí; 4-výměník tepla; 5-výstup ohřáté vody z výměníku [15]

5 TEORETICKÝ NÁVRH VÝMĚNÍKU

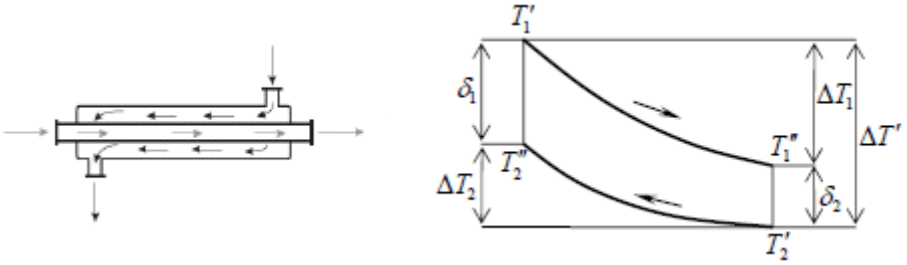
V technice prostředí rozeznáváme tři typy rekuperačních výměníků. Mezi ně patří takzvané trubkové neboli plášťové výměníky, kde jedna tekutina obtéká soustavu trubek, ve které protéká druhá tekutina. Dále do této skupiny výměníků patří lamelové výměníky, které jsou využívány jako ohřívače nebo chladiče vzduchu ve vzduchotechnice. Posledním typem jsou deskové výměníky, které mohou být jak vzduchové, tak i kapalinové. Práce je zaměřena konkrétně na deskový kapalinový výměník, ke kterému se budou vztahovat všechny další uvedené teoretické vztahy. [16]

5.1 Přenos tepla u výměníků ZZT

Tepelné vlastnosti výměníku závisí mimo jiné na směru proudění tekutin. Dle této znalosti rozlišujeme dva typy výměníků, souproudé a protiproudé. U souproudého výměníku je směr proudění tekutiny ve výměníku a tekutiny obtékající výměník totožný, kdežto u protiproudého výměníku je směr tekutin opačný. Na obr. 5.1 a 5.2 jsou znázorněny průběhy teplot jednotlivých případů výměníku. [16]



Obr. 5.1 Schématické znázornění a průběh teplot souproudého výměníku [16]



Obr. 5.2 Schématické znázornění a průběh teplot protiproudého výměníku [16]

kde:

T_1'	vstupní teplota ochlazované tekutiny	[°C]
T_1''	výstupní teplota ochlazované tekutiny	[°C]
T_2'	vstupní teplota ohřívané tekutiny	[°C]
T_2''	výstupní teplota ohřívané tekutiny	[°C]
$\Delta T'$	rozdíl vstupních teplot	[K]
$\Delta T''$	rozdíl výstupních teplot	[K]
ΔT_1	teplotní spád tekutiny 1	[K]
ΔT_2	teplotní spád tekutiny 2	[K]

Výkon výměníku je dán prostupem tepla přes stěnu, která odděluje obě tekutiny. Závisí na teplotním spádu tekutin, který je však v každém místě výměníku jiný. Zintegrováním jednotlivých tepelných toků přes celou teplosměnnou plochu výměníku se dostane rovnice prostupu tepla (5.1) při středním logaritmickém spádu.

$$\dot{Q} = U \cdot S \cdot \Delta T_m \,, \qquad [\mathrm{W}] \qquad (5.1)$$

kde:

$\dot{Q}$	tepelný tok (výkon)	[W]
U	součinitel prostupu tepla	$[\mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}]$
S	teplosměnná plocha výměníku	$[\mathrm{m^2}]$
ΔT_m	střední logaritmický teplotní spád	[°C]

Střední logaritmický teplotní spád (5.2) je definován jako:

$$\Delta T_m = \frac{\delta_1 - \delta_2}{ln\left(\frac{\delta_1}{\delta_2}\right)}, \qquad [\mathrm{K}] \qquad (5.2)$$

kde:

δ_1 rozdíl teplot na jedné straně výměníku [°C]

δ_2 rozdíl teplot na druhé straně výměníku [°C]

Pro následné hodnocení zpětného získávání tepla (odvození výpočtu účinnosti a úspory) je nutné vycházet z předpokladu, že výkon výměníku je roven tepelnému toku sdílenému mezi oběma tekutinami. To znamená, že musí být dodržen zákon o zachování energie, kdy veškeré teplo, které je tekutinou odevzdáno, musí být chladnější tekutině předáno. Rovnice popisující tepelnou výměnu je označována jako kalorimetrická rovnice (5.3).

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot \Delta t_1 = \dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot \Delta t_2 \,, \qquad [\mathrm{W}] \qquad (5.3)$$

kde:

$\dot{Q}$ skutečně přenesený tepelný výkon na straně předehřevu SV [W]

$\dot{m}$ hmotnostní průtok tekutiny předávají energii $[\mathrm{kg \cdot s^{-1}}]$

c měrná tepelná kapacita vody $[\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}]$

Δt teplotní rozdíl tekutiny na vstupu a výstupu z výměníku [K]

5.2 Stanovení účinnosti výměníku ZZT

Jedním z nejdůležitějších parametrů hodnocení zpětného získávání tepla z odpadní vody je účinnost výměníku (5.4). Je vyjádřena jako poměr skutečného tepelného výkonu k největšímu možnému teoretickému tepelnému výkonu výměníku o stejných vstupních parametrech. Obecný vztah účinnosti se stanoví jako:

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{MAX}} = \frac{\dot{C}_{SV} \cdot (t_{P\check{R}} - t_{SV})}{\dot{C}_{MIN} \cdot \Delta t_{MAX}} \,, \qquad [1] \qquad (5.4)$$

kde:

η	účinnost rekuperačního výměníku	[1]
$\dot{Q}_{MAX}$	maximální možný přenesený tepelný výkon výměníku	[W]
$\dot{C}_{SV}$	tepelná kapacita průtoku studené vody	$[\mathrm{W \cdot K^{-1}}]$
$\dot{C}_{MIN}$	menší z obou tepelných kapacit průtoku	$[\mathrm{W \cdot K^{-1}}]$
$t_{PŘ}$	teplota předehřáté studené vody	[°C]
t_{SV}	teplota studené vody přivedené do výměníku	[°C]
Δt_{MAX}	rozdíl teplot obou kapalin na vstupu do výměníku	[°C]

Ve výpočtech je třeba řádně zkontrolovat minimální tepelnou kapacitu průtoku, která se určí z tepelné kapacity průtoku studené vody a z tepelné kapacity průtoku odpadní vody vystupující ze sprchové baterie. Tato veličina je prvkem kalorimetrické rovnice a je definována jako součin objemového průtoku, hustoty a měrné tepelné kapacity, respektive hmotnostního průtoku a měrné tepelné kapacity. Po dosazení do vztahu (5.4) z kalorimetrické rovnice (5.3) lze upravit vztah pro výpočet účinnosti následovně. V případě, kdy je minimem tepelná kapacita průtoku studené vody, dostáváme zde výrazné zjednodušení a účinnost sdílení tepla bude v tomto případě záviset pouze na poměru rozdílů teplot.

$$\eta = \frac{\dot{V}_{SV} \cdot \rho_{SV} \cdot c_{SV} \cdot (t_P - t_{SV})}{\dot{V}_{SV} \cdot \rho_{SV} \cdot c_{SV} \cdot (t_{MIX} - t_{SV})} = \frac{(t_{PŘ} - t_{SV})}{(t_{MIX} - t_{SV})}, \qquad [1] \qquad (5.5)$$

kde:

$\dot{V}_{SV}$	objemový průtok přiváděné studené vody	$[\mathrm{m^3 \cdot s^{-1}}]$
ρ_{SV}	hustota studené vody	$[\mathrm{kg \cdot m^{-3}}]$
c_{SV}	měrná tepelná kapacita studené vody	$[\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}]$
t_{MIX}	teplota odpadní vody přiváděné do výměníku	[°C]

Ve výjimečných případech, kdy minimální kapacitou průtoku není kapacita studené vody, ale kapacita průtoku odpadní vody, bude vypadat vztah následovně:

$$\eta = \frac{\dot{C}_{SV} \cdot (t_{P\check{R}} - t_{SV})}{\dot{C}_{MIX} \cdot (t_{MIX} - t_{SV})}, \qquad [1] \qquad (5.6)$$

Pro dosáhnutí požadovaného průtoku V_{MIX} o teplotě t_{MIX} se v termostatické hlavici směšují dva průtoky V_{SV} a V_{TV} o teplotách t_{SV} a t_{SV}. Princip výměníku je založen na zvyšování teploty studené vody t_{SV} na předehřátou teplotu vody $t_{P\check{R}}$. Předehřátá voda poté přímo ovlivňuje přítok teplé vody ze zdroje tepla o teplotě t_{TV} pro dosažení teploty t_{MIX} za termostatickou baterií. Jakmile známe účinnost rekuperačního výměníku, lze následně vyjádřit závislost požadovaného průtoku vody o teplotě t_{MIX} na objemovém průtoku teplé vody t_{TV} dle vztahu:

$$\dot{V}_{TV} = \dot{V}_{MIX} \frac{[t_{MIX} - t_{SV} - \eta \cdot (t_{MIX} - t_{SV})]}{[t_{TV} - t_{SV} - \eta \cdot (t_{MIX} - t_{SV})]}, \qquad [\mathrm{m^3 \cdot s^{-1}}] \qquad (5.7)$$

kde:

$\dot{V}_{TV}$	objemový průtok teplé vody	$[\mathrm{m^3 \cdot s^{-1}}]$
$\dot{V}_{MIX}$	požadovaný objemový průtok ze směšovací hlavice	$[\mathrm{m^3 \cdot s^{-1}}]$
t_{TV}	teplota teplé vody	[°C]

Z rovnice (5.7) je zřejmé, že při 100 % účinnosti výměníku, která je prakticky nemožná, by nebylo zapotřebí přivádět teplou vodu, jelikož by se studená voda ohřála od odpadní vody na původní teplotu. Nedošlo by k žádné tepelné ztrátě energie. Toto by teoreticky nastalo po prvním odtočení vody o požadované teplotě odpadním potrubím.

5.3 Stanovení úspory výměníku ZZT

Vyhodnocení poměrné úspory tepla je vyhodnocováno v závislosti na použitém zapojení rekuperačního výměníku. Vychází se z kalorimetrické rovnice (5.3), kde se porovnávají dvě možné situace. Stanovení množství tepla dodaného v teplé vodě pro dosažení teploty t_{MIX} bez použití sprchového výměníku ZZT (η=0) a s nasazením výměníku (η).

5.3.1 Zapojení přímo do směšovací baterie

Pro případ zapojení obr. 4.3 pouze pro směšovací baterii jsou rovnice vyjádřeny dle těchto vztahů:

$$\dot{Q}_{BEZ} = \dot{V}_{TV(\eta=0)} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV}) \cdot \Delta\tau, \qquad [\mathrm{W \cdot s}] \qquad (5.8)$$

$$\dot{Q}_{S} = \dot{V}_{TV(\eta)} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV}) \cdot \Delta\tau, \qquad [\mathrm{W \cdot s}] \qquad (5.9)$$

kde:

$\Delta\tau$ doba přítoku teplé vody [s]

Samotná úspora ΔQ po vyjádření předcházejících rovnic je stanovena jako rozdíl mezi množstvím tepla dodaného v teplé vodě pro dosažení teploty t_{MIX} bez použití sprchového výměníku a s nasazením výměníku. Poměrem úspory ΔQ a množství tepla dodaného bez výměníku ZZT lze vyjádřit výslednou poměrnou úsporu tepla jako:

$$\theta_{ZZT} = \frac{\Delta Q}{\dot{Q}_{BEZ}} = \frac{\dot{Q}_{BEZ} - \dot{Q}_{S}}{Q_{BEZ}} = 1 - \frac{\dot{Q}_{s}}{\dot{Q}_{BEZ}} = 1 - \frac{\dot{V}_{TV(\eta)}}{\dot{V}_{TV(\eta=0)}}, \qquad [1] \qquad (5.10)$$

Z rovnice (5.10) je možné vidět, že vztah je závislý pouze na průtocích teplé vody přitékajících do termostatické hlavice. Dosazením rovnice (5.7) do vztahu pro výpočet poměrné úspory (5.10) lze rovnici dále upravit jako:

$$\theta_{ZZT} = 1 - \frac{(1-\eta)}{1 - \eta \cdot \frac{(t_{MIX} - t_{SV})}{(t_{TV} - t_{SV})}}, \qquad [1] \qquad (5.11)$$

5.3.2 Zapojení jak do zdroje tepla, tak i do směšovací baterie

V případě obr. 4.5, kdy výměník tepla pracuje pro předehřev studené vody jak pro část studené vody do sprchové baterie, tak i pro předehřev studené vody pro zdroj tepla, je zde odlišnost v rovnici (5.9) s nasazením sprchového výměníku (η) ve smyslu dodané energie zdrojem tepla pro ohřev teplé vody:

$$\dot{Q}_S = \dot{V}_{TV(\eta)} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{P\check{R}}) \cdot \Delta\tau, \qquad [\mathrm{W \cdot s}] \qquad (5.12)$$

Poměrná úspora je poté vyjádřena stejným způsobem viz (5.10) jako podíl úspory tepla k množství tepla dodaného bez použití výměníku.

$$\theta_{ZZT} = \frac{\Delta Q}{\dot{Q}_{BEZ}} = 1 - \frac{\dot{Q}_S}{\dot{Q}_{BEZ}} = 1 - \frac{\dot{V}_{TV(\eta)} \cdot (t_{TV} - t_{P\check{R}})}{\dot{V}_{TV(\eta=0)} \cdot (t_{TV} - t_{SV})}, \qquad [1] \qquad (5.13)$$

Po dosazení z rovnice (5.7) se následnou úpravou získá výsledný vztah:

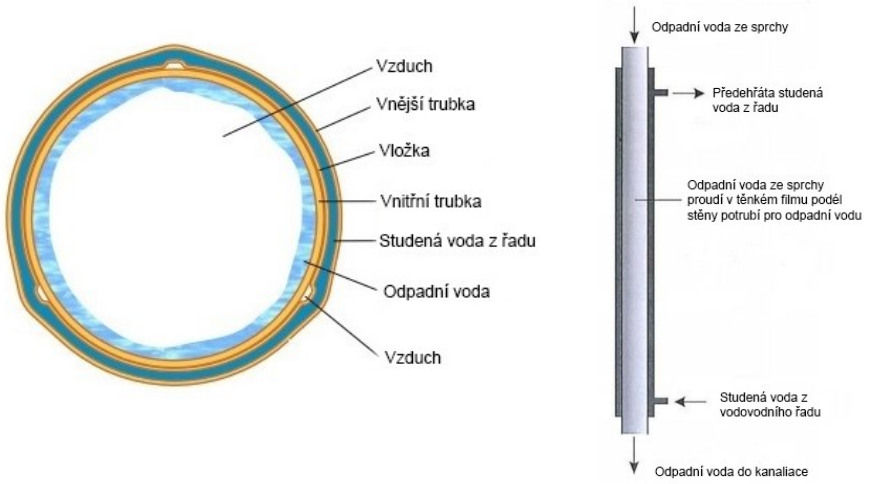
$$\theta_{ZZT} = 1 - \frac{(1-\eta) \cdot (t_{TV} - t_{P\check{R}})}{(t_{TV} - t_{SV}) - \eta \cdot (t_{MIX} - t_{SV})}, \qquad [1] \qquad (5.14)$$

6 SOUČASNÝ STAV VÝMĚNÍKŮ ZZT NA TRHU

V dnešní době je na trhu poměrně mnoho produktů pro využití zpětného získávání tepla z odpadní vody. V této kapitole se zaměřím na konkrétní výrobce výměníků ZZT z různých zemí a uvedu zde jejich výrobky včetně technických specifikací. Účinnosti jsou uvedeny pro normované hodnoty uvedené v kapitole 8.1. V případě, že účinnost je vyhodnocována za jiných podmínek, odlišnosti od normovaných hodnot budou zobrazeny v závorce. Vzájemné porovnání výměníků z hlediska účinnosti ztrácí v tomto případě na významu, jelikož při reálných provozních podmínkách jsou hodnoty účinnosti úplně jinde. Přibližné ceny dílčích výrobků jsou platné k 13. 5. 2020 a jsou zaokrouhleny na stovky. Ceny všech produktů jsou uvedeny bez DPH. V případě cen zahrnujících DPH je daň z přidaného hodnoty odečtena dle daného státu. Výměníky jsou rozděleny u jednotlivých výrobců do dvou kategorií dle instalace. Horizontální se osazují na připojovací potrubí. Umísťují se přímo pod sprchovou vaničku, dají se také zabudovat pod podlahu nebo mohou být součástí sprchového koutu v podobě viditelné odpadní mřížky. Vertikální jsou uzpůsobeny pro připojení přímo na odpadní potrubí, proto se běžně instalují do nižších podlaží, než kde jsou zařizovací předměty napojené na tento systém.

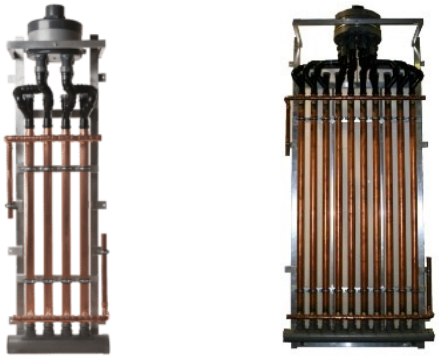
6.1 Q-Blue Showersave

Výrobce nabízí vertikální protiproudý trubkový výměník, který je dostupný na trhu ve třech různých délkách s označením QB1-12, QB1-16 a QB1-21. Nizozemský výrobek firmy Q-blue se skládá v celku ze tří měděných trubek viz obr. 6.1. Vnitřní trubka plní funkci odpadního potrubí. Voda ze sprchové hlavice proudí podél vnitřní stěny vnitřní trubice výměníku. Voda z vodovodního řadu, která je odpadní vodou ohřívána, protéká prstencovým kanálkem mezi vnější trubkou a vložkou. Mezi vnitřním potrubím a vložkou je vytvořen nepatrný prostor tvořený vzduchem. V případě netěsnosti u vnitřní trubky lze díky tomuto prostoru snadno identifikovat poruchu, která se projeví odkapáváním vody z výměníku. Verze QB1-21 může být rozšířena o takzvaný provzdušňovač (QB1-21D), který napomáhá v budovách při nedostatečném provzdušňování kanalizačního systému či k podpoře toku. Modely QB1-21D a QB1-21D-HE jsou konstrukčně identické verze. Výměník je tvořen dvěma paralelními trubkami QB1. Jediným rozdílem verze QB1-21D-HE (high efficient) jsou vnitřní optimalizace aplikované pro zvýšení účinnosti. Tlaková ztráta u verze HE je i proto vyšší oproti standartní verzi. Alternativou může být použití kaskádové sestavy Multivert složené z daného množství trubicovitých výměníků QB1. V závislosti na objemovém průtoku lze zvolit až deset trubic požadované délky viz tab. 6.1. Kaskádové zapojení je vhodné pro objekty s více sprchovacími cykly. Příkladem mohou být bazény, sportoviště, hotely nebo nemocnice. [17]



Obr. 6.1 Řez výměníkem Showersave QB1[17]

Tab. 6.1 Současný stav vertikálních výměníků firmy Q-BLUE včetně jejich technických parametrů [17] [18] [19]

Vertikální modely	QB1-12	QB1-16	QB1-21	QB1-21C	QB1-21D	QB1-21D-HE
Původ	Nizozemsko					
Certifikace	phB	phA	phA	phA	phA+	phA+
Účinnost certifikovaná / udávaná výrobcem [%]	54/57	52/64	57/69	57/70	62/75	63/78
Rozměry [mm]	⌀50 x 1270	⌀50 x 1680	⌀50 x 2100	⌀50 x 2100	⌀50 x 2360	⌀50 x 2360
Váha [kg]	4,5	6,1	7,8	7,8	15,7	15,7
Přibližná cena bez DPH [Kč]	8 500	9 600	10 300	11 300	23 000	Neznámá
Vizualizace						
						

6.2 Sakal

Jediným výrobkem na českém trhu je sprchový výměník s označením NELA od firmy Sakal. Jedná se o protiproudý horizontální výměník tepla. Skříň výměníku je vyrobena z plastu ABS, ve které je usazeno vlastní těleso výměníku z nerezového plechu. Těleso nazývané absorbérem je tvořeno profilovanými deskami. Desky jsou tvořeny soustavou kanálků, kterými proudí studená voda z vodovodního řadu. Tato voda je ohřívána odpadní vodou ze sprchové hlavice proudící volně po povrchu absorbéru. Výměník lze umístit přímo pod sprchovou vaničku nebo do její blízkosti. Nevýhodou výměníku je častější zanášení. Z toho důvodu se doporučuje pravidelně čistit výměník přípravky na biologické bázi nalitím do sifonu sprchové vaničky. [20]

Další nevýhodou u tohoto modelu je umístění absorbéru, který leží vodorovně na dně skříně. Tím je zamezeno ideálnímu obtékání obou stran absorbéru odpadní vodou. S tím souvisí také absence nátoků na přívodu odpadní vody do skříně pro lepší distribuci vody. [20]

Tab. 6.2 Současný stav horizontálních výměníků firmy SAKAL včetně jejich technických parametrů [20]

Horizontální modely	NELA
Původ	Česká republika
Účinnost udávaná výrobcem [%]	40,5
Rozměry [mm]	552 x 144 x 87
Váha [kg]	1,8
Přibližná cena bez DPH [Kč]	8 600
Vizualizace	

6.3 Wagner Solar Ecoshower

U německého výrobce Wagner Solar jsou v současné době na trhu tři druhy produktů, které dosahují zpětného získávání tepla z odpadní vody principem protiproudu. První z nich je nazýván Shower Drain (SD). Samostatný měděný výměník je integrovaný v nerezové sprchové vaničce. Výrobek je komplexně rozebíratelný, čímž je zajištěné snadné čištění bez použití chemických prostředků. Výměník lze umístit do obkladů sprch nebo přímo na stěnu. Vyrábí se v celku ve čtyřech provedeních, která se liší především svými rozměry a účinností viz tab. 6.3. Varianty SD 800 a 900 se dodávají s úzkou vtokovou štěrbinou s připojením vlevo či vpravo, zatímco SD 810 a 810H mají rozsáhlou mřížku po celé ploše výměníku a jsou vhodné pro obklady. Dalším produktem je sprchová vanička Shower Tray (ST) s vestavěným výměníkem a zápachovou uzávěrou. Je dostupná ve dvou verzích, lišících se od sebe účinností a rozměry. Vanička je vyrobena ze sanitárního akrylátu. Ostatní prvky s výjimkou výměníku jsou zhotoveny z nerezové oceli. Výměník je umístěn přímo pod odtokem ve formě vinuté měděné trubice. Podle výšky sprchového koutu lze přizpůsobit výšku vaničky pomocí nastavitelných nožiček. Čištění je velmi efektivní díky možnosti odšroubování horního krytu. [21]

Posledním produktem od této firmy je dvoustěnná trubka s výměníkem tepla s označením Shower Pipe. Vyrábí se ve dvou variantách. První model s označením 15 je použitelný pro maximální průtoky 15 l/min a je dostupný na trhu ve třech délkových rozměrech. Druhá varianta s označením 20 je navržena pro maximální průtok 20 l/min pouze v jedné velikosti. [21]

Tab. 6.3 Současný stav horizontálních výměníků firmy WAGNER SOLAR včetně jejich tech. parametrů [18] [21] [22]

Horizontální modely	SD 800	SD 900	SD 810	SD 810H	ST 900	ST 1200
Původ	Německo					
Certifikace	phC	phB	Není	Není	phB	phB
Účinnost certifikovaná / udávaná výrobcem [%]	34/42	44/54	-/39,7 (12,5l/min)	-/56,4 (12,5l/min)	44/54	44/54
Rozměry [mm]	860 x 186 x 111	960 x 186 x 132	866 x 240 x 116	866 x 240 x 154	900 x 900 x 200	1200 x 900 x 200
Přibližná cena bez DPH [Kč]	37 400	41 700	Neznámá	Neznámá	45 600	50 100
Vizualizace						

Tab. 6.4 Současný stav vertikálních výměníků firmy WAGNER SOLAR včetně jejich tech. parametrů [18] [21] [22]

Vertikální modely	SP 15	SP 20
Původ	Německo	
Certifikace	phA	Není
Účinnost certifikovaná / udávaná výrobcem [%]	54/67	-/50,2 (12,5 l/min)
Rozměry [mm]	⌀63 x 1500/1700/2015	⌀50 x 2015
Přibližná cena bez DPH [Kč]	17 200/17 800/18 200	20 500
Vizualizace		

6.4 Ecodrain

Americký výrobce nabízí dva druhy horizontálních výměníků a jeden vertikální. Systémy jsou u všech výrobků protiproudé. První pod označením A1000 se skládá ze spirálových měděných trubic, kterými prochází studená voda z vodovodního řadu. Obal výměníku tvoří plastová nádrž, která pracuje se 100% plněním, čímž se maximalizuje přenos tepla mezi odpadní a studenou vodou. Výrobci začlenili do výměníku takzvaný turbolátor, který víří vodu a zvyšuje rychlost přenosu tepla bez poklesu tlaku vody. Výhodou je instalace, která nabízí montáž až do sklonu 75 °. Možností je zapojení více výměníků za sebe. Výměník se obvykle zabudovává do podlahy z důvodu vyšších délkových rozměrů. Vyrábí se dvě velikostní řady 1422 mm a 2032 mm. [23] [24] [25]

Druhý model B1000 je nabízen ve dvou provedeních, které se od sebe odlišují materiálem odpadní trubice. Levnější variantou je plastové odpadní potrubí v kombinaci s měděnými trubicemi. Ve srovnání s celoměděným výměníkem se dle výrobce účinnost nemění, proto je výhodnější z hlediska návratnosti výměník s plastovým tělem. Průměr trubice výměníku lze přizpůsobit dle využití. [23] [25]

Výměník VT1000 je jediným vertikálním výrobkem firmy Ecodrain. Je vyroben převážně z mědi. Na rozdíl od předešlých vertikálních výměníků, které byly konstrukčně vyrobené jako „trubka v trubce“, je tento výměník zcela jedinečný. Kolem odpadní trubice je natěsno kolem dokola navrhnuta soustava formovaných trubiček ústících do rozdělovače, z kterého je předehřátá studená voda posílána ke směšovací baterii nebo do zdroje tepla. Stejně jako u modelu A1000 je výměník vybaven turbolátorem, který podporuje mísení vody a zvyšuje rychlost přenosu tepla. [23] [25]

Tab. 6.5 Současný stav horizontálních výměníků firmy ECODRAIN včetně jejich technických parametrů [23] [24]

Horizontální modely	A1000	B1000
Původ	Kanada	
Účinnost udávaná výrobcem [%]	37,5 / 44,5 (9,5 l/min)	41 (9,5 l/min)
Rozměry [mm]	1422 x 168 x 116 / 2032 x 168 x 116	⌀102 x 3300
Váha [kg] celoměděnný/s plastem	7 / 10	20/11
Přibližná cena bez DPH [Kč]	10 500	Neznámá
Vizualizace		

Tab. 6.6 Současný stav vertikálních výměníků firmy ECODRAIN včetně jejich technických parametrů [23]

Vertikální modely	VT1000
Původ	Kanada
Účinnost udávaná výrobcem [%]	43,5/55/61,1/44,6/58,9/66,1 (9,5 l/min)
Rozměry [mm]	⌀76 x 914 / ⌀76 x 1372 / ⌀76 x 1829 / ⌀102 x 914 / ⌀102 x 1372 / ⌀102 x 1829
Váha [kg]	7,5/10,5/13,5/9/14,5/19
Přibližná cena bez DPH [Kč]	Neznámá
Vizualizace	

6.5 Ivar

Italský výrobek je konstrukčně velmi podobný výměníku NELA od firmy Sakal. Profilovaný výměník s protiproudým zapojením je tvořen z nerezového plechu. Obálku tvoří plastový plášť. Vyznačuje se snadným a bezchemickým čištěním. Zvýšením průtoku vody se výměník propláchne a tím se odstraní biofilm z výměníkové plochy. Instalace je vhodná do podlahy sprchových koutů. [26]

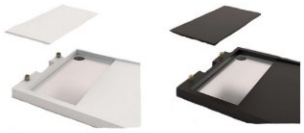
Tab. 6.7 Současný stav horizontálních výměníků firmy IVAR včetně jejich technických parametrů [26] [27]

Horizontální modely	IVAR.BEE 600	IVAR.BEE 1300
Původ	Itálie	
Účinnost udávaná výrobcem [%]	30–75 % v závislosti na délce, průtoku a teplotě vody	
Rozměry [mm]	740 x 280 x 81	1430 x 280 x 81
Váha [kg]	6	11
Přibližná cena bez DPH [Kč]	11 800	15 100
Vizualizace		

6.6 Cerian Shower

U tohoto španělského výrobku se setkáváme s výměníkem, který je zabudovaný do sprchové vaničky. Vanička s určitým sklonem tvoří celou nášlapnou plochu při sprchování a instaluje se bez jakéhokoliv zásahu do podlahy. Neklouzavý povrch celé vaničky je vyroben z minerálních pryskyřic a hygienického gelového pláště s kamenem. Výměník je umístěn v postranním kanálu. V tomto místě se také nalézá vstup pro přívod studené vody, která proudí skrze výměník a ohřívá se od odpadní vody. Výstup se nachází hned vedle. Sprchová vanička je dostupná v různých délkách od 100 cm do 200 cm včetně volby barvy. Náročností požadavků se zvyšuje pořizovací cena. [28]

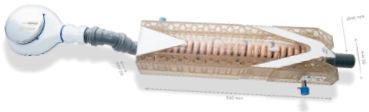
Tab. 6.8 Současný stav horizontálních výměníků CERIAN SHOWER včetně jejich technických parametrů [18] [28]

Horizontální modely	ECOTRAY ONE
Původ	Španělsko
Certifikace	phC
Účinnost certifikovaná / udávaná výrobcem [%]	33/40
Rozměry [mm]	1200 x 800 x 55
Váha [kg]	26,48
Přibližná cena bez DPH [Kč]	12 400
Vizualizace	

6.7 Zypho

Portugalský výrobce nám přináší horizontální i vertikální provedení výměníku ZZT z odpadní vody. Vodorovný lze umístit přímo na odtok ve čtyřech různých provedeních: jako vaničkový sprchový sifon, vanový sifon, čtvercový odtokový a lineární odtokový žlab s úzkou štěrbinou. Hlavní součástí výměníku je měděná spirálovitá trubička, ve které proudí studená voda. Odpadní voda, která obtéká tuto trubičku proudí v plastovém tělu. Pro čištění výrobce doporučuje nekorozivní biologické prostředky odpadních vod nebo vodní paprsek. Obě provedení výměníků minimalizují rizika vzniku legionelly. Jsou navrženy bez mrtvých prostorů a díky dostatečně vysokým průtokům je zabraňováno stagnaci vody. I po ukončení sprchování či vypuštění vany konstrukce zaručují vypuštění jednotky. Vertikální řešení výměníku je podobné jako u předešlých výrobců. Svislé potrubí je vyrobeno převážně z nerezové oceli. [29]

Tab. 6.9 Současný stav horizontálních výměníků firmy ZYPHO včetně jejich technických parametrů [29] [30]

Horizontální modely	IZI 30 HF	IZI 40 ES
Původ	Portugalsko	
Účinnost udávaná výrobcem [%]	25 (12,5 l/min)	29 (12,5 l/min)
Rozměry [mm]	540 x 90 x 90	
Přibližná cena bez DPH [Kč]	8 700	9 400
Vizualizace		

Tab. 6.10 Současný stav vertikálních výměníků firmy ZYPHO včetně jejich technických parametrů [29] [30]

Vertikální modely	Pipe 65
Původ	Portugalsko
Účinnost udávaná výrobcem [%]	58 (12,5 l/min)
Rozměry [mm]	⌀80 x 1600
Přibližná cena bez DPH [Kč]	11 800
Vizualizace	

6.8 Joulia

Poslední zmiňovaný výrobce nabízí horizontální výměníky Joulia Inline. Mezi prvními generacemi výměníků byl model Joulia 90/90 s plošnou spirálou. Později byla výroba ukončena. V současné době dala firma do prodeje další generaci výměníků, která dosahuje lepších parametrů s označením 3P a 5P. Modely se od sebe liší počtem výměníkových trubic. Každý model nabízí variantu W, R a F, které umožnují buď přichycení výměníku na stěnu pomocí přírub (W), montáž na straně místnosti (R) nebo kombinace obou způsobu instalace vhodných pro bezešvé podlahy (F). K přenosu tepla mezi studenou a odpadní vodou dochází přímo v sifonu. Proces probíhá skrze tenký nerezový plech, který kryje měděné trubice. Čištění je velmi snadné. Po vysunutí krytu kanálu, lze mechanicky kartáčem nebo chemicky čistícími prostředky výměník vyčistit. [31]

Tab. 6.11 Stav horizontálních výměníků firmy JOULIA včetně jejich technických parametrů [31] [32]

Horizontální modely	3P-630-W /R/F	5P-630-W/R/F
Původ	Švýcarsko	
Účinnost udávaná výrobcem [%]	24 (12,5 l/min)	35 (12,5 l/min)
Rozměry [mm]	837 x 142 x 72 (W) 837 x 168 x 89 (R) 873 x 198 x 89 (F)	837 x 142 x 120 (W) 837 x 168 x 120 (R) 873 x 198 x 120 (F)
Přibližná cena bez DPH [Kč]	34 300	38 500
Vizualizace		

7 APLIKACE REKUPERAČNÍCH VÝMĚNÍKŮ

7.1 Výměník NELA v praxi

Výměník NELA byl na základě své účinnosti, velikosti a ceny ve srovnání s ostatními výměníky vybrán pro instalaci v projektu zvaném Sinfonia – Low Carbon Cities for Better Living. Cílem tohoto výzkumu, který započal roku 2016 v Innsbrucku, je vytvořit a zajistit během pěti let takové podmínky a opatření, které vedou ke snížení energetické náročnosti budov. Mezi ně ovšem patří i snížení potřeby energie na přípravu teplé vody. Výsledek by měl představovat dosáhnutí 40 až 50 % úspor primární energie včetně zvýšení podílu energie z obnovitelných zdrojů o 20 %. Na obrázku níže je zobrazena fotka z instalace výměníku NELA. [33]

Obr. 7.1 Instalace výměníku NELA před pokládkou podlahy [20]

Další ukázkou instalace tohoto výměníku je projekt studentského bydlení v Holandsku, na kterém se podílela i česká firma Fagus. V tomto objektu na obr. 7.2 byla každá buňka vybavena sprchovým výměníkem NELA. Budova byla osazena celkem s 320 výměníky, které sloužili k předehřevu studené vody. [20]

Obr. 7.2 Instalace výměníku NELA na studentské koleji v Holandsku [20]

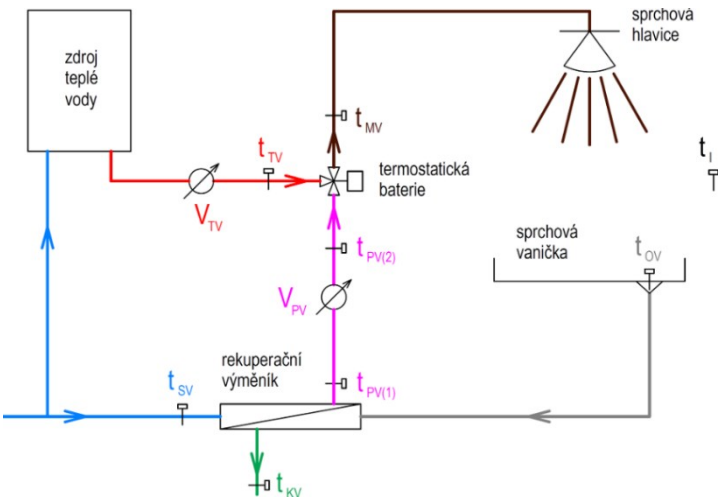
V kapitole 6.2 bylo zmiňováno, že jednou z nevýhod sprchového výměníku NELA je zanášení. Na obr. 7.3 je uveden příklad zanesení výměníku hned po jeho instalaci. Je nutné si uvědomit, že výměník nelze využívat jako výlevku. Při instalaci je vhodným řešením volba sifonu, který dokáže zachycovat nečistoty a zbytky při sprchování. [20]

Obr. 7.3 Zanesený výměník NELA po dokončení obkladů sprchového koutu [20]

Zakončením této podkapitoly je měření výměníku NELA na reálné instalaci v domácnosti. Výměník byl umístěn v suterénu rodinného domu pod stropem v místě sprchového koutu stojícího v přízemí. Uspořádání bylo dáno především kvůli instalaci čidel. Jednalo se o dva indukční průtokoměry a osm teplotních čidel osazených na potrubí dle schématu na obr. 7.5. [34]

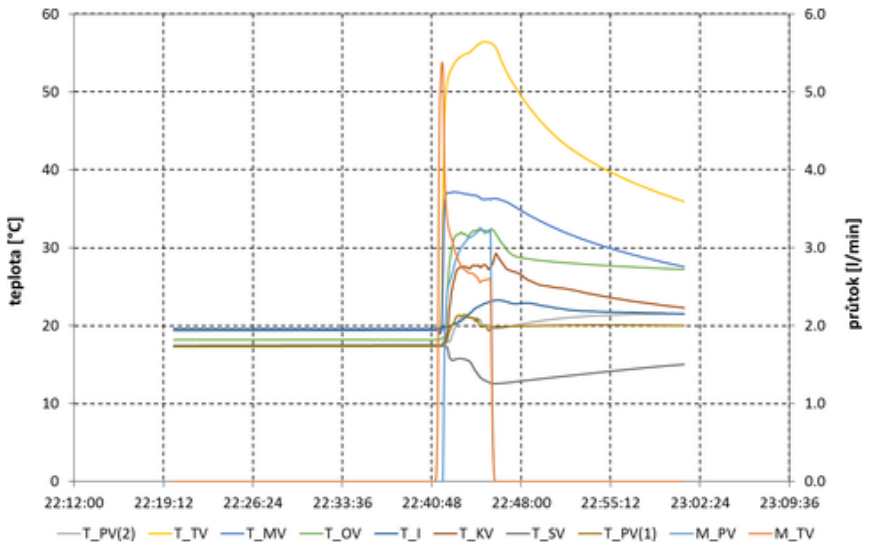
Obr. 7.4 Instalace výměníku pod stropem (vlevo); zapojení čidel ve sprchovém koutu (vpravo) [34]

Cílem tohoto měření bylo porovnání reálné úspory, která byla vyhodnocována na základě těchto vstupních podmínek: volba krátkého a dlouhého sprchovacího cyklu o délkách 4 minuty a 10 minut. Dále byly nastaveny dvě teploty teplé vody 45 °C a 55 °C, které přitékaly do směšovací baterie ze zdroje tepla. Posledním kritériem bylo seřízení termostatické baterie na teplotu mezi 37 a 38 °C s průtokem mezi 5,5 a 5,8 l/min. [34]

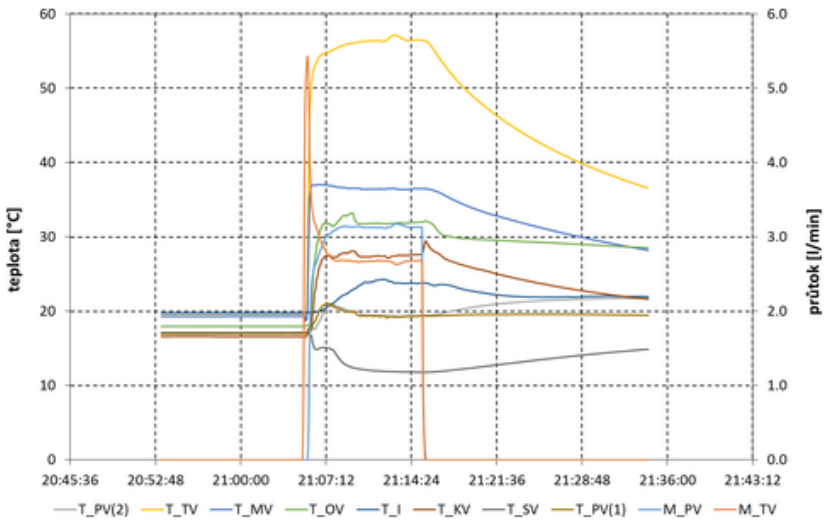


Obr. 7.5 Schéma zapojení měřící trati v rodinném domu [34]

Sprchovací cykly zobrazené na obr. 7.6 a 7.7 ukazují průběhy teplot a průtoků v závislosti na čase. Při pohledu na grafy lze vypozorovat jisté dopravní zpoždění, které je dáno rozdílem mezi průběhem průtoku teplé vody a předehřáté vody. Toto zpoždění je ovlivněno délkou potrubních rozvodů, průtokem vody výměníkem a jeho setrvačností. Mezi teplotou mísené vody t_{MIX} ze sprchové hlavice a teplotou odpadní vody opouštějící vaničku výměníku je zjištěno relativně vysoké ochlazení dosahující 5 až 7 K. Tepelné ztráty tepla jsou dány především ochlazením od povrchu stěn sprchového koutu, těla člověka a odparem teplé vody. Během sprchování se také změnila teplota v dané místnosti se sprchovým koutem z 20 °C na 25 °C vlivem sprchování. Teplota v suterénu s výměníkem se pohybovala mezi 17 °C a 20 °C. Studená voda vykazuje určité výchylky dané dopravním zpožděním a teplotními poměry ve vodovodním řadu. Teplota se pohybovala od 12 °C do 18 °C. [34]



Obr. 7.6 Naměřené hodnoty v krátkém sprchovacím cyklu [34]



Obr. 7.7 Naměřené hodnoty v dlouhém sprchovacím cyklu [34]

Pro všechny vstupní podmínky této reálné instalace byly vyjádřeny průměrné hodnoty účinností výměníku dle (5.4) a poměrných úspor dle (5.10) viz tab. 7.1.

Tab. 7.1 Průměrné parametry sprchovacích cyklů a dosažená poměrná úspora [34]

Délka sprchovacího cyklu Δτ [min]	**4**	**10**	**4**	**10**
Teplota teplé vody t_{TV} [°C]	**45.0**	**45.6**	**55.0**	**55.7**
Průtok studené vody V_{SV} [l/min]	1.8	2.0	2.9	3.0
Teplota studené vody t_{SV} [°C]	17.6	17.3	14.6	12.9
Teplota předehřáté vody $t_{PŘ}$ [°C]	23.8	24.6	20.4	19.6
Průtok odpadní vody V_{MIX} [l/min]	5.7	5.6	5.5	5.8
Teplota odpadní vody t_{OCHL} [°C]	31.2	32.6	31.4	31.3
Účinnost výměníku η [–]	**0.456**	**0.477**	**0.345**	**0.364**
Teplota mísené vody t_{MIX} [°C]	37.7	37.9	36.7	36.6
Vychlazení vody ve sprše Δt_S [K]	6.6	5.3	5.3	5.2
Vypočtená poměrná úspora $\Theta_{ZZT,teor}$	**0.105**	**0.130**	**0.139**	**0.151**
Potřeba tepla bez výměníku Q_{BEZ} [Wh]	503	1870	581	1548
Úspora tepla výměníkem ΔQ [Wh]	52	242	75	232
Poměrná úspora z měření $\Theta_{ZZT,měř}$	**0.103**	**0.129**	**0.129**	**0.150**

Dle předpokladu byla nejnižší poměrná úspora dosažena pro krátký sprchový cyklus s teplotou teplé vody 45 °C a nejvyšší poměrná úspora pro dlouhý sprchový cyklus s teplotou 55 °C. Z výsledků vyplývá, že testovaný výměník dosahuje lepších parametrů při delších intervalech sprchování, proto je vhodné jej použít u objektů, které využívají velké množství odpadních šedých vod. Tím může následně dojít k výrazným úsporám. [34]

7.2 Aplikace výměníků Zypho

Jednou z velmi zajímavých instalací je projekt firmy Zypho, který se zaměřoval především na životnost sprchového výměníku. Aplikace výměníku se odehrávala v Portugalsku, v kempu na pobřeží Atlantského oceánu. Jednalo se o instalaci do bungalovů viz obr. 7.8 o kapacitě čtyř osob s využitím 120 dní v roce s pravidelným ročním čištěním chemickými přípravky doporučenými výrobcem. Výměník byl testován celé čtyři roky v poměrně náročných podmínkách a následně vyčištěn. [29]

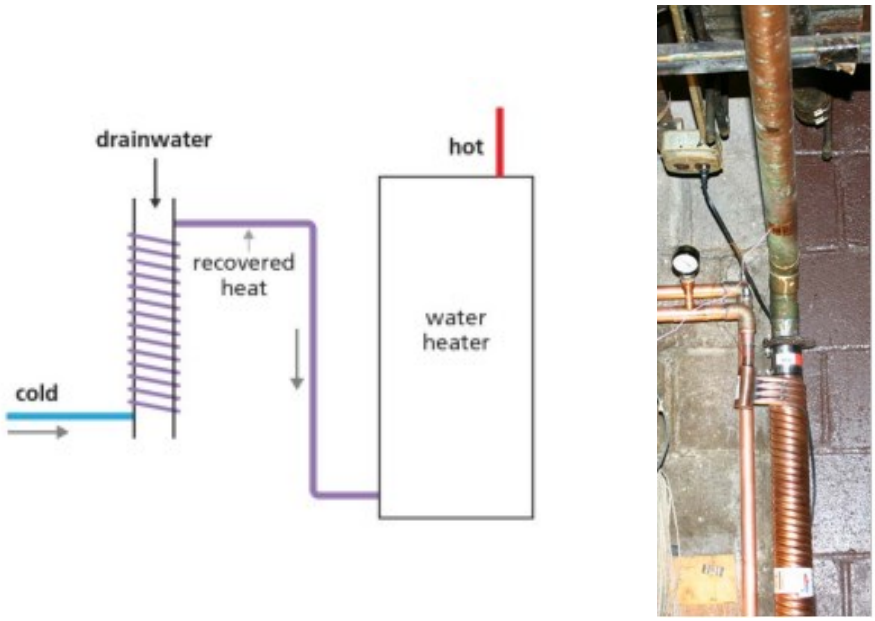
Obr. 7.8 Bungalov v Portugalsku [29]

Na následujících fotkách obr. 7.9 je porovnání výměníku po čtyřech letech používání před vyčištěním a po vyčištění. Z levého snímku je očividné, jak moc byly teplosměnné plochy spirály uvnitř plastového krytu zaneseny. Pravý snímek ukazuje stav po vyčištění, kde byl kompletně celý výměník rozebrán, vyčištěn již zmiňovanými chemickými prostředky a následně propláchnut vodou. Tímto experimentem založeným na otázkách zákazníků chtěl výrobce poukázat na to, že při jednoročním čištění výměník zachovává deklarovanou účinnost, respektive úsporu bez jakýchkoliv komplikací, mechanických zásahů a výměny části či celého zařízení. [29]

Obr. 7.9 Porovnání výměníku Zypho po 4 letech používání před (vlevo) a po (vpravo) vyčištění [29]

7.3 Restaurace Minneapolis v USA

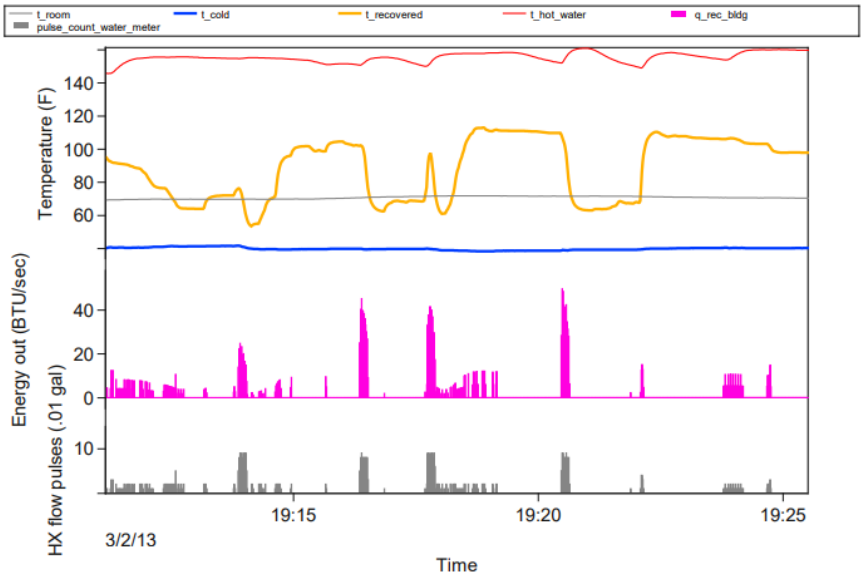
Americká studie komerčních aplikací zpětného získávání tepla z odpadní vody se roku 2013 zabývala testováním vertikálních výměníků GFX (gravity-film heat exchanger). Pro tento projekt byly vybrány čtyři objekty, z čehož jeden z nich bude zde detailněji popsán. Jedná se o restauraci pod názvem Minneapolis nacházející se v Minnesotě v USA. Podnik o velikosti 120 míst je využíván od rána do večera sedm dní v týdnu s výjimkou některých svátků. Teplá voda je poskytována nepřímým topným systémem s 300 l akumulační nádrží s využitím plynového kotle. Pro rekuperaci tepla byla po analýze restaurace vybrána myčka nádobí, která vykazovala největší zátěž na horkou vodu a umyvadlo. Myčka pracuje při teplotě mycího cyklu 66 °C a při oplachovacím cyklu dosahuje až 82 °C. Je vybavena elektrickým ohřívačem, který zvyšuje teplotu vody přicházející ze systému ohřevu. Systém zobrazený na schématu obr. 7.10 využívá předehřátou studenou vodu pouze pro zdroj tepla. Pro tuto instalaci je použit model výměníku od délce 1830 mm s průměrem 50 mm s označením PowerPipe R2-72. [35]



Obr. 7.10 Schémata a reálný snímek systému rekuperace v restauraci Minneapolis [35]

Na základě výsledného grafu obr. 7.11 lze říci, že restaurace je charakterizována mnoha krátkými periodami toku vody. Do těchto cyklů se řadí především plnění myčky s průtokem 1500 l/h pod dobu 10 sekund. Grafický výstup je výsledkem 15 minutového časového intervalu myčky. Zvýšení teploty předehřáté vody je očividné u malých či žádných průtoků, což ukazuje tok horkého odtoku a akumulaci tepla ve výměníku. [35]

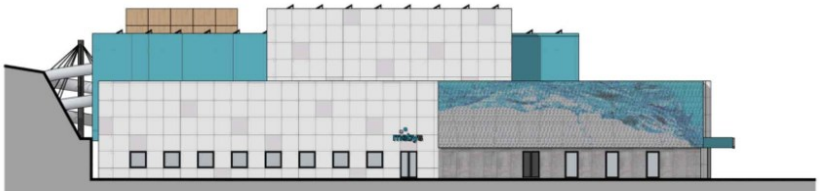
V případě cyklu napouštění je zřejmý nárůst regenerované energie (předehřátá voda opouští tepelný výměník) a zároveň výrazný pokles teploty regenerované vody. Při tomto sledovaném časovém úseku dosahuje maximum teploty předehřáté vody cca 50 °C. Vysoká míra regenerace je důsledkem několika faktorů. V myčce je využívána velmi horká voda, která se během mycích cyklů vůbec nemísí se studenou vodou. Délka odtoku z myčky do rekuperačního výměníku je menší než 4,5 m a je v horizontálním zapojení, což má za následek nízké tepelné ztráty v tomto daném úseku. [35]



Obr. 7.11 Vyhodnocení systému rekuperace na závislosti teploty, průtoku a energie [35]

7.4 Krytý bazén Trutnov

V roce 2014 proběhla instalace centrálního systému ZZT v krytém bazénu Trutnov viz obr. 7.12. Konkrétně se jednalo o kaskádové zapojení trubkového rekuperačního výměníku Multivert QB1-21 s použitím osmi dvojstěnných trubic o celkové hmotnosti 80 kg s rozměry 3 x 1 m. Detailnímu popisu zařízení od firmy Q-Blue se věnuje kapitola 6.1. Teplo z odpadních vod od veřejných sprch je využíváno pro předehřev studené vody. Díky nasazenému výměníku bylo dosaženo výrazných úspor energie na přípravu teplé vody, které jsou dané větším množstvím sprchových cyklů, což je pro tento objekt charakteristické. Zobrazení samotné aplikace výměníku je součástí obr. 7.13 [36]

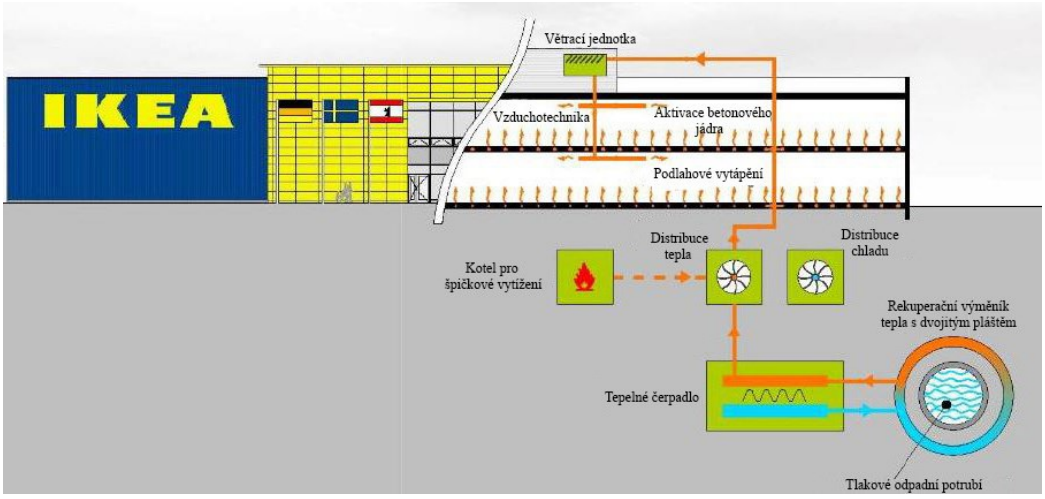


Obr. 7.12 Východní pohled M1:250 krytého bazénu v Trutnově [37]

Obr. 7.13 Pohled na instalaci kaskádového výměníku Multivert Q-Blue QB1-21 [36]

7.5 Obchodní dům Ikea v Berlíně

V návaznosti na podkapitolu 4.4 je zde uvedena reálná aplikace centrálního systému s využitím tepelného čerpadla viz obr. 7.14. Objekt se nachází v Německu, konkrétně v berlínské Ikee. Jedná se o největší systém ZZT z odpadní vody s využitím tepelného čerpadla v Evropě. Ikea využívá teplo komunální odpadní vody jak pro vytápění, tak i pro chlazení budovy. Tímto teplem je pokryto 70 % celkové potřeby tepla. Objemový průtok odpadní vody dosahuje mezi 0,5 až 1,4 milióny litry za hodinu. Technologie rekuperace vody je kombinována s fotovoltaickým systémem a systémem využívání dešťové vody pro splachování toalet. [38]



Obr. 7.14 Centrální způsob ZZT z odpadní vody v berlínské Ikee [38]

7.6 Prádelna a čistírna Jihlava

Dalším příkladem použití rekuperačního výměníku v praxi je odpadní výměník SUP-3, který je stejně jako výměník Nela produktem firmy Sakal. Konkrétně se jedná o výměník určený pro využívání silně znečištěné odpadní vody. Využití nalézá především ve velkých provozech. Pro provoz prádelny a čistírny v Jihlavě obr. 7.15 byl roku 2003 navržen právě tento typ výměníku. V provozu bylo každý den zhruba spotřebováno 100 m^3 odpadní vody o teplotě 45 °C. Výměník čistou studenou vodu o teplotě 8 °C dokázal předehřát na celých 26 °C. Denní úspora tak činila během deseti provozních hodin 2 100 kWh. [20]

Obr. 7.15 Výměníková jednotka SUP-3 v provozu prádelny v Jihlavě [20]

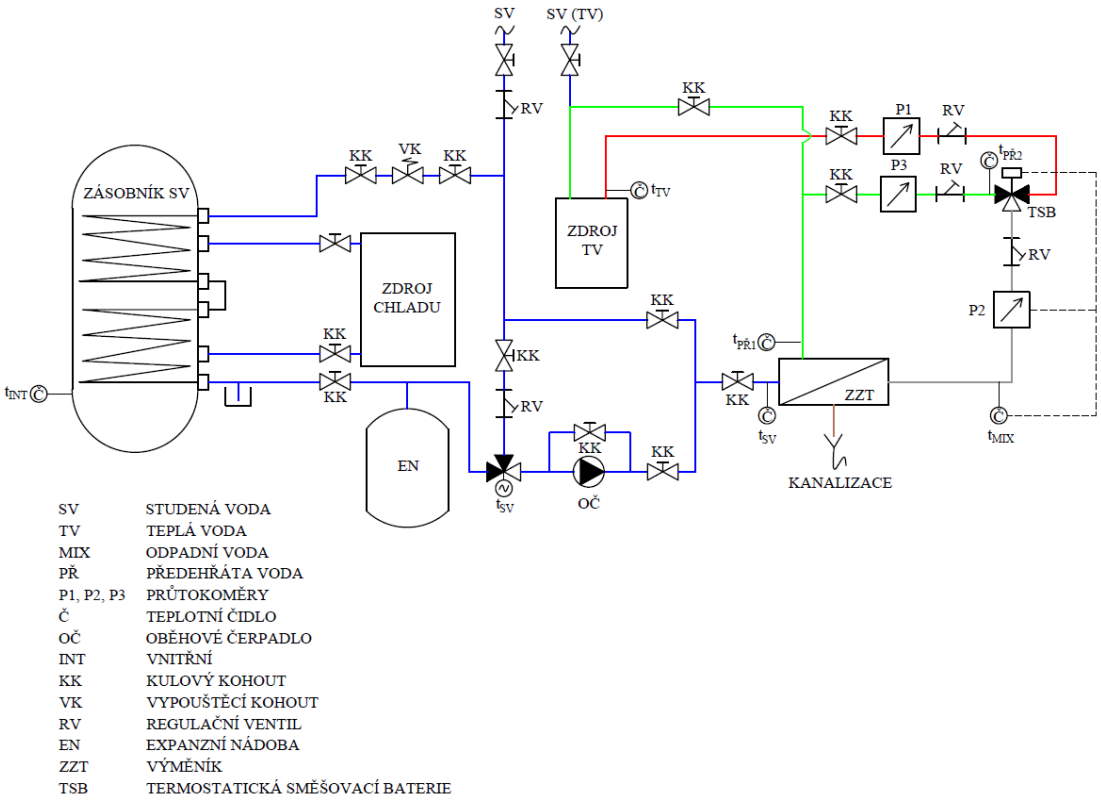
8 EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ VÝMĚNÍKŮ

8.1 Experimentální měřící trať

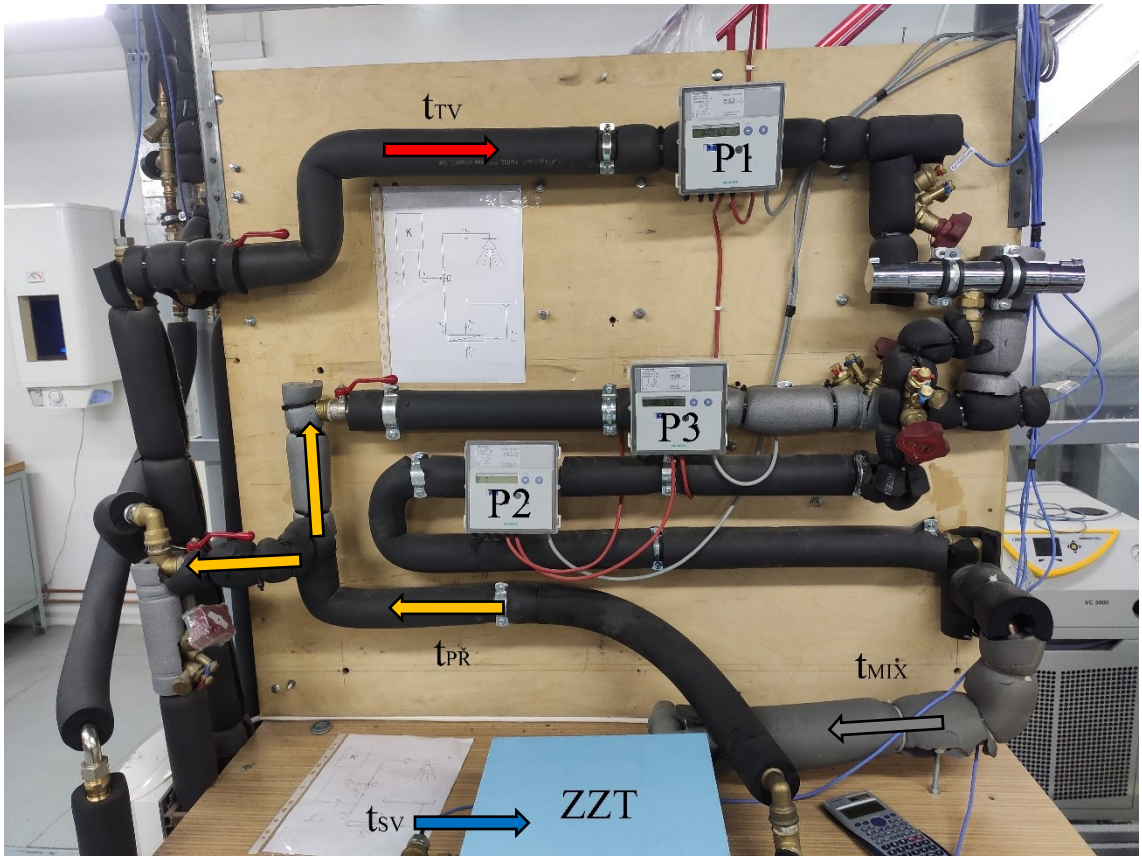
Hlavní náplní diplomové práce bylo testování jednotlivých prototypů na experimentální trati, jejíž schématické a reálné vyobrazení představují obr. 8.1 a 8.2. Měřící trať pro zhodnocování sprchových výměníků byla sestavena v halových laboratořích Ústavu techniky prostředí fakulty strojní na ČVUT v Praze. Zkonstruována byla tak, aby bylo možné dosáhnout všech tří typů zapojení viz kapitola 4.3. Cílem bylo také dosáhnutí ideálních podmínek, při kterých jsou výměníky testovány.

Teplota studené vody z vodovodního řadu závisí na řadě činitelů. Je ovlivňována především roční dobou nebo například vlivem místa, kde je potrubí vedeno. V období měření této práce studená voda běžně měla kolem 14 °C. Z důvodu nevyhovující teploty je studená voda chlazena zdrojem chladu s označením Lauda Variocool VC 5000 s chladícím výkonem 5 kW. Vychlazená voda je následně akumulována v zásobníku studené vody Regulus R2DC 300 o objemu 300 l.

Studená voda z vodovodního řadu a předchlazená studená voda je nakonec míchána v trojcestné směšovací armatuře na teplotu 10 °C. Teplota teplé vody o hodnotě 55 °C je připravována v průtokovém ohřívači Stiebel Eltron DHE 27 SLi. Díky těmto komponentům, které udržují teploty ustálené, je možné na trati měřit poměrně dlouhé sprchové intervaly v době až 12 minut bez větších výkyvů teplot. Uživatelem určená teplota je dosahována smícháváním studené a teplé vody, respektive předehřáté vody prostřednictvím směšovací termostatické baterie od firmy Ravak. Pro odečet teplot jsou do měřící tratě zařazena teplotní čidla KSTz Pt 100, která jsou propojena s počítačem skrze měřící ústřednu Ahlborn Almemo 3290. Výstupem každého měření jsou data jednotlivých teplot ze softwaru AMR control. Systém je také vybaven třemi ultrazvukovými průtokoměry Siemens UltraHeat UH50 měřící průtok teplé, předehřáté a odpadní vody. Průtok je mimo termostatickou směšovací hlavici regulován také vyvažovacími regulačními ventily STAD. Maximální objemový průtok se pohyboval od 12 do 14 l/min v závislosti na použitém typu zapojení. Dolní mez průtoku je dána elektrickým průtokovým ohřívačem z důvodu automatického odstavení z provozu při velmi malých průtocích teplé vody do směšovací baterie.



Obr. 8.1 Schéma zapojení experimentální měřící tratě pro testování prototypů sprchových výměníků



Obr. 8.2 Reálné zapojení experimentální měřící trati v laboratořích FS ČVUT

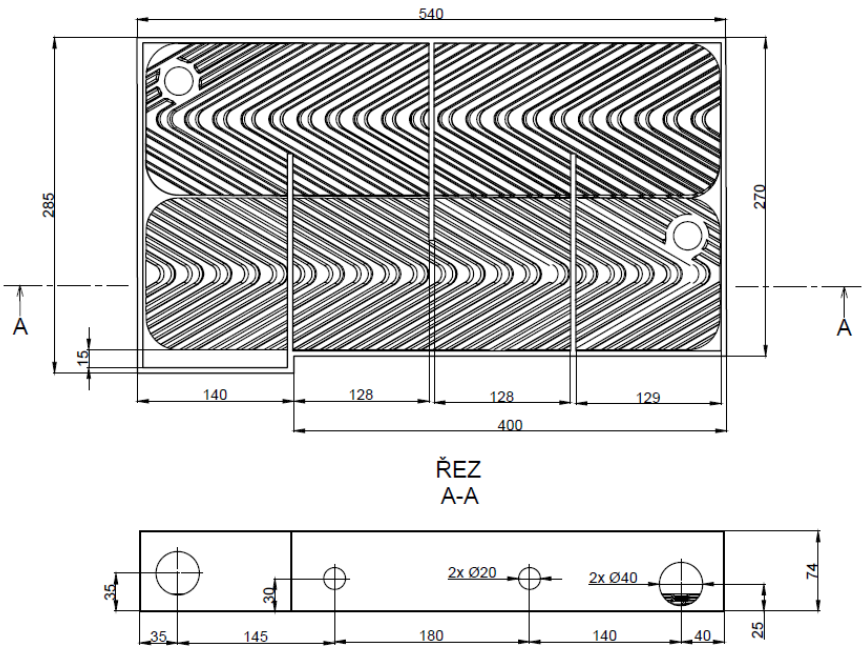
8.2 Postup měření prototypů

Navržené prototypy byly nejprve zkonstruovány v laboratořích Ústavu techniky prostředí. Každý prototyp byl měřen pro dvě různá zapojení, a to zapojení pro směšovací termostatickou baterii viz obr. 4.3 a kombinované zapojení viz obr. 4.5. Měření probíhalo pro několik různých teplot a průtoků. Rozsah teplot na směšovací baterii byl od 34 °C do 40 °C s měřícím krokem 2 °C. Objemový průtok odpadní vody, respektive studené přiváděné vody, byl měřen od 6 l/min do 14 l/min. Nejprve bylo potřeba nachladit studenou vodu na teplotu 10 °C dle testovacích požadavků. Jakmile studená voda dosahovala požadované teploty, bylo možné započít měření. Na termostatické směšovací baterii se nejprve nastavila teplota vody t_{MIX} a poté se až na regulačním ventilu STAD, nikoliv na termostatické baterii, volil daný průtok soustavou. Jakmile byly parametry pro měření nastaveny, čekalo se přibližně dvě až tři minuty na ustálení měřící trati. Měření jedné teploty probíhalo vždy minimálně pro pět měřících bodů (průtoků). Na průtokoměrech se odečítaly průtoky teplé, předehřáté a odpadní vody po časovém kroku 15 sekund. Teploty snímané jednotlivými čidly se automaticky zaznamenávaly do počítačového softwaru každých 10 sekund.

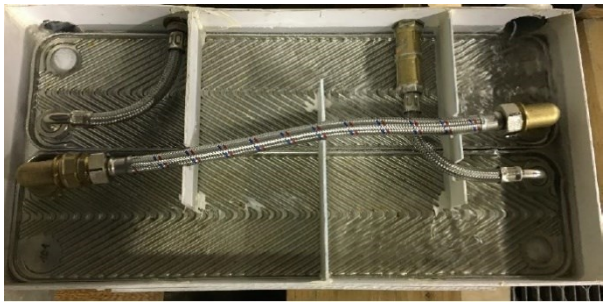
Celkové měření probíhalo v intervalu 6 minut. Na konci měření byla data z AMR control exportována do excelu. Z naměřených dat teplot a průtoků se stanovila průměrná hodnota, se kterou se nadále pracovalo při vyhodnocování měření. Tolerance vstupních teplot (okrajových podmínek) byla maximálně ± 0,2 K. Pokud však nebyla maximální možná odchylka splněna u celkových průměrných hodnot, bylo nutné měření zopakovat.

8.3 Návrh a měření prototypů

Návrh jednotlivých prototypů vychází z dosavadního sprchového výměníku ZZT z odpadní vody užitného vzoru č. 32692 zapsaného u patentového úřadu České republiky. Konkrétně se jedná o úpravy protiproudého sprchového výměníku "prototypu 3" (dále jako prototyp 0) navrženého Ing. Janem Sukdolem viz obr. 8.3 a 8.4. Prototyp 0 o rozměrech 540x270x74 mm je tvořen plastovou vaničkou, ve které je umístěn ocelový výměník tepla s vertikálním zdvihem 6 mm, který se jevil jako optimální. Tento zdvih zajišťuje ideální proudění tekutiny nad i pod deskou výměníku. Pro lepší zatékání vody je výměník vybaven nátokem, který zaručuje rovnoměrné rozdělení proudu nad a pod teplosměnnou plochu výměníku. Plocha vzniklá vysunutím stěny vaničky vně má rozměry 140x15 mm. Součástí sprchového výměníku jsou také tři přepážky zasahující do ⅔ šířky výměníku. Tento prvek zde byl navrhnut pro usměrnění toku a delší zdržení odpadní vody ve výměníku. [40]



Obr. 8.3 Výkres prototypu 0 [40]

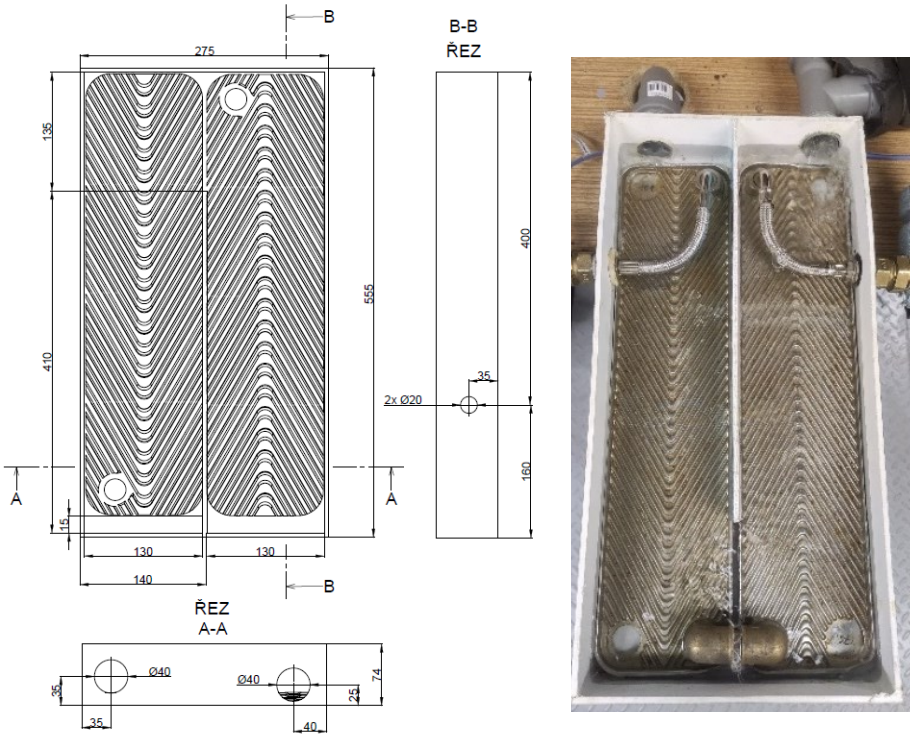


Obr. 8.4 Reálný snímek prototypu 0 [40]

Na základě dosavadních poznatků z předešlého testování prototypů sprchových výměníků byly navrhnuty nové 4 prototypy s označením P1A, P1B, P2A a P2B s cílem dosáhnout co nejvyšší účinnosti přenosu tepla mezi odpadní a studenou vodou stanovenou dle vztahu (5.4). Výkresy původního prototypu a nově navržených prototypů včetně 3D modelace jsou součástí příloh 1 až 5 za použití softwaru AutoCAD.

8.3.1 Prototyp 1A

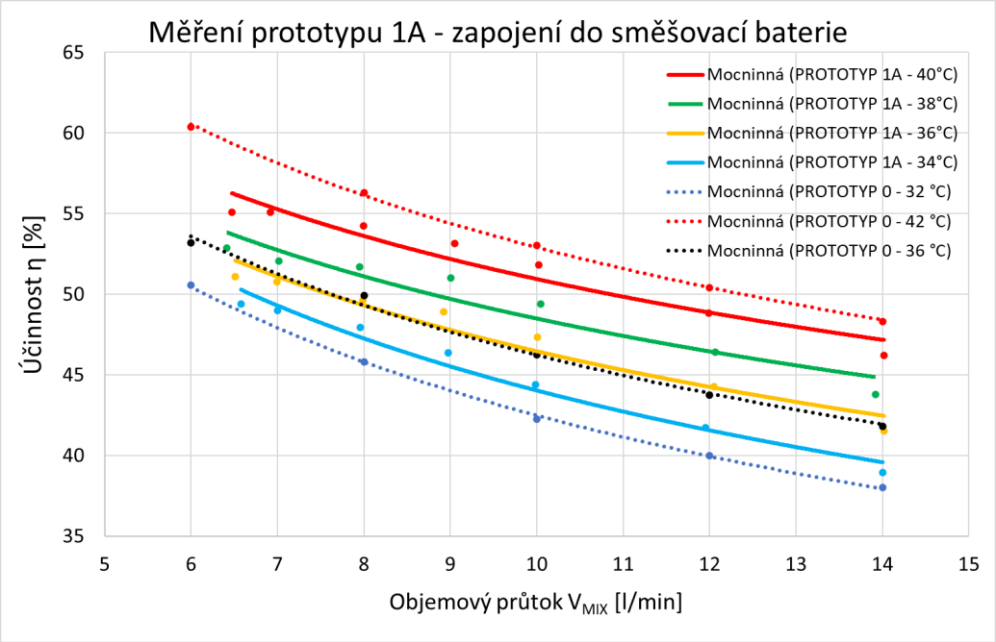
První prototyp s označením 1A není o tolik odlišný než prototyp 0. Zásadním rozdílem navrženého výměníku je otočení o 90°. To znamená, že umístění přívodu a odvodu odpadní vody do a z výměníku je instalováno na kratší straně tohoto modelu viz obr. 8.5. Důsledkem natočení byla redukce počtu přepážek ze tří na jednu umístěnou do ½ mezi desky výměníku. Jedná se tedy o čistý protiproud. Nátok v délce 15 cm je zachován.



Obr. 8.5 Výkres a reálný snímek prototypu 1A

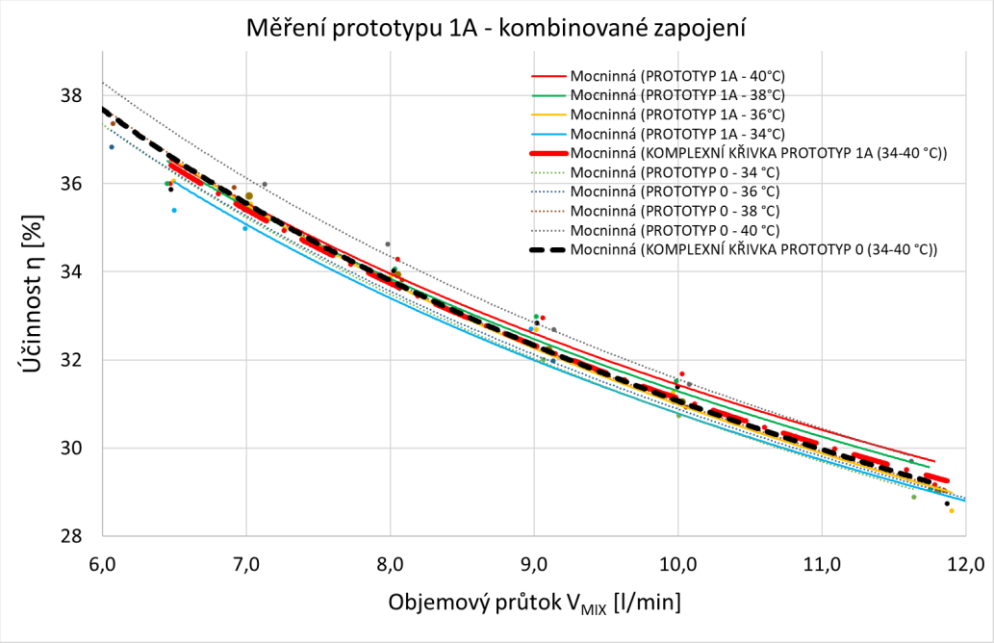
Pro lepší odtékání z výměníku do kanalizace je vytvořen také odtok o stejném rozměru jako nátok. Vertikální zdvih výměníku byl zvolen 6 mm.

Grafické znázornění měření (závislost účinnosti a objemového průtoku) prototypu 1A pro přímé zapojení do směšovací baterie a kombinované zapojení je na obr. 8.6 a 8.7. Zároveň jsou v grafech také vyneseny průběhy prototypu 0. První typ zapojení byl v roce 2017 měřen Ing. Janem Sukdolem. [40] Jelikož u prototypu 0 v tomto zapojení nebyly měřeny teploty 34, 38 a 40 °C, nelze jednoznačně určit, zda nový prototyp 1A dosahuje lepších výsledků. Jedinou společnou teplotu, kterou lze řádně porovnat, je 36 °C. Při porovnání hodnot této teploty (závislost účinnosti a průtoku) se zdají být data téměř shodná. Nový prototyp tedy nejeví známky zlepšení. Z teoretického hlediska by však měl lépe vycházet čistý protiproud bez křížení přepážek, tedy prototyp 1A.



Obr. 8.6 Grafické zobrazení prototypu 1A se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 0

Kombinované zapojení (předehřev SV jak pro směšovací baterii, tak i pro zdroj tepla) prototypu 0 bylo v minulém roce 2019 měřeno Ing. Jakubem Malečkem. [41] V tomto případě zapojení se dají křivky považovat taktéž za téměř shodné pro jakoukoliv teplotu. U tohoto zapojení se ukazuje, že účinnost není závislá na teplotě odpadní vody, ale je dána konstrukcí a velikostí teplosměnné plochy výměníku. Z tohoto důvodu je ze všech naměřených křivek teplot (34 až 40 °C) vytvořena průměrná komplexní křivka. Při porovnání této křivky prototypu 0 (černá barva) a nového prototypu 1A (červená barva) je z grafu na první pohled vidět, že jsou prakticky totožné.



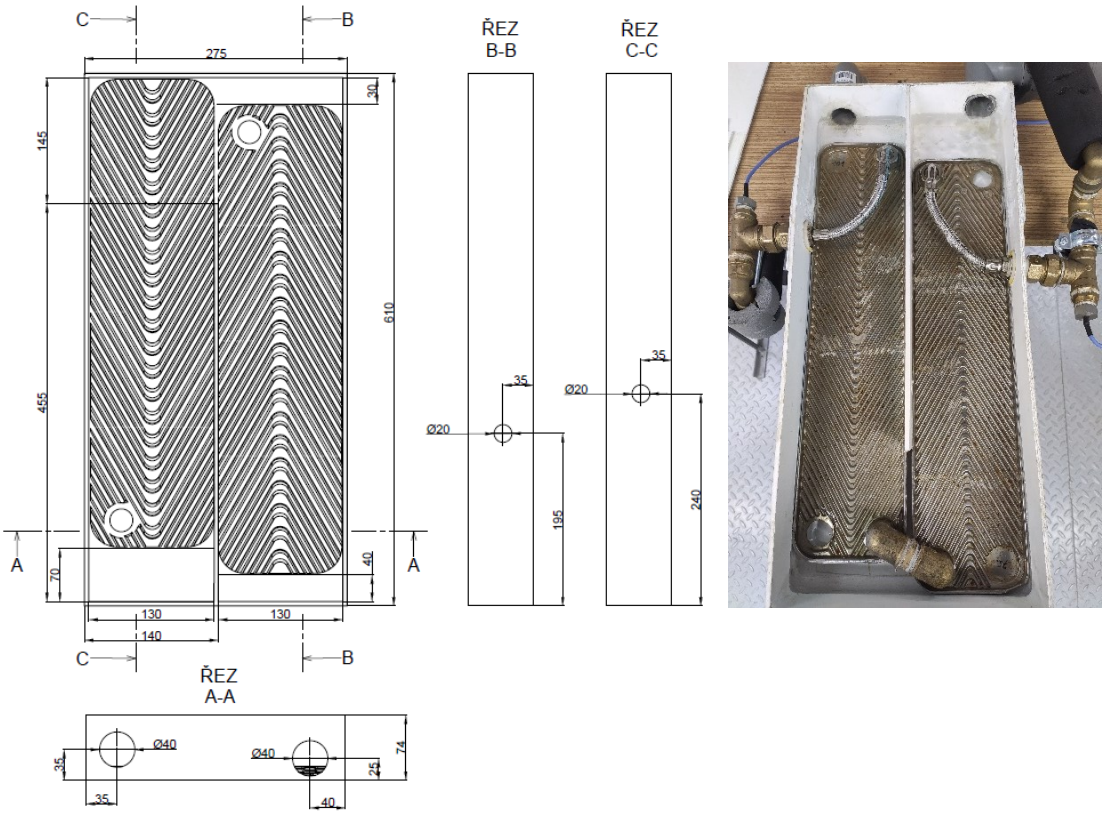
Obr. 8.7 Grafické zobrazení prototypu 1A s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 0

Na základě tohoto porovnání lze konstatovat, že úprava výměníku na čistý protiproud (tj. prototyp 1A) pro obě zapojení nepřinesla žádné výraznější zlepšení při zachování dvou teplosměnných desek, vertikálního zdvihu a nátoku výměníku.

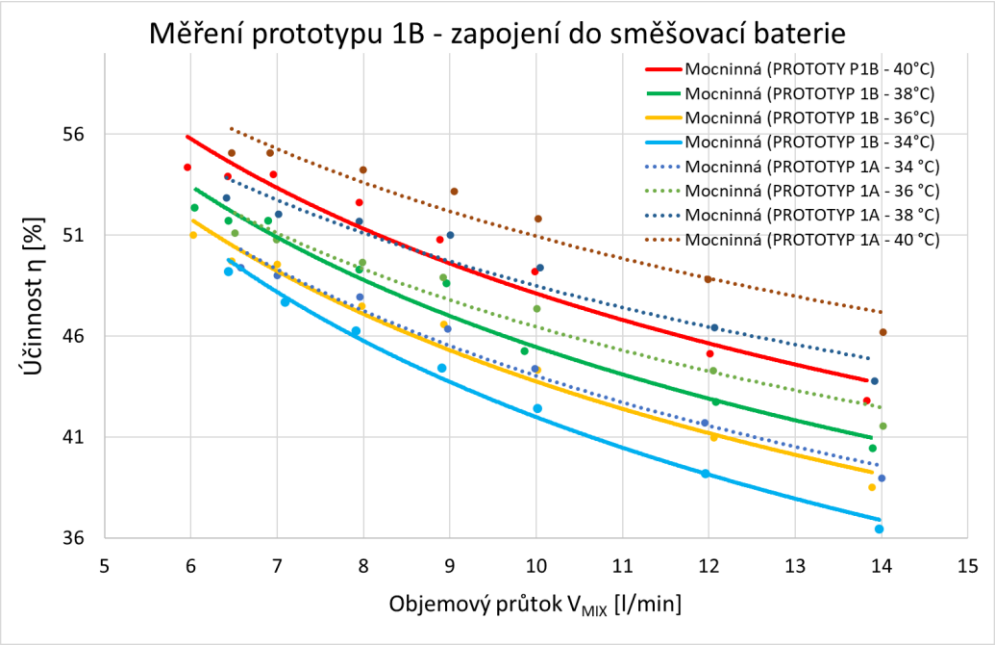
8.3.2 Prototyp 1B

Alternativa prototypu 1A je model pojmenovaný jako 1B. Cílem bylo zjistit, jaký vliv na výsledné zhodnocení má zvětšení délky nátoku výměníku na 70 mm s odtokem 40 mm v šířce teplosměnné desky. Všechny ostatní rozměry a parametry výměníku, které nebyly vázané na tuto změnu, jsou zachovány. Vizualizace výkresu a reálného snímku prototypu 1B je na obrázku 8.8.

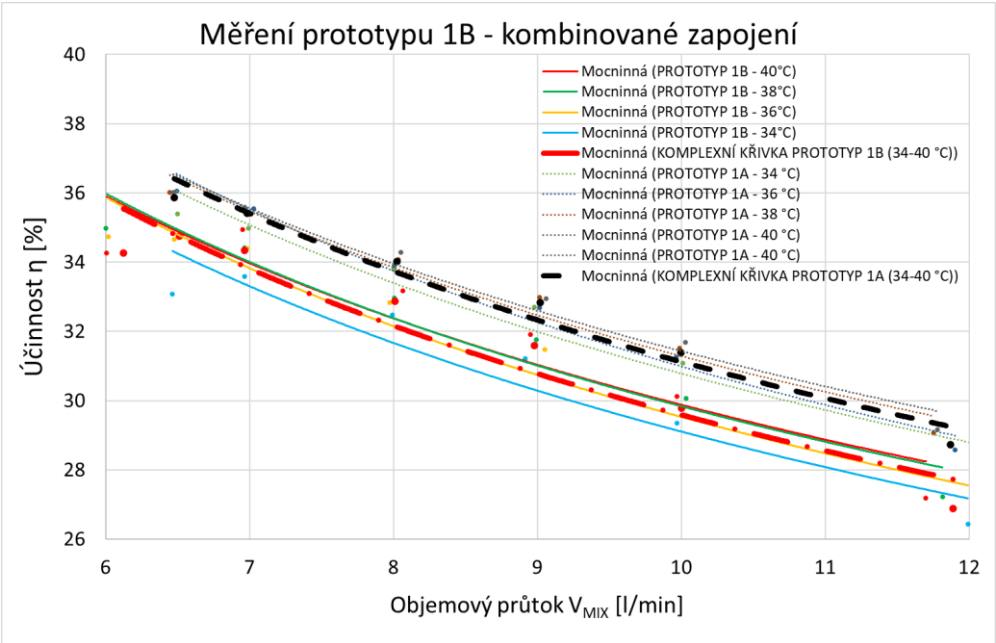
Na následujících obrázcích 8.9 a 8.10 jsou grafy, které porovnávají prototyp 1B s předchozím prototypem 1A. Zvětšení nátoku o celých 55 mm zapříčinilo poměrné velké snížení účinnosti, především u vyšších průtoků v případě přímého zapojení do termostatické baterie. V druhém zapojení při porovnání průměrných komplexních křivek teplot došlo také k poklesu účinnosti u prototypu 1B. Tento model vykazuje v tomto momentě nejnižší účinnost, proto se nadále nebude zahrnovat do dalšího porovnávání z důvodu hledání optimálního řešení.



Obr. 8.9 Výkres a reálný snímek prototypu 1B



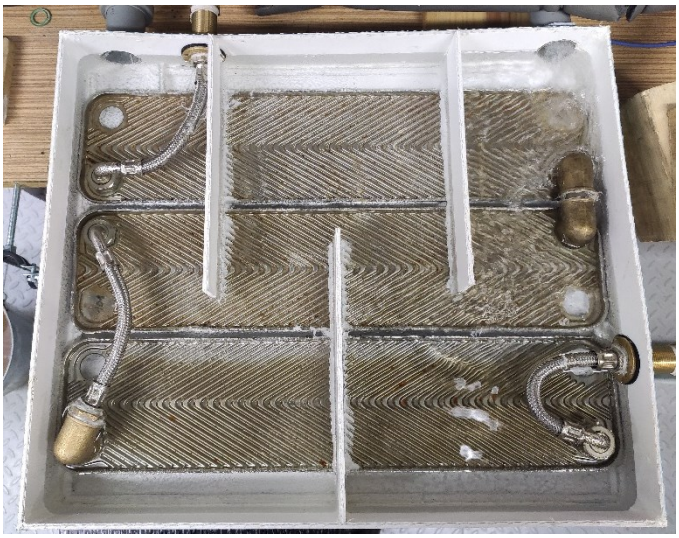
Obr. 8.8 Grafické zobrazení prototypu 1B se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 1A



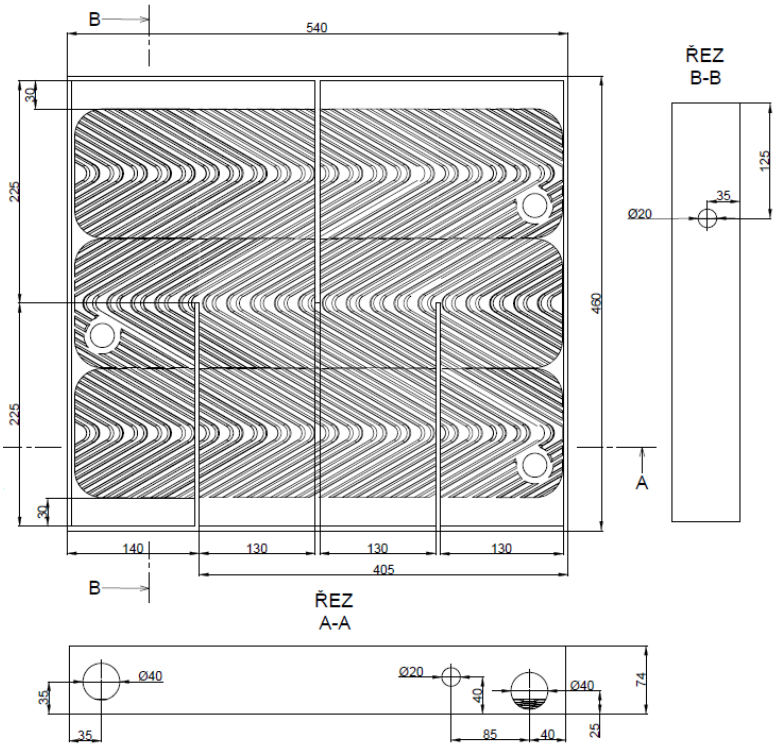
Obr. 8.10 Grafické zobrazení prototypu 1B s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 1A

8.3.3 Prototyp 2A

Dalším prototypem je prototyp 2A obr. 8.11 a 8.12. Tento testovací model vychází opět z prototypu 0, jehož uspořádání přepážek je instalováno kolmo na desky výměníku, kterými proudí studená voda. Nejedná se proto o čistý protiproud. Přepážky jsou umístěny tak, že rozdělují plastovou vaničku na čtvrtiny a zasahují přesně do ½ výměníku. Velmi důležitou změnou je přidání třetí desky výměníku, čímž je zvětšena teplosměnná plocha. Vertikální zdvih výměníku ve vaničce je též nastaven na 6 mm. Nátok a odtok je v tomto případě navržen na hodnotu 30 mm. S ohledem na symetrii konstrukce byl v zadní části ponechám volný prostor mezi výměníkem a vaničkou, a to v šířce taktéž 30 mm.

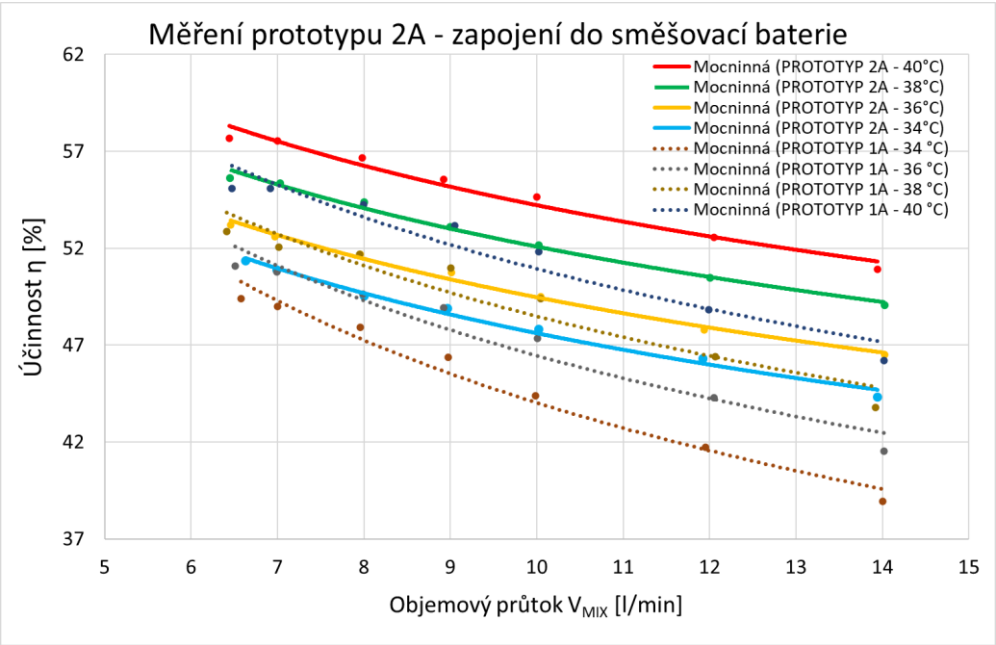


Obr. 8.11 Reálný snímek prototypu 2A



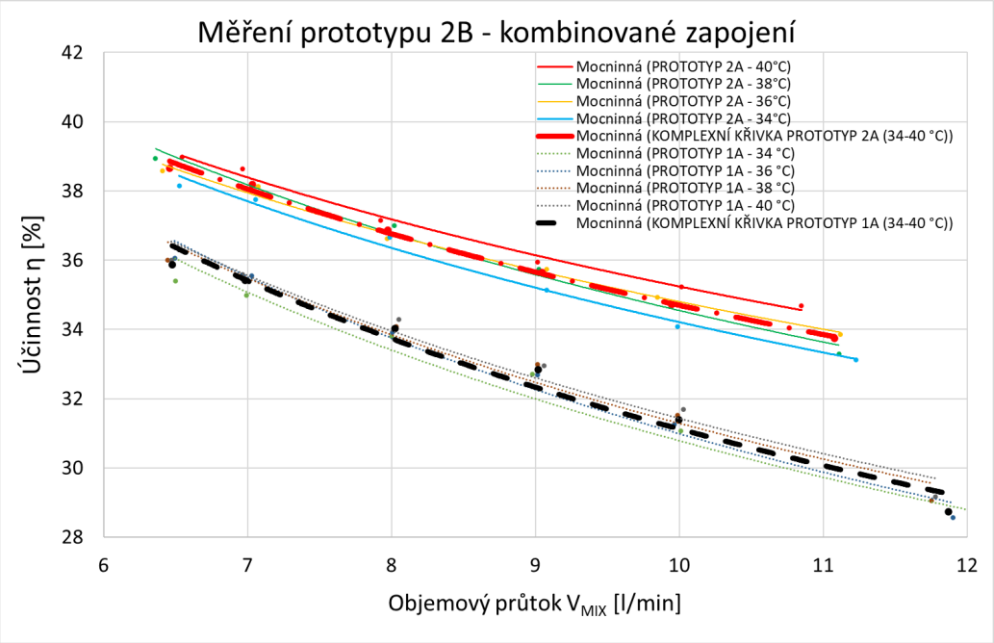
Obr. 8.12 Výkres prototypu 2A

Prototyp 2A dle grafů obr. 8.13 a 8.14 pro zapojení do směšovací baterie a kombinované zapojení od prvního pohledu vykazuje značné navýšení účinnosti oproti prototypu 1A a tím i prototypu 0. Je to dáno především zvětšením teplosměnné plochy a optimalizací nátoku. Je možné si také všimnout, že u prototypu 2A je strmost jednotlivých trendů teplot plošší. Účinnost roste s klesajícím objemovým průtokem pomaleji než u prototypu 1A.



Obr. 8.13 Grafické zobrazení prototypu 2A se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 1A

Je to dáno konstrukcí výměníku, konkrétně v instalaci přepážek. Pokud by přepážky byly instalovány rovnoběžně s deskami výměníku, bylo by dosaženo čistého protiproudu a tím i zvýšení strmosti teplotních křivek, respektive účinnosti. Proto byla vytvořena alternativa tohoto prototypu 2B, která toto tvrzení prokazuje.

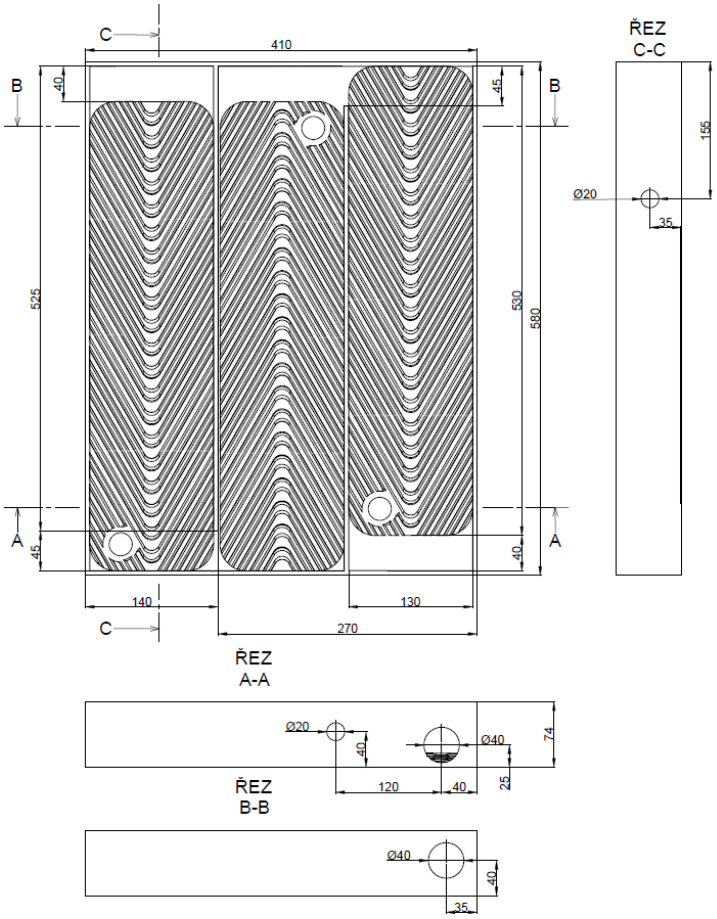


Obr. 8.14 Grafické zobrazení prototypu 2A s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 1A

8.3.4 Prototyp 2B

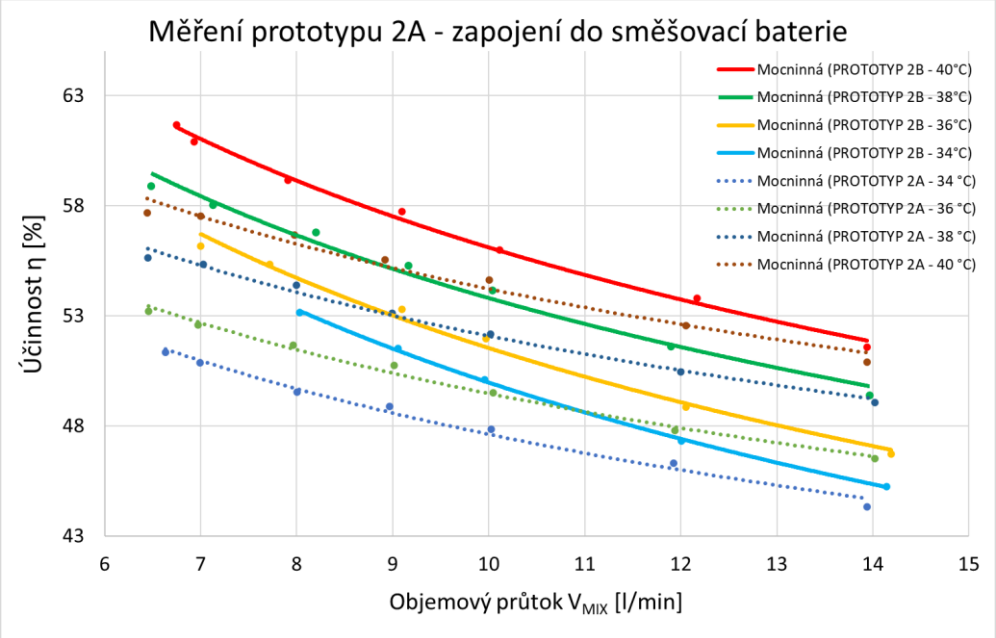
Posledním navrženým prototypem je model 2B obr. 8.15 a 8.16, který je alternativou prototypu 2A. Jedná se v napojení o čistý protiproud s přepážkami rovnoběžně s deskami výměníku. Vanička je rozdělena přepážkami na třetiny, kde mezera mezi jednotlivými komorami (mez mezi koncem přepážky a skříní výměníku) je 45 mm. Nátok a odtok je v délce 40 mm. Ostatní parametry nezávislé na těchto změnách jsou totožné s modelem 2A.

Obr. 8.15 Reálný snímek prototypu 2B

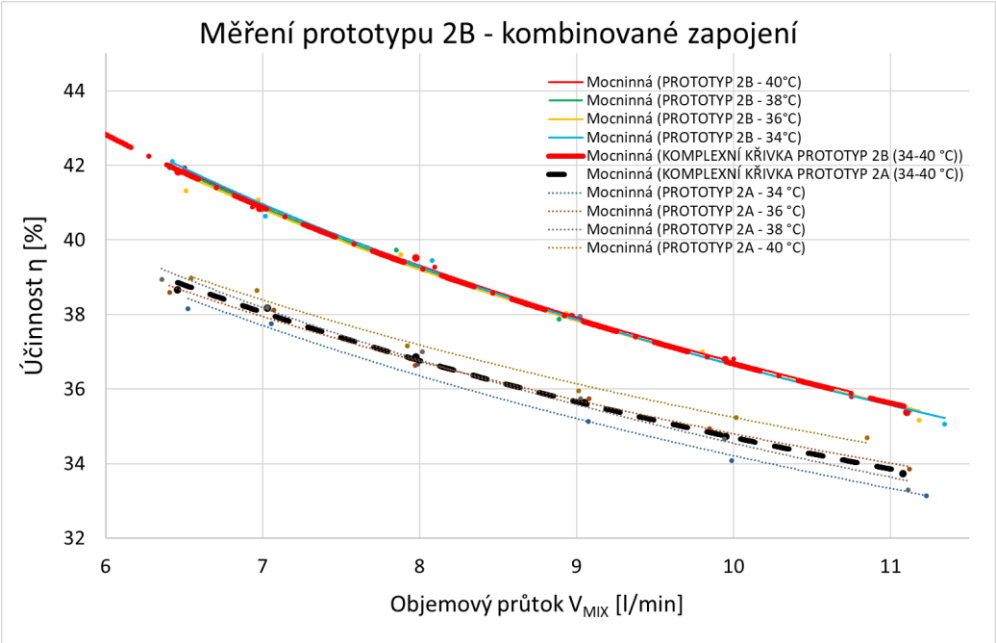


Obr. 8.16 Výkres prototypu 2B

Jak už bylo výše zmíněno, prototyp 2B měl dokázat, že čistý protiproud je účinnější řešení. Z grafů obr. 8.17 a 8.18 je vidět, že křivky tohoto modelu jsou strmější. S klesajícím průtokem je vyšší nárůst účinnosti než u prototypu 2A. Tím je teoretický pohled dokázán. Ze všech navrhnutých prototypů včetně původního prototypu 0 je tento model výměníku 2B nejúčinnější. Jak je možné vidět u kombinovaného zapojení, teplotní křivky jsou téměř totožné s průměrnou komplexní křivkou. Toto vyrovnání křivek, kdy účinnost nezávisí na teplotě odpadní vody, je nalezení optimálního řešení.



Obr. 8.17 Grafické zobrazení prototypu 2B se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 2A



Obr. 8.18 Grafické zobrazení prototypu 2B s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 2A

8.3.5 Přehled jednotlivých úprav výměníku

V tab. 8.1 níže jsou znázorněny parametry jednotlivých prototypů a jejich vývoj. Druhý sloupec uvádí, jaké změny pro daný model nastaly a jaké parametry byly zachovány. Poslední řádek u každého z prototypů stručně popisuje vliv úprav na výslednou účinnost vůči předcházejícím modelům. Detailnější zhodnocení prototypů pro teplotu 40 °C a průtok 8 l/min včetně certifikovaného testování dle IPHA je popisováno v následujících kapitolách.

Tab. 8.1 Souhrn vývoje a úprav sprchového výměníku

Model	**Parametry**				
Prototyp 0 (výchozí bod)	Dvojnásobná teplosměnná plocha (ve srovnání s typem NELA)	Vertikální zdvih 6 mm	Nátok 15 mm	3 přepážky instalované kolmo na desky výměníku	
↓					
Prototyp 1A	**Zachováno**			**Úpravy**	
	Dvojnásobná teplosměnná plocha	Nátok 15 mm	Vertikální zdvih 6 mm	Vytvoření odtoku 15 mm	Čistý protiproud s 1 přepážkou
	Výsledek			Neměnný	
↓					
Prototyp 1B	Dvojnásobná teplosměnná plocha	Čistý protiproud s 1 přepážkou	Vertikální zdvih 6 mm	Zvětšení nátoku na 70 mm	Zvětšení odtoku na 40 mm
	Výsledek			**Zhoršení**	
↓					
Prototyp 2A	Vertikální zdvih 6 mm			Nátok a odtok 30 mm	Zvětšení teplosměnné plochy	3 přepážky instalované kolmo na desky výměníku
	Výsledek			**Zlepšení**	
↓					
Prototyp 2B	Trojnásobná teplosměnná plocha	Vertikální zdvih 6 mm		Optimalizace nátoku a odtoku na 40 mm	Čistý protiproud se 2 přepážkami
	Výsledek			**Zlepšení**	

8.4 Testování výměníků dle IPHA

Aby mohlo dojít k vzájemnému porovnávání výměníků ZZT z odpadní vody mezi sebou, musí být stanoveny takzvané normalizované okrajové podmínky. Bez určení přesných pravidel, při kterých se mají výměníky měřit a následně hodnotit, by byly certifikační parametry relativní. Výrobci by mohli udávat účinnosti a úspory výměníků za takových podmínek, kterých by se při reálném nasazení výměníků nikdy nedosahovalo, a tím klamali potenciální zákazníky. Ve skutečnosti by pak výměník dosahoval výrazně menších hodnot účinnosti a úspory. Nezávislý výzkumný ústav Passive House Institute (PHI) založil proto v Německu Mezinárodní asociaci pasivních domů (IPHA) s cílem rozvoje konceptu pasivních domů, jediného mezinárodně uznávaného energetického standardu.

8.4.1 Okrajové podmínky a přesnost měření

Pro stanovení již zmiňovaných okrajových podmínek platí přísná kritéria. Tato kritéria komponentů pasivních domů ZZT z odpadní vody jsou odvozena z kritéria účinnosti. Měření má probíhat s konstantním průtokem 8 l/min při délce sprchování 6 minut. Délka potrubních rozvodů se zanedbává. Dále musí být dodržená hodnota teploty studené vody 10 °C, teplota teplé vody vystupující ze sprchové hlavice 40 °C a teplota odpadní vody 35 °C. Uvažuje se tedy s ochlazením při sprchování 5 K. Vnitřní teplota v místnosti je stanovena na 20 °C. Za těchto podmínek musí být taktéž vyrovnány hmotnostní toky (hmotnostní tok odpadní vody musí být roven hmotnostnímu toku studené vody). Účinnost má být vyhodnocena jako průměrná hodnota z nejméně 20 po sobě jdoucích měřících bodů s intervalem měření nejméně 20 s. [39]

Hraniční přesnost měření teplot musí být lepší než ±1 K, avšak v případě ideálního měření by se mělo usilovat o přiblížení k hodně přesnosti ± 0,2 K. Přesnost týkající se teplot předehřáté vody během měření na výměníku nesmí kolísat o více než ± 1 K. [39]

8.4.2 Certifikační třídy dle IPHA

Při dodržení všech výše zmiňovaných podmínek může následovat zhodnocení měření, jehož výsledkem je účinnost vypočtená dle vztahu (5.4). Pokud účinnost výměníku dosáhne hodnoty 30 % a více, vyhovuje tak certifikaci a je zařazena dle tab. 8.2 do jedné ze čtyř kategorií.

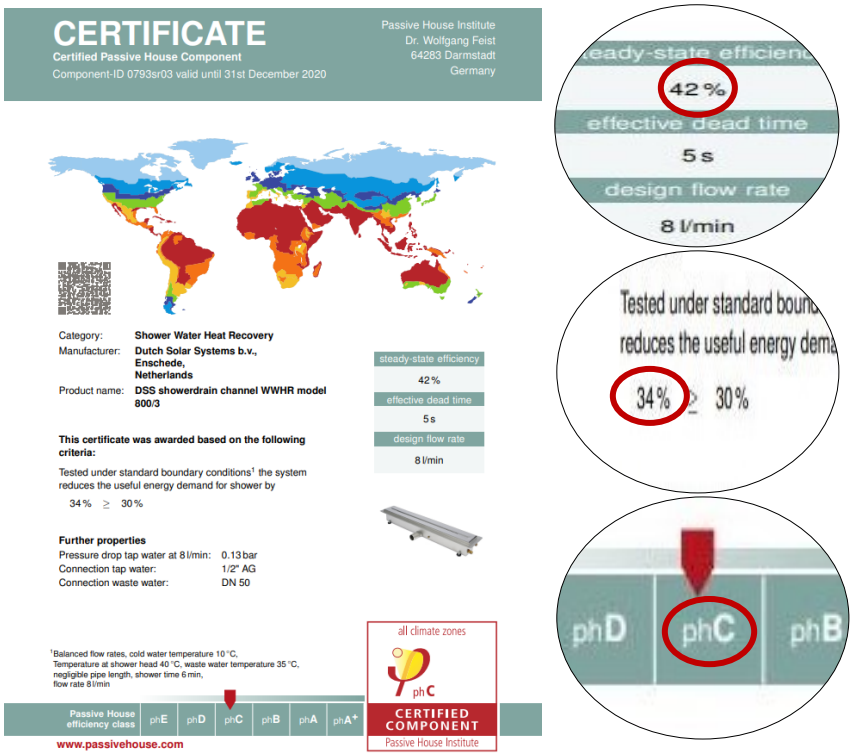
Tab. 8.2 Certifikační třídy pro hodnocení ZZT z odpadní vody dle IPHA [39]

Účinnost ZZT	Klasifikace dle IPHA	Popis
≥ 60 %	phA+	Velmi úsporný
≥ 50 %	phA	Úsporný
≥ 40 %	phB	Běžný
≥ 30 %	phC	Certifikovaný
< 30 %	-	Bez certifikace

Vlivem ztrát a kolísajícího proudění činí ve výsledku úspora energie během sprchového cyklu obvykle 75–80 % certifikované účinnosti. V případě použití jiných okrajových podmínek (teplota vody, objemový průtok) je nutné uvědomit PHI institut. Je možné použít i jiné certifikační testy, jako jsou například holandský certifikát KIWA NEN 7120, francouzský certifikát CAPE/RECADO-PQE nebo kanadský certifikační standart CSA B55.

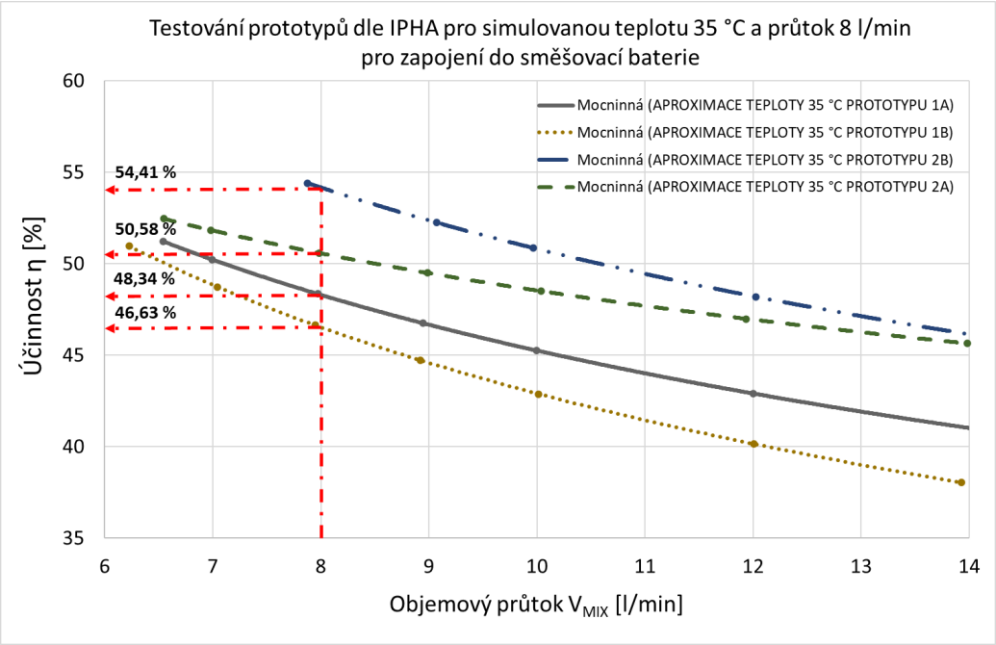
8.4.3 Zařazení prototypů do certifikačních tříd dle IPHA

Pro zařazení navrhnutých prototypů do klasifikačních tříd bylo nutné vyhovět podmínkám dle IPHA. Na obr. 8.19 je zobrazen příklad platného certifikátu testování výměníku.



Obr. 8.19 Příklad certifikace výměníku včetně zařazení do klasifikační třídy [18]

Jak je zřejmé z přiblížení v právě části obrázku, certifikát uvádí dvě účinnosti daného výměníku. Pro zařazení výměníku do klasifikační třídy je použita nižší účinnost, zde 34 %. Jedná se o hodnotu, která v sobě zahrnuje tepelné ztráty. Ze sprchové hlavice vytéká voda o teplotě 40 °C a do výměníku vstupuje odpadní voda o teplotě 35 °C. Počítá se tedy s reálným ochlazením 5 K. V uvedeném případě je dle účinnosti 34 % výměník zařazen do skupiny phC. Dle tabulky 8.2 se jedná o certifikovaný výrobek. Druhá vyšší účinnost je pouze informativní, kde se tyto tepelné ztráty ochlazením zanedbávají. Využívá se pro samotné testování výměníků. Jelikož byly prototypy měřeny pro teploty t_{MIX} 34, 36, 38 a 40 °C, je nutné aproximovat z naměřených dat předpokládanou účinnost pro teplotu odpadní vody 35 °C s průtokem 8 l/min, aby mohli být jednotlivé prototypy zařazeny do jednotlivých certifikačních tříd dle požadavků IPHA. V grafech obr. 8.20 a 8.21 jsou znázorněny výsledky pro oba typy zapojení.

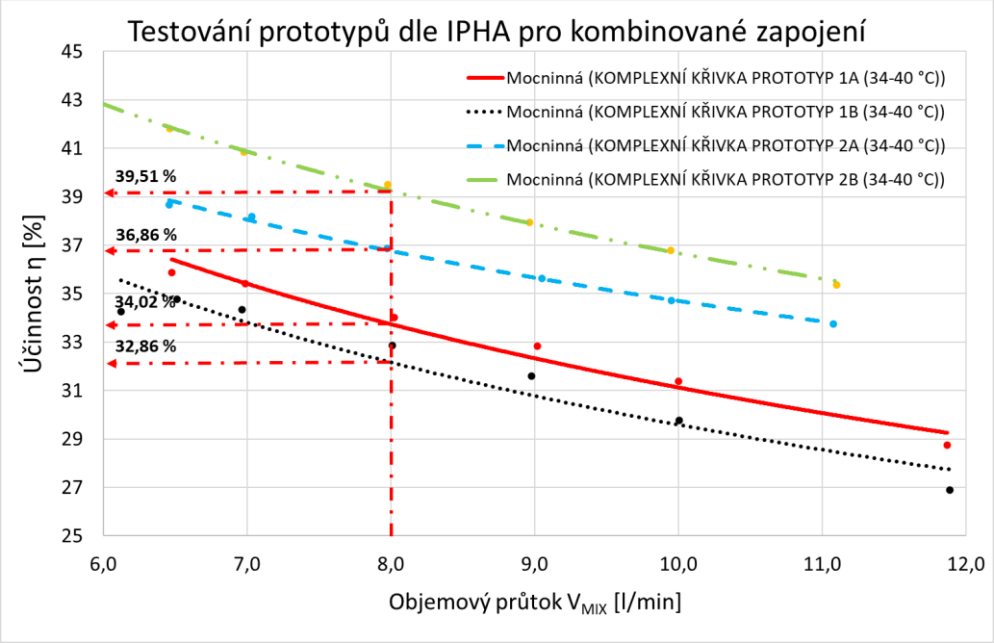


Obr. 8.20 Vyhodnocení navržených prototypů dle IPHA pro zapojení do směšovací baterie

Z grafu lze snadno odečíst účinnosti odpovídající jednotlivým prototypům. Na základě tab. 8.2 jsou navržené modely zařazeny do certifikačních tříd následovně:

Tab. 8.3 Zařazení navržených prototypů do příslušných certifikačních tříd dle IPHA pro zapojení do směšovací baterie

Model	Účinnost ZZT	Klasifikace
Prototyp 1A	48,34 %	phB
Prototyp 1B	46,63 %	phB
Prototyp 2A	50,58 %	phA
Prototyp 2B	54,41 %	phA



Obr. 8.21 Vyhodnocení navržených prototypů dle IPHA pro zapojení do směšovací baterie

Pro kombinované zapojení nebylo nutné aproximovat teplotu odpadní vody 35 °C z důvodu nezávislosti účinnosti na odpadní vodě. Proto jsou prototypy vyhodnoceny skrze průměrnou komplexní křivku všech čtyř teplot. Tento graf je zároveň shodný i pro samotné testování výměníků pro teplotu 40 °C s průtokem 8 l/min. Po odečtu účinností jsou modely zařazeny do certifikačních tříd takto:

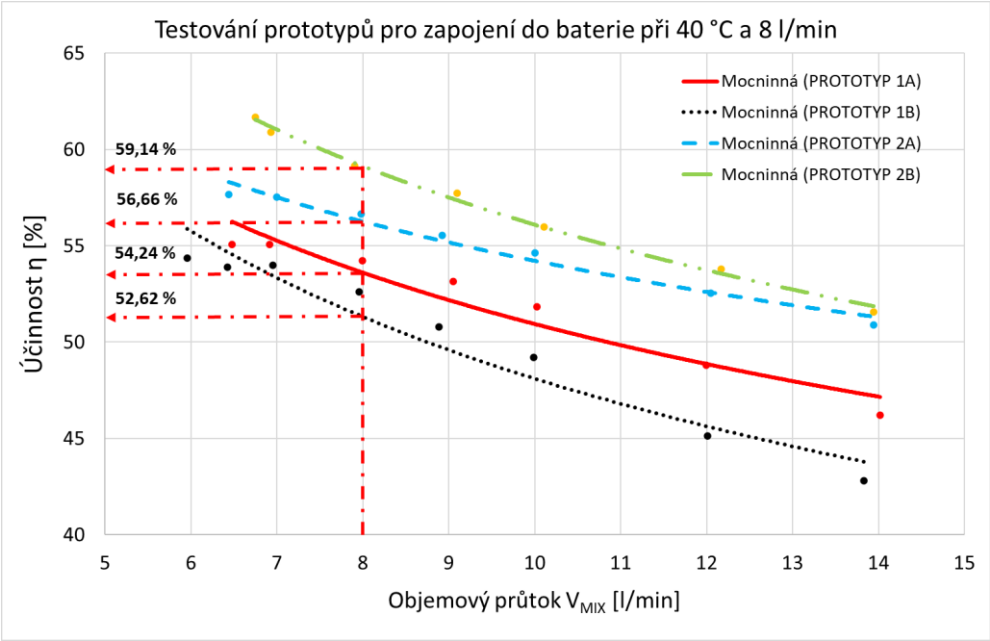
Tab. 8.4 Zařazení navržených prototypů do příslušných certifikačních tříd dle IPHA pro kombinované zapojení

Model	Účinnost ZZT	Klasifikace
Prototyp 1A	34,02 %	phC
Prototyp 1B	32,86 %	phC
Prototyp 2A	36,86 %	phC
Prototyp 2B	39,51 %	phC/phB

Toto zapojení pro současný předehřev studené vody do směšovací baterie a zdroje tepla není zahrnuto do testování výměníku dle IPHA. Základem je pouze zapojení s přímým ohřevem. Zhodnocení dle IPHA a zařazení do certifikačních tříd je proto pouze informativní a použitelné pro srovnání obou zapojení.

Na posledním grafu této kapitoly obr. 8.22 je samotné testování výměníků pro případ předehřevu SV do směšovací baterie, které není totožné s testováním prototypů pro získání certifikace dle IPHA na rozdíl od kombinovaného zapojení. Zvětšení nátoku o 55 mm u prototypu 1B zapříčinilo snížení účinnosti o 1,62 % ve srovnání s prototypem 1A.

Při porovnání dvojice prototypů s označením 2, návrhem čistého protiproudu u modelu 2B bylo dosaženo zvýšení účinnosti o celých 2,48 %. Mezi nejhorším a nejlepším prototypem je ve výsledku rozdíl účinností 6,52 %. U kombinovaného zapojení obr. 8.21 se při stejném porovnání účinností prototypů jedná o hodnoty: 1,16 %, 2,65 % a 6,65 %.

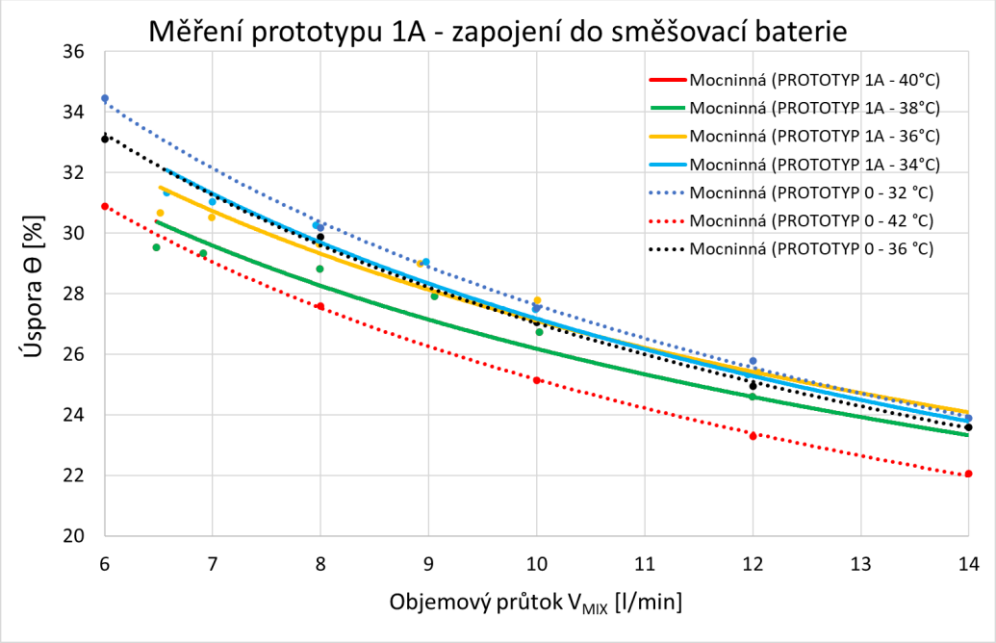


Obr. 8.22 Testování navržených prototypů pro zapojení do směšovací baterie

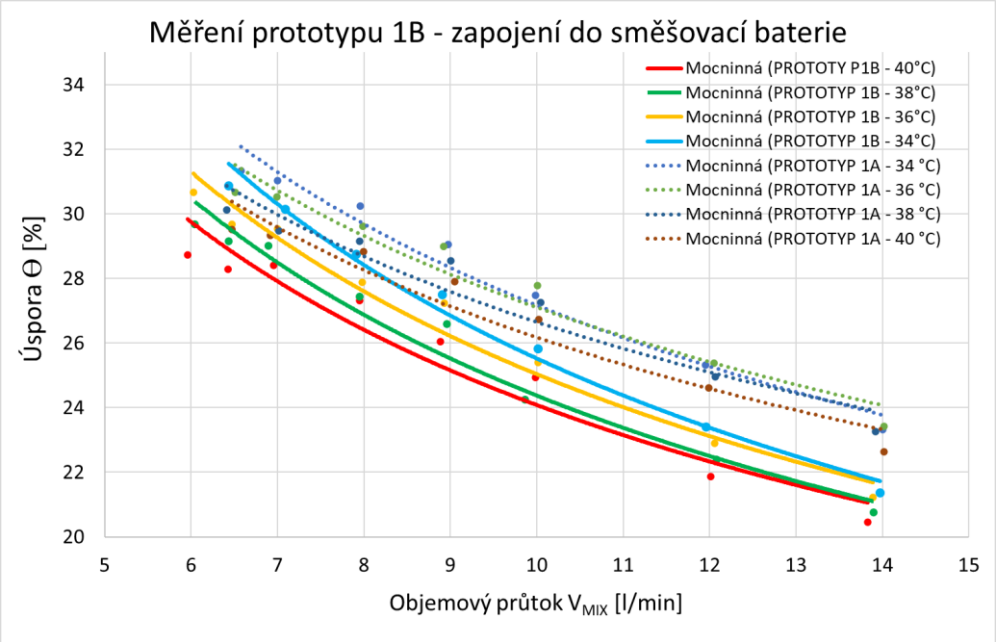
8.5 Stanovení poměrné úspory

8.5.1 Zapojení přímo do směšovací baterie

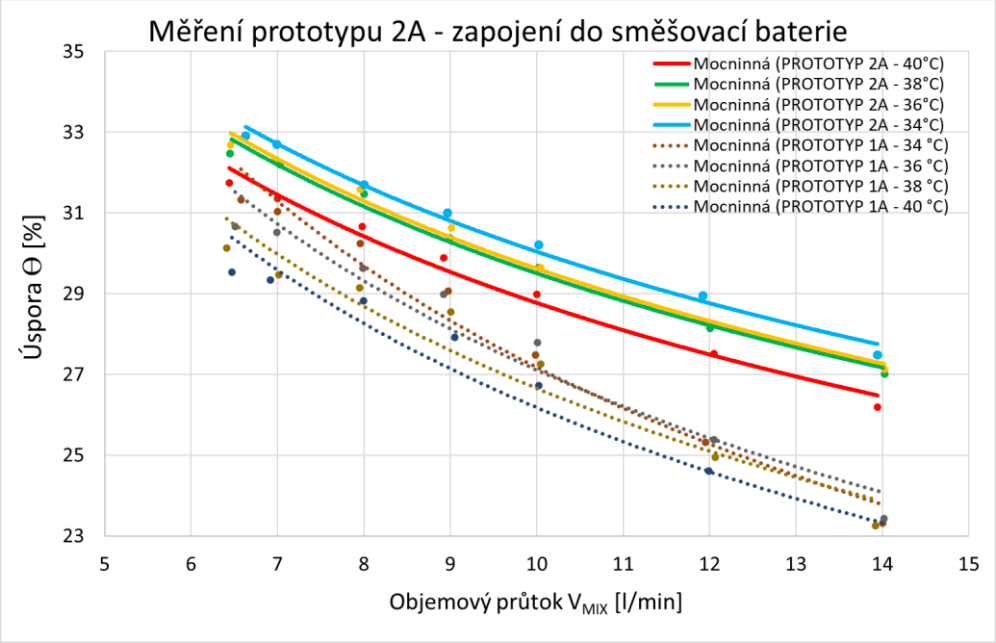
Na grafech obr. 8.23 až 8.26 je zobrazená závislost poměrné úspory na objemovém průtoku stanovená dle vztahu (5.10). Je nutné si uvědomit, že pro toto zapojení není účinnost rovna úspoře. V případě prototypu 1A dosahuje účinnost (40 °C a 8 l/min) 54,24 % viz obr. 8.6, kdežto úspora pouhých 28,83 %. Dále si lze všimnout, že úspora roste se snižujícím se průtokem a teplotou odpadní vody. Z porovnání u níže uvedených grafů úspory je vidět analogie s účinností z pohledu vývoje prototypů. To znamená, že nejúspornější a nejúčinnější navržený model je prototyp 2B s hodnotou úspory 32,88 % a naopak nejméně úsporný a účinný je prototyp 1B s úsporou 27,31 %.



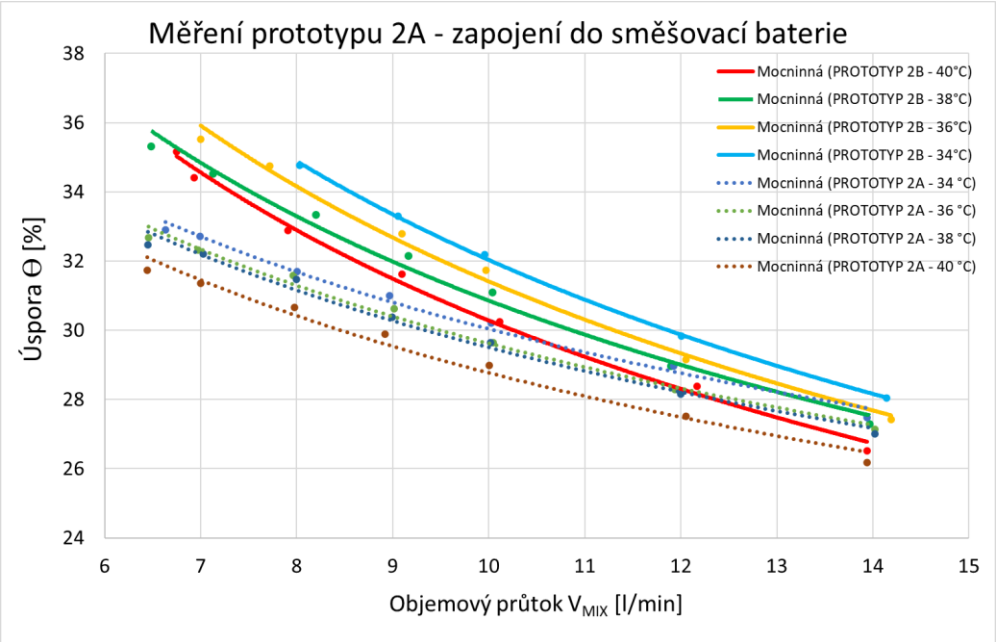
Obr. 8.24 Grafické zobrazení úspory prototypu 1A se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 0



Obr. 8.23 Grafické zobrazení úspory prototypu 1B se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 1A



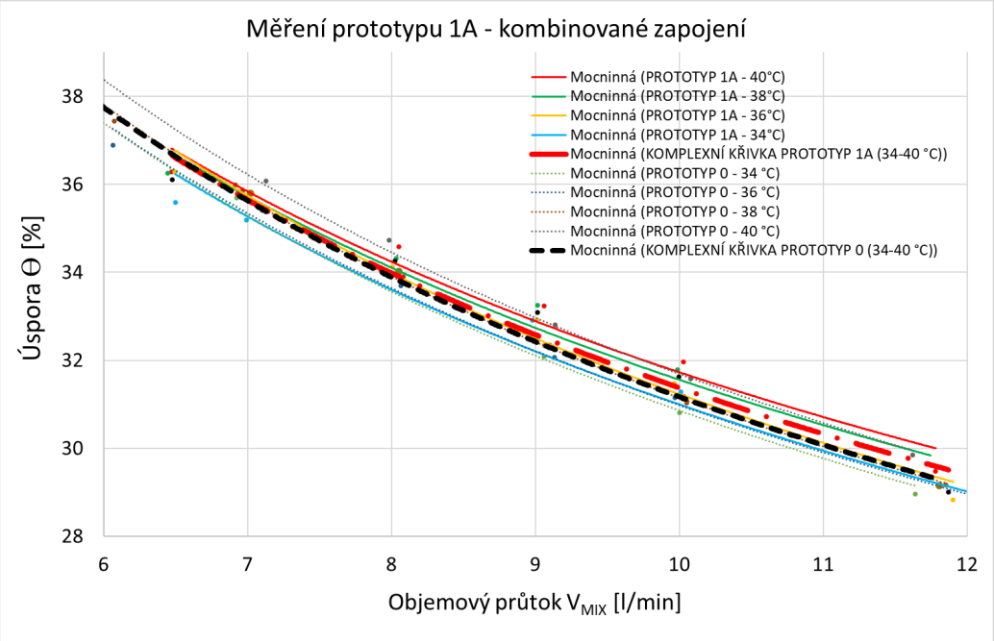
Obr. 8.25 Grafické zobrazení úspory prototypu 2A se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 1A



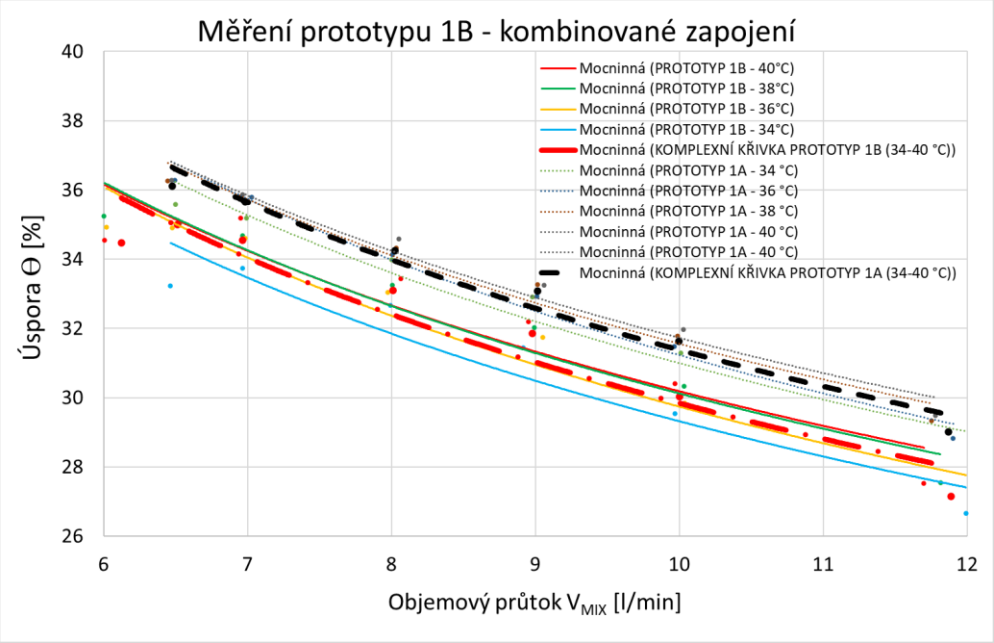
Obr. 8.26 Grafické zobrazení úspory prototypu 2B se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 2A

8.5.2 Zapojení jak do zdroje tepla, tak i do směšovací baterie

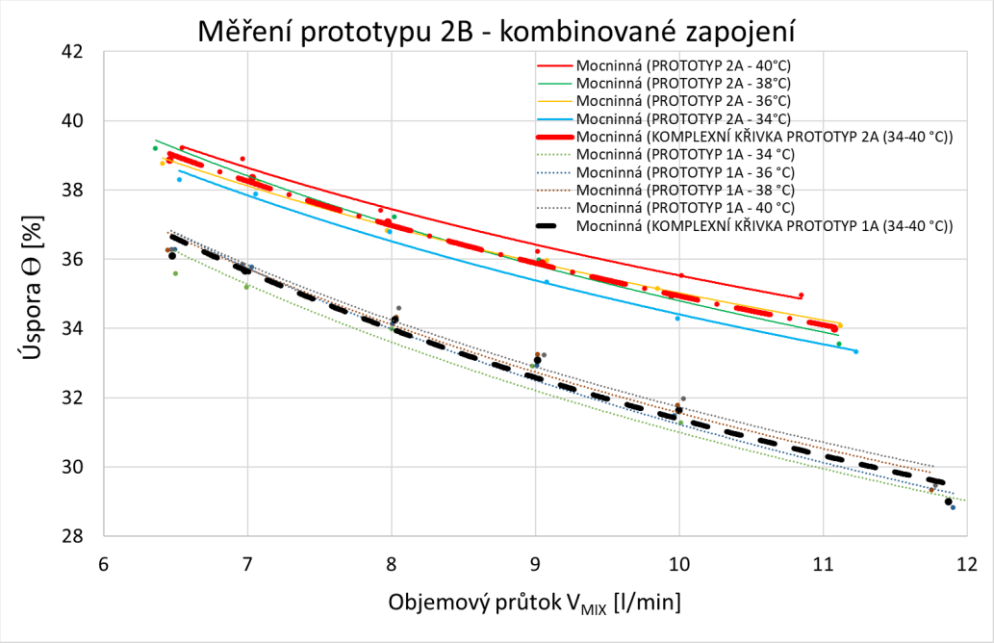
Z grafů obr. 8.27 až 8.30 pro kombinované zapojení je taktéž úspora z hlediska vývoje jednotlivých prototypů analogická k účinnosti stanovená dle vztahu (5.13). Nejúspornější a nejúčinnější prototyp 2B dosahuje úspory 39,52 % a nejméně úsporný prototyp 1B má úsporu 33,44 %. Ačkoliv prototypy dosahují v zapojení do směšovací baterie vyšších účinností, v případě úspory to tak není. Na rozdíl od zapojení do směšovací baterie vychází úspora rovna účinnosti. V grafech níže jsou trendy teplot odpadní vody proloženy komplexní průměrnou křivkou z důvodu téměř konstantních teplot lišících se pouze odchylkou měření, a to z důvodu nezávislosti úspory, respektive účinnosti na teplotě odpadní vody.



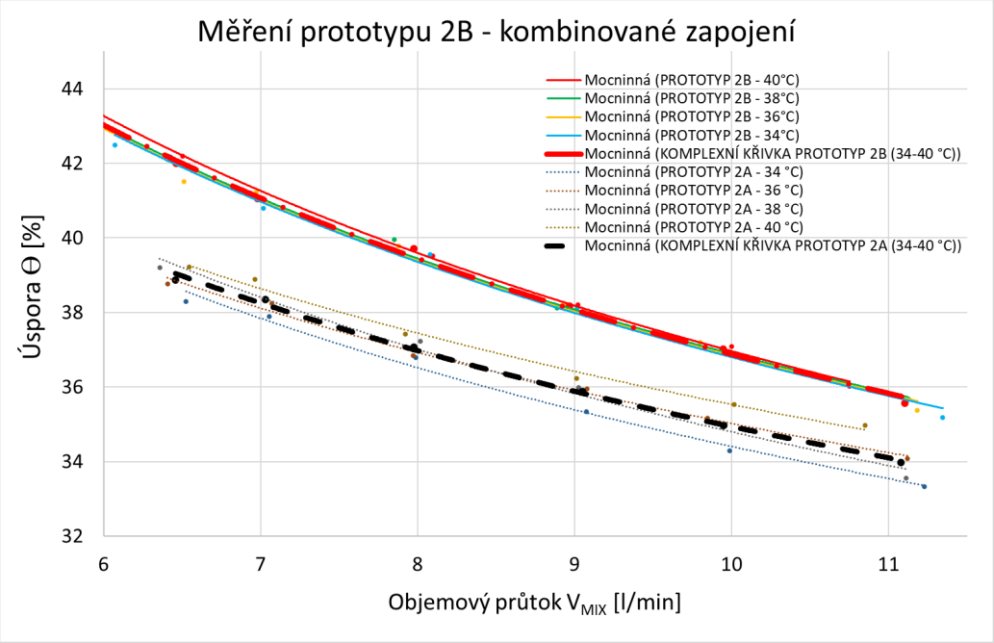
Obr. 8.27 Grafické zobrazení úspory prototypu 1A s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 0



Obr. 8.28 Grafické zobrazení úspory prototypu 1B s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 1A



Obr. 8.29 Grafické zobrazení úspory prototypu 2A s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 1A



Obr. 8.1 Grafické zobrazení úspory prototypu 2B s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 2A

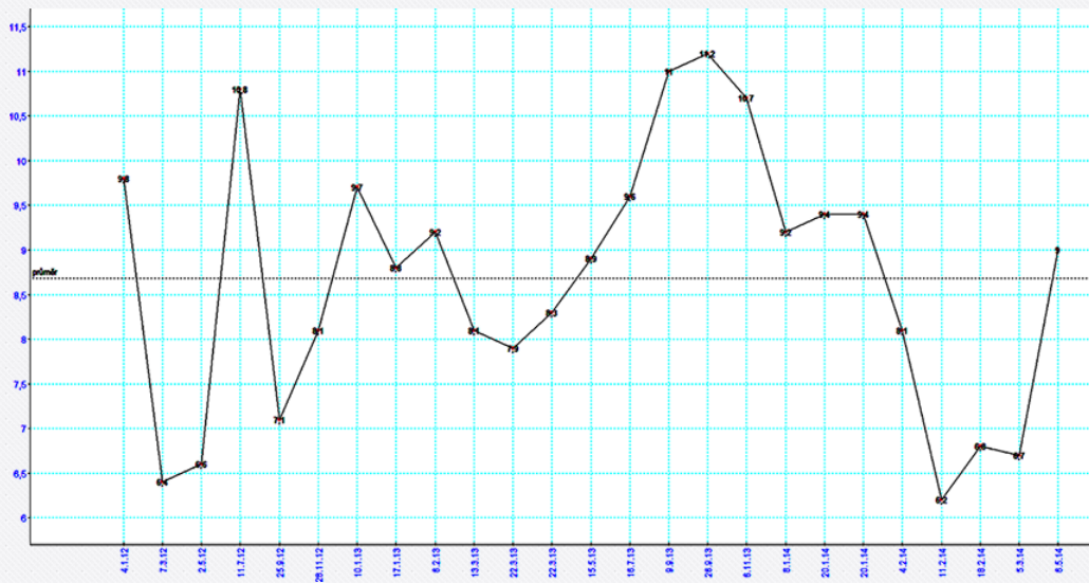
9 REÁLNÉ NASAZENÍ PROTOTYPŮ DO PROVOZU

9.1 Okrajové podmínky

Vyčíslení celkové reálné návratnosti investic je velmi obtížné z důvodu rozdílných nároků uživatelů. Každý preferuje jinou teplotu vody vytékající ze sprchové hlavice, průtok nebo délku sprchovacího cyklu. Proto nelze stanovit výpočet přesně, ale pouze teoreticky s uvažováním průměrných hodnot těchto parametrů. Problematickými veličinami, které je třeba také zmínit, jsou teplota studené vody a ochlazení vody během sprchování. Tyto parametry mají velký vliv na konečný výsledek a jejich reálné hodnoty jsou též velmi obtížně určitelné. Proto budou v následující podkapitole uvedeny příklady z reálných měření, na jejíž základě budou stanoveny různé intervaly hodnot pro různé vybrané provozy v případě teploty studené vody a ochlazení vody ve sprchovém koutu.

9.1.1 Teplota studené vody v reálných provozech

Nejprve je potřeba ukázat, jak se pohybuje teplota studené vody distribuovaná vodárnami. Z podkladů Pražských vodáren a.s. je zobrazen graf obr. 9.1, který ukazuje teplotu studené vody ve vodovodním řadu mezi roky 2012 až 2014. Je patrné, že nejnižší teplota studené vody se pohybuje v průměru v období jara, nikoliv v zimních měsících. Je to dáno zpožděním tepla zeminou, tedy akumulací tepla. Čím hlouběji jsou rozvody umístěny, tím větší zpoždění bude. Následně je studená voda opět ohřívána. Její maximum je dosahováno v průběhu léta. Dle grafu maximální hodnota studené vody je 11,2 °C a nejnižší 6,2 °C. [43]



Obr. 9.2 Průměrná teplota studené vody ve vodovodním řadu distribuovaná Pražskými vodárnami [43]

I přes distribuovanou studenou vodu při průměrných teplotách 8,7 °C není u výtokových armatur v reálných provozech této teploty dosahováno. Vliv na teplotu studené vody v koncových elementech má ve výsledku délka a umístění potrubních rozvodů, kvalita tepelné izolace a roční doba.

Při měření na experimentální trati v laboratořích ústavu techniky prostředí bylo možné přepnout čerpání předchlazené vody ze zásobníku na odběr vody přímo z vodovodního řadu. V tomto případě teplota studené vody dosahovala v době měření kolem 14 °C. Po několika minutách odtáčení se teplota ustálila na přibližně 12 °C. Tato teplota je však pro testování a zhodnocování výměníků nepoužitelná, proto musela být předchlazována zdrojem chladu na požadovaných 10 °C. Je proto nutné zvážit, zda se v reálném provozu při průměrné sprše trvající v řádu 5 až 6 minut dokáže studená voda odtočit na návrhovou hodnotu 10 °C.

Další příklad reálné teploty studené vody byl uveden v kapitole 7.1, kde byl testován výměník NELA v rodinném domu v časovém intervalu jednoho roku. Teplota studené vody se při sprchování pohybovala v rozmezí od 12 do 18 °C. [12] [34] U bytových domů, kde jsou potrubní rozvody delší, dosahují pak teploty o něco vyšších čísel ve srovnání s rodinnými domy. Ukázkou může být měření v brněnském bytovém domě o kapacitě 150 bytů. Studená voda měla u výtokových armatur v průměru 19 °C. [42] Posledním zmiňovaným provozem je plavecký bazén, kde naopak teplota studené vody dosahuje oproti výše uváděným objektům nižších hodnot. Je to způsobeno neustálým odtáčením vody, čímž je dosaženo téměř permanentních průtoků během celého návštěvního dne.

9.1.2 Ochlazení vody

Dalším velmi důležitým parametrem při stanovování reálné návratnosti je ochlazení vody. Doposud bylo při výpočtu účinnosti uvažováno se stejnou teplotou jak na výtoku ze sprchové hlavice, tak i u vstupu do výměníku. Tepelné ztráty nebyly uvažovány. V případě reálného provozu je však nutností ochlazení vody ve sprchovém koutě vlivem ochlazení na stěnách, tělem a odparem do výpočtu zahrnout. Z toho důvodu je zaváděna takzvaná korigovaná účinnost sprchového výměníku:

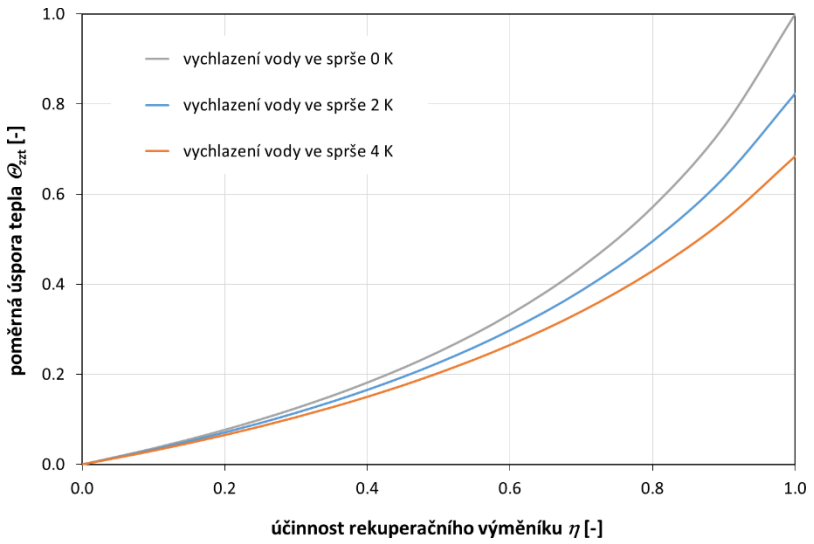
$$\eta^* = \eta \cdot \left[1 - \frac{\Delta t_s}{(t_{MIX} - t_{SV})}\right], \qquad [1] \qquad (9.1)$$

kde:

η účinnost rekuperačního výměníku [1]

Δt_s ochlazení vody ve sprchovém koutu – rozdíl mezi teplotou vytékající ze sprchové hlavice a teplotou odtékající ze sprchové vaničky do výměníku. [K]

Z korigované účinnosti je poté možné vyjádřit reálnou (korigovanou) úsporu. Obr. 9.2 znázorňuje, jak se reálná úspora mění při použití výměníku v přímém zapojení v závislosti na vychlazení vody při sprchování. Z grafu je zřejmé, že s rostoucí účinností je úspora tepla výrazněji závislá na ochlazení vody. V příloze 6 je zobrazen přehled reálných (korigovaných) účinností a úspor pro vybrané provozy. V případě přímého zapojení odpovídají vypočtené hodnoty grafu viz obr. 9.2. Pro kombinované zapojení je korigovaná úspora rovna reálné účinnosti viz podkapitola 8.5.2.

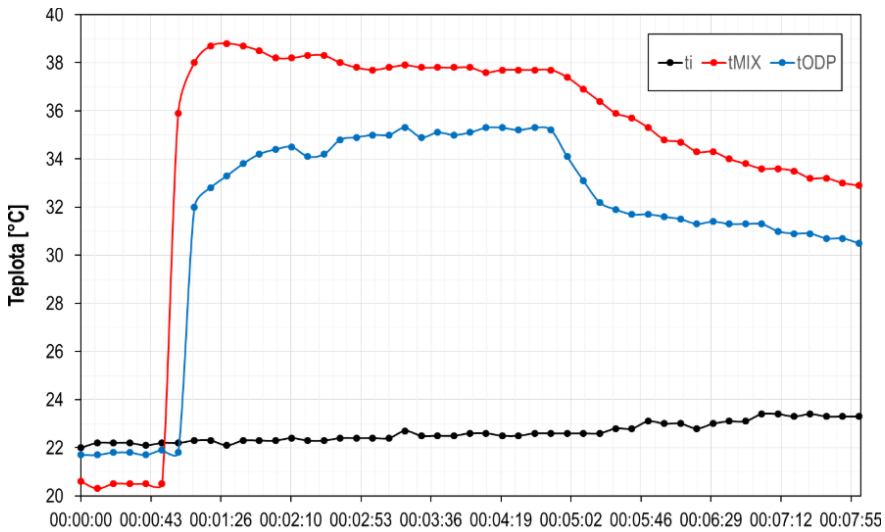


Obr. 9.3 Reálná úspora tepla v závislosti na vychlazení vody při sprchování [44]

Hodnota ochlazení je závislá na mnoho činitelích. Například na teplotě vzduchu ve sprchovém koutu, teplotě okolních stěn, průtoku vody nebo způsobu a intenzitě větrání. Ze studie analýzy úspor rekuperačního výměníku [44] lze tvrdit, že ochlazení se pohybuje od 2 do 6 K v závislosti na průtoku, teplotě mísené vody a okolnímu vzduchu viz naměřené hodnoty tab. 9.1 a graf obr. 9.3.

Tab. 9.1 Ochlazení vody ve sprchovém koutu bez člověka s teplotou okolního vzduchu 22,5 °C [44]

Průtok vody sprchovou hlavicí V_{MIX} [l/min]	Teplota sprchy t_{MIX} [°C]	Teplota odpadu t_{OCHL} [°C]	Ochlazení vody ve sprše Δt_s [K]
14	44,4	40,2	4,2
	37,0	34,1	2,9
	31,3	29,1	2,2
8	44,2	39,5	4,7
	37,4	34,3	3,1
	30,6	28,6	2,0
5,5	44,1	38,0	6,1
	37,3	33,4	3,9
	30,6	28,2	2,4



Obr. 9.4 Reálný průběh teplot ve sprchové hlavici t_{MIX} a odpadním potrubí sprchy t_{OCHL} při sprchování jedné osoby a průtoku V_{MIX} = 8 l/min [44]

9.2 Reálná návratnost investic

Pro zhodnocení návratnosti investic byly vybrány tři reálné provozy: rodinný dům, bytový dům a plavecký bazén. Výpočty reálné návratnosti investic jsou provedeny pouze pro nejúčinnější navržený model výměníku, kterým je prototyp 2B. Přibližná cena výměníku NELA byla výše uváděna 8600 Kč bez DPH. Jelikož prototyp 2B má trojnásobnou teplosměnnou plochu, lze odhadovat cenu modelu přibližně na 12 000 Kč bez DPH. Výpočet je uvažován s meziročním nárůstem cen plynu ve výši 3 % a cen elektřiny v hodnotě 5 %. Ve výpočtu je taktéž zohledněna cena instalace výměníků do jednotlivých provozů. Konkrétně se jedná o stavební zednické práce včetně materiálu. Pro rodinný a bytový dům byla určena paušální cena instalace 5 000 Kč na jeden výměník. V případě plaveckého bazénu se jednalo o částku 3 000 Kč.

Podstatnou roli z hlediska počáteční investice, a tudíž i ve výsledné návratnosti investic, hraje program Ministerstva životního prostředí (Nová zelená úsporám) administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR zaměřený na úspory energií v rodinných a bytových domech. Rodinný dům je podpořen státní dotací pro využití tepla z odpadních vod v hodnotě 5 000 Kč na jeden decentrální systém (napojené odběrné místo, např. sprcha). Podpořeny jsou však maximálně 3 kusy těchto zařízení. U bytových domů se jedná o stejnou částku 5 000 Kč na bytovou jednotku. Pro případ plaveckého bazénu však program dotaci nezahrnuje, a proto také nebude pro výpočet uvažována. [45]

9.2.1 Výpočet potřeby tepla pro přípravu TV

Pro stanovení návratnosti investic, je třeba nejprve vyčíslit množství tepla, které je potřebné pro ohřev teplé vody. Potřeba tepla je za určitý časový úsek vyjádřena vztahem:

$$Q_{TV} = \frac{(1+z) \cdot \dot{V}_{TV} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600 \cdot 1000} \cdot \Delta\tau, \qquad [\mathrm{kWh}] \qquad (9.2)$$

kde:

Q_{TV}	teplo dodané pro ohřev TV	[kWh]
$\dot{V}_{TV}$	objemový průtok teplé vody	$[\mathrm{m^3 \cdot s^{-1}}]$
ρ	hustota vody	$[\mathrm{kg \cdot m^{-3}}]$
c	měrná tepelná kapacita vody	$[\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}]$
t_{TV}	teplota teplé vody	[°C]
t_{SV}	teplota studené vody	[°C]
z	poměrná ztráta při ohřevu a distribuci TV	[1]
$\Delta\tau$	doba sprchovacího cyklu	[s]

Objemový průtok teplé vody je vyjádřen dle výše uvedeného vztahu (5.7). Hodnota poměrné ztráty z je ovlivňována délkou potrubních rozvodů a vlastnostmi tepelné izolace potrubí. U rodinných domů se tato hodnota pohybuje okolo 0,2 až 0,3 a v případě bytových domů až 0,5.

9.2.2 Rodinný dům

Pro výpočet reálné návratnosti investic je uvažován běžný rodinný dům pro čtyřčlennou rodinu s jedním sprchovým koutem, tedy jedním sprchovým výměníkem. Stanovení návratnosti investic bude vyjádřeno pro dva případy dodávky tepla: s plynovým kondenzačním kotlem a tepelným čerpadlem.

V prvním případě, kdy je do soustavy napojen plynový kondenzační kotel, je uvažováno s oběma typy zapojení rekuperačního výměníku. V případě kombinovaného zapojení je uvažováno s instalací zdroje teplé vody co nejblíže odběrnému místu. Jelikož zmíněný zdroj pracuje také s nějakou účinností (92 %), je nutné převést potřebu tepla na reálnou spotřebu s účinností rozvodů 98 % a účinností regulace 97 % dle vztahu (9.3):

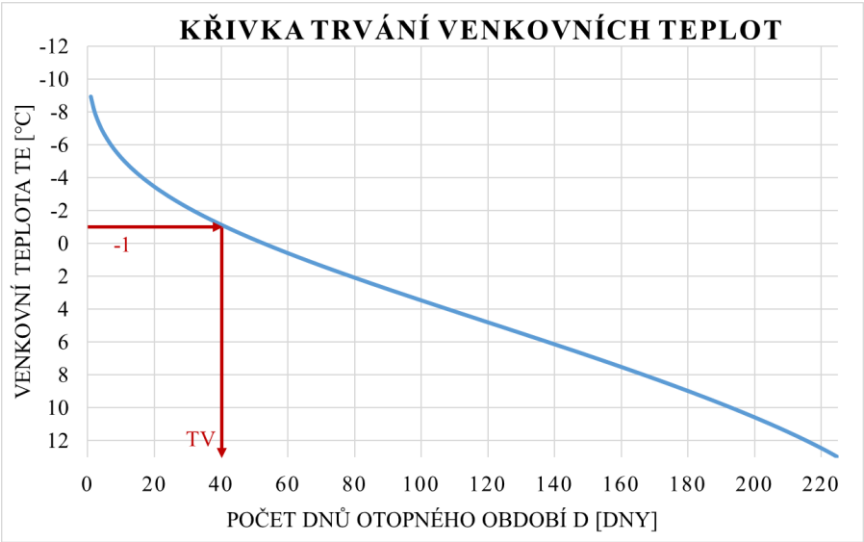
$$Q_{TV,PKK} = \frac{Q_{TV}}{\eta_Z \cdot \eta_R \cdot \eta_O}, \qquad [\mathrm{kWh}] \qquad (9.3)$$

kde:

Q_{TV}	potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh]
η_Z	účinnost zdroje tepla	[1]
η_R	účinnost rozvodů	[1]
η_O	účinnost regulace, ovládání	[1]

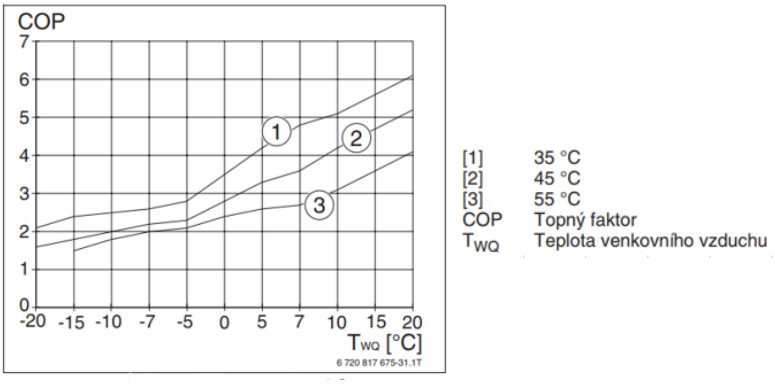
Pro stanovení ceny plynu byla využita tabulka dodavatele zemního plynu skupiny ČEZ s distribučním územím GasNet v závislosti na výši sazby ročního odběru viz příloha 7. Výsledná cena plynu byla tak stanovena na 1,34 Kč/kWh pro ohřev vody. [46]

Při použití tepelného čerpadla je situace o něco složitější. Základním parametrem tepelných čerpadel je takzvaný topný faktor COP, který udává poměr mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií. Čím je topný faktor vyšší, tím je tepelné čerpadlo účinnější a provoz levnější. Topný faktor je silně závislý na venkovní teplotě. Tuto závislost lze zobrazit na křivce trvání venkovních teplot obr. 9.4, která udává kolik dní v roce je tepelné čerpadlo schopno dodávat energii na přípravu teplé vody a kolik dní je nutné ho nahradit například topnou elektrickou patronou. V případě, kdy je hodnota topného faktoru rovna nebo menší 2,3, je tepelné čerpadlo automaticky odstaveno a nahrazeno jiným zdrojem.



Obr. 9.5 Křivka trvání venkovních teplot

Každé tepelné čerpadlo má svou vlastní výkonovou křivku, dle které je možné zjistit, jaký je topný faktor v závislosti na venkovní teplotě. Konkrétně je uvažováno s tepelným čerpadlem vzduch-voda, jehož křivka je znázorněna na obr. 9.5. Provozování teplé vody odpovídá dle grafu křivce pro 55 °C.



Obr. 9.6 Výkonová křivka tepelného čerpadla vzduch-voda [47]

Výpočet sezónního topného faktoru SPF, který je důležitý pro vyjádření výsledné ceny tepla pro přípravu teplé vody, je vyjádřen jako součet vážených průměrů topného faktoru COP jednotlivých měsíců viz tab. 9.2.

Tab. 9.2 Výpočet sezónního topného faktoru pro přípravu teplé vody

Měsíc	Počet dnů	Střední měsíční venkovní teploty v ČR [°C]	Křivka 55 °C
leden	31	-1	2,30
únor	28	1	2,50
březen	31	4	2,60
duben	30	9	2,95
květen	31	14,6	3,60
červen	30	17	3,80
červenec	31	18,2	4,00
srpen	31	18,8	4,05
září	30	13,8	3,50
říjen	31	9,4	3,00
listopad	30	4	2,60
prosinec	31	-0,5	2,40
Součet	**365**	**SPF**	**3,11**

Následně je stanoven koeficient tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody dle vztahu:

$$k_{T\check{C}} = \frac{d_{TV} - d_{BEZ}}{d_{TV}}, \qquad [1] \qquad (9.4)$$

kde:

d_{TV} počet dnů v roce [den]

d_{BEZ} počet dnů, kdy není možné dodávat čerpadlem energii [den]

Pro tento případ není schopno čerpadlo dodávat energii pro přípravu teplé vody 40 dní v roce. Zjištěno to bylo z přechozí tab. 9.2 a z křivky trvání venkovních teplot obr. 9.4 pro hodnotu topného faktoru 2,3 v lednu při teplotě -1 °C. Koeficient tepelného čerpadla je pak roven 0,89. Výsledná spotřeba, dle které je provedena kalkulace ceny energie, je dána sezónním topným faktorem, účinností regulace potrubí s hodnotou 98 % a účinností rozvodů rovnající se 97 % dle vztahu:

$$Q_{TV,T\check{C}} = \frac{\left(\frac{Q_{TV}}{\eta_R \cdot \eta_O} \cdot k_{T\check{C},TV}\right)}{SPF_{TV}} + \left(1 - k_{T\check{C},TV}\right) \cdot \frac{Q_{TV}}{\eta_R \cdot \eta_O}, \qquad [\mathrm{kWh}] \qquad (9.5)$$

kde:

SPF_{TV} sezonní topný faktor na přípravu teplé vody [1]

$k_{T\check{C},TV}$ koeficient tepelného čerpadla na přípravu teplé vody [1]

Provoz tepelného čerpadla je zpoplatněn skrze takzvaný měsíční tarif. Výše poplatků je určena na základě velikosti jističe. V tomto případně je volena dvoutarifová sazba D56d určena pro tepelná čerpadla s jističem o velikosti 16 A. Cena energie elektřiny je vyčíslena z ceníku dodavatele energií ČEZ viz příloha 8 s hodnotou 2,42 Kč/kWh. [46]

Pro případ využití tepelného čerpadla je výsledná návratnost investic vyjádřena jak pro zapojení přímo do směšovací baterie, tak i pro kombinované zapojení do baterie a zdroje. Přehled okrajových podmínek výpočtu pro rodinný dům je znázorněno v tab. 9.3.

Tab. 9.3 Přehled základních okrajových podmínek rodinného domu

Počet osob	4	Poměrná ztráta tepla	0,2
Doba sprchovacího cyklu	6 minut	Počet sprchovacích cyklů na osobu za den	2
Objemový průtok vody	6,5 l/min	Počet nasazených výměníků	1
Teplota mísené vody	40 °C	Teplota teplé vody	55 °C
Teplota studené vody	12-14 °C	Ochlazení vody	6-7 K

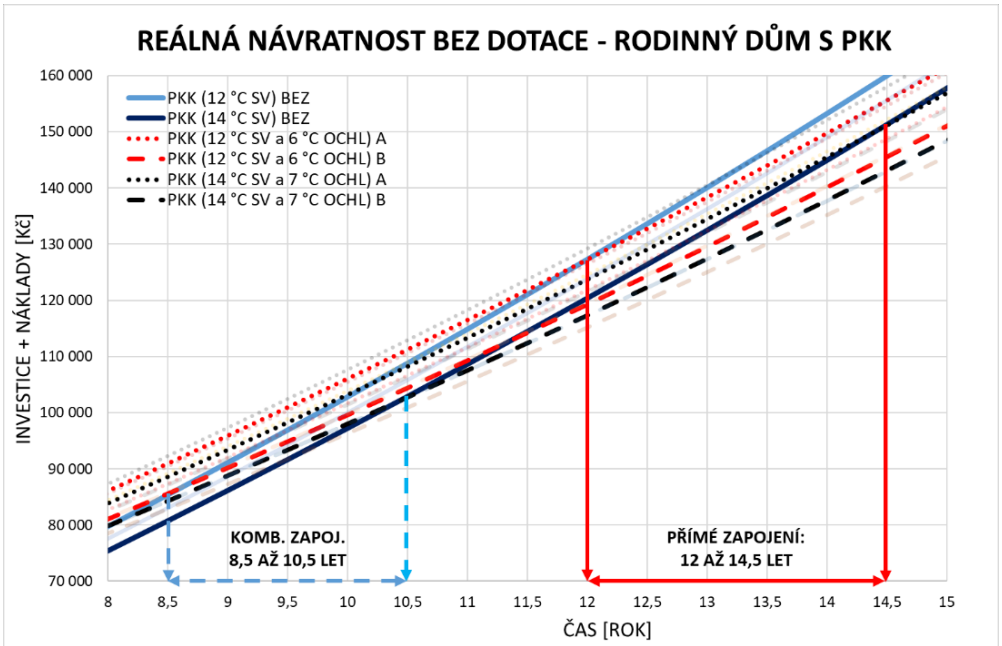
Na základě těchto okrajových podmínek byly jak pro plynový kondenzační kotel, tak i pro tepelné čerpadlo vyčísleny výsledné roční ceny energie na ohřev teplé vody s nasazením rekuperačního výměníku a bez jeho instalace uvedené v tab. 9.4.

Tab. 9.4 Přehled výsledných ročních cen energie pro rodinný dům s TČ a PKK

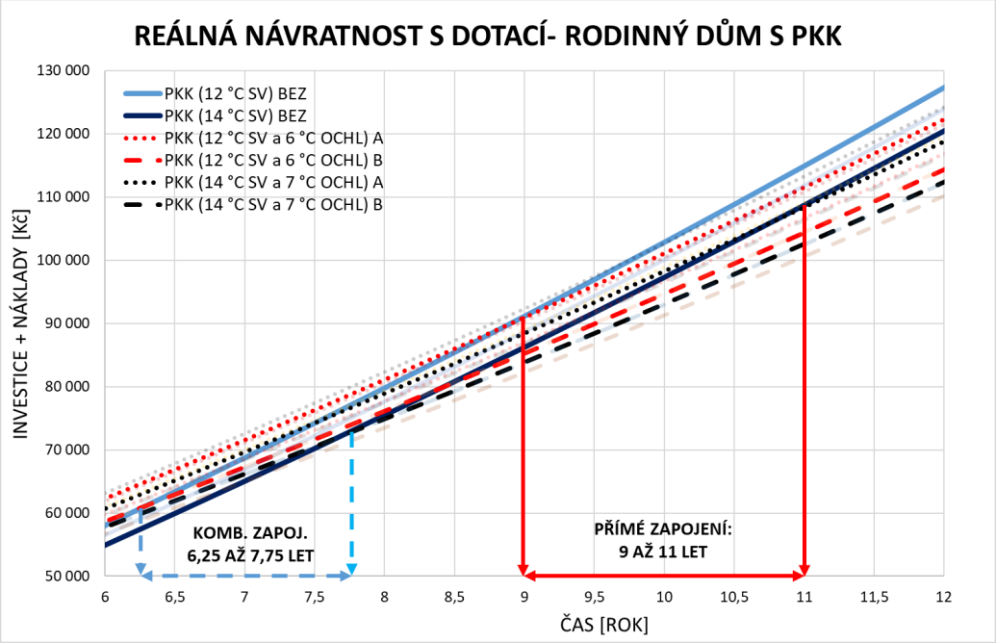
Rodinný dům s plynovým kondenzačním kotlem			Rodinný dům s tepelným čerpadlem		
t_{SV} – 12 °C			t_{SV} – 12 °C		
Cena plynu BEZ ZZT	8970	Kč/rok	Cena Elektřiny BEZ ZZT	8990	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 6°C			**Přímé zapojení s ochl 6°C**		
Cena plynu	7770	Kč/rok	Cena Elektřiny	8197	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 7°C			**Přímé zapojení s ochl 7°C**		
Cena plynu	7908	Kč/rok	Cena Elektřiny	8288	Kč/rok
Kombinované zapojení s ochl 6 °C			**Kombinované zapojení s ochl 6 °C**		
Cena plynu	7209	Kč/rok	Cena Elektřiny	7827	Kč/rok
Kombinované zapojení s ochl 7 °C			**Kombinované zapojení s ochl 7 °C**		
Cena plynu	7366	Kč/rok	Cena Elektřiny	7930	Kč/rok
t_{SV} – 13 °C			t_{SV} – 13 °C		
Cena plynu BEZ ZZT	8727	Kč/rok	Cena Elektřiny BEZ ZZT	8829	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 6°C			**Přímé zapojení s ochl 6°C**		
Cena plynu	7579	Kč/rok	Cena Elektřiny	8071	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 7°C			**Přímé zapojení s ochl 7°C**		
Cena plynu	7716	Kč/rok	Cena Elektřiny	8161	Kč/rok
Kombinované zapojení s ochl 6 °C			**Kombinované zapojení s ochl 6 °C**		
Cena plynu	7064	Kč/rok	Cena Elektřiny	7731	Kč/rok
Kombinované zapojení s ochl 7 °C			**Kombinované zapojení s ochl 7 °C**		
Cena plynu	7218	Kč/rok	Cena Elektřiny	7833	Kč/rok
t_{SV} – 14 °C			t_{SV} – 14 °C		
Cena plynu BEZ ZZT	8485	Kč/rok	Cena Elektřiny BEZ ZZT	8669	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 6°C			**Přímé zapojení s ochl 6°C**		
Cena plynu	7389	Kč/rok	Cena Elektřiny	7945	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 7°C			**Přímé zapojení s ochl 7°C**		
Cena plynu	7524	Kč/rok	Cena Elektřiny	8035	Kč/rok
Kombinované zapojení s ochl 6 °C			**Kombinované zapojení s ochl 6 °C**		
Cena plynu	6918	Kč/rok	Cena Elektřiny	7634	Kč/rok
Kombinované zapojení s ochl 7 °C			**Kombinované zapojení s ochl 7 °C**		
Cena plynu	7071	Kč/rok	Cena Elektřiny	7735	Kč/rok

Na následujících grafech obr. 9.6 až 9. 11 je vyjádřena reálná návratnost investic s meziročním nárůstem cen energií při použití plynového kondenzačního kotle a tepelného čerpadla. V každém z grafů jsou uvedeny tři druhy čar, které značí provoz bez nasazení rekuperačního výměníku, provoz s využitím výměníku pro zapojení pouze do směšovací baterie a provoz s kombinovaným zapojením do baterie i do zdroje tepla. Od každého typu čáry je v grafu znázorněno několik křivek v závislosti na teplotě studené vody a ochlazení vody. Tam, kde se křivky přímého zapojení a kombinovaného zapojení střetnou s křivkami bez uvažování instalace výměníku, tam je reálná návratnost. Je však nutné si dát pozor, aby protínající se křivky měly stejnou teplotu studené vody. Pokud by to tak nebylo, vycházely by zcestné výsledky. Jelikož se uvažuje s více vstupními podmínkami, návratnost je vyjádřena v časových intervalech. Pro větší přehlednost grafu jsou zvýrazněny pouze křivky dosahující krajních hodnot intervalu. U ostatních křivek je snížená viditelnost.

Při porovnávání těchto grafů a hodnot z tab. 9.4 se zřejmé, že při zvyšující se teplotě studené vody roční cena energie klesá ve všech případech. Je to dáno nižší potřebou tepla pro přípravu teplé vody. Čím teplejší studenou vodu systém přijme, tím je v případě systému bez výměníku zapotřebí méně energie pro ohřev na požadovanou teplotu. To samé platí v případě použití výměníku, kde zároveň s vyšší teplotou studené vody dosahuje teplota předehřáté vody vyšších hodnot. Reálná úspora tepla je potom ve výsledku dána poměrem průtoků teplé vody mezi soustavou s výměníkem a soustavou bez výměníku, respektive poměrem potřeb tepla. Se zvyšující se teplotou studené vody klesá jak korigovaná účinnost, tak i korigovaná úspora a reálná návratnost investic se prodlužuje. Při zvyšujícím se ochlazení vody uvažované pro zapojení s výměníkem je však důsledek opačný z pohledu předehřívané vody. Teplota klesá, čímž klesá zároveň korigovaná účinnost a úspora. Tím se poté zvyšují náklady na přípravu teplé vody a návratnost investic. Při porovnání obou zapojení je z pohledu ekonomického úspornější zapojení kombinované. Je to dáno předehřevem studené vody jak pro směšovací baterii, tak i pro zdroj tepla.

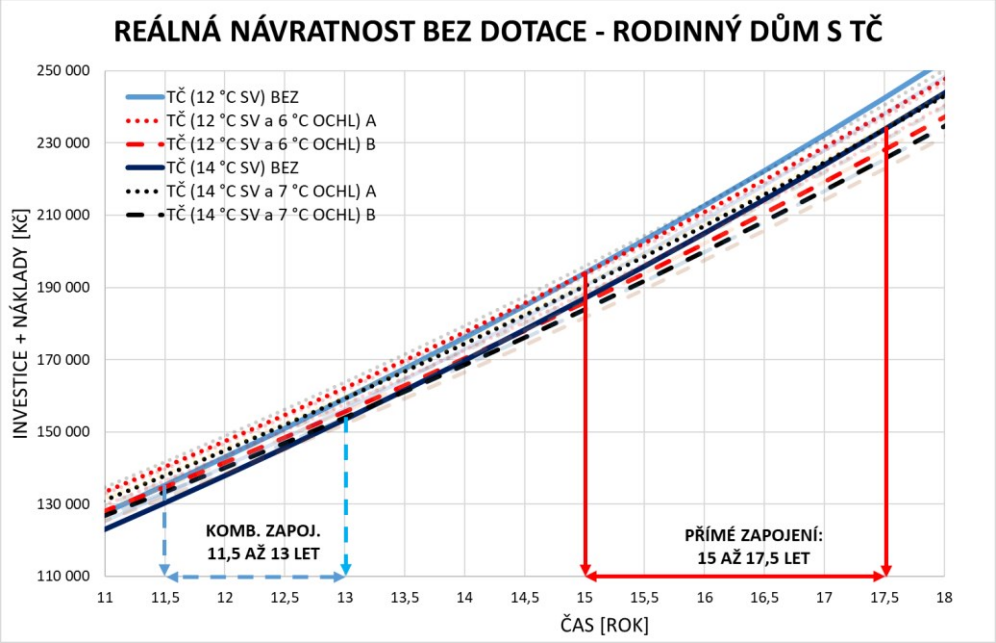


Obr. 9.7 Reálná návratnost investic pro rodinný dům s plynovým kondenzačním kotlem bez dotací

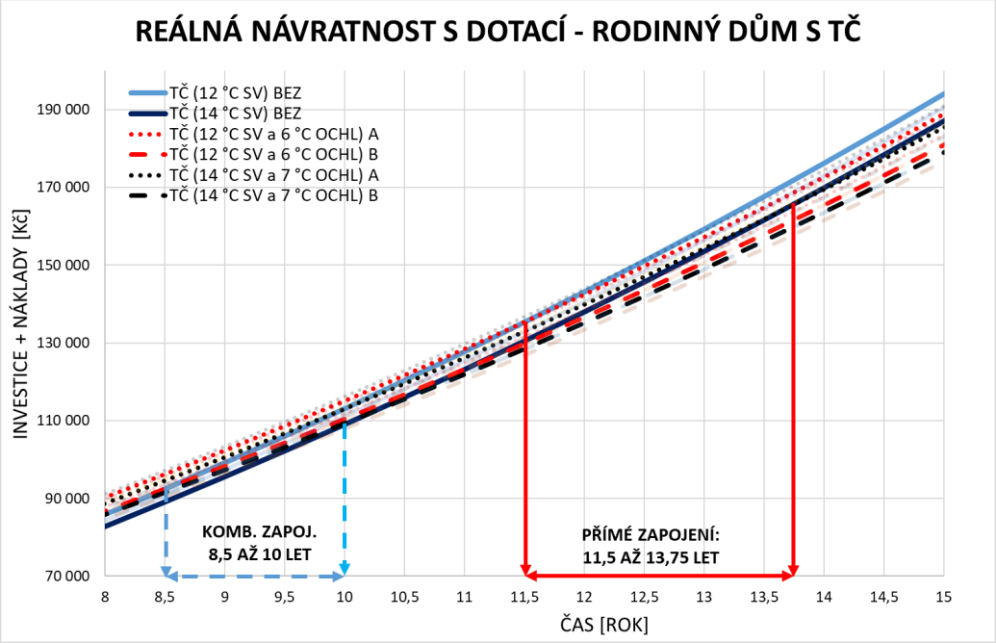


Obr. 9.8 Reálná návratnost investic pro rodinný dům s plynovým kondenzačním kotlem s dotací

Výsledkem grafů v případě plynového kondenzačního kotle je reálná návratnost za použití přímého zapojení 12 až 14,5 let. Při využití dotace je vidět, že snížení počátečních investic dokázalo posunout návratnost až na interval 9 až 11 let. U kombinovaného zapojení vycházeli hodnoty výrazně lépe: 8,5 až 10,5 let bez dotace a 6,25 až 7,75 let s dotací.



Obr. 9.9 Reálná návratnost investic pro rodinný dům s tepelným čerpadlem bez dotace



Obr. 9.10 Reálná návratnost investic pro rodinný dům s tepelným čerpadlem s dotací

Při využití tepelného čerpadla návratnosti dosahují podstatně horších hodnot oproti variantě s využitím plynového kondenzačního kotle. Je to dáno výslednou roční cenou energie, která zahrnuje vysoké poplatky za samotný zdroj tepla dle výše jističe a také vyšším nárůstem ceny elektřiny oproti plynu. Hodnoty pak dosahovaly v případě přímého zapojení 15 až 17,5 let a se státní podporou 11,5 až 13,75 let. V případě druhého zapojení 11,5 až 13 let a s dotací 8,5 až 10 let.

V příloze 9 jsou uvedeny hodnoty reálných návratností investic dle vstupních podmínek pro všechny vybrané provozy. Z těchto hodnot je určováno maximum a minimum, které jsou následně zakresleny do grafu v podobě intervalu. Ve všech případech rodinného domu vycházela minimální hodnota návratnosti pro teplotu studené vody 12 °C s ochlazením 6 K a v případě maximální návratnosti pro teplotu studené vody 14 °C s ochlazením 7 K.

9.2.3 Bytový dům

Dalším provozem byl zvolen 8 patrový bytový dům včetně přízemí s počtem 4 byty na jedno patro. V každém bytě je uvažováno se 4 osobami, z čehož 1 osoba je dítě. Množství instalovaných výměníků je stanoveno dle počtu bytů. To znamená, že na každý byt spadá jeden sprchový kout, což je dohromady 32 výměníků. V tomto případě je využíváno též obou typů zapojení.

První z nich je centrální ohřev teplé vody, kdy je využíván lokální způsob rekuperace se zapojením přímo do směšovací baterie. Při uvažování současného zapojení do směšovací baterie a do zdroje tepla je uvažováno s tím, že každý byt bude mít svůj vlastní zdroj tepla umístěný poblíž odběrného místa.

Vyjádření spotřeby tepla včetně výsledné roční ceny energie pro ohřev teplé vody je v principu stejné jako u předchozího případu rodinného domu s použitím plynového kondenzačního kotle. Odlišnost je pouze ve vstupních okrajových podmínkách uvedené v tab. 9.5.

Tab. 9.5 Přehled základních okrajových podmínek bytového domu

Počet bytů na patro	4	Počet pater včetně přízemí	8
Počet osob na byt	3,5		
Počet osob celkem	112	Poměrná ztráta tepla	0,5
Doba sprchovacího cyklu	6 minut	Počet sprchovacích cyklů na osobu za den	2
Objemový průtok vody	6,5 l/min	Počet nasazených výměníků	32
Teplota mísené vody	40 °C	Teplota teplé vody	55 °C
Teplota studené vody	14-16 °C	Ochlazení vody	4-5 K

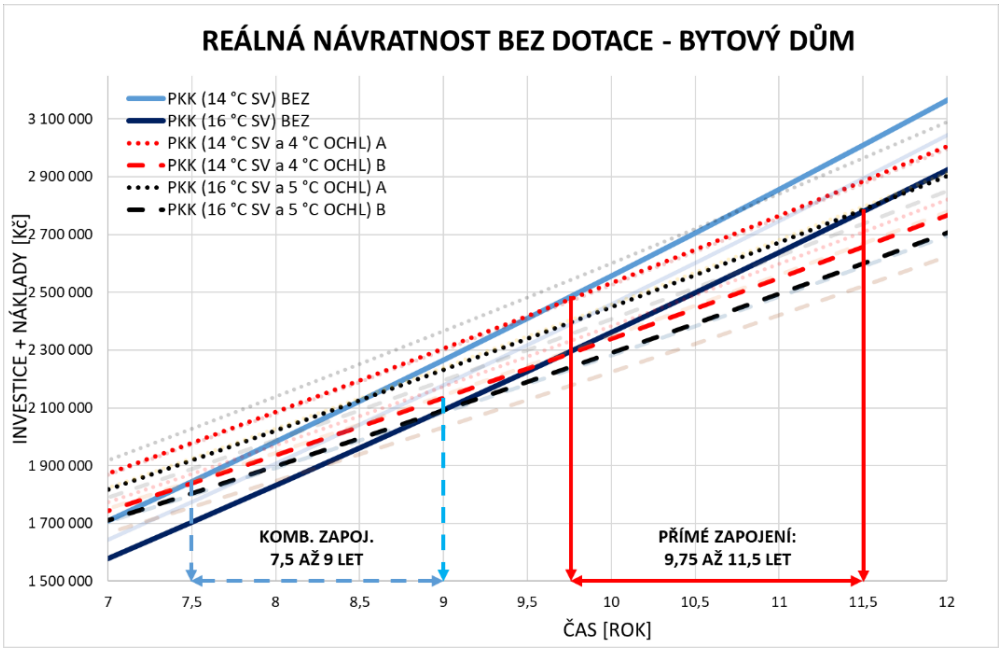
V následující tabulce jsou znázorněny výsledné roční ceny energie v závislosti na okrajových podmínkách dle tab. 9.5.

Tab. 9.6 Přehled výsledných ročních cen energie pro bytový dům

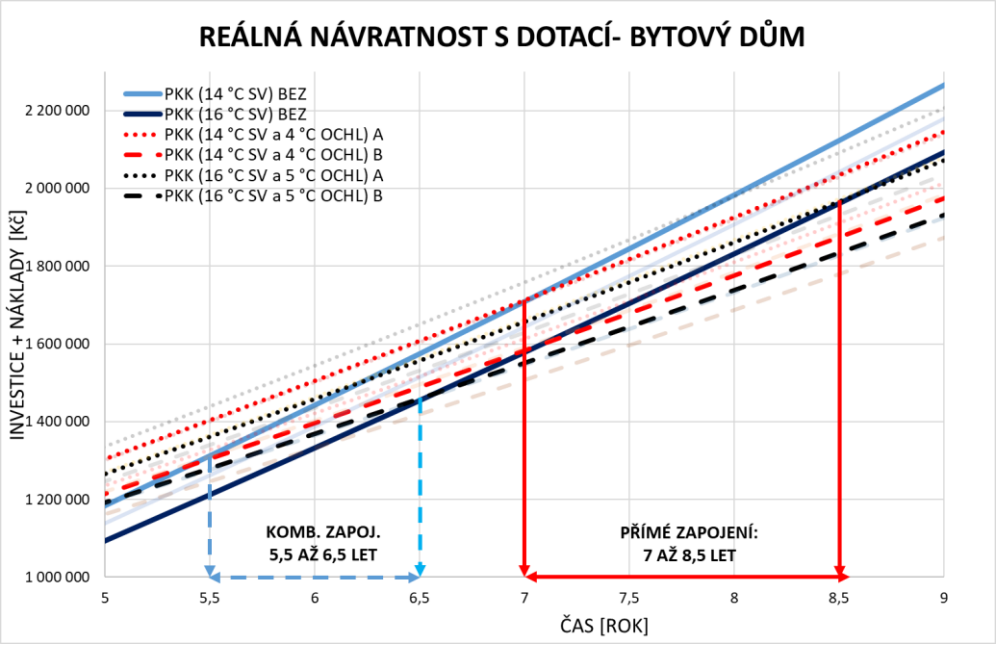
Bytový dům					
t_{SV} – 14 °C			**t_{SV} – 15 °C**		
Cena plynu BEZ ZZT	222961	Kč/rok	Cena plynu BEZ ZZT	214470	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 4°C			**Přímé zapojení s ochl 4°C**		
Cena plynu	173432	Kč/rok	Cena plynu	166893	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 5°C			**Přímé zapojení s ochl 5°C**		
Cena plynu	179339	Kč/rok	Cena plynu	172765	Kč/rok
Kombinované zapojení s ochl 4 °C			**Kombinované zapojení s ochl 4 °C**		
Cena plynu	156607	Kč/rok	Cena plynu	151592	Kč/rok
Kombinované zapojení s ochl 5 °C			**Kombinované zapojení s ochl 5 °C**		
Cena plynu	162502	Kč/rok	Cena plynu	157438	Kč/rok

t_{SV} – 16 °C		
Cena plynu BEZ ZZT	205978	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 4°C		
Cena plynu	160401	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 5°C		
Cena plynu	166231	Kč/rok
Kombinované zapojení s ochl 4 °C		
Cena plynu	146570	Kč/rok
Kombinované zapojení s ochl 5 °C		
Cena plynu	152362	Kč/rok

V grafickém znázornění reálné návratnosti investic pro bytovým dům na obr. 9.10 a 9.11 s porovnáním tab. 9.6 lze vidět, že je výsledek analogický, pouze s jinými čísly. V porovnání s rodinným domem za použití plynového kondenzačního kotle je návratnost bytového domu pro obě zapojení nižší s i bez dotace. Nejedná se však o výrazný rozdíl s přihlédnutím k okolnosti, že bytový dům má výrazně větší denní počet sprchovacích cyklů, a to až 28x větší. Hlavním důvodem je velká počáteční investice, která činí 32 výměníků včetně stavebních prací a materiálu. Proto jsou hodnoty návratnosti velmi blízké hodnotám rodinného domu.



Obr. 9.11 Reálná návratnost investic pro bytový dům bez dotace



Obr. 9.12 Reálná návratnost investic pro bytový dům s dotací

Bez využití dotace je návratnost pro přímé zapojení do baterie v intervalu 9,75 až 11,5 let v zapojení kombinovaném 7,5 až 9 let. Při čerpání dotace je návratnost snížena v prvním případě na interval 7 až 8,5 let a u druhého zapojení na 5,5 až 6,5 let.

9.2.4 Plavecký bazén

Posledním vybraným provozem je plavecký bazén s roční návštěvností dosahující 91 250 osob. V plaveckém bazénu je předpoklad 40 sprch, z toho polovina jsou pánské sprchy a druhá polovina dámské. V místnostech jsou pak tyto sprchy ještě rozděleny, tak aby bylo 10 sprch na jedné straně místnosti a 10 sprch na druhé. Odpadní voda je pak svedena celkem 4 stoupačkami do 4 výměníků. Je zde využit pouze centrální způsob ohřevu teplé vody s lokálním zapojením přímo do směšovací baterie. V praxi se kombinovaný způsob nevyužívá.

Ve výpočtech spotřeby tepla a určení výsledné ceny energie za rok na přípravu teplé vody je též jako u předchozího případu analogie s výpočtem rodinného domu při využití plynového kondenzačního kotle. Změněny jsou pouze okrajové podmínky znázorněny v tab. 9.7. Výsledné ceny energie za rok jsou pak znázorněny v tab. 9.8.

Tab. 9.8 Přehled základních okrajových podmínek plaveckého bazénu

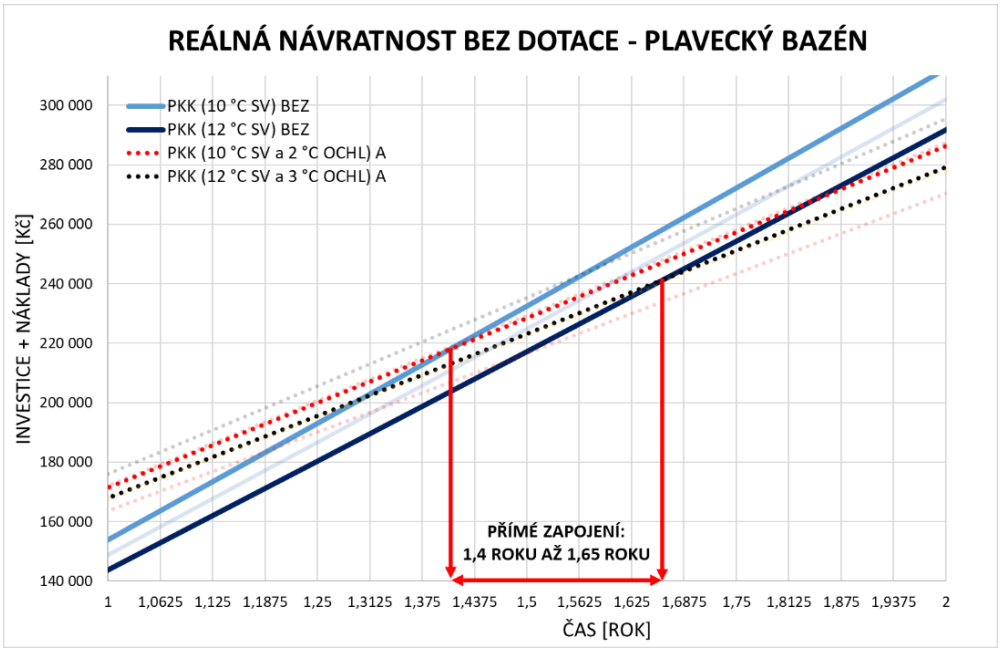
Průměrná denní návštěvnost	250 osob	Poměrná ztráta tepla	0,2
Doba sprchovacího cyklu	2 minuty	Počet sprchovacích cyklů na osobu za den	2
Objemový průtok vody	6,5 l/min	Počet nasazených výměníků	4
Teplota mísené vody	40 °C	Teplota teplé vody	55 °C
Teplota studené vody	10-12 °C	Ochlazení vody	2-3 K

Tab. 9.7 Přehled výsledných ročních cen energie pro plavecký bazén

Plavecký bazén					
t_{SV} – 10 °C			**t_{SV} – 11 °C**		
Cena plynu BEZ ZZT	153814	Kč/rok	Cena plynu BEZ ZZT	148760	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 2 °C			**Přímé zapojení s ochl 2 °C**		
Cena plynu	111515	Kč/rok	Cena plynu	107520	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 3 °C			**Přímé zapojení s ochl 3 °C**		
Cena plynu	115964	Kč/rok	Cena plynu	111973	Kč/rok

t_{SV} – 12 °C		
Cena plynu BEZ ZZT	143705	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 2 °C		
Cena plynu	103554	Kč/rok
Přímé zapojení s ochl 3 °C		
Cena plynu	108009	Kč/rok

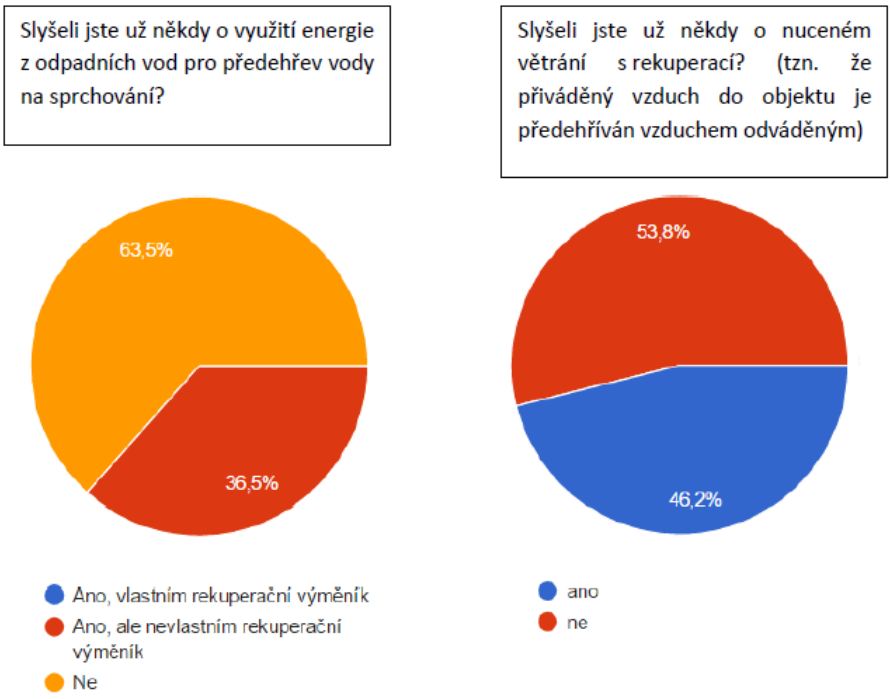
Na posledním grafu obr. 9.12 je znázorněn průběh reálné návratnosti investic u plaveckého bazénu. Opět je zde analogie jako u předešlých provozů. Pokud je porovnán plavecký bazén s ostatními provozy, návratnost investic je zde relativně ve velmi krátké době. Je to z důvodu velmi nízké počáteční investice s vysokými nároky na průtok teplé vody. I přes vysoký počet sprchovacích cyklů za den, který dosahuje hodnoty 500, je ve výsledku celková potřeba tepla nižší než u bytového domu. Je to dáno vstupní okrajovou podmínkou délky sprchování. V bytovém domě je uvažováno s šestiminutovým sprchovým cyklem a v případě plaveckého bazénu pouze s dvouminutovým. Výsledná reálná návratnost pro zapojení do směšovací baterie je v tomto případě bez uvažování dotačního programu od 1,4 roku do 1,65 roku.



Obr. 9.13 Reálná návratnost investic pro plavecký bazén bez dotace

10 ZÁVĚR

Diplomová práce je rozdělena na část teoretickou a na část experimentální. V první části jsem rozebral danou problematiku týkající se snižování potřeby energie v oblasti přípravy teplé vody. Popsal jsem, jaké typy vnitřních kanalizačních systémů v současnosti existují, a které z nich jsou vhodné pro rekuperaci odpadních vod. Dále jsem se zabýval způsoby, jakými lze s odpadními vodami nakládat. Součástí bylo definování jednotlivých typů odpadních vod dle jejich kvality. Hlavním cílem diplomové práce byl návrh úprav stávajícího prototypu sprchového výměníku pro zpětné získávání tepla z odpadní vody dle užitného vzoru č. 32692. Optimalizace byla zaměřena zejména na využívání nových prototypů ve dvou typech zapojení: pro předehřev studené vody pouze do směšovací baterie a současný předehřev studené vody jak do baterie, tak i do zdroje tepla. Z tohoto důvodu bylo nezbytné se v teoretické části zabývat jednotlivými typy systémů zpětného využití tepla a vysvětlit jejich princip na příslušných schématických zobrazeních. Jelikož platí určitá hygienická opatření z pohledu provozní teploty vody, byla v téže kapitole uvedena příslušná omezení teploty studené a teplé vody, a zároveň byl kladen důraz na opatrnost před mikroorganismy žijící v těchto vodách. V pozadí práce je velké množství výpočtů, které bylo nutné podložit teorií. Další kapitolou byl teoretický návrh výměníků, ve které byly popisovány přenosové jevy právě těchto zařízení. Byly zde uvedeny základní teoretické vztahy včetně výpočtu účinnosti a úspory tepla pro dvě využívaná zapojení uváděná výše. Závěrem teoretické části bylo uvedení současných produktů zpětného získávání tepla z odpadní vody. Záměrem bylo vytvořit si určitý přehled o různých typech konstrukcí výměníku a jaký mají dopad na výslednou účinnost, o způsobu instalace, výši cen a také například o různorodosti výrobků jednotlivých zemí. Zakončení bylo v podobě reálných aplikací a měření rekuperačních výměníků v běžných provozech. Teoretická část byla psaná také s vedlejším úmyslem dát laické veřejnosti určitý podklad pro vyznání se v této problematice, ukázat další možnost, jakým způsobem lze šetřit životní prostředí. Z průzkumu povědomí Čechů o možnostech využití tepla z odpadních vod vytvořeného Ing. Romanou Břindovou [48] z ČVUT Fakulty stavební na obr. 10.1 bylo zjištěno, že celých 63,5 % z 52 respondentů různých věkových kategorií o těchto možnostech nic neví. Zbylých 36,5 % však povědomí o tomto druhu šetření a využívání energie z odpadní vody má, avšak takový rekuperační výměník nevlastní. Tito lidé pracují buď v oboru, nebo se to dozvěděli od známého. Ve srovnání s rekuperací tepla ve vzduchotechnice je vyšší znalost tohoto systému s podílem znalých 53,8 %.



Obr. 10.1 Průzkum povědomí lidí o systémech zpětného získávání tepla [48]

Z tohoto důvodu bylo mimo jiné záměrem přispět touto prací k tomu, aby se dostalo toto téma více do povědomí široké veřejnosti.

Jak už bylo zmiňováno, celá diplomová práce je postavena na návrhu úprav stávajícího prototypu. Pro experimentální část práce byly navrženy celkem 4 nové prototypy s cílem dosáhnutí co nejvyšší účinnosti přenosu tepla mezi odpadní vodou a studenou přiváděnou vodou. Tyto modely byly testovány na experimentální měřící trati sestavené v laboratořích Ústavu techniky prostředí. Samotné testování probíhalo specifickým způsobem a za určitých podmínek. Popis měřící trati s uvedením postupu měření výměníků nebyl v práci vynechán. V další kapitole byly řešeny navržené prototypy a jejich změny včetně důsledků na výslednou účinnost. V softwaru byl vytvořen technický výkres pro každý testovaný prototyp včetně 3D modelace. V práci jsou výkresy zobrazeny spolu s reálnými fotkami jednotlivých modelů. Prototypy byly mezi sebou porovnány pro oba typy zapojení včetně porovnání s měřením Ing. Jana Sukdola [40] a Ing. Jakuba Malečka [41]. Nejúčinnějším prototypem se stal navržený model s označením 2B, u kterého byla trojnásobná teplosměnná plocha v zapojení čistého protiproudu.

Při následném testování tohoto prototypu dosahovala účinnost v přímém zapojení do baterie při teplotě 40 °C a průtoku 8 l/min 59,14 % s poměrnou úsporou 32,88 %. V kombinovaném zapojení účinnost dosahovala nižších hodnot a to 39,51 %, kde poměrná úspora byla na rozdíl od prvního zapojení rovna účinnosti. Proto druhý kombinovaný způsob zapojení je úspornější, než když je systém zapojen přímo do směšovací baterie. Oproti původnímu prototypu, který byl měřen kolegy, dosahoval nový prototyp účinnosti v případě přímého zapojení do baterie o cca 5,5 % vyšší při teplotě 36 °C a průtoku 8 l/min. Srovnání bylo stanoveno pro tyto parametry z důvodu této jediné společné měřené teploty. Pro druhý způsob zapojení nový prototyp dosahoval navýšení účinnosti o necelých 5 % při teplotě mísené vody 40 °C a nastavovaném průtoku 8 l/min. Poslední částí této kapitoly bylo zařazení prototypu do příslušné certifikační třídy. Testování dle německého institutu IPHA probíhá za přesně daných podmínek. Jednou z problematických podmínek je ochlazení odpadní vody s hodnotou 5 K. Musela být známa křivka s teplotou 35 °C, která nebyla měřena. Proto byla tato křivka nasimulována při znalosti průběhu jejího trendu. Pro certifikované zapojení pouze do termostatické baterie byl zařazen prototyp 2B do třídy phA s označením jako úsporný.

Práce je zakončena kapitolou reálného nasazení prototypů do provozu, kde je zároveň vypracováno celkové zhodnocení v podobě reálné návratnosti investic. Byly vybrány tři provozy, a to rodinný dům, bytový dům a plavecký bazén. Pro stanovení konečného ekonomického zhodnocení bylo nejprve nutné spočítat potřebu tepla na přípravu teplé vody. Jelikož se výpočty dělaly v závislosti na zdroji tepla, bylo nutné potřebu navýšit a vyjádřit spotřebu k použitému zdroji. Před samotným určováním vstupních parametrů výpočtu byla vypracována rešerše na to, s jakou teplotou studené vody a s jakým reálným ochlazením vody při sprchování se v reálném provozu můžeme setkat. Na základě těchto poznatků byly zvoleny různé intervaly studené vody a ochlazení vody u jednotlivých zvolených variant objektů. Ostatní okrajové podmínky byly uvažovány se snahou přiblížení se k průměrným hodnotám v reálných provozech. Důležitými poznatky z tohoto vyhodnocení jsou, že výsledná reálná návratnost stoupá se zvyšující se teplotou studené vody a zvyšujícím se ochlazení vody z důvodu snižující se účinnosti a úspory tepla. Je zřejmé, že v případě provozů, které dosahují nízkých denních průtoků vody, se tento systém zpětného získávání tepla nevyplatí z pohledu ekonomického s uvažováním hranice 15 let, kdy se dá říci, že se investice ještě vyplatí. Je to dáno životností zařízení, která je stanovena na 20 let.

V této práci je takovým případem rodinný dům s využitím tepelného čerpadla v přímém zapojení, kde návratnost se pohybuje v intervalu 15 až 17,5 let. U rodinných a bytových domů lze čerpat statní dotaci, která má velký vliv na výslednou návratnost a dokáže jí snížit až o několik let. V případě bytových domů se dá mluvit o velmi podobné reálné návratnosti jako o domů rodinných. I přes velké průtoky zde vycházela relativně dlouhá návratnost investic z důvodu vysoké počáteční investice v podobě počtu výměníků a stavebních prací se zahrnutím materiálu. Tyto výměníky jsou velmi účinná a úsporná zařízení především v provozech, ve kterých je odtáčena voda ve velkém množství. V takových případech je poté návratnost v podstatě okamžitá. V případě počítaného plaveckého bazénu vyšla návratnost v intervalu 1,4 až 1,65 roku. Při vhodném použití jsou sprchové výměníky velmi účinným a úsporným řešením, kdy při očekávaném nárůstu cen energií bude tento způsob čím dál více využíván.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] BROKEŠ, Kryštof. *Studie vytápění rodinného domu*. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Strojní fakulta. Vedoucí práce Roman VAVŘIČKA.

[2] ONDROUŠEK, Karel. ČSN EN 12056-2 (75 6760) Vnitřní kanalizace – gravitační systémy – II. část. *VVI* [online]. 2002, 11(4), str. 147 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: http://www.stpcr.cz/?download=articles/vvi-2002-04_s147.pdf

[3] *Technická dokumentace: pro gravitační odpadní systémy uvnitř budov* [online]. 2018 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.preisgroup.com/wp-content/uploads/2018/12/TECH_CZ_web.pdf

[4] *Kanalizace v objektech: Dimenzování vnitřní kanalizace* [online]. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, fakulta stavební, 2008 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-1/6.html

[5] BERÁNKOVÁ, Martina. *Odpadní voda – odpad nebo poklad?* [online]. Brno, 2017 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/16057-odpadni-voda-odpad-nebo-poklad

[6] LHOTÁKOVÁ, Zdeňka. *Zpětné využívání odpadních vod v domech pro bydlení* [online]. Brno, 2014 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/11202-zpetne-vyuzivani-odpadnich-vod-v-domech-pro-bydleni

[7] ONDROUŠEK, Karel. ČSN EN 12056-2 (75 6760) Vnitřní kanalizace – gravitační systémy – II. část. *VVI* [online]. 2002, 11(3), str. 115 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: http://www.stpcr.cz/?download=articles/vvi-2002-03_s115.pdf

[8] Dělení vod, bílé a šedé vody: Nové možnosti a poznatky využití [online]. 2011 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://www.asio.cz/cz/55.deleni-vod-bile-a-sede-vody-nove-poznatky-a-moznosti-vyuziti

[9] VRÁNA, Jakub. *Nová evropská norma ČSN EN 806-2 pro navrhování vnitřních vodovodů (I)* [online]. 2005 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: https://voda.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-voda-kanalizace/2817-nova-evropska-norma-csn-en-806-2-pro-navrhovani-vnitrnich-vodovodu-i

[10] BRADÁČOVÁ, Anna. *Legislativní požadavky v oblasti přípravy teplé vody* [online]. 2016 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/14837-legislativni-pozadavky-v-oblasti-pripravy-teple-vody

[11] VAVŘIČKA, Roman a Tomáš MATUŠKA. *Zpětné získávání tepla v oblasti přípravy teplé vody* [online]. 2016 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/14974-zpetne-ziskavani-tepla-v-oblasti-pripravy-teple-vody

[12] VAVŘIČKA, R., a kolektiv: *Příprava teplé vody, Sešit projektanta č. 3. STP – OS –02 – Vytápění*. Praha 2017, 182 s., ISBN 978-80-02-02713-3.

[13] *Využití tepla z šedých vod k ohřevu TUV* [online]. 2016 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.asio.cz/cz/630.vyuziti-tepla-z-sedych-vod-k-ohrevu-tuv?fbclid=IwAR0Dkg78zrKDypTCyQNrxtBWoRQo_6VVoILSVpvuoBE-QePEOb47Elh0iKg

[14] SEYBOLD, Christopher a Marten F. BRUNK. In-house: Waste water heat recovery. *REHVA Journal* [online]. 2013, 18-21 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.rehva.eu/fileadmin/REHVA_Journal/REHVA_Journal_2013/RJ_issue_6/P.18/18-21_Seybold_RJ1306.pdf

[15] *Výměníky rekuperace tepla z kanalizačních systémů* [online]. 2013 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/zdravotni-technika/vymeniky-rekuperace-tepla-z-kanalizacnich-systemu

[16] BARTÁK, Martin. *Úvod do přenosových jevů pro inteligentní budovy* [online]. Praha, 2010 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: https://docplayer.cz/33812217-Uvod-do-prenosovych-jevu-pro-inteligentni-budovy.html

[17] *Q-Blue: Showersave and Multivert* [online]. 2017 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.q-blue.nl/en/products/q-blue-showersave-en

[18] *Passive House Institute - Component Database: Drain water heat recovery systems* [online]. 2016 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://database.passivehouse.com/en/components/list/heat_recovery

[19] *Janssen: Douche WTW* [online]. 2019 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.vakhandeljanssen.nl/sanitair/douche-wtw/

[20] *Sakal: technologie pro úspory energií* [online]. 2019 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: http://sakal-ovt.cz/category/reference/

[21] *Wagner Solar: WWHRS - Heat Recovery* [online]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.wagner-solar.com/en/wwhrs-heat-recovery/heat-recovery

[22] *Aloaqua: Wastewater Heat Recovery SYSTEMS* [online]. 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.aloaqua.co.nz/collections/wastewater-heat-recovery-systems

[23*] Ecodrain* [online]. 2014 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://ecodrain.ca/en/products/

[24] PRINDLE, Drew. *EcoDrain recycles the wasted heat from your shower water* [online]. 2014 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.digitaltrends.com/home/ecodrain-recycles-wasted-heat-used-hot-water/

[25] *ACEEE hot water forum presentation* [online]. 2017 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.aceee.org/sites/default/files/pdf/conferences/hwf/2017/Velan_Session4C_HWF17_2.28.17.pdf

[26] *Domovní a bytové rekuperační panely IVAR.BEE* [online]. 2000 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://www.ivarcs.cz/storage/MaterialTranslation/1-2000/40-file-innova-bee-letak-a3-cz.pdf

[27] *Bgtherm: Bathroom heaters* [online]. 2020 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://bgtherm.net/produkt-kategoriya/отоплителни-тела-за-баня

[28] *Passive Shower* [online]. 2020 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://passiveshower.com/productos/

[29] *Zypho: Shower Drain Heat Recovery* [online]. 2020 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://www.zypho.pt/#16_2003

[30] *Green Therm: ZyphoIZI Shower Waste Water Heat Recovery Unit* [online]. 2020 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://www.greentherm.ie/product/zyphoizi-shower-waste-water-heat-recovery-unit/

[31] *Joulia Switzerland* [online]. 2019 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://joulia.com/en/downloads/

[32] *Hygiene-shop: Accessories Bathroom Hardware & Equipment* [online]. 2020 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://hygiene-shop.eu/en/accessories-bathroom-equipment/

[33] *Sinfonia: Low Carbon Cities for Better Living* [online]. 2016 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: http://www.sinfonia-smartcities.eu/

[34] MATUŠKA, Tomáš a Roman VAVŘIČKA. *Úspora tepla dosažená rekuperačním výměníkem v reálném provozu* [online]. 2016 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/15057-uspora-tepla-dosazena-rekuperacnim-vymenikem-v-realnem-provozu

[35] *Drain Water Heat Recover: A field study of commercial applications* [online]. 2013 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: http://www.seventhwave.org/sites/default/files/272-1.pdf

[36] *DRAINtech: Krytý bazén Trutnov* [online]. 2014 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.koncept-ekotech.com/

[37] *Krytý bazén v Trutnově čeká rekonstrukce* [online]. 2016 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.trutnovak.cz/bazen-v-trutnove-doslouzil-ceka-ho-modernizace/5424/

[38] *Berlin projects in Energy Efficiency: IKEA Project heat recovery from waste water systems* [online]. 2015 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.berlin.de/

[39] *Certified Passive House Components: Drain Water Heat Recovery* [online]. 2016 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: https://passiv.de/downloads/03_certification_criteria_dwhr_en.pdf

[40] SUKDOL, Jan. *Návrh a optimalizace sprchového výměníku pro zpětné získávání tepla z odpadní vody* [online]. Praha, 2017 [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73363/F2-DP-2017-Sukdol-Jan-

DP_JanSukdol.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Strojní fakulta. Vedoucí práce Roman Vavřička.

[41] MALEČEK, Jakub. *Provozní charakteristiky sprchového výměníku* [online]. Praha, 2019 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84771/F2-DP-2019-Malecek-Jakub-DP_8_TZP_MALECEK.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Strojní fakulta. Vedoucí práce Roman Vavřička.

[42] VRÁNA, Jakub. *Stanovení potřeby teplé vody a tepla pro její přípravu a rozvod podle nové ČSN EN 15316-3* [online]. 2012 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/8850-stanoveni-potreby-teple-vody-a-tepla-pro-jeji-pripravu-a-rozvod-podle-nove-csn-en-15316-3

[43] SCHWARZ, Karel. *Teplo z domovního vodovodu pro tepelné čerpadlo - 1. část: Teplota vody ve vodovodním řadu* [online]. 2019 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: http://www.topin.cz/clanky/teplo-z-domovniho-vodovodu-pro-tepelne-cerpadlo-1-cast-detail-6691

[44] MATUŠKA, Tomáš a Roman VAVŘIČKA. *Účinnost rekuperačního výměníku odpadní vody není rovna úspoře tepla* [online]. 2016 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: https://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/14105-ucinnost-rekuperacniho-vymeniku-odpadni-vody-neni-rovna-uspore-tepla

[45] *NZÚ: Rodinné a bytové domy* [online]. 2020 [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/

[46] *Skupina ČEZ: Elektřina a plyn* [online]. 2020 [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html?commodity=ele

[47] Buderus: Technický list: Tepelné čerpadlo [online]. 2017 [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: https://www.buderus.com/cz/media/country-pool/fuer-partner/planunsdokumente/heat_pumps/pp_wpls.2_cz.pdf

[48] BŘINDOVÁ, Romana. *Využití tepla odpadních vod* [online]. Praha, 2017 [cit. 2020-07-16]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/67950/F1-DP-2017-Brindova-Romana-Diplomova%20prace.pdf?sequence=1. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Karel Kabele.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Poměr potřeby tepla na vytápění a potřeby teplé vody jednotlivých variant [1] 13

Obr. 2.1 a) stupeň plnění připojovacího a vodorovného potrubí b) stupeň plnění odpadního potrubí [3] 15

Obr. 2.2 a) schématické znázornění systému I a II b) schématické znázornění systému III 16

Obr. 2.3 c) schématické znázornění systému IV 17

Obr. 4.1 Schéma centrálního systému s okamžitým odběrem 20

Obr. 4.2 Schéma centrálního systému s akumulační nádobou 21

Obr. 4.3 Princip lokálního systému ve sprchovém koutu: předehřev SV pouze pro směšovací sprchovou baterii 22

Obr. 4.4 Princip lokálního systému ve sprchovém koutu: předehřev SV pouze pro zdroj tepla 23

Obr. 4.5 Princip lokálního systému ve sprchovém koutu: předehřev SV jak pro část SV do sprchové baterie, tak i pro předehřev SV pro zdroj tepla. 23

Obr. 4.6 Schéma lokálního systému s využitím tepelného čerpadla [14] 24

Obr. 4.7 Schéma centrálního systému s využitím tepelného čerpadla [15] 25

Obr. 4.8 Ocelový výměník tepla vložený do kanalizační stoky:1–kanalizační potrubí; 2-přívod SV do výměníku; 3-rozdělovací potrubí; 4-výměník tepla; 5-výstup ohřáté vody z výměníku [15] 25

Obr. 4.9 Integrovaný výměník tepla ve stěně kanalizačního potrubí: 1-betonové potrubí; 2-přívod SV do výměníku; 3-rozdělovací potrubí; 4-výměník tepla; 5-výstup ohřáté vody z výměníku [15] 25

Obr. 5.1 Schématické znázornění a průběh teplot souproudého výměníku [16] 26

Obr. 5.2 Schématické znázornění a průběh teplot protiproudého výměníku [16] 26

Obr. 6.1 Řez výměníkem Showersave QB1[17] 33

Obr. 7.1 Instalace výměníku NELA před pokládkou podlahy [20] 42

Obr. 7.2 Instalace výměníku NELA na studentské koleji v Holandsku [20] 42

Obr. 7.3 Zanesený výměník NELA po dokončení obkladů sprchového koutu [20] 43

Obr. 7.4 Instalace výměníku pod stropem (vlevo); zapojení čidel ve sprchovém koutu (vpravo) [34] 43

Obr. 7.5 Schéma zapojení měřící trati v rodinném domu [34] 44

Obr. 7.6 Naměřené hodnoty v krátkém sprchovacím cyklu [34] 44

Obr. 7.7 Naměřené hodnoty v dlouhém sprchovacím cyklu [34] 45

Obr. 7.8 Bungalov v Portugalsku [29] 46

Obr. 7.9 Porovnání výměníku Zypho po 4 letech používání před (vlevo) a po (vpravo) vyčištění [29] 46

Obr. 7.10 Schémata a reálný snímek systému rekuperace v restauraci Minneapolis [35] 47

Obr. 7.11 Vyhodnocení systému rekuperace na závislosti teploty, průtoku a energie [35] 48

Obr. 7.12 Východní pohled M1:250 krytého bazénu v Trutnově [37] 48

Obr. 7.13 Pohled na instalaci kaskádového výměníku Multivert Q-Blue QB1-21 [36]. 49

Obr. 7.14 Centrální způsob ZZT z odpadní vody v berlínské Ikee [38] 49

Obr. 7.15 Výměníková jednotka SUP-3 v provozu prádelny v Jihlavě [20] 50

Obr. 8.1 Schéma zapojení experimentální měřící tratě pro testování prototypů sprchových výměníků 51

Obr. 8.2 Reálné zapojení experimentální měřící trati v laboratořích FS ČVUT 52

Obr. 8.3 Výkres prototypu 0 [40] 53

Obr. 8.4 Reálný snímek prototypu 0 [40] 54

Obr. 8.5 Výkres a reálný snímek prototypu 1A 54

Obr. 8.6 Grafické zobrazení prototypu 1A se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 0 55

Obr. 8.7 Grafické zobrazení prototypu 1A s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 0 56

Obr. 8.8 Grafické zobrazení prototypu 1B se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 1A 57

Obr. 8.9 Výkres a reálný snímek prototypu 1B 57

Obr. 8.10 Grafické zobrazení prototypu 1B s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 1A 58

Obr. 8.11 Reálný snímek prototypu 2A 58

Obr. 8.12 Výkres prototypu 2A 59

Obr. 8.13 Grafické zobrazení prototypu 2A se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 1A 59

Obr. 8.14 Grafické zobrazení prototypu 2A s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 1A 60

Obr. 8.15 Reálný snímek prototypu 2B 60

Obr. 8.16 Výkres prototypu 2B 61

Obr. 8.17 Grafické zobrazení prototypu 2B se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 2A 62

Obr. 8.18 Grafické zobrazení prototypu 2B s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 2A 62

Obr. 8.19 Příklad certifikace výměníku včetně zařazení do klasifikační třídy [18] 65

Obr. 8.20 Vyhodnocení navržených prototypů dle IPHA pro zapojení do směšovací baterie 66

Obr. 8.21 Vyhodnocení navržených prototypů dle IPHA pro zapojení do směšovací baterie 67

Obr. 8.22 Testování navržených prototypů pro zapojení do směšovací baterie 68

Obr. 8.23 Grafické zobrazení úspory prototypu 1B se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 1A 69

Obr. 8.24 Grafické zobrazení úspory prototypu 1A se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 0 69

Obr. 8.25 Grafické zobrazení úspory prototypu 2A se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 1A 70

Obr. 8.26 Grafické zobrazení úspory prototypu 2B se zapojením do směšovací baterie a jeho porovnání s prototypem 2A 70

Obr. 8.27 Grafické zobrazení úspory prototypu 1A s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 0 71

Obr. 8.28 Grafické zobrazení úspory prototypu 1B s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 1A 72

Obr. 8.29 Grafické zobrazení úspory prototypu 2A s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 1A 72

Obr. 8.1 Grafické zobrazení úspory prototypu 2B s kombinovaným zapojením a jeho porovnání s prototypem 2A 73

Obr. 9.2 Průměrná teplota studené vody ve vodovodním řadu distribuovaná Pražskými vodárnami [43] 74

Obr. 9.3 Reálná úspora tepla v závislosti na vychlazení vody při sprchování [44] 76

Obr. 9.4 Reálný průběh teplot ve sprchové hlavici t_{MIX} a odpadním potrubí sprchy t_{OCHL} při sprchování jedné osoby a průtoku V_{MIX} = 8 l/min [44] 77

Obr. 9.5 Křivka trvání venkovních teplot 80

Obr. 9.6 Výkonová křivka tepelného čerpadla vzduch-voda [47] 80

Obr. 9.7 Reálná návratnost investic pro rodinný dům s plynovým kondenzačním kotlem bez dotací 84

Obr. 9.8 Reálná návratnost investic pro rodinný dům s plynovým kondenzačním kotlem s dotací 85

Obr. 9.9 Reálná návratnost investic pro rodinný dům s tepelným čerpadlem bez dotace 85

Obr. 9.10 Reálná návratnost investic pro rodinný dům s tepelným čerpadlem s dotací. 86

Obr. 9.11 Reálná návratnost investic pro bytový dům bez dotace 88

Obr. 9.12 Reálná návratnost investic pro bytový dům s dotací 88

Obr. 9.13 Reálná návratnost investic pro plavecký bazén bez dotace 90

Obr. 10.1 Průzkum povědomí lidí o systémech zpětného získávání tepla [48] 92

SEZNAM TABULEK

Tab. 6.1 Současný stav vertikálních výměníků firmy Q-BLUE včetně jejich technických parametrů [17] [18] [19] 34

Tab. 6.2 Současný stav horizontálních výměníků firmy SAKAL včetně jejich technických parametrů [20] 35

Tab. 6.3 Současný stav horizontálních výměníků firmy WAGNER SOLAR včetně jejich tech. parametrů [18] [21] [22] 36

Tab. 6.4 Současný stav vertikálních výměníků firmy WAGNER SOLAR včetně jejich tech. parametrů [18] [21] [22] 36

Tab. 6.5 Současný stav horizontálních výměníků firmy ECODRAIN včetně jejich technických parametrů [23] [24] 38

Tab. 6.6 Současný stav vertikálních výměníků firmy ECODRAIN včetně jejich technických parametrů [23] 38

Tab. 6.7 Současný stav horizontálních výměníků firmy IVAR včetně jejich technických parametrů [26] [27] 39

Tab. 6.8 Současný stav horizontálních výměníků CERIAN SHOWER včetně jejich technických parametrů [18] [28] 39

Tab. 6.9 Současný stav horizontálních výměníků firmy ZYPHO včetně jejich technických parametrů [29] [30] 40

Tab. 6.10 Současný stav vertikálních výměníků firmy ZYPHO včetně jejich technických parametrů [29] [30] 40

Tab. 6.11 Stav horizontálních výměníků firmy JOULIA včetně jejich technických parametrů [31] [32] 41

Tab. 7.1 Průměrné parametry sprchovacích cyklů a dosažená poměrná úspora [34] 45

Tab. 8.1 Souhrn vývoje a úprav sprchového výměníku 63

Tab. 8.2 Certifikační třídy pro hodnocení ZZT z odpadní vody dle IPHA [39] 65

Tab. 8.3 Zařazení navržených prototypů do příslušných certifikačních tříd dle IPHA pro zapojení do směšovací baterie 66

Tab. 8.4 Zařazení navržených prototypů do příslušných certifikačních tříd dle IPHA pro kombinované zapojení 67

Tab. 9.1 Ochlazení vody ve sprchovém koutu bez člověka s teplotou okolního vzduchu 22,5 °C [44]..... 76

Tab. 9.2 Výpočet sezónního topného faktoru pro přípravu teplé vody 81

Tab. 9.3 Přehled základních okrajových podmínek rodinného domu 82

Tab. 9.4 Přehled výsledných ročních cen energie pro rodinný dům s TČ a PKK 83

Tab. 9.5 Přehled základních okrajových podmínek bytového domu..... 87

Tab. 9.6 Přehled výsledných ročních cen energie pro bytový dům 87

Tab. 9.7 Přehled základních okrajových podmínek plaveckého bazénu 89

Tab. 9.8 Přehled výsledných ročních cen energie pro plavecký bazén 89

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres původního prototypu 0 včetně 3D modelace

Příloha 2 Výkres nově navrženého prototypu 1A včetně 3D modelace

Příloha 3 Výkres nově navrženého prototypu 1B včetně 3D modelace

Příloha 4 Výkres nově navrženého prototypu 2A včetně 3D modelace

Příloha 5 Výkres nově navrženého prototypu 2B včetně 3D modelace

Příloha 6 Tabulka reálných (korigovaných) účinností a úspor tepla

Příloha 7 Tabulka cen dodavatele zemního plynu skupiny ČEZ (GasNet)

Příloha 8 Tabulka cen dodavatele elektřiny skupiny ČEZ

Příloha 9 Tabulka reálných návratností investic

SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH

Příloha 1 Maska vyhodnocení měření ($t_{MIX} = 40\ °C, \dot{V}_{MIX} = 8\ l \cdot min^{-1}$) .pdf

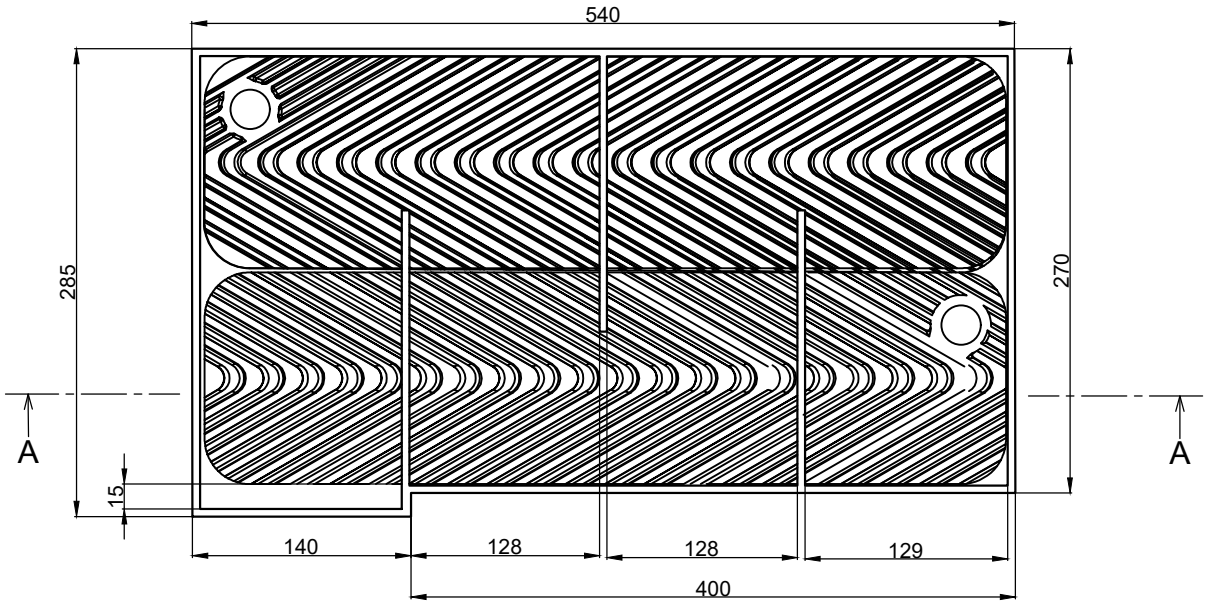
Příloha 2 Vyhodnocení reálné návratnosti investic pro rodinný dům s plynovým kondenzačním kotlem .pdf

Příloha 3 Vyhodnocení reálné návratnosti investic pro rodinný dům s tepelným čerpadlem .pdf

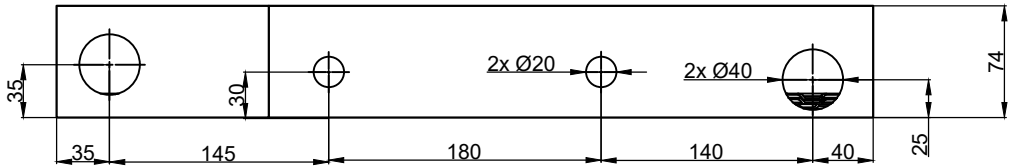
Příloha 4 Vyhodnocení reálné návratnosti investic pro bytový dům .pdf

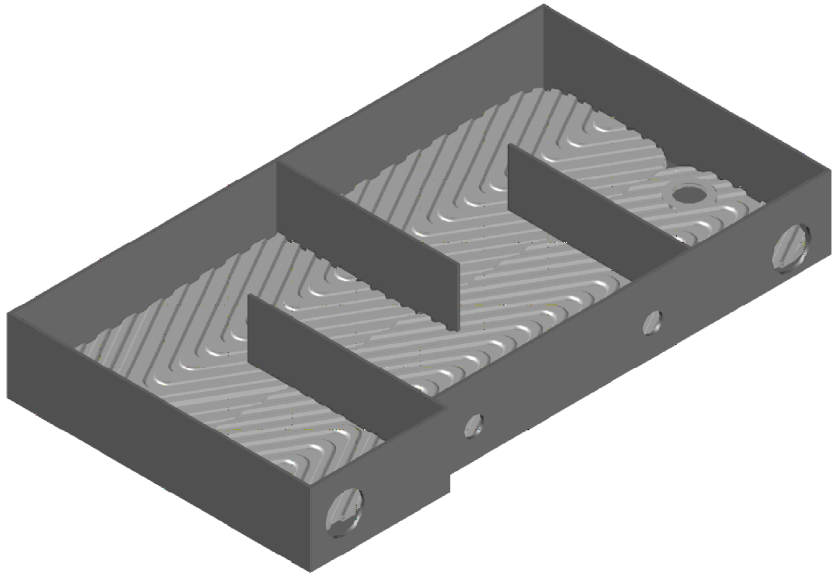
Příloha 5 Vyhodnocení reálné návratnosti investic pro plavecký bazén .pdf

PŘÍLOHA 1: Výkres původního prototypu 0 včetně 3D modelace



ŘEZ
A-A





POZNÁMKA:

Vertikální zdvih teplosměnné plochy výměníku – 6 mm

OBOR	ÚSTAV	AUTOR PRÁCE
Technika životního prostředí	Ústav techniky prostředí	Bc. Kryštof Brokeš
ROČNÍK	VEDOUCÍ PRÁCE	
6.	Ing. Roman Vavřička, Ph.D.	

ČVUT v Praze
Fakulta strojní

DRUH PRÁCE:

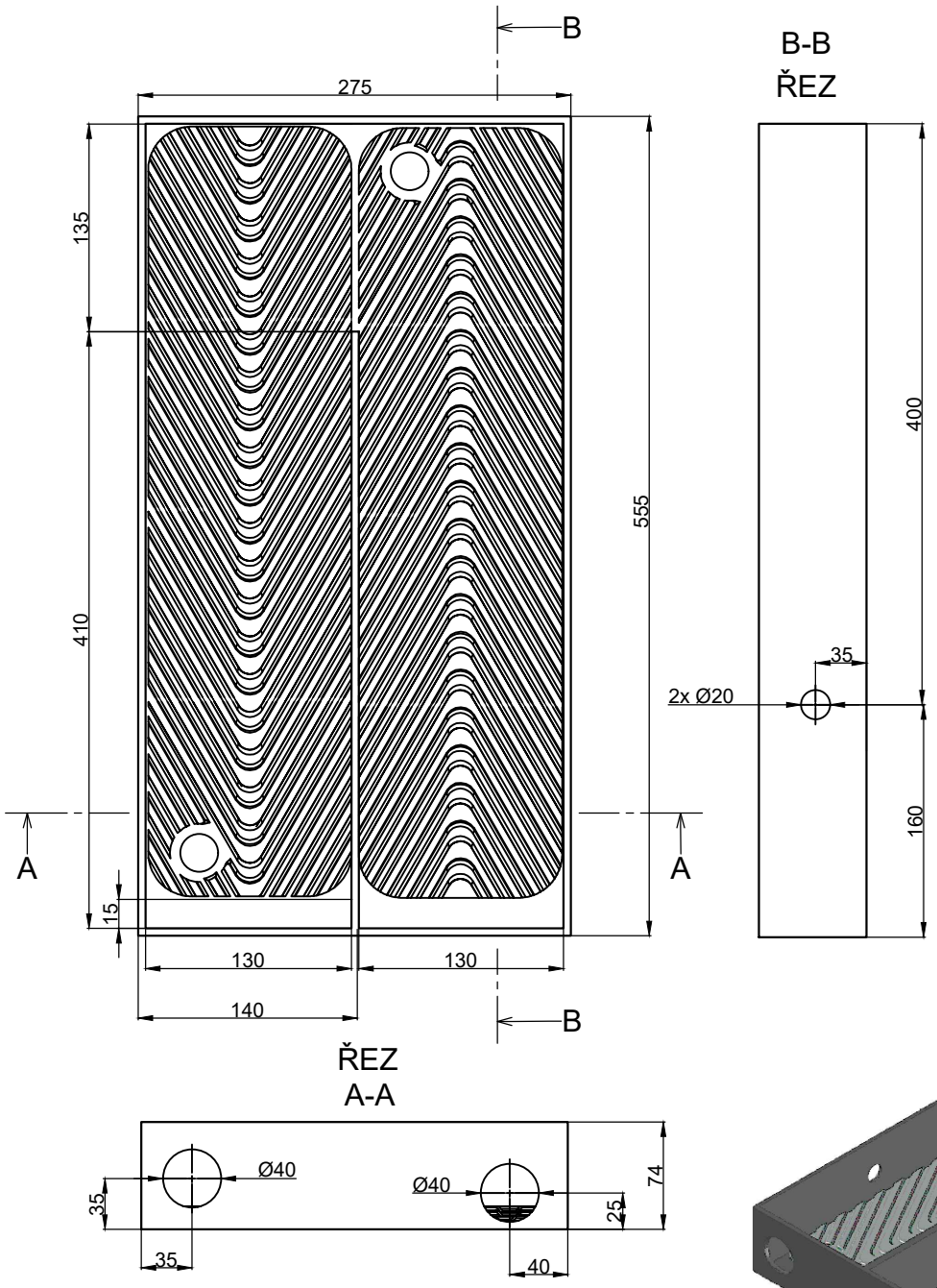
DIPLOMOVÁ PRÁCE

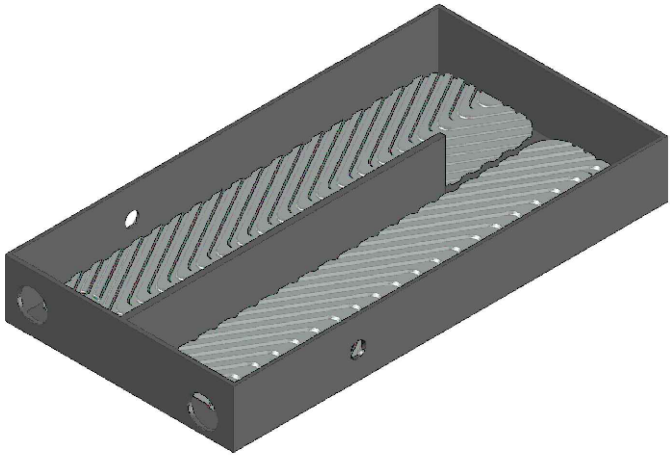
FORMÁT	A4
MĚŘÍTKO	1:5
DATUM	30. 6. 2020
Č. VÝKR.	P0

NÁZEV:

OPTIMALIZACE SPRCHOVÉHO VÝMĚNÍKU

PŘÍLOHA 2: Výkres nově navrženého prototypu 1A včetně 3D modelace





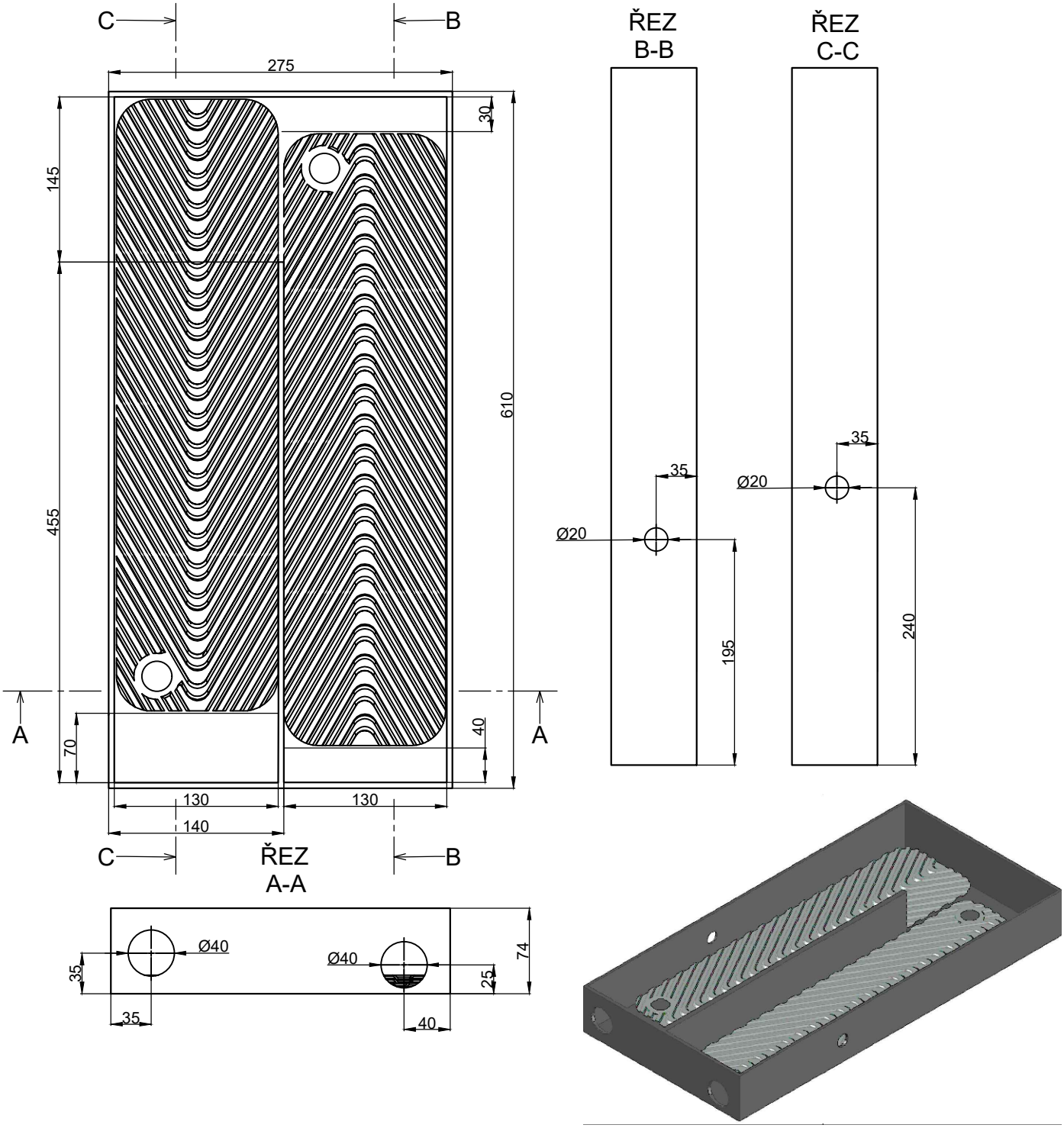
POZNÁMKA:

Vertikální zdvih teplosměnné plochy výměníku – 6 mm

OBOR	ÚSTAV	AUTOR PRÁCE	ČVUT v Praze
Technika životního prostředí	Ústav techniky prostředí	Bc. Kryštof Brokeš	Fakulta strojní
ROČNÍK	VEDOUCÍ PRÁCE		
6.	Ing. Roman Vavřička, Ph.D.		

DRUH PRÁCE:		
DIPLOMOVÁ PRÁCE	FORMÁT	A4
	MĚŘÍTKO	1:5
	DATUM	30. 6. 2020
	Č. VÝKR.	P1A
NÁZEV: OPTIMALIZACE SPRCHOVÉHO VÝMĚNÍKU		

PŘÍLOHA 3: Výkres nově navrženého prototypu 1B včetně 3D modelace



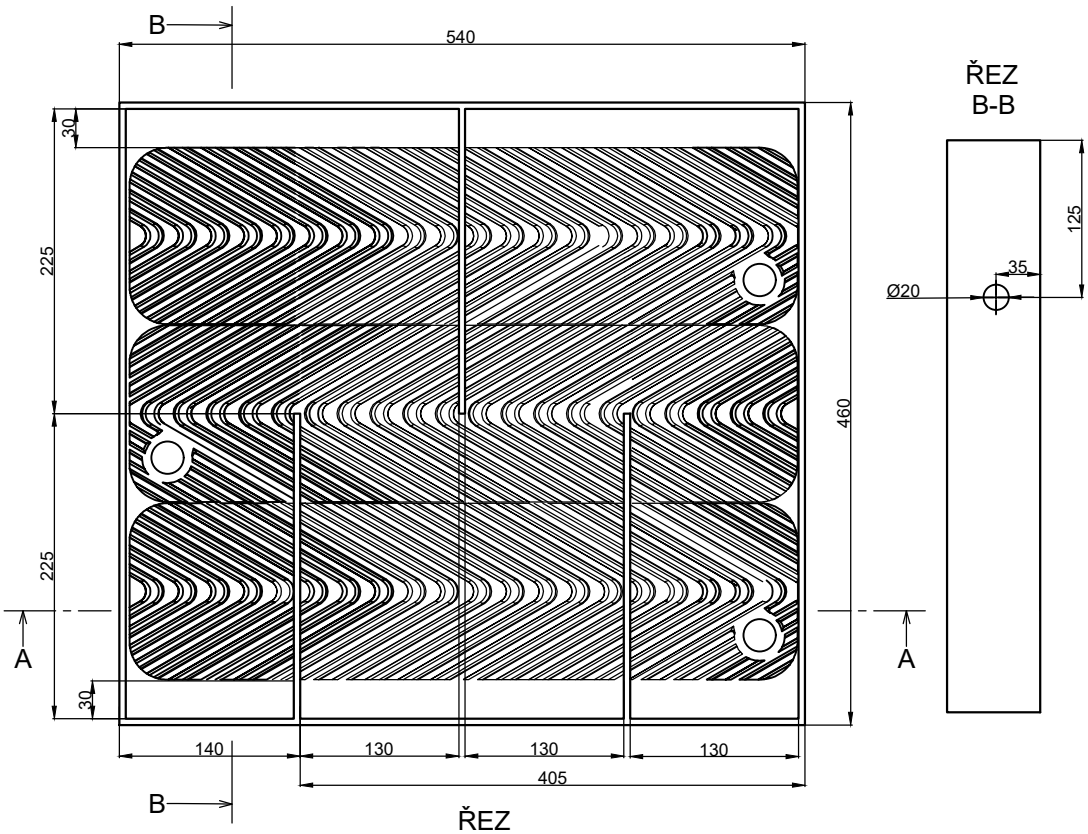
POZNÁMKA:

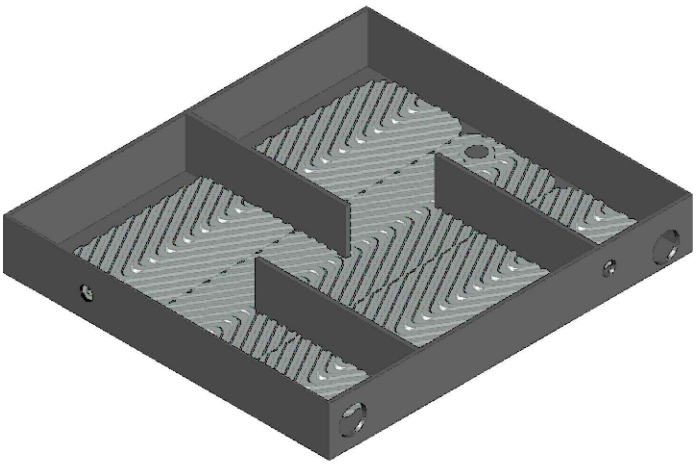
Vertikální zdvih teplosměnné plochy výměníku – 6 mm

OBOR	ÚSTAV	AUTOR PRÁCE	ČVUT v Praze
Technika životního prostředí	Ústav techniky prostředí	Bc. Kryštof Brokeš	Fakulta strojní
ROČNÍK	VEDOUCÍ PRÁCE		
6.	Ing. Roman Vavřička, Ph.D.		

DRUH PRÁCE:	FORMÁT	A4
DIPLOMOVÁ PRÁCE	MĚŘÍTKO	1:5
	DATUM	30. 6. 2020
	Č. VÝKR.	P1B
NÁZEV: OPTIMALIZACE SPRCHOVÉHO VÝMĚNÍKU		

PŘÍLOHA 4: Výkres nově navrženého prototypu 2A včetně 3D modelace





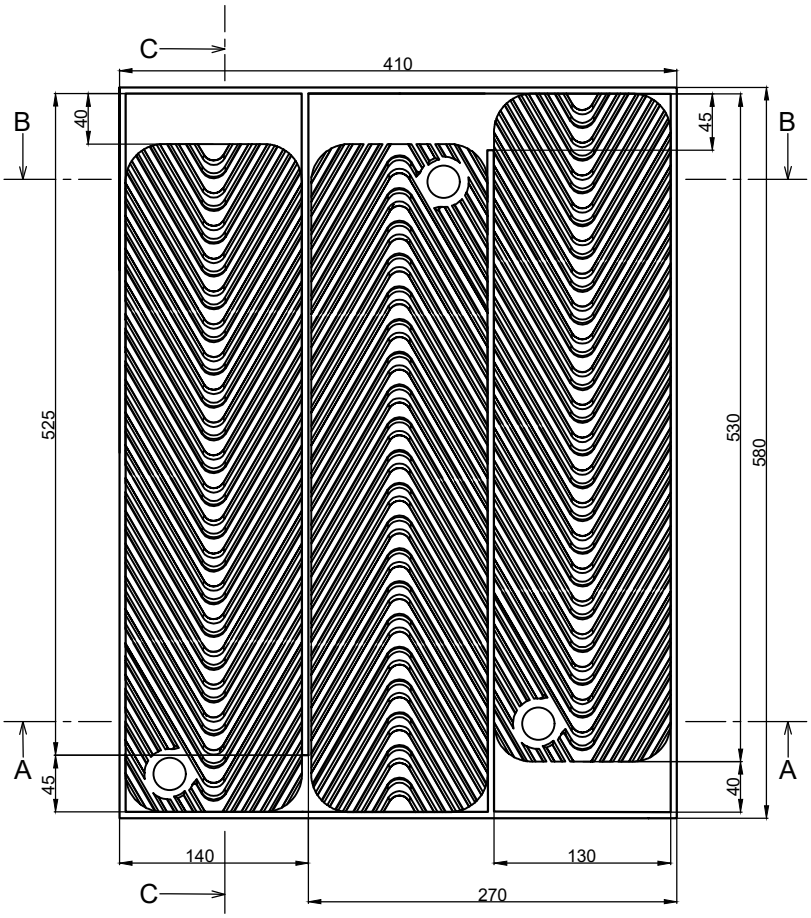
POZNÁMKA:

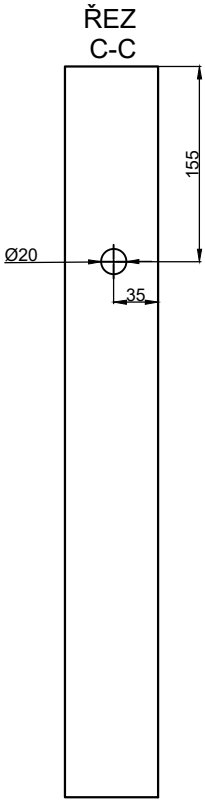
Vertikální zdvih teplosměnné plochy výměníku – 6 mm

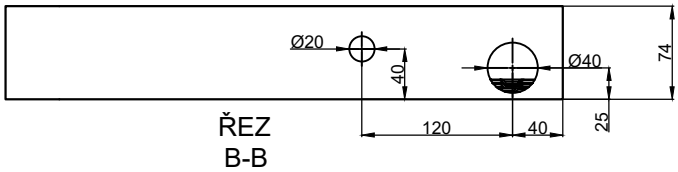
OBOR	ÚSTAV	AUTOR PRÁCE	ČVUT v Praze
Technika životního prostředí	Ústav techniky prostředí	Bc. Kryštof Brokeš	Fakulta strojní
ROČNÍK	VEDOUCÍ PRÁCE		
6.	Ing. Roman Vavřička, Ph.D.		

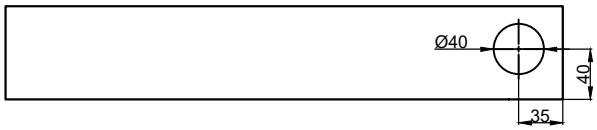
DRUH PRÁCE:	FORMÁT	A4
DIPLOMOVÁ PRÁCE	MĚŘÍTKO	1:6
	DATUM	30. 6. 2020
	Č. VÝKR.	P2A
NÁZEV: OPTIMALIZACE SPRCHOVÉHO VÝMĚNÍKU		

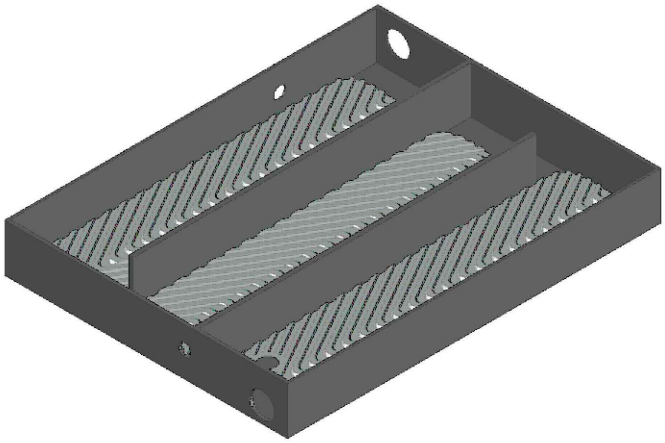
PŘÍLOHA 5: Výkres nově navrženého prototypu 2B včetně 3D modelace











POZNÁMKA:

Vertikální zdvih teplosměnné plochy výměníku – 6 mm

OBOR	ÚSTAV	AUTOR PRÁCE	ČVUT v Praze
Technika životního prostředí	Ústav techniky prostředí	Bc. Kryštof Brokeš	Fakulta strojní
ROČNÍK	VEDOUCÍ PRÁCE		
6.	Ing. Roman Vavřička, Ph.D.		

DRUH PRÁCE:		
DIPLOMOVÁ PRÁCE	FORMÁT	A4
	MĚŘÍTKO	1:6
	DATUM	30. 6. 2020
	Č. VÝKR.	P2B
NÁZEV: OPTIMALIZACE SPRCHOVÉHO VÝMĚNÍKU		

Příloha 6: Tabulka reálných (korigovaných) účinností a úspor tepla

Rodinný dům					
Tsv 12 °C			**Tsv 13 °C**		
Přímé zapojení s ochl 6°C			**Přímé zapojení s ochl 6°C**		
Korigovaná účinnost η*	48,45	%	Korigovaná účinnost η*	47,96	%
Korigovanná úspora Θ*	17,66	%	Korigovanná úspora Θ*	17,53	%
Přímé zapojení s ochl 7°C			**Přímé zapojení s ochl 7°C**		
Korigovaná účinnost η*	46,25	%	Korigovaná účinnost η*	45,68	%
Korigovanná úspora Θ*	15,63	%	Korigovanná úspora Θ*	15,44	%
Kombinované zapojení s ochl 6 °C			**Kombinované zapojení s ochl 6 °C**		
η*= Θ*	32,98	%	η*= Θ*	32,65	%
Kombinované zapojení s ochl 7 °C			**Kombinované zapojení s ochl 7 °C**		
η*= Θ*	31,48	%	η*= Θ*	31,09	%

Tsv 14 °C		
Přímé zapojení s ochl 6°C		
Korigovaná účinnost η*	47,43	%
Korigovanná úspora Θ*	17,37	%
Přímé zapojení s ochl 7°C		
Korigovaná účinnost η*	45,06	%
Korigovanná úspora Θ*	15,23	%
Kombinované zapojení s ochl 6 °C		
η*= Θ*	32,29	%
Kombinované zapojení s ochl 7 °C		
η*= Θ*	30,67	%

Bytový dům					
Tsv 14 °C			**Tsv 15 °C**		
Přímé zapojení s ochl 4°C			**Přímé zapojení s ochl 4°C**		
Korigovaná účinnost η*	52,18	%	Korigovaná účinnost η*	51,80	%
Korigovanná úspora Θ*	22,43	%	Korigovanná úspora Θ*	22,41	%
Přímé zapojení s ochl 5°C			**Přímé zapojení s ochl 5°C**		
Korigovaná účinnost η*	49,81	%	Korigovaná účinnost η*	49,33	%
Korigovanná úspora Θ*	19,76	%	Korigovanná úspora Θ*	19,64	%
Kombinované zapojení s ochl 4 °C			**Kombinované zapojení s ochl 4 °C**		
η*= Θ*	35,52	%	η*= Θ*	35,26	%
Kombinované zapojení s ochl 5 °C			**Kombinované zapojení s ochl 5 °C**		
η*= Θ*	33,90	%	η*= Θ*	33,58	%

Tsv 16 °C		
Přímé zapojení s ochl 4°C		
Korigovaná účinnost η*	51,39	%
Korigovanná úspora Θ*	22,36	%
Přímé zapojení s ochl 5°C		
Korigovaná účinnost η*	48,82	%
Korigovanná úspora Θ*	19,50	%
Kombinované zapojení s ochl 4 °C		
η*= Θ*	34,98	%
Kombinované zapojení s ochl 5 °C		
η*= Θ*	33,23	%

Plavecký bazén					
Tsv 10 °C			**Tsv 11 °C**		
Přímé zapojení s ochl 2 °C			**Přímé zapojení s ochl 2 °C**		
Korigovaná účinnost η*	57,55	%	Korigovaná účinnost η*	57,41	%
Korigovanná úspora Θ*	27,89	%	Korigovanná úspora Θ*	28,13	%
Přímé zapojení s ochl 3 °C			**Přímé zapojení s ochl 3 °C**		
Korigovaná účinnost η*	55,50	%	Korigovaná účinnost η*	55,29	%
Korigovanná úspora Θ*	24,96	%	Korigovanná úspora Θ*	25,10	%

Tsv 12 °C		
Přímé zapojení s ochl 2 °C		
Korigovaná účinnost η*	57,26	%
Korigovanná úspora Θ*	28,37	%
Přímé zapojení s ochl 3 °C		
Korigovaná účinnost η*	55,06	%
Korigovanná úspora Θ*	25,22	%

Příloha 7: Tabulka cen dodavatele zemního plynu skupiny ČEZ (GasNet)

		OBCHODNÍ ČÁST CENY		DISTRIBUČNÍ ČÁST CENY		CELKOVÁ CENA	
ROČNÍ ODBĚR v MWh		1 cena za dodávku plynu	2 stálá platba	3 cena za distribuci plynu	4 stálá platba	5 celková jednotková cena za plyn	6 součet stálých plateb
		Kč/MWh	Kč/měsíc	Kč/MWh	Kč/měsíc	sloupce 1 + 3 Kč/MWh	sloupce 2 + 4 Kč/měsíc
VAŘÍM	do 1,89	1 028,50 (850,00)	35,09 (29,00)	562,83 (465,15)	81,86 (67,65)	1 591,33 (1 315,15)	116,95 (96,65)
OHŘÍVÁM VODU	nad 1,89 do 7,56	1 028,50 (850,00)	59,29 (49,00)	306,51 (253,31)	122,08 (100,89)	1 335,01 (1 103,31)	181,37 (149,89)
TOPÍM	nad 7,56 do 15	1 028,50 (850,00)	131,89 (109,00)	279,04 (230,61)	138,79 (114,70)	1 307,54 (1 080,61)	270,68 (223,70)
	nad 15 do 25	1 028,50 (850,00)	131,89 (109,00)	254,26 (210,13)	168,59 (139,33)	1 282,76 (1 060,13)	300,48 (248,33)
	nad 25 do 45	1 028,50 (850,00)	131,89 (109,00)	218,68 (180,73)	240,73 (198,95)	1 247,18 (1 030,73)	372,62 (307,95)
	nad 45 do 63	1 028,50 (850,00)	131,89 (109,00)	176,14 (145,57)	396,72 (327,87)	1 204,64 (995,57)	528,61 (436,87)

VÝPOČET CELKOVÉ ROČNÍ PLATBY ZA PLYN

roční spotřeba v MWh × sloupec 5 + 12 × sloupec 6

v případě podnikatelů je nutné k výpočtu přičíst i daň ze zemního plynu 37,03 Kč (30,60 Kč)/MWh

cena za distribuci plynu (sloupec 3) obsahuje i poplatek za činnost OTE 2,92 Kč (2,41 Kč)/MWh

		1 cena za dodávku plynu	2 cena za kapacitu	3 cena za distribuci plynu	4 cena za kapacitu	5 celková jednotková cena za plyn	6 součet cen za kapacitu
		Kč/MWh	Kč/m³	Kč/MWh	Kč/m³	sloupce 1 + 3 Kč/MWh	sloupce 2 + 4 Kč/m³
TOPÍM HODNĚ	nad 63 do 630	1 028,5 (850,00)	0,00 (0,00)	137,11 (113,31)	139,73 (115,48)	1 165,61 (963,31)	139,73 (115,48)

pro domácnosti je horní hranice bez omezení

VÝPOČET CELKOVÉ ROČNÍ PLATBY ZA PLYN

roční spotřeba v MWh × sloupec 5 + roční spotřeba v m³ / 115 × sloupec 6

v případě podnikatelů je nutné k výpočtu přičíst i daň ze zemního plynu 37,03 Kč (30,60 Kč)/MWh

cena za distribuci plynu (sloupec 3) obsahuje i poplatek za činnost OTE 2,92 Kč (2,41 Kč)/MWh

Příloha 8: Tabulka cen dodavatele elektřiny skupiny ČEZ

ELEKTŘINA smlouva na dobu neurčitou		OBCHODNÍ SAZBA		STANDARD				AKUMULACE 8				ELEKTRO-MOBILITA		AKUMULACE 16		PŘÍMOTOP		TEPELNÉ ČERPADLO		ELEKTRICKÉ TOPENÍ		VÍKEND	
		distribuční sazba		D01d		D02d		D25d		D26d		D27d		D35d		D45d		D56d		D57d		D61d	
OBCHODNÍ ČÁST CENY		**cena za dodávku elektřiny**																					
	1	vysoký tarif	Kč/MWh	**2 285,69**	(1 889,00)	**2 285,69**	(1 889,00)	**2 272,38**	(1 878,00)	**2 272,38**	(1 878,00)	**1 936,00**	(1 600,00)	**2 366,76**	(1 956,00)	**2 213,09**	(1 829,00)	**2 116,29**	(1 749,00)	**2 116,29**	(1 749,00)	**1 936,00**	(1 600,00)
	2	nízký tarif	Kč/MWh	**-**		**-**		**2 140,49**	(1 769,00)	**2 140,49**	(1 769,00)	**1 754,50**	(1 450,00)	**2 274,80**	(1 880,00)	**2 213,09**	(1 829,00)	**2 116,29**	(1 749,00)	**2 116,29**	(1 749,00)	**1 754,50**	(1 450,00)
	3	**stálá platba**	Kč/měsíc	**107,69**	(89,00)	**107,69**	(89,00)	**95,59**	(79,00)	**95,59**	(79,00)	**77,44**	(64,00)	**95,59**	(79,00)	**95,59**	(79,00)	**95,59**	(79,00)	**95,59**	(79,00)	**77,44**	(64,00)
DISTRIBUČNÍ ČÁST CENY		**cena za distribuci elektřiny**																					
	4	vysoký tarif	Kč/MWh	**2 826,60**	(2 336,03)	**2 144,74**	(1 772,51)	**2 236,70**	(1 848,51)	**820,89**	(678,42)	**2 236,70**	(1 848,51)	**350,83**	(289,94)	**350,83**	(289,94)	**350,83**	(289,94)	**265,66**	(219,55)	**3 761,39**	(3 108,59)
	5	nízký tarif	Kč/MWh	**-**		**-**		**162,82**	(134,56)	**162,82**	(134,56)	**162,82**	(134,56)	**162,82**	(134,56)	**162,82**	(134,56)	**162,82**	(134,56)	**227,33**	(187,88)	**185,72**	(153,49)
		stálá platba za rezervovaný příkon podle jističe																					
	6	do 3 × 10 A a do 1 × 25 A včetně	Kč/měsíc	**16,94**	(14,00)	**49,61**	(41,00)	**65,34**	(54,00)	**110,11**	(91,00)	**65,34**	(54,00)	**145,20**	(120,00)	**170,61**	(141,00)	**170,61**	(141,00)	**142,78**	(118,00)	**24,20**	(20,00)
	7	nad 3 × 10 A do 3 × 16 A včetně	Kč/měsíc	**27,83**	(23,00)	**78,65**	(65,00)	**105,27**	(87,00)	**175,45**	(145,00)	**105,27**	(87,00)	**232,32**	(192,00)	**273,46**	(226,00)	**273,46**	(226,00)	**228,69**	(189,00)	**39,93**	(33,00)
	8	nad 3 × 16 A do 3 × 20 A včetně	Kč/měsíc	**35,09**	(29,00)	**99,22**	(82,00)	**131,89**	(109,00)	**219,01**	(181,00)	**131,89**	(109,00)	**290,40**	(240,00)	**342,43**	(283,00)	**342,43**	(283,00)	**285,56**	(236,00)	**49,61**	(41,00)
	9	nad 3 × 20 A do 3 × 25 A včetně	Kč/měsíc	**43,56**	(36,00)	**123,42**	(102,00)	**164,56**	(136,00)	**274,67**	(227,00)	**164,56**	(136,00)	**363,00**	(300,00)	**427,13**	(353,00)	**427,13**	(353,00)	**356,95**	(295,00)	**61,71**	(51,00)
	10	nad 3 × 25 A do 3 × 32 A včetně	Kč/měsíc	**55,66**	(46,00)	**158,51**	(131,00)	**210,54**	(174,00)	**350,90**	(290,00)	**210,54**	(174,00)	**464,64**	(384,00)	**546,92**	(452,00)	**546,92**	(452,00)	**456,17**	(377,00)	**78,65**	(65,00)
	11	nad 3 × 32 A do 3 × 40 A včetně	Kč/měsíc	**70,18**	(58,00)	**197,23**	(163,00)	**262,57**	(217,00)	**438,02**	(362,00)	**262,57**	(217,00)	**580,80**	(480,00)	**683,65**	(565,00)	**683,65**	(565,00)	**586,85**	(485,00)	**99,22**	(82,00)
	12	nad 3 × 40 A do 3 × 50 A včetně	Kč/měsíc	**87,12**	(72,00)	**246,84**	(204,00)	**329,12**	(272,00)	**548,13**	(453,00)	**329,12**	(272,00)	**726,00**	(600,00)	**855,47**	(707,00)	**855,47**	(707,00)	**880,88**	(728,00)	**123,42**	(102,00)
	13	nad 3 × 50 A do 3 × 63 A včetně	Kč/měsíc	**110,11**	(91,00)	**310,97**	(257,00)	**413,82**	(342,00)	**690,91**	(571,00)	**413,82**	(342,00)	**914,76**	(756,00)	**1 076,90**	(890,00)	**1 076,90**	(890,00)	**1 293,49**	(1 069,00)	**156,09**	(129,00)
	14	nad 3 × 63 A do 3 × 80 A včetně	Kč/měsíc	**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**2 141,70**	(1 770,00)	**-**	
	15	nad 3 × 80 A do 3 × 100 A včetně	Kč/měsíc	**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**3 953,07**	(3 267,00)	**-**	
	16	nad 3 × 100 A do 3 × 125 A včetně	Kč/měsíc	**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**8 156,61**	(6 741,00)	**-**	
	17	nad 3 × 125 A do 3 × 160 A včetně	Kč/měsíc	**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**13 882,33**	(11 473,00)	**-**	
	18	nad 3 × 160 A za každý 1 A	Kč/měsíc	**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**-**		**86,77**	(71,71)	**-**	
	19	nad 3 × 63 A za každý 1 A	Kč/měsíc	**1,74**	(1,44)	**4,94**	(4,08)	**6,57**	(5,43)	**10,96**	(9,06)	**6,57**	(5,43)	**14,52**	(12,00)	**17,10**	(14,13)	**17,10**	(14,13)	**-**		**2,47**	(2,04)
	20	nad 1 × 25 A za každý 1 A	Kč/měsíc	**0,58**	(0,48)	**1,65**	(1,36)	**2,19**	(1,81)	**3,65**	(3,02)	**2,19**	(1,81)	**4,84**	(4,00)	**5,70**	(4,71)	**5,70**	(4,71)	**28,92**	(23,90)	**0,82**	(0,68)
OSTATNÍ POPLATKY	21	**daň z elektřiny**	Kč/MWh	**34,24**	(28,30)	**34,24**	(28,30)	**34,24**	(28,30)	**34,24**	(28,30)	**34,24**	(28,30)	**34,24**	(28,30)	**34,24**	(28,30)	**34,24**	(28,30)	**34,24**	(28,30)	**34,24**	(28,30)
	22	**systémové služby**	Kč/MWh	**93,32**	(77,12)	**93,32**	(77,12)	**93,32**	(77,12)	**93,32**	(77,12)	**93,32**	(77,12)	**93,32**	(77,12)	**93,32**	(77,12)	**93,32**	(77,12)	**93,32**	(77,12)	**93,32**	(77,12)
	23	**činnost OTE**	Kč/měsíc	**6,15**	(5,08)	**6,15**	(5,08)	**6,15**	(5,08)	**6,15**	(5,08)	**6,15**	(5,08)	**6,15**	(5,08)	**6,15**	(5,08)	**6,15**	(5,08)	**6,15**	(5,08)	**6,15**	(5,08)
		podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE)																					
	24	podle jističe	Kč/A/počet fází	**16,06**	(13,27)	**16,06**	(13,27)	**16,06**	(13,27)	**16,06**	(13,27)	**16,06**	(13,27)	**16,06**	(13,27)	**16,06**	(13,27)	**16,06**	(13,27)	**16,06**	(13,27)	**16,06**	(13,27)
	25	podle spotřeby	Kč/MWh	**598,95**	(495,00)	**598,95**	(495,00)	**598,95**	(495,00)	**598,95**	(495,00)	**598,95**	(495,00)	**598,95**	(495,00)	**598,95**	(495,00)	**598,95**	(495,00)	**598,95**	(495,00)	**598,95**	(495,00)
CELKOVÁ CENA		**celková jednotková cena za elektřinu včetně daně z elektřiny a systémových služeb**																					
	26	vysoký tarif (řádky 1 + 4 + 21 + 22)	Kč/MWh	**5 239,84**	(4 330,45)	**4 557,99**	(3 766,93)	**4 636,64**	(3 831,93)	**3 220,83**	(2 661,84)	**4 300,26**	(3 553,93)	**2 845,15**	(2 351,36)	**2 691,48**	(2 224,36)	**2 594,68**	(2 144,36)	**2 509,50**	(2 073,97)	**5 824,95**	(4 814,01)
	27	nízký tarif (řádky 2 + 5 + 21 + 22)	Kč/MWh	**-**		**-**		**2 430,87**	(2 008,98)	**2 430,87**	(2 008,98)	**2 044,88**	(1 689,98)	**2 565,18**	(2 119,98)	**2 503,47**	(2 068,98)	**2 406,67**	(1 988,98)	**2 471,18**	(2 042,30)	**2 067,78**	(1 708,91)
	28	**měsíční platby**	Kč/měsíc	**řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23**																			
		poplatek na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE)																					
	29	podle jističe	Kč/měsíc	**řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet fází**																			
	30	podle spotřeby	Kč/MWh	**598,95** (495,00)																			
		VÝPOČET CELKOVÉ ROČNÍ PLATBY ZA ELEKTŘINU		**roční spotřeba v MWh ve vysokém tarifu × řádek 26** **+ roční spotřeba v MWh v nízkém tarifu × řádek 27** **+ 12 měsíců × řádek 28** + nižší výsledek z výpočtů POZE: podle jističe: **12 měsíců × řádek 29**, nebo podle spotřeby: **spotřeba v MWh ve vysokém a nízkém tarifu × řádek 30**																			

Příloha 9: Tabulka reálných návratností investic

Rodinný dům bez dotace PKK - Reálná návratnost investic					
Teplota studené vody 12 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 13 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 14 °C - Přímé zapojení	
Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K
12 let	13,5 let	12,5 let	14 let	13 let	**14,5 let**
Teplota studené vody 12 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 13 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 14 °C - Kombinované zapojení	
Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K
8,5 let	9,5 let	9 let	10 let	9,5 let	**10,5 let**
Rodinný dům s dotací PKK - Reálná návratnost investic					
Teplota studené vody 12 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 13 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 14 °C - Přímé zapojení	
Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K
9 let	10 let	9,25 let	10,5 let	9,5 let	**11 let**
Teplota studené vody 12 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 13 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 14 °C - Kombinované zapojení	
Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K
6,25 let	6,75	6,6 let	7,25	7 let	**7,75 let**

Rodinný dům bez dotace TČ - Reálná návratnost investic					
Teplota studené vody 12 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 13 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 14 °C - Přímé zapojení	
Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K
15 let	16,25 let	15,5 let	16,75 let	16 let	**17,5 let**
Teplota studené vody 12 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 13 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 14 °C - Kombinované zapojení	
Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K
11,5 let	12 let	11,75 let	12,5 let	12,25 let	**13 let**
Rodinný dům s dotací TČ - Reálná návratnost investic					
Teplota studené vody 12 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 13 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 14 °C - Přímé zapojení	
Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K
11,5 let	12,75 let	12 let	13 let	12,25 let	**13,75 let**
Teplota studené vody 12 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 13 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 14 °C - Kombinované zapojení	
Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K	Ochlazení 6 K	Ochlazení 7 K
8,5 let	9,25 let	9 let	9,75 let	9,25 let	**10 let**

Bytový dům bez dotace - Reálná návratnost investic					
Teplota studené vody 14 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 15 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 16 °C - Přímé zapojení	
Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K	Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K	Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K
9,75 let	11 let	10 let	11,25 let	10,25 let	**11,5 let**
Teplota studené vody 14 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 15 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 16 °C - Kombinované zapojení	
Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K	Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K	Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K
7,5 let	8 let	7,75	8,5	8 let	**9 let**
Bytový dům s dotací - Reálná návratnost investic					
Teplota studené vody 14 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 15 °C - Přímé zapojení		Teplota studené vody 16 °C - Přímé zapojení	
Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K	Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K	Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K
7 let	8 let	7,25 let	8,25 let	7,5 let	**8,5 let**
Teplota studené vody 14 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 15 °C - Kombinované zapojení		Teplota studené vody 16 °C - Kombinované zapojení	
Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K	Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K	Ochlazení 4 K	Ochlazení 5 K
5,5 let	6 let	5,75 let	6,25 let	6 let	**6,5 let**

Plavecký bazén - Reálná návratnost investic					
Teplota studené vody 10 °C - PŘÍMÉ ZAPOJENÍ		Teplota studené vody 11 °C - PŘÍMÉ ZAPOJENÍ		Teplota studené vody 12 °C - PŘÍMÉ ZAPOJENÍ	
Ochlazení 2 K	Ochlazení 3 K	Ochlazení 2 K	Ochlazení 3 K	Ochlazení 2 K	Ochlazení 3 K
1,4 let	1,55 let	1,45 let	1,6 let	1,5 let	**1,65 let**