

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

REKUPERACE TEPLA VE SPRCHÁCH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav techniky prostředí

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno studenta(ky): Miroslav MORONG

Studijní program: Strojírenství

Obor: Technika životního prostředí

Název česky: Rekuperace tepla ve sprchách

Název anglicky: Waste Heat Recovery in Showers

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

Rešerše lokálních rekuperačních výměníků tepla určených pro sprchové systémy. Rešerše hodnotících parametrů pro certifikaci sprchových rekuperačních výměníků dle PHi. Porovnání jednotlivých systémů a stanovení reálné doby návratnosti investic.

Rozsah grafických prací: Potřebná výkresová dokumentace

Rozsah průvodní zprávy: Podle potřeby k vyčerpání tématu

Seznam odborné literatury:

- 1) Brož. K.: Vytápění. Vydavatelství ČVUT, 2002. 205 s. ISBN 80-01-02536-5.
- 2) ČSN 75 6760 – Vnitřní kanalizace, ČNI 2014.
- 3) Passive House Institute – Component Database – Drain water heat recovery systém (www.passivehouse.com)

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.**

Konzultant: -

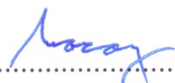
Datum zadání bakalářské práce: **18.4. 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **29.6. 2016**

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu a tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

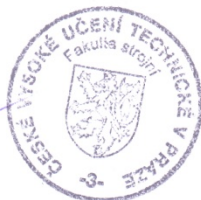
Diplomant (student) bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou (bakalářskou) práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové (bakalářské) práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne:


.....
student


.....
Doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.

Vedoucí ústavu




.....
Prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 18.4. 2016

Anotace

V důsledku ochrany životního prostředí a stále rostoucích cen za energii, se v dnešní době čím dál více mluví o zpětném získávání tepla. Aktuálním trendem je snižování tepelných ztrát domu, což snižuje potřebu tepla na vytápění. Díky tomu však roste podíl potřeby tepla na přípravu teplé vody. Tato rešeršní práce se zabývá rekuperací tepla z šedé odpadní vody, porovnáním různých typů rekuperačních výměníků na základě stanovených kritérií a jejich vhodnou instalací do vodovodní (resp. kanalizační) sítě.

Klíčová slova

rekuperační výměník tepla, rekuperace, účinnost, úspora energie, šedá odpadní voda, příprava teplé vody, předehřev vody, přestup tepla, ochrana životního prostředí

Abstract

Nowadays people discuss more retroactive heat obtaining as a result of the environment protection and energy price rises. A current trend is lowering of the house's thermal loss which lowers the need for heating. As a consequence the portion of heating need for preparation of warm water increases. This thesis deals with vapour recovery of heat from grey waste water, comparison of different types of vapour recovery interchangers based on defined criteria and their appropriate installation into the water (sewer) network.

Keywords

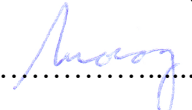
recuperative heat exchanger, recuperation, efficiency, energy saving, gray waste water, hot water preparation, preheating water, heat transfer, protecting the environment

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Rekuperace tepla ve sprchách“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 29.6.2016

Miroslav Morong

podpis:

Poděkování

Děkuji Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za pomoc při vedení bakalářské práce, za cenné rady a poskytnuté informace. Rád bych také poděkoval své rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

Obsah

1. Použitá značení veličin.....	7
2. Úvod.....	8
3. Rekuperace.....	9
3.1 Centrální rekuperace	10
3.2 Lokální rekuperace.....	11
3.2.1 Předehřev pro okamžitou spotřebu.....	12
3.2.2 Předehřev pro zdroj TV.....	13
3.2.3 Předehřev pro zdroj TV a současně také pro okamžitou spotřebu	14
4. Rekuperační výměníky tepla pro použití v odpadovém hospodářství	15
4.1 Rekuperační výměník – Recoh-tray	17
4.2 Rekuperační výměník – Recoh-vert.....	19
4.3 Rekuperační výměník – GFX G3-60	21
4.4 Rekuperační výměník – Duschwanne ECOshower	23
4.5 Rekuperační výměník – Joulia	25
4.6 Rekuperační výměník – Ivar.bee 1300.....	27
4.7 Rekuperační výměník – NELA	29
5. Výpočty tepelného výměníku	31
5.1 Výpočty při zapojení pro okamžitou spotřebu	31
5.1.1 Přehled výpočtových vztahů	31
5.1.2 Dosazení hodnot do vzorců a přehled výsledků.....	34
5.2 Výpočty při zapojení pro okamžitou spotřebu a současně pro zdroj TV	36
5.2.1 Přehled výpočtových vztahů	36
5.2.2 Dosazení hodnot do vzorců a přehled výsledků.....	38
5.3 Porovnání účinností a úspory energie v závislosti na typu instalace	41
6. Vícekriteriální rozhodování	42
6.1 Volba kritérií	42
6.2 Stanovení váhy kritérií	43
6.3 Stanovení pořadí variant	43
6.4 Vyhodnocení	45
7. Závěr	46
8. Zdroje.....	48

1. Použitá značení veličin

a	teplotní vodivost	m^2/s
c	měrná tepelná kapacita	$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$
t	teplota	$^{\circ}\text{C}$
\dot{C}	tepelná kapacita průtoku	W/K
\dot{Q}	tepelný výkon	W
\dot{V}	objemový průtok	m^3/s
η	účinnost rekuperačního výměníku	-
η^*	celková účinnost rekuperace	-
λ	součinitel tepelné vodivosti	$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$
ρ	hustota	kg/m^3
ψ	poměrná úspora	-

Indexy

SV	studená voda
TV	teplá voda
PV	předehřátá voda
OV	odpadní voda
mix	smíchaná voda (teplá, studená)
s	hodnota , kdy je zapojen výměník
bez	hodnota, bez zapojeného výměníku

2. Úvod

„Vodu neoceníme, dokud nám nevyschne studna a to platí o všem v životě“

Benjamin Franklin

Neustálé zdražování energie je výsledkem nástupu nových trendů šetrného a ekologického bydlení. Projektanti by měli hledat úspory nejen ve vytápění a chlazení budov, ale měli by se také zaměřit i na oblast vodního hospodářství budov.

Potřeba energie u starších domů je 80% pro vytápění a 20% pro přípravu teplé vody. Díky snižování tepelných ztrát domů je dnes u nových domů, či nově zrekonstruovaných, potřeba energie na vytápění srovnatelná s potřebou energie na přípravu teplé vody. Z toho nám vyplývá, že energie pro přípravu teplé vody tvoří značný podíl a nelze ji tedy přehlížet.

Z dosavadního vývoje lze předpokládat, že se podíl energie na přípravu teplé vody bude i nadále zvyšovat. V tuto chvíli má pro nás odpadní voda, obsahující velké množství energie, obrovský potenciál. Energie je totiž obvykle bez jakéhokoliv využití vypuštěna do kanalizace. Nechceme-li mařit toto nevyužité odpadní teplo, zavádíme zpětné získávání tepla - rekuperaci tepla z odpadní vody.

Cílem této bakalářské práce je nalézt, na základě vícekritériálního rozhodování, nejvýhodnější aplikaci lokálního rekuperačního výměníku tepla pro rodinný dům. Určit kritéria pro rozhodování a následně metodou pořadové funkce vybrat nejlepší variantu. Předpoklady této varianty musí být především co nejvyšší účinnost, tedy úspora energie, nízká investice a dlouhá životnost, což obecně vede k brzké návratnosti. Vhodnou aplikací je možné dosáhnout 40-50% úspory energie, kterou dokážeme využít pro predehřev studené vody, což vede k výraznému snížení spotřeby energie pro přípravu teplé vody.

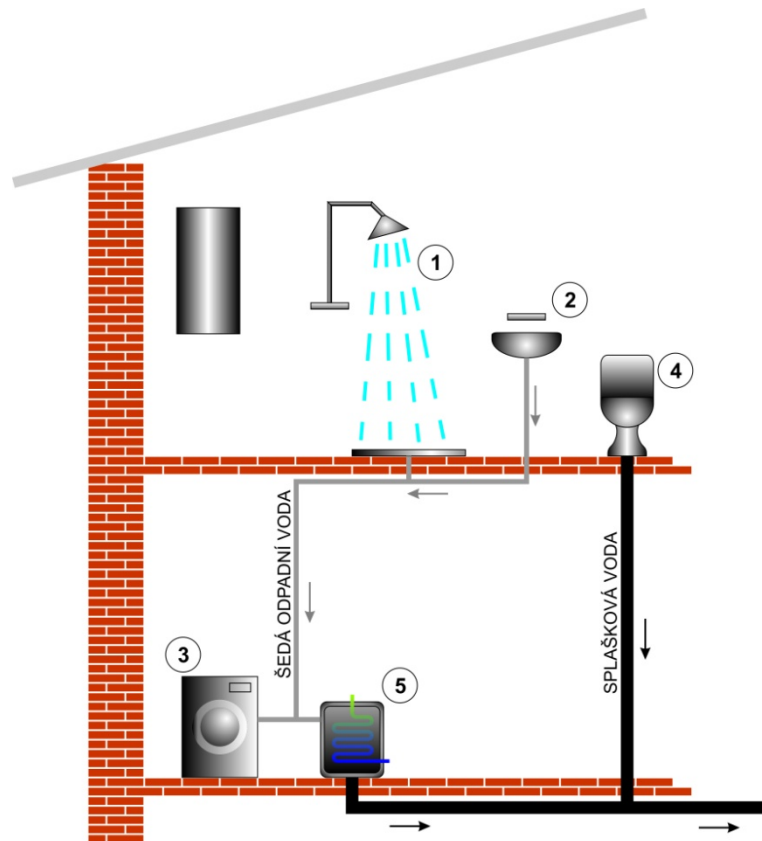
3. Rekuperace

Zpětné získávání tepla, kde dochází k přenosu tepelné energie přes pevnou stěnu, nazýváme rekuperace tepla. Při tomto principu nedochází k žádnému přenosu hmoty mezi přiváděným a odváděným médiem. Díky tomu je aplikace vhodná pro zpětné získávání tepla ze znečištěného média, bez rizika znečištění přiváděného média. Rekuperační výměníky mohou být deskové, trubkové, tepelné trubice s pomocnou teplonosnou látkou aj.

Zpětné získávání tepla je aplikace používaná v řadě technických oborů. Především ji můžeme nalézt ve vzduchotechnické instalaci, kde je teplo získáváno z odpadního vzduchu. Další aplikací je např. předhřev spalovacího vzduchu v kotlích, kde je vzduch, který je přiváděn do kotle, předehříván teplem odcházejících spalinových plynů. Lze tak ušetřit část energie, kterou bychom museli dodat jiným zdrojem tepla.

Oblastí s velkým potenciálem pro zpětné získávání tepla je právě vodní hospodářství budovy. Z energie, kterou jsme vynaložili na přípravu teplé vody, spotřebujeme asi jen 10 % a zbytek bez dalšího využití odtéká do kanalizace. Při zapojení rekuperačního výměníku jsme tak schopni předehřívát přiváděnou studenou vodu a snížit tak energii potřebnou pro přípravu teplé vody.

Výhodou rekuperace tepla z odpadní vody je, že není většinou potřeba další pomocné energie. Odpadní voda ve výměníku předává teplo přímo přiváděné studené vodě. Odpadní voda při odtékání žádnou další energii nespotebovává. Díky absenci mechanických součástí u rekuperace odpadní vody je náročnost na údržbu minimální a při použití kvalitních materiálů zaručuje dlouhou životnost. Tato aplikace má však i své nevýhody. V případě maximální snahy o využití co největšího potenciálu odpadní vody od zařizovacích předmětů v domě, je nutné oddělit šedou odpadní vodu, která je vhodná pro rekuperaci a splaškovou vodu z WC nebo kuchyně, která obsahuje exkrementy, či jiné látky, které by mohli zanášet výměník (Obr. 1). V podstatě se jedná o návrh tzv. čtvrtého systému kanalizační potrubní sítě.

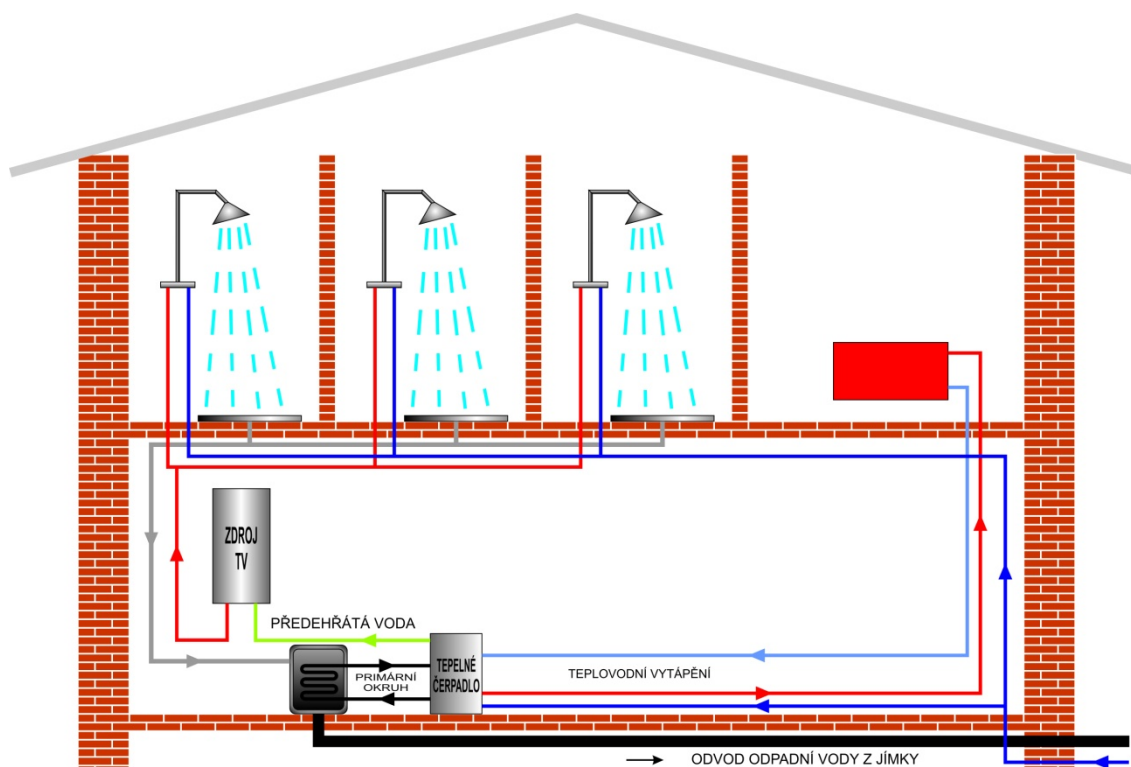


Obr. 1 – Schéma šedé odpadní vody od zařizovacích předmětů (1 – sprcha, 2 – umyvadlo, 3 – pračka), která je vhodná pro rekuperaci ve výměníku (5) a splaškové vody od zařizovacích předmětů (4 – WC), která pro rekuperaci vhodná není.

Návratnost investice do systému rekuperace odpadní vody je závislá na množství odpadní vody a na rozdílu teplot vody odpadní a přiváděné.

3.1 Centrální rekuperace

Centrální systémy jsou vhodné pro větší objekty, které produkují větší množství šedých odpadních vod. U těchto aplikací, kde je odběr vody kolísavý, se voda shromažďuje v akumulacní jímce, která může sloužit jako zdroj tepla pro primární okruh zdroje tepla např. tepelného čerpadla. Velkou výhodou tohoto uspořádání je velice jednoduchá konstrukce tepelného výměníku, který je možno řešit např. trubkovým meandrem a to v důsledku znamená nízké investiční náklady.



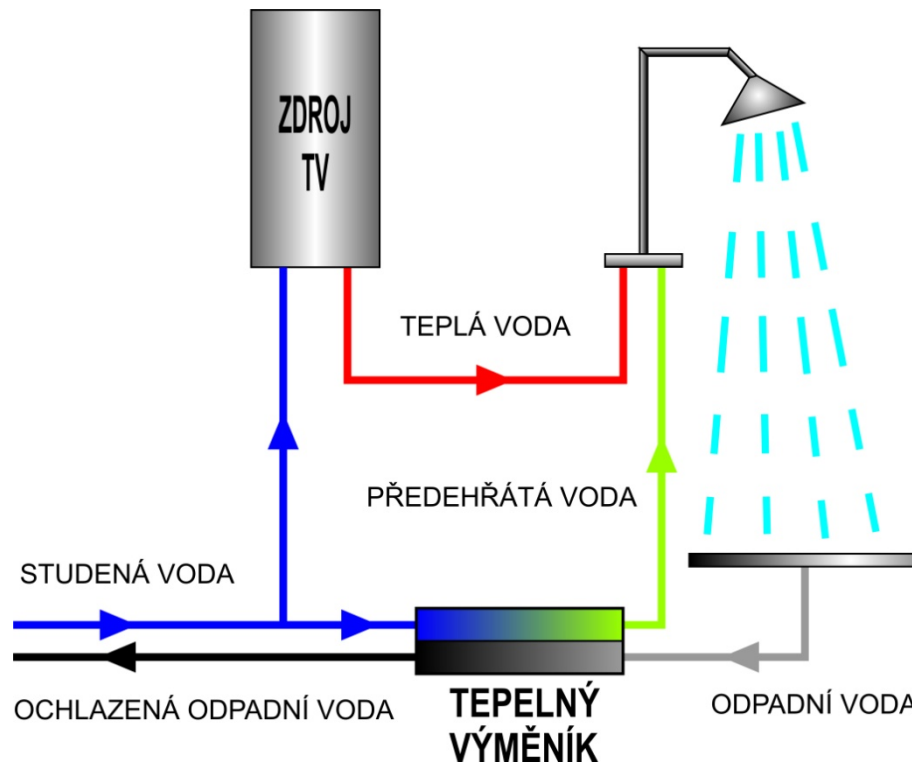
Obr. 2 – Centrální rekuperace s využitím tepelného čerpadla pro přehřev teplé vody a pro teplovodní vytápění

Úskalím tohoto řešení je, že nemůžeme vodu ochladit pod bod mrazu. Právě v případě využití jako zdroje tepla tepelného čerpadla nelze odebírat teplo z šedé vody bez kontroly teploty, aby jímka nezamrzla. Teplo z jímky se tedy odebírá jen při požadovaném průtoku a při požadované „cílové“ teplotě. Při překročení limitní teploty musíme tepelnému čerpadlu umožnit odebírat teplo z jiného zdroje. Popřípadě je nutné kombinovat tepelné čerpadlo s jiným zdrojem tepla. Samozřejmostí je využití přehřevu nejen pro přípravu teplé vody, ale i další technologie nutné k zajištění provozu domu např. vytápění, větrání, apod. [4]

3.2 Lokální rekuperace

Lokální systémy rekuperace tepla jsou založeny na principu odebírání tepla z odtékající vody při současném provozu zařízení (např. sprchy), které produkuje šedou odpadní vodu. Odebrané teplo pak přehřívá přiváděnou studenou vodu. Existují tři způsoby instalace systému, v závislosti na tom, jak je přehřívá voda zapojena. [4]

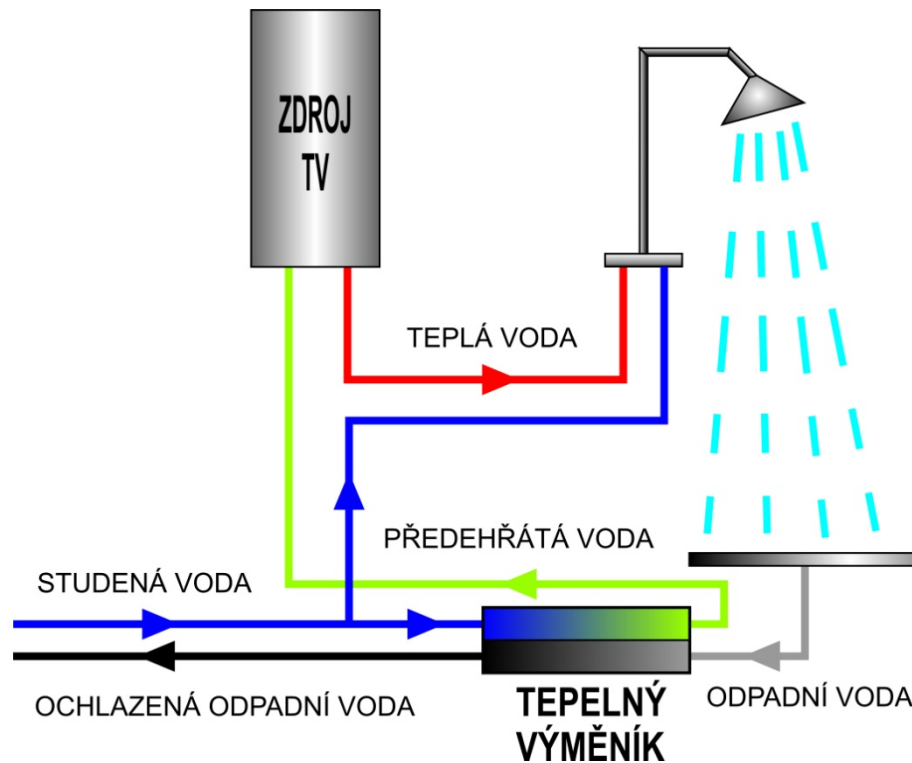
3.2.1 Přehřev pro okamžitou spotřebu



Obr. 3 – Schéma instalace přehřevu studené vody pro okamžitou spotřebu

Přívod předehřáté vody přímo do směšovací baterie daného zařízení je tím nejjednodušším řešením. Rekuperační výměník předehřívá pouze takové množství studené vody, které je zapotřebí při odběru v zařizovacím předmětu (např. ve sprše). Výhodou tohoto zapojení je, že předehříváme vodu vždy, když je potřeba. Časová prodleva, od které je předehřátá voda k dispozici, je závislá na délce potrubí a umístění tepelného výměníku. Předehřátou vodu lze přímo napojit na dané zařízení, což má za následek snížení spotřeby teplé vody. Ve směšovací baterii smícháváme menší poměr teplé vody ke studené vodě, protože předehřátá voda má vyšší teplotu, než pokud bychom rekuperaci nepoužili a do směšovací baterie přitékala studená voda. Tento systém má větší účinnost než předehřátí vody do zásobníku teplé vody, protože je umístěn blíže směšovací baterii a nedochází k vyšším tepelným ztrátám vlivem delší potrubní sítě a také v důsledku tepelné ztráty samotného zásobníku. Nevýhodou je, že průtok předehřívající vody skrze rekuperační výměník není konstantní, ale záleží na teplotě teplé vody a požadavku na teplotu a průtok míchané vody. Proto je vhodné např. u sprch používat termostatické směšovací baterie, které tento nedostatek částečně kompenzují. Bohužel to sebou, ale přináší zvýšené investiční náklady. [4] [13]

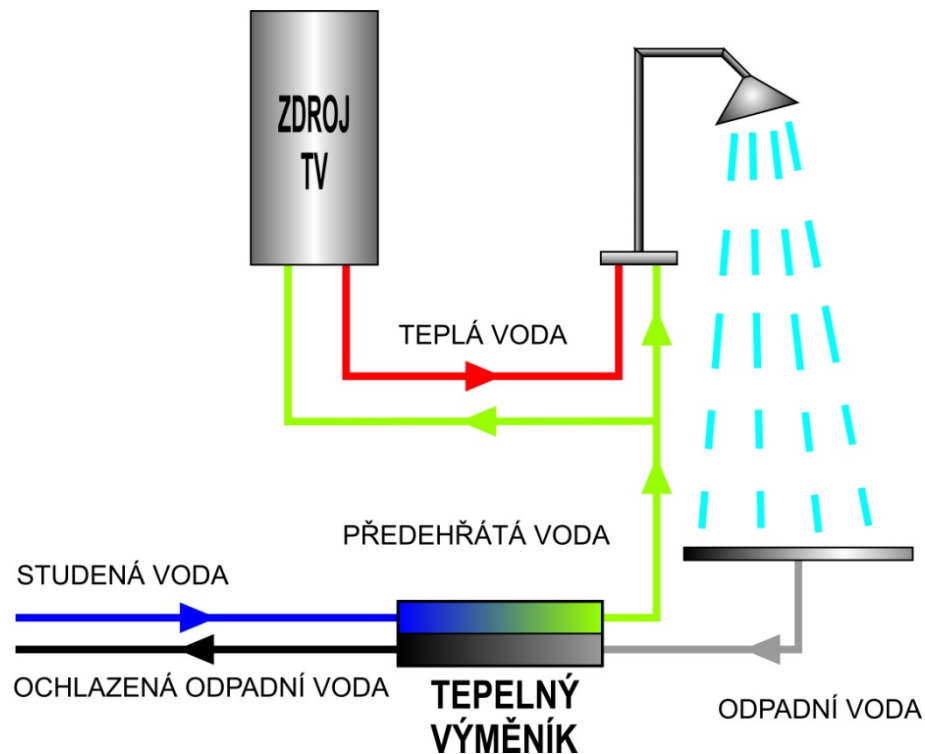
3.2.2 Předeřev pro zdroj TV



Obr. 4 – Schéma instalace předeřevu studené vody pro zdroj teplé vody

Předeřátou (rekuperovanou) vodu přivedeme přímo do přívodu vody zdroje tepla, který připravuje teplou vodu. Tu je nutné pak dále ohřát na požadovanou teplotu teplé vody. Díky tomu, že dodáváme předeřátou vodu, spotřebujeme méně energie k dosažení požadované teploty teplé vody na výstupu ze zdroje tepla (nebo např. zásobníku TV). U nepřímě ohříváných zásobníků teplé vody se dá s výhodou použít stratifikace vody do zásobníku, to znamená teplotu odvádět do místa ve výměníku, které má příslušnou teplotu. [4] [13]

3.2.3 Předehřev pro zdroj TV a současně také pro okamžitou spotřebu



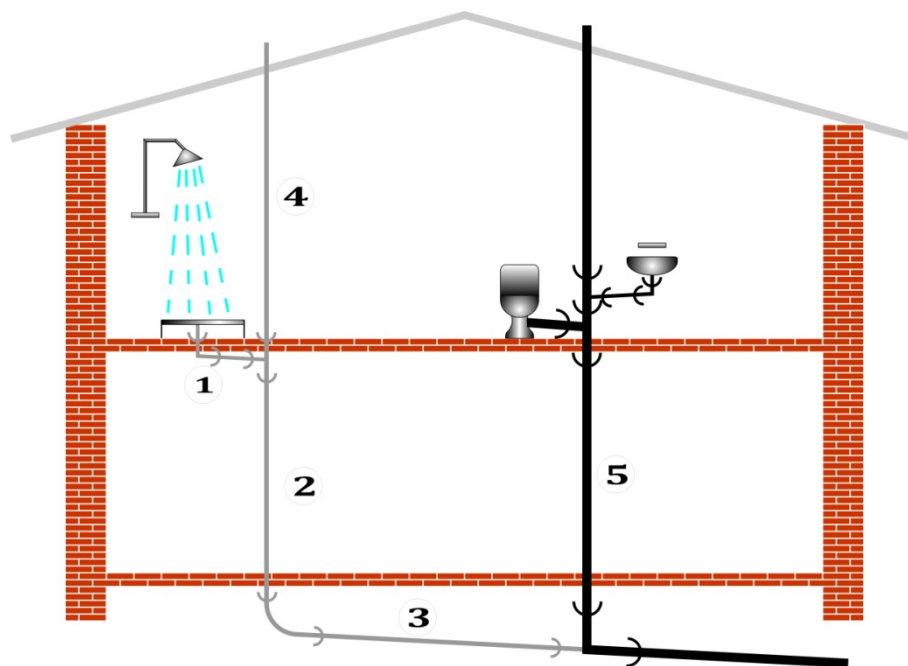
Obr. 5 – Schéma instalace předehřevu studené vody pro zdroj teplé vody a současně také pro okamžitou spotřebu

Předehřátou vodu vedeme do směšovací baterie daného zařízení a zároveň také do zásobníku teplé vody. Průtok odpadní vody je stejný jako průtok studené vody pro rekuperaci. V tomto případě systém dosahuje z hlediska úspory energie nejlepšího výkonu. Tepelný výměník, ale musí být na zvýšené podmínky průtoku na straně studené vody vhodně dimenzován, další vícenáklady jsou pak spojené s vyššími nároky při montáži zařízení a potrubní sítě. Obojí pak vede k vyšším pořizovacím nákladům systému. [13]

4. Rekuperační výměníky tepla pro použití v odpadovém hospodářství

Systémy využívající odpadní teplo ze splaškové kanalizace uvnitř budovy najdou uplatnění v každé budově se spotřebou teplé vody. Jak již bylo řečeno, při provozu malých rekuperačních systémů není vyžadována další pomocná energie. Provozní náklady této aplikace budou tedy minimální (údržba, čištění). V porovnání s velkými rekuperačními systémy se snáze navrhují a jejich realizace jsou jednodušší.

Vzhledem k možnostem objektu je důležité přihlížet i k obestavěnému prostoru rekuperačního výměníku, či k jeho umístění nebo poloze. Uložení tepelných výměníků může být horizontální nebo vertikální. Horizontální výměník je instalován na přípojovací potrubí a může být zabudován pod podlahou nebo přímo pod sprchovou vaničkou, zabírá poměrně malý prostor. Naproti tomu vertikální je instalován na svislé odpadní potrubí a je tedy nutná instalace do nižšího patra, než se nachází odtok splaškové vody zařizovacího předmětu. Je třeba dbát také na jejich umístění v objektu. Nejvýhodnější je instalovat výměník tepla těsně za zařizovací předmět (nejlépe do vytápěné místnosti), abychom tak co nejvíce zamezili tepelným ztrátám.



Obr. 6 – Schéma kanalizačního potrubí (1 - přípojovací, 2 – svislé odpadní, 3 – svodné, 4 – větrací, 5 – odpadní potrubí nevhodné pro rekuperaci)

Připojovací potrubí je potrubí, mezi zařizovacím předmětem nebo vpustí a svislým odpadním nebo svodným potrubím. Je vhodné pro instalaci horizontálního rekuperačního výměníku.

Odpadní potrubí je svislé, propojuje připojovací a svodné potrubí. Je vhodné pro aplikaci vertikálního rekuperačního výměníku. Z důvodu ochrany výměníku před zanášením je však třeba oddělit potrubí pro tzv. šedou odpadní vodu, tedy bez větších nečistot a tzv. splaškovou odpadní vodu, která může obsahovat exkrementy, či jiné znečišťující látky.

Větrací potrubí zajišťuje větrání kanalizace. Druhou funkcí větracího potrubí je umožnit přísátí vzduchu, které je nutné pro vyrovnání tlaku při průtoku vody v odpadním připojovacím potrubí a zabránit tak odsávání zápachových uzávěrek.

Svodné potrubí je horizontální a odvádí odpadní vodu z odpadních a připojovacích potrubí v nejnižším podlaží.

Při návrhu, či při rekonstrukci potrubní sítě kanalizace a vodovodu, je třeba dbát na kombinaci materiálů jednotlivých prvků. Např. měděné výměníky nejsou vhodné do vodovodních systémů z pozinkované oceli, z důvodu zvýšení pravděpodobnosti koroze kovových materiálů vlivem chemických reakcí mědi a zinku.

4.1 Rekuperační výměník – Recoh-tray

Požadovaný rozměr pro sprchový kout má velikost 900x900x35 mm. Výška výměníku je tedy minimální a je možné jej instalovat přímo pod sprchu. Je vhodný pro instalaci do přípojovacího potrubí. Vstup do vaničky by neměl být vyšší, než je tomu u běžných vaniček. Všechny části tepelného výměníku, které přicházejí do styku s vodou, jsou vyrobeny z mědi a víko výměníku je vyrobeno z plastu.

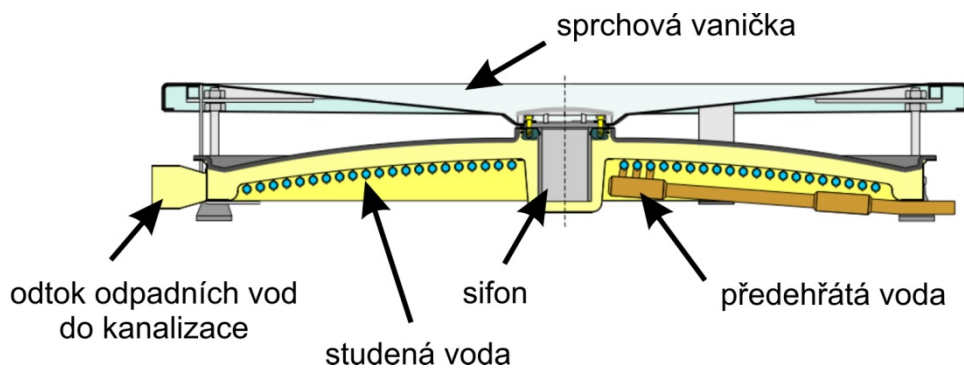


Obr. 7 – Tepelný výměník Recoh-tray

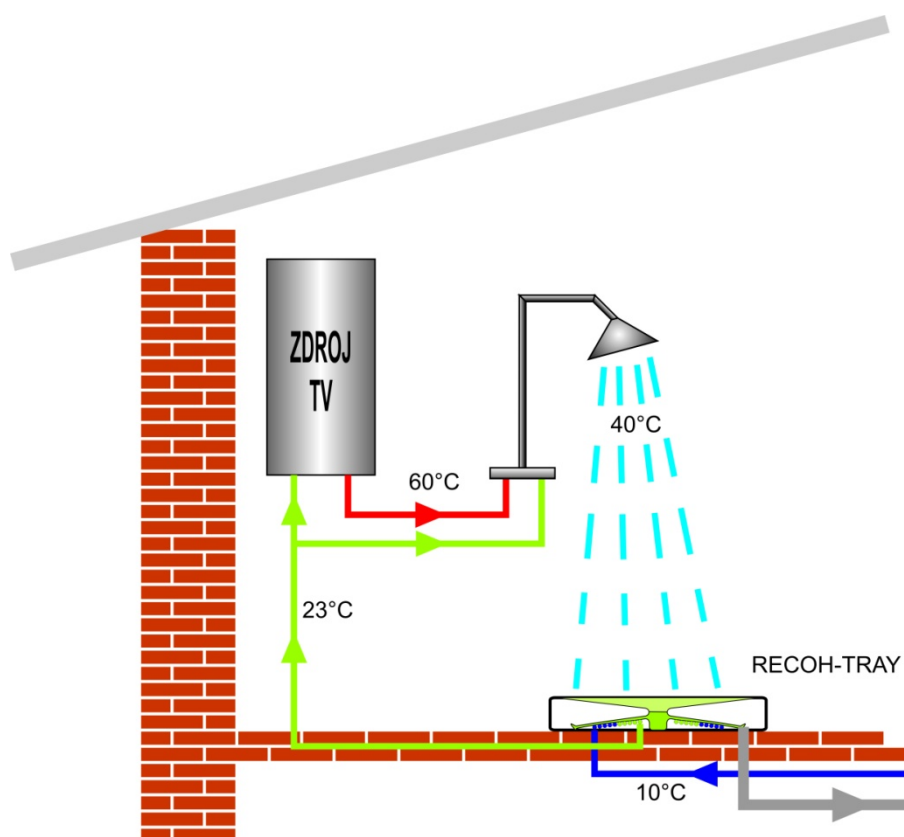


Obr. 8 – Teplosměnná spirála uvnitř výměníku

Odpadní voda proudí od středu výměníku k okraji v měděném plášti. Teplo se přenáší přes dvojitou bariéru do studené vody, která protéká měděnými trubkami pod pláštěm do směšovací baterie, či zásobníku TV. Střed výměníku je opatřen zápachovou uzávěrou. Rozměr připojení na přívodu studené vody je 15 mm a na odvodu ochlazené odpadní vody je 50 mm, což umožňuje připojení na standardní rozměry PP a PVC trubek pro vnitřní instalace. [7]



Obr. 9 – Detailní průřez tepelného výměníku RecoH-tray včetně vaničky



Obr. 10 – Schéma zapojení tepelného výměníku RecoH-tray do vodovodní soustavy (teploty vody uváděné na obrázku jsou převzaty z firemních podkladů [14])

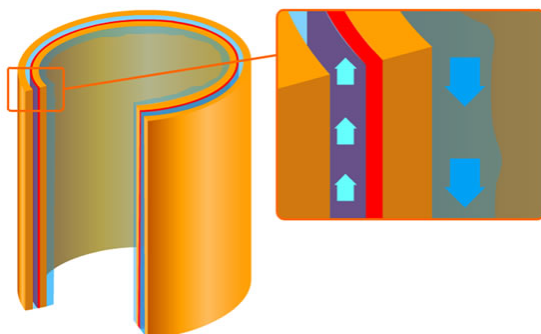
4.2 Rekuperační výměník – Recoh-vert

Výměník Recoh-vert je dlouhý 2100 mm a může být instalován pouze vertikálně. Proto je vhodný jen pro tepelnou rekuperaci vody v odpadním (vertikálním) potrubí. Tepelný výměník je vyrobený z mědi.

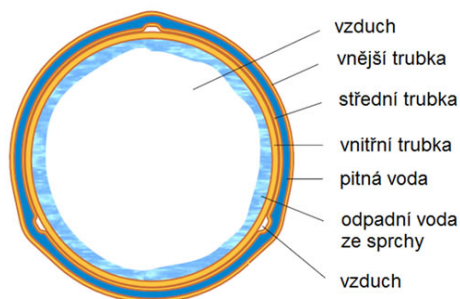


Obr. 11 – Průřez tepelného výměníku Recoh-vert

Výměník tepla se skládá ze tří trubek. Vnitřní trubka o průměru 50 mm, má funkci odpadního potrubí. Po její vnitřní ploše stéká odpadní voda ze sprchy a skrz dvojitou dělicí stěnu předává teplo přiváděné, protiproudě tekoucí studené vodě. Tenkostěnná trubka, tzv. obložení, je instalována kolem vnitřní trubky. Nepatrný prostor mezi obložení a vnitřní trubkou obsahuje vzduch. V případě, že u vnitřní trubky dojde k úniku, projeví se to odkapáváním odpadní vody z výměníku. Další funkcí je izolace systému proti hluku. Celý výměník je namontován v rámu. [8]

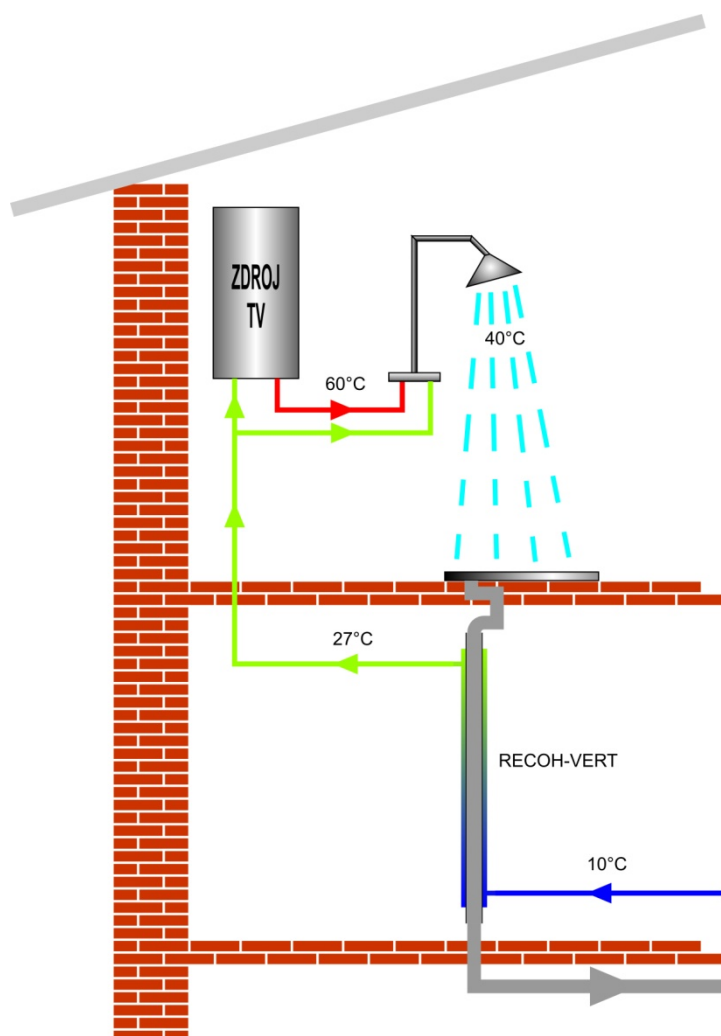


Obr. 12 – Detail jednotlivých vrstev výměníku



Obr. 13 – Detail průtoku odpadní vody a přiváděné studené vody

Výměník je součástí odpadního potrubí a je vhodné jej instalovat co nejbližší výstupu odpadních vod, kvůli snížení tepelných ztrát. Pro rozsáhlé aplikace lze použít jako velký paralelní výměník tepla. V závislosti na požadavcích je pak volen počet výměníků.



Obr. 14 – Schéma zapojení tepelného výměníku Recoh-vert do vodovodní soustavy (teploty vody uváděné na obrázku jsou převzaty z firemních podkladů [15])

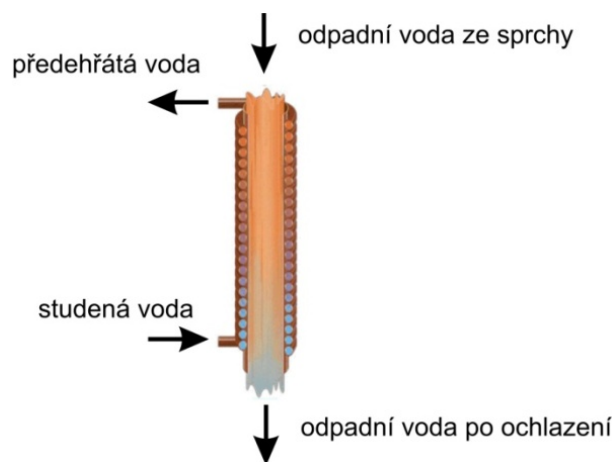
4.3 Rekuperační výměník – GFX G3-60

Výměník GFX G3-60 je dlouhý 1500 mm a průměr cívky je 100 mm. Jeho instalace je obdobná jako u výměníku Recoh-vert, je tedy možné jej instalovat pouze vertikálně, do nižších pater než je odtok odpadní vody ze sprchy. Tepelný výměník je vyrobený z měděných trubek.



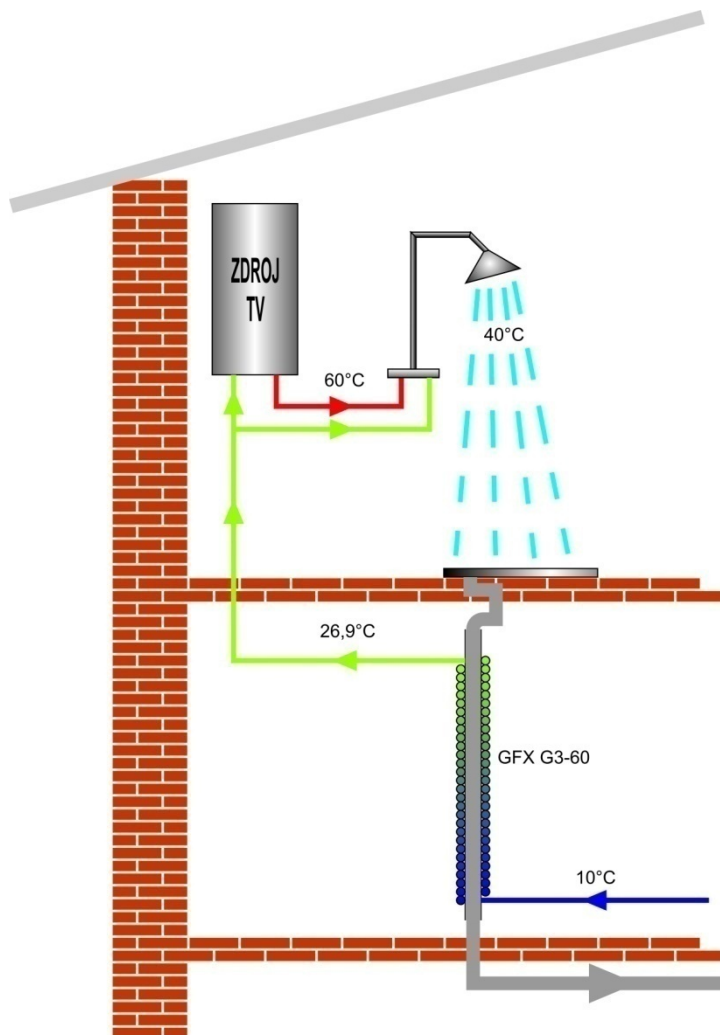
Obr. 15 – Tepelný výměník GFX G3-60

Vstupní studená voda protéká cívkou, která absorbuje teplo z odváděné vody, stékající po vnitřním povrchu odtokového potrubí. Ta potom ohřívá studenou vodu. Spojení kov na kov zabraňuje smíchání čisté vody s odtékající odpadní vodou. Rozměr připojení na přívodu studené vody je 15 mm (1/2“) a na odvodu ochlazené odpadní vody je 76 mm (4“). [9]



Obr. 16 – Průřez tepelného výměníku GFX G3-60

Výměník, podobně jako Recoh-vert, je instalován přímo na odpadní (vertikální) potrubí.



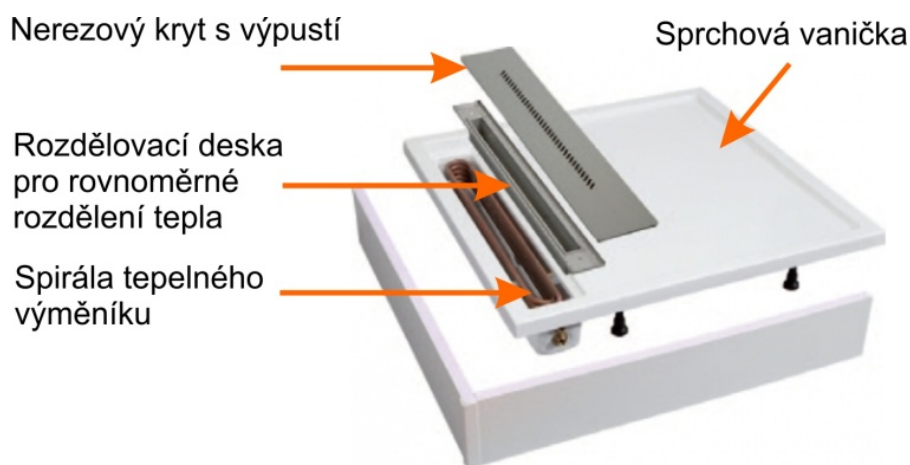
Obr. 17 – Schéma zapojení tepelného výměníku GFX G3-60 do vodovodní soustavy (teploty vody uváděné na obrázku jsou převzaty z firemních podkladů [16])

4.4 Rekuperační výměník – Duschwanne ECOshower

Sprchová vanička s tepelným výměníkem má velikost 900x900x160 mm a je přímo součástí sprchového koutu. Její instalace je stejně náročná, jako instalace běžné sprchové vaničky. Vanička je vyrobena ze sanitárního akrylátu. Kryt výpustí, integrovaná zápachová zábrana a rozdělovací deska jsou z nerezové oceli. Spirálový tepelný výměník je vyroben z mědi, z jednoho kusu a beze švů.

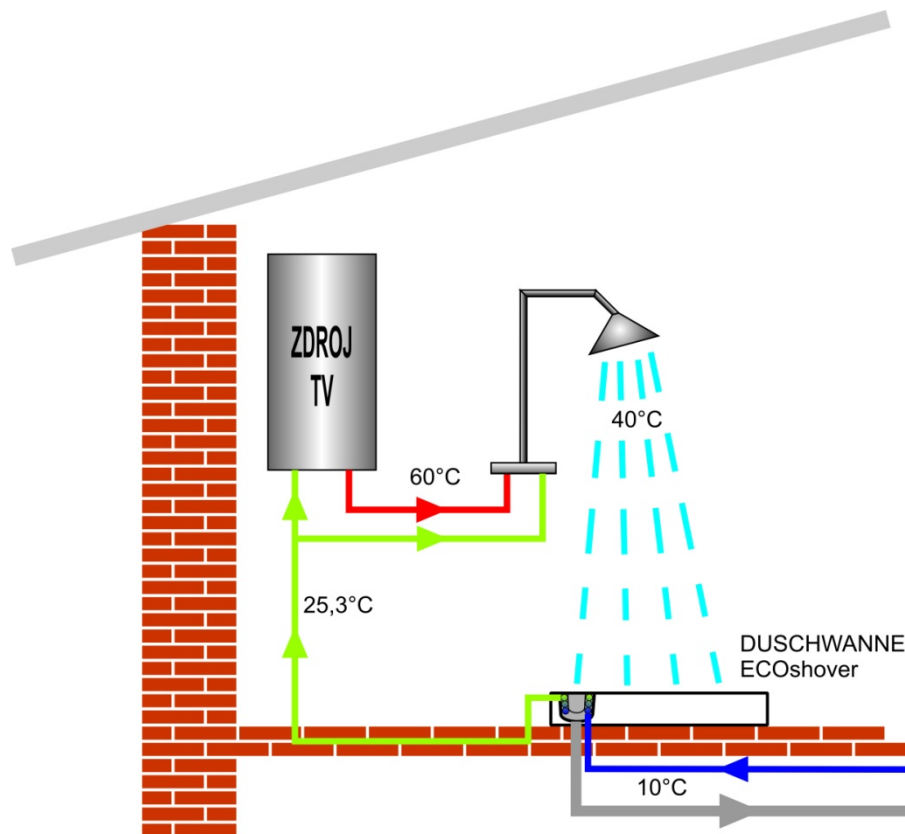


Obr. 18 – Tepelný výměník Duschwanne



Obr. 19 – Detail tepelného výměníku Duschwanne

Rekuperace tepla probíhá na principu protiproudu. Odváděná voda ze sprchy je pomocí rozváděcí desky rovnoměrně rozdělena na tepelný výměník. Teplo se pak předává studené vodě, která protéká spirálou tepelného výměníku, což je dvouplášťová měděná trubka. Rozměr přípojky vody je 15 mm a vypouštěcího otvoru 50 mm. [10]



Obr. 20 – Schéma zapojení tepelného výměníku Duschwanne do vodovodní soustavy (teploty vody uváděné na obrázku jsou převzaty z firemních podkladů [10])

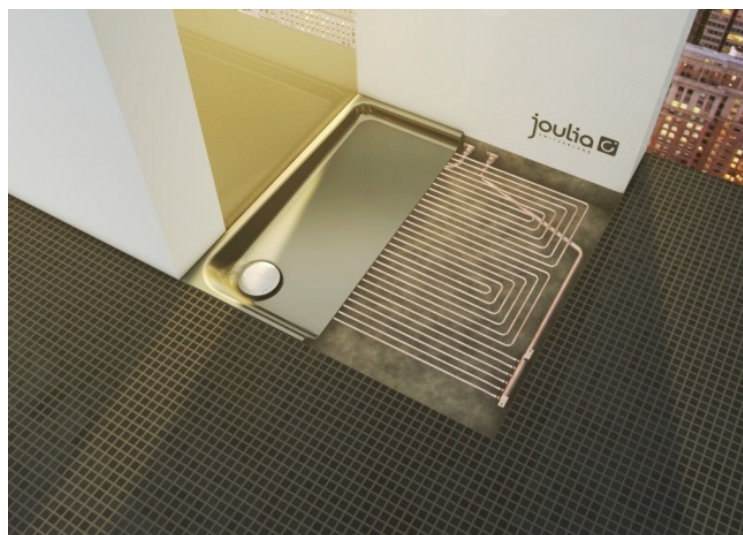
Jelikož je tepelný výměník součástí sprchové vaničky, je jeho umístění zcela ideální. Díky jednoduchosti instalace výměníku, je vhodný i pro menší rekonstrukce, bez složitých stavebních úprav.

4.5 Rekuperační výměník – Joulia

Tepelný výměník je přímo součástí sprchové vaničky. Rozměry vaničky jsou 900x900x55 mm. Pod akrylátovou deskou se nachází měděná deska, která je v kontaktu se spirálou měděné trubky.

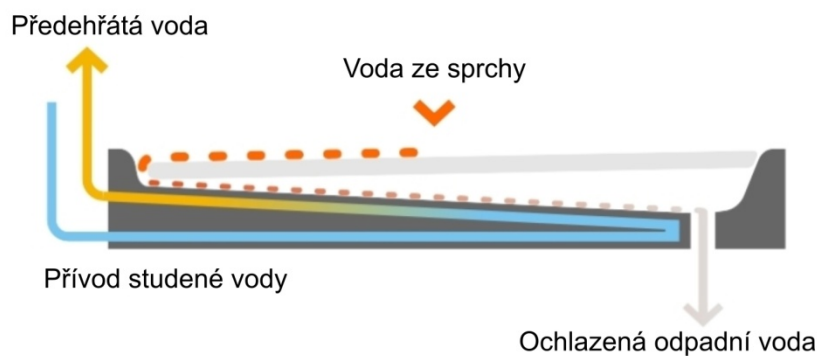


Obr. 21 – Tepelný výměník Joulia



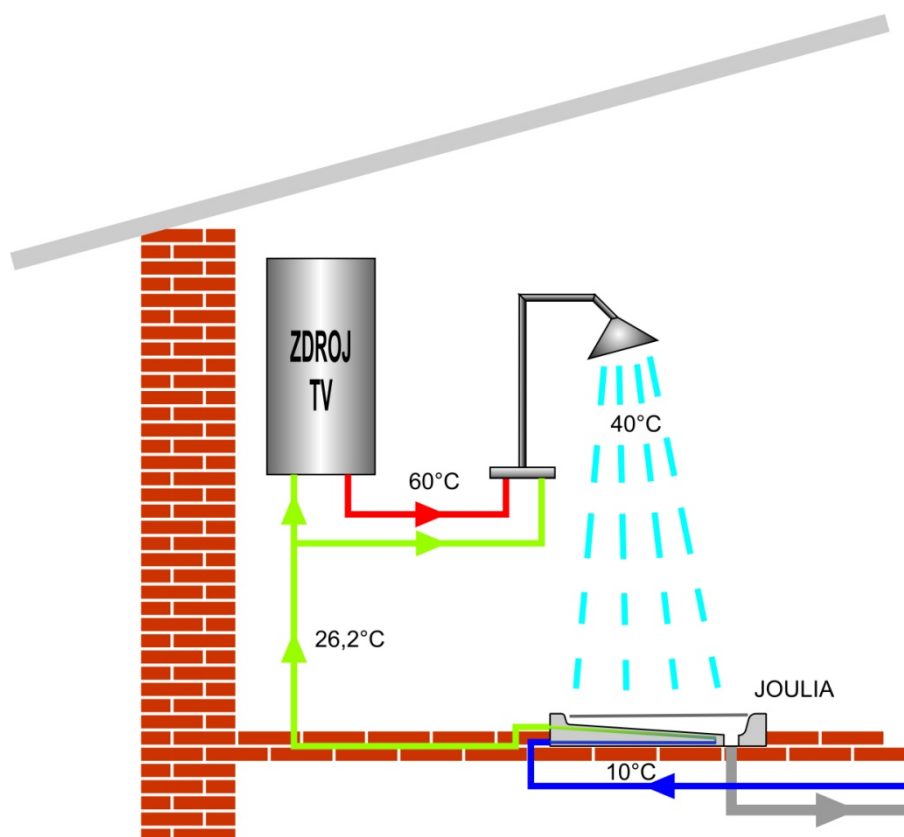
Obr. 22 – Detail tepelného výměníku Joulia

Odpadní voda ze sprchy odtéká spárkou mezi vrchní deskou a měděnou deskou výměníku. Teplá voda stéká po povrchu měděné desky do vpusti a současně ji ohřívá. Deska poté předává teplo studené vodě, která protéká měděnou trubkou pod deskou. Rozměry připojení na přívodu studené vody je 15 mm a na odvodu ochlazené odpadní vody je 50 mm. [12]



Obr. 23 – Detailní průřez tepelného výměníku Joulia

Díky své minimální výšce (bez sifonu) může být snadno instalován v úrovni podlahy, jelikož je výměník součástí sprchové vaničky.



Obr. 24 – Schéma zapojení tepelného výměníku Joulia do vodovodní soustavy (teploty vody uváděné na obrázku jsou převzaty z firemních podkladů [17])

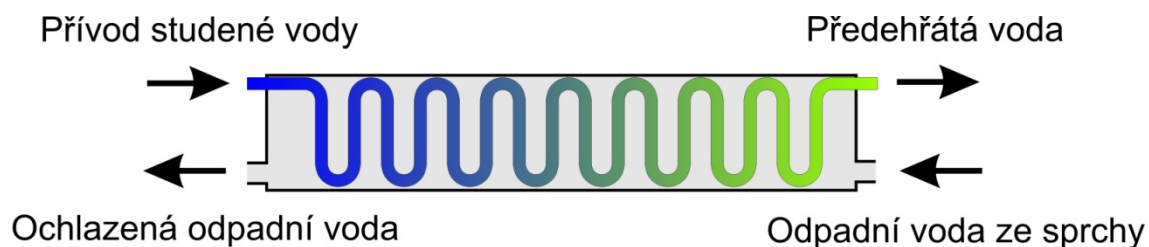
4.6 Rekuperační výměník – Ivar.bee 1300

Rozměry rekuperačního panelu Ivar.bee 1300 jsou 1430x280x81 mm. Výměník je vyrobený z plechu, z nerezové oceli a jeho vodotěsné pouzdro z plastu (polypropylenu). Konstrukce panelu eliminuje problémy s usazováním kalů a nečistot.



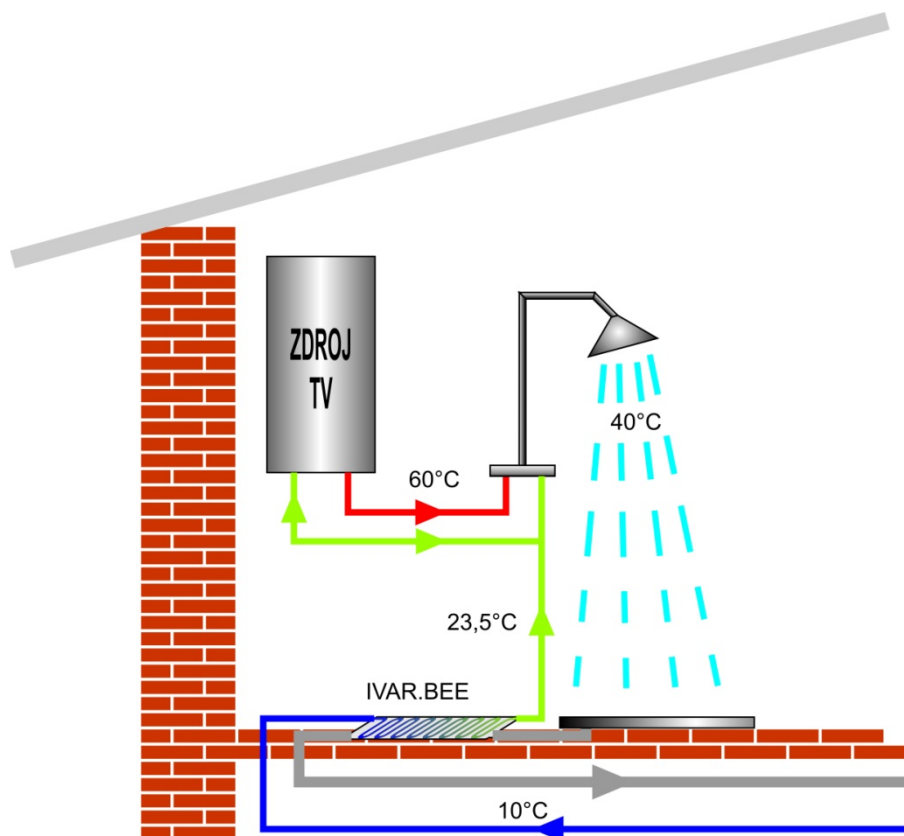
Obr. 25 – Tepelný výměník Ivar.bee

Teplá odpadní voda je svedena do plastového vodotěsného pouzdra rekuperačního panelu, v němž je umístěn nerezový výměník neboli teplosměnná plocha. Uvnitř speciálně tvarovaného výměníku je vedena protiproudem přívodní studená voda, která tak získává tepelnou energii z této odpadní vody. Připojení přívodu studené vody je 15 mm a připojení odpadu je DN 40. [11]



Obr. 26 – Detailní průřez tepelného výměníku Ivar.bee

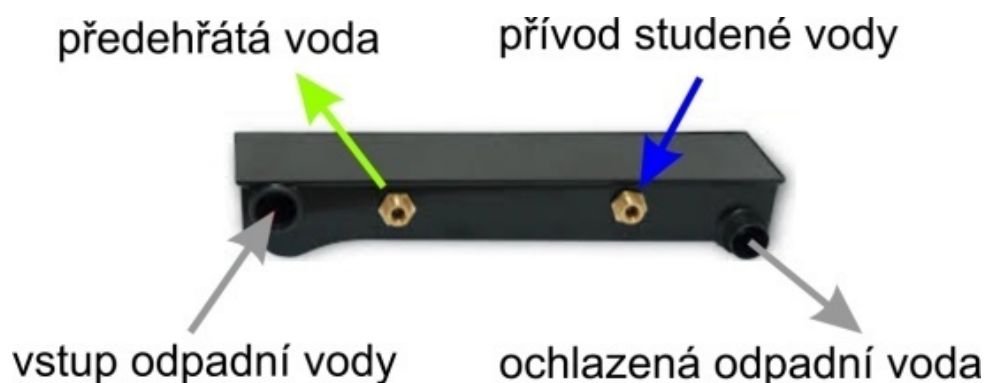
Umístění výměníku Ivar.bee je variabilní. Díky jeho minimální výšce ho můžeme umístit pod sprchovou vaničku nebo kdekoliv poblíž, dle našich možností. Snažíme se však dodržovat zásadu, aby byl výměník co nejbližže zařizovacím předmětům, z kterých využíváme odpadní teplo, tím se snažíme eliminovat zbytečné tepelné ztráty.



Obr. 27 – Schéma zapojení tepelného výměníku Ivar.bee do vodovodní soustavy (teploty vody uváděné na obrázku jsou převzaty z firemních podkladů [11])

4.7 Rekuperační výměník – NELA

Rozměry tepelného výměníku NELA jsou 552x144x87 mm. Pracovní část výměníku (absorbér) je tvořena deskou z nerezového plechu, která je opatřena vylisovaným žebrováním pro zvýšený přestup tepla. Povrch nerezového výměníku je speciálně leštěn, aby se snížila náchylnost k ulpívání nečistot.

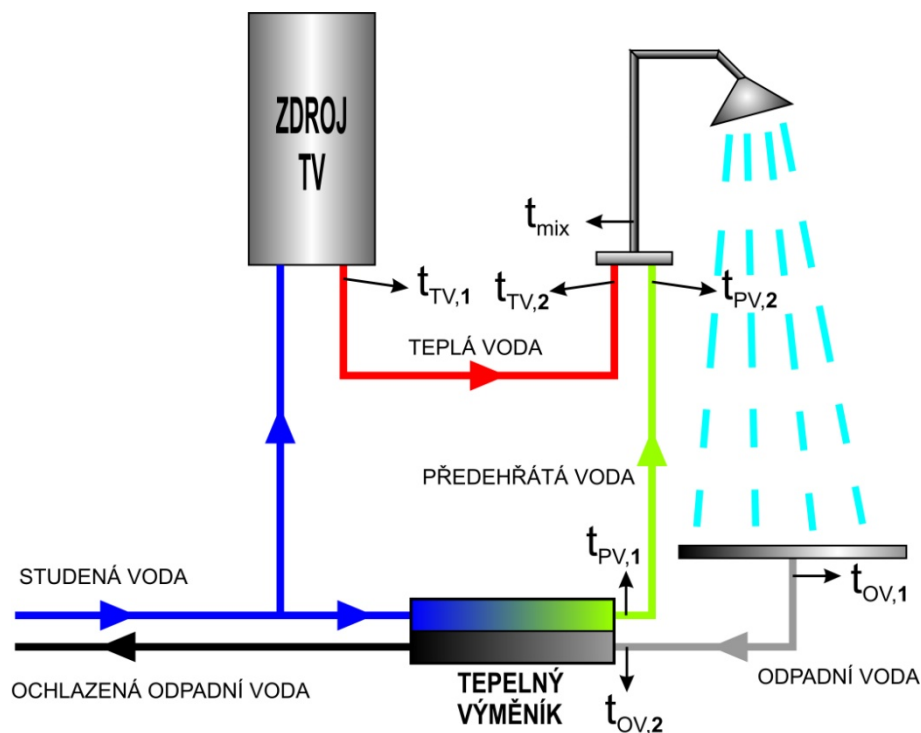


Obr. 28 – Detail tepelného výměníku NELA

Výměník pracuje na principu protiproudé výměny tepla mezi médii. Teplá odtékající voda z odpadního potrubí sprchové vaničky vtéká do sprchového výměníku, kde přímo odevzdává teplo studené vodě, která proudí soustavou kanálků uvnitř letovaných desek. Teplá odpadní voda stéká po povrchu tohoto absorbéru. Média se nesmísí. Vstup a výstup odpadní vody je připraven na běžné připojení plastové trubky DN 40. Studená voda má připojení 3/4“. [18]

5. Výpočty tepelného výměníku

5.1 Výpočty při zapojení pro okamžitou spotřebu



Obr. 30 – Přehled teplot při instalaci výměníku pro okamžitou spotřebu

Pro výpočet účinnosti rekuperačního výměníku uvažujeme konstantní teplotu přehřáté vody (resp. teplé, či odpadní). Ve skutečnosti jsou však teploty různé, a to v závislosti na tepelných ztrátách potrubí. Snížení tepelných ztrát u přehřáté a odpadní vody můžeme dosáhnout vhodným umístěním rekuperačního výměníku.

5.1.1 Přehled výpočtových vztahů

Základním kritériem pro hodnocení zpětného získávání tepla rekuperačním výměníkem je jeho účinnost, která se obecně stanoví jako [5]:

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\dot{C}_{SV} \cdot (t_{PV} - t_{SV})}{\dot{C}_{min} \cdot \Delta t_{max}} [-] \quad (5.1)$$

Pokud užíváme schéma na Obr. 3, potom menší z tepelných kapacit průtoků na obou stranách výměníku je tepelná kapacita průtoku studené vody. Z dosazení do vztahu vyplývá, že účinnost rekuperačního výměníku v tomto konkrétním případě sprchového rekuperačního výměníku pro odpadní vodu bude záviset pouze na poměru rozdílů teplot podle vztahu (za předpokladu, že se voda vystupující ze sprchové hlavice ochladí a teplota přivedené vody z odpadu do výměníku tak bude nižší):

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\dot{V}_{SV} \cdot \rho_{SV} \cdot c_{SV} \cdot (t_{PV} - t_{SV})}{\dot{V}_{SV} \cdot \rho_{SV} \cdot c_{SV} \cdot (t_{OV} - t_{SV})} = \frac{(t_{PV} - t_{SV})}{(t_{OV} - t_{SV})} [-] \quad (5.2)$$

Při sprchování v reálné situaci dochází k tepelným ztrátám (odpařování, počáteční ohřev sprchové vaničky). Pro zohlednění těchto ztrát v poměrné úspoře tepla je možné stanovit celkovou účinnost rekuperace vztahem:

$$\eta^* = \frac{(t_{PV} - t_{SV})}{(t_{mix} - t_{SV})} [-] \quad (5.3)$$

Při známé účinnosti rekuperačního výměníku lze stanovit teplotu předeřháté vody vstupující do termostatické baterie pro sprchu. Zvýšená teplota studené vody pak přímo ovlivňuje přítok teplé vody \dot{V}_{TV} o teplotě t_{TV} ze zdroje teplé vody pro dosažení požadované teploty t_{mix} za termostatickou baterií, a to podle vztahu:

$$\dot{V}_{TV} = \dot{V}_{mix} \cdot \frac{[t_{mix} - t_{SV} - \eta^* \cdot (t_{mix} - t_{SV})]}{[t_{TV} - t_{SV} - \eta^* \cdot (t_{mix} - t_{SV})]} [l/min] \quad (5.4)$$

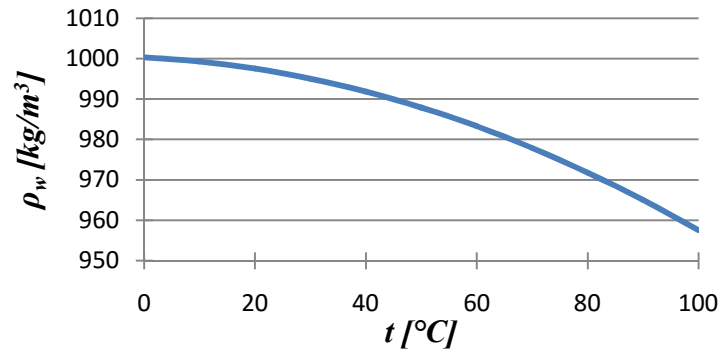
Vyhodnocení poměrné úspory tepla nasazením rekuperačního výměníku lze vyjádřit na základě kalorimetrické rovnice. Stanoví se množství tepla dodaného v teplé vodě na dosažení požadované teploty t_{mix} s instalovaným rekuperačním výměníkem Q_s (při účinnosti η) a bez rekuperačního výměníku Q_{bez} (při účinnosti $\eta = 0$) s použitím příslušných průtoků teplé vody stanovených podle vztahu (5.4):

$$\dot{Q}_s = \dot{V}_{TV(\eta^*)} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV}) [W] \quad (5.5)$$

$$\dot{Q}_{bez} = \dot{V}_{TV(\eta=0)} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV}) [W] \quad (5.6)$$

Hustota vody v závislosti na teplotě je dána vztahem [1]:

$$\rho_w = 1000 - (t - 4) \cdot [0,097 + 0,0036 \cdot (t - 4)] [kg/m^3] \quad (5.7)$$



Obr. 31 – Hustota vody ρ_w v závislosti na teplotě t

Měrná tepelná kapacita vody v závislosti na teplotě je dána vztahem:

$$c_w = \frac{\lambda_w}{\rho_w \cdot a_w} [J/kg \cdot K] \quad (5.8)$$

kde

$$\lambda_w = 0,55 + 2,63 \cdot 10^{-3}t - 15,7 \cdot 10^{-6}t^2 + 27,3 \cdot 10^{-9}t^3 [W/m \cdot K] \quad (5.9)$$

$$10^6 a_w = 0,131 + 0,58 \cdot 10^{-3}t - 2 \cdot 10^{-6}t^2 [m^2/s] \quad (5.10)$$

Úspora tepla ΔQ je rozdíl mezi množstvím tepla dodaného pro sprchu bez instalovaného rekuperačního výměníku a s instalovaným rekuperačním výměníkem. Vztažením úspory tepla k množství tepla dodaného bez použití výměníku lze vyjádřit poměrnou úsporou tepla, která je závislá pouze na průtocích teplé vody přitékajících do sprchové termostatické baterie:

$$\psi = \frac{\Delta Q}{Q_{bez}} = \frac{Q_{bez} - Q_s}{Q_{bez}} = 1 - \frac{Q_s}{Q_{bez}} = 1 - \frac{\dot{V}_{TV}(\eta^*)}{\dot{V}_{TV}(\eta=0)} [-] \quad (5.11)$$

Dosažením rovnice (5.3) do rovnice (5.11) lze poměrnou úsporou tepla vyjádřit přímo v závislosti na korigované celkové účinnosti rekuperace η^* a teplotních podmínkách jako:

$$\psi = 1 - \frac{(1 - \eta^*)}{\left[1 - \eta^* \cdot \frac{(t_{mix} - t_{SV})}{(t_{TV} - t_{SV})}\right]} [-] \quad (5.12)$$

5.1.2 Dosazení hodnot do vzorců a přehled výsledků

Veškeré ukázkové výpočty jsou provedeny pro jeden rekuperační výměník, konkrétně pro výměník NELA. Postup výpočtu je pro všechny výměníky stejný a jejich výsledky jsou uvedeny v Tab. 1.

Pro tepelný výměník NELA jsou dány tyto vstupní hodnoty:

$$t_{mix} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{TV} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{SV} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{PV} = 21,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{OV} = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{V}_{mix} = 8 \text{ l/min}$$

Po dosazení hodnot do vzorců dostaneme:

$$\eta = \frac{(21,1 - 10)}{(37 - 10)} = 0,411 \Rightarrow \eta = 41,1\%$$

$$\eta^* = \frac{(21,1 - 10)}{(40 - 10)} = 0,37 \Rightarrow \eta^* = 37\%$$

$$\dot{V}_{TV(\eta^*)} = 8 \cdot \frac{[40 - 10 - 0,37 \cdot (40 - 10)]}{[60 - 10 - 0,37 \cdot (40 - 10)]} = 3,887 \text{ l/min}$$

$$\rho = 1000 - (35 - 4) \cdot [0,097 + 0,0036 \cdot (35 - 4)] = 993,5 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,55 + 2,63 \cdot 10^{-3} \cdot 35 - 15,7 \cdot 10^{-6} \cdot 35^2 + 27,3 \cdot 10^{-9} \cdot 35^3 \\ &= 0,624 \text{ W/m.K} \end{aligned}$$

$$a = 0,131 + 0,58 \cdot 10^{-3} \cdot 35 - 2 \cdot 10^{-6} \cdot 35^2 = 0,149 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$c = \frac{0,634}{991,3 \cdot 0,152 \cdot 10^{-6}} = 4218 \text{ J/kg.K}$$

$$\dot{Q}_s = \frac{3,887}{60000} \cdot 993,5 \cdot 4219 \cdot (60 - 10) = 13578,4 \text{ W}$$

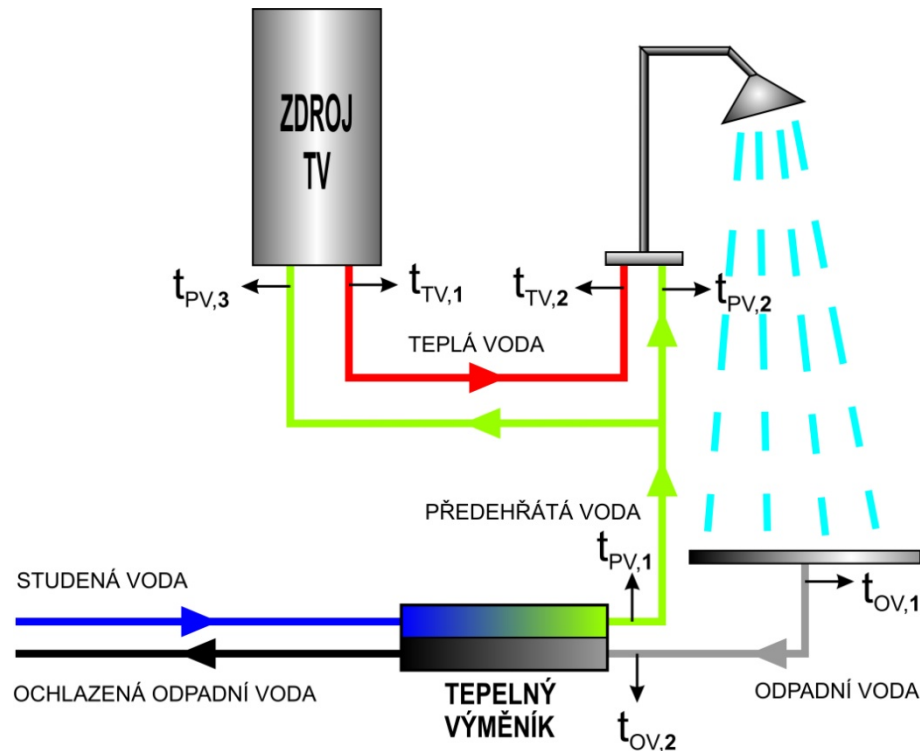
$$\dot{Q}_{bez} = \frac{4,8}{60000} \cdot 993,5 \cdot 4219 \cdot (60 - 10) = 16768,2 \text{ W}$$

$$\psi = 1 - \frac{(1 - 0,37)}{\left[1 - 0,37 \cdot \frac{(40-10)}{(60-10)}\right]} = 0,19 \Rightarrow \psi = 19\%$$

Tab. 1 – Přehled vstupních hodnot a výsledků výpočtů při zapojení tepelného výměníku pro okamžitou spotřebu

Typ výměníku	Duschwanne	Ivar.bee	NELA
t_{mix} [°C]	40	40	40
t_{TV} [°C]	60	60	60
t_{SV} [°C]	10	10	10
t_{PV} [°C]	25,3	23,5	21,1
t_{OV} [°C]	37	37	37
$\dot{V}_{TV,s}$ [l/min]	3,389	3,616	3,887
$\dot{V}_{TV,bez}$ [l/min]	4,8	4,8	4,8
η [%]	56,7	50,0	41,1
η^* [%]	51,0	45,0	37,0
\dot{Q}_s [W]	11839,2	12633,6	13578,4
\dot{Q}_{bez} [W]	16768,2	16768,2	16768,2
ψ [%]	29,4	24,7	19,0

5.2 Výpočty při zapojení pro okamžitou spotřebu a současně pro zdroj TV



Obr. 32 – Přehled teplot při instalaci výměníku pro okamžitou spotřebu a současně pro zdroj TV

Pro výpočet účinnosti rekuperačního výměníku uvažujeme konstantní teplotu přehřáté vody (resp. teplé, či odpadní). Ve skutečnosti jsou však teploty různé, a to v závislosti na tepelných ztrátách potrubí. Abychom ztráty minimalizovali, snažíme se rekuperační výměník a zdroj TV instalovat v bezprostřední blízkosti zařizovacího předmětu. Z Obr. 32 je patrné, že tepelné ztráty při zapojení pro okamžitou spotřebu současně s přehřevem pro zdroj TV budou vyšší.

5.2.1 Přehled výpočtových vztahů

Opět vycházíme z obecného vztahu pro stanovení účinnosti rekuperačního výměníku jako v (5.1):

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\dot{C}_{SV} \cdot (t_{PV} - t_{SV})}{\dot{C}_{min} \cdot \Delta t_{max}} [-]$$

Pokud užíváme schéma na Obr. 5, potom jsou tepelné kapacity průtoků na obou stranách výměníku stejné. Z dosazení do vztahu vyplývá, že účinnost rekuperačního výměníku v tomto konkrétním případě sprchového rekuperačního výměníku pro odpadní vodu bude záviset pouze na poměru rozdílů teplot podle vztahu (za předpokladu, že se voda vystupující ze sprchové hlavice ochladí a teplota přivedené vody z odpadu do výměníku tak bude nižší):

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\dot{V}_{SV} \cdot \rho_{SV} \cdot c_{SV} \cdot (t_{PV} - t_{SV})}{\dot{V}_{SV} \cdot \rho_{SV} \cdot c_{SV} \cdot (t_{OV} - t_{SV})} = \frac{(t_{PV} - t_{SV})}{(t_{OV} - t_{SV})} [-] \quad (5.13)$$

I zde při sprchování v reálné situaci dochází k tepelným ztrátám (odpařování, počáteční ohřev sprchové vaničky). Pro zohlednění těchto ztrát v poměrné úspoře tepla je možné stanovit celkovou účinnost rekuperace dle vztahu (5.3):

$$\eta^* = \frac{(t_{PV} - t_{SV})}{(t_{mix} - t_{SV})} [-]$$

Při známé účinnosti rekuperačního výměníku lze stanovit teplotu přehřáté vody vstupující do termostatické baterie pro sprchu. Zvýšená teplota studené vody pak přímo ovlivňuje přítok teplé vody \dot{V}_{TV} o teplotě t_{TV} ze zdroje teplé vody pro dosažení požadované teploty t_{mix} za termostatickou baterií, a to podle vztahu (5.4):

$$\dot{V}_{TV} = \dot{V}_{mix} \cdot \frac{[t_{mix} - t_{SV} - \eta^* \cdot (t_{mix} - t_{SV})]}{[t_{TV} - t_{SV} - \eta^* \cdot (t_{mix} - t_{SV})]} [l/min]$$

Vyhodnocení poměrné úspory tepla nasazením rekuperačního výměníku lze vyjádřit na základě kalorimetrické rovnice. Stanoví se množství tepla dodaného v teplé vodě na dosažení požadované teploty t_{mix} s instalovaným rekuperačním výměníkem Q_s (při účinnosti η) a bez rekuperačního výměníku Q_{bez} (při účinnosti $\eta = 0$) dle (5.6) s použitím příslušných průtoků teplé vody stanovených podle vztahu (5.4). Zde nastává hlavní rozdíl mezi zapojením pro okamžitou spotřebu a zapojením pro okamžitou spotřebu společně se zásobníkem TV. Vstupující voda do zásobníku je již přehřátá, sníží se tedy potřeba energie na ohřátí teplé vody na požadovanou teplotu:

$$\dot{Q}_s = \dot{V}_{TV(\eta^*)} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{PV}) [W] \quad (5.14)$$

$$\dot{Q}_{bez} = \dot{V}_{TV(\eta=0)} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV}) [W]$$

Úspora tepla ΔQ je pak rozdíl mezi množstvím tepla dodaného pro sprchu bez instalovaného rekuperačního výměníku a s instalovaným rekuperačním výměníkem. Vztažením úspory tepla k množství tepla dodaného bez použití výměníku lze vyjádřit poměrnou úsporou tepla podle vztahu:

$$\psi = \frac{\Delta Q}{Q_{bez}} = \frac{Q_{bez} - Q_s}{Q_{bez}} = 1 - \frac{Q_s}{Q_{bez}} [-] \quad (5.15)$$

zde nelze poměrná úspora vyjádřit pouze na průtocích teplé vody jako ve vztahu (5.11).

5.2.2 Dosazení hodnot do vzorců a přehled výsledků

Veškeré ukázkové výpočty jsou opět provedeny pro jeden rekuperační výměník, konkrétně pro výměník NELA. Postup výpočtu je pro všechny výměníky stejný a jejich výsledky jsou uvedeny v Tab. 2.

Pro tepelný výměník NELA jsou dány tyto vstupní hodnoty:

$$t_{mix} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{TV} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{SV} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{PV} = 17,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{OV} = 37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{V}_{mix} = 8 \text{ l/min}$$

Po dosazení hodnot do vzorců dostaneme:

$$\eta = \frac{(17,8 - 10)}{(37 - 10)} = 0,289 \Rightarrow \eta = 28,9\%$$

$$\eta^* = \frac{(17,8 - 10)}{(40 - 10)} = 0,26 \Rightarrow \eta^* = 26 \%$$

$$\dot{V}_{TV(\eta^*)} = 8 \cdot \frac{[40 - 10 - 0,26 \cdot (40 - 10)]}{[60 - 10 - 0,26 \cdot (40 - 10)]} = 4,209 \text{ l/min}$$

$$\rho_s = 1000 - (38,9 - 4) \cdot [0,097 + 0,0036 \cdot (38,9 - 4)] = 992,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{bez} = 1000 - (35 - 4) \cdot [0,097 + 0,0036 \cdot (35 - 4)] = 993,5 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}\lambda_s &= 0,55 + 2,63 \cdot 10^{-3} \cdot 38,9 - 15,7 \cdot 10^{-6} \cdot 38,9^2 + 27,3 \cdot 10^{-9} \cdot 38,9^3 \\ &= 0,630 \text{ W/m.K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{bez} &= 0,55 + 2,63 \cdot 10^{-3} \cdot 35 - 15,7 \cdot 10^{-6} \cdot 35^2 + 27,3 \cdot 10^{-9} \cdot 35^3 \\ &= 0,624 \text{ W/m.K}\end{aligned}$$

$$a_s = 0,131 + 0,58 \cdot 10^{-3} \cdot 38,9 - 2 \cdot 10^{-6} \cdot 38,9^2 = 0,151 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$a_{bez} = 0,131 + 0,58 \cdot 10^{-3} \cdot 35 - 2 \cdot 10^{-6} \cdot 35^2 = 0,149 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$c_s = \frac{0,630}{992,2 \cdot 0,151 \cdot 10^{-6}} = 4219 \text{ J/kg.K}$$

$$c_{bez} = \frac{0,624}{993,5 \cdot 0,149 \cdot 10^{-6}} = 4219 \text{ J/kg.K}$$

$$\dot{Q}_s = \frac{4,209}{60000} \cdot 992,2 \cdot 4219 \cdot (60 - 17,8) = 12390,8 \text{ W}$$

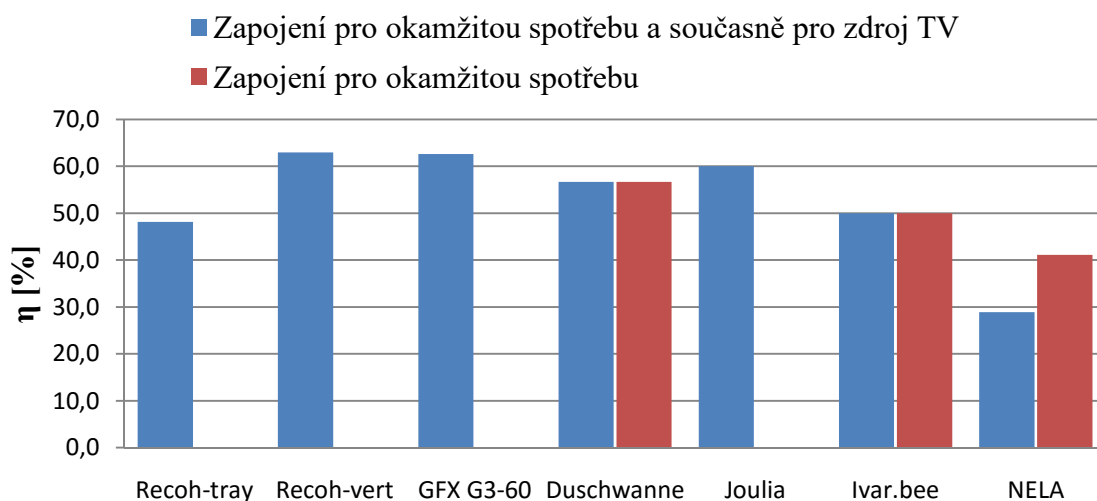
$$\dot{Q}_{bez} = \frac{4,8}{60000} \cdot 993,5 \cdot 4219 \cdot (60 - 10) = 16768,2 \text{ W}$$

$$\psi = 1 - \frac{12390,8}{16768,2} = 0,261 \Rightarrow \psi = 26,1 \%$$

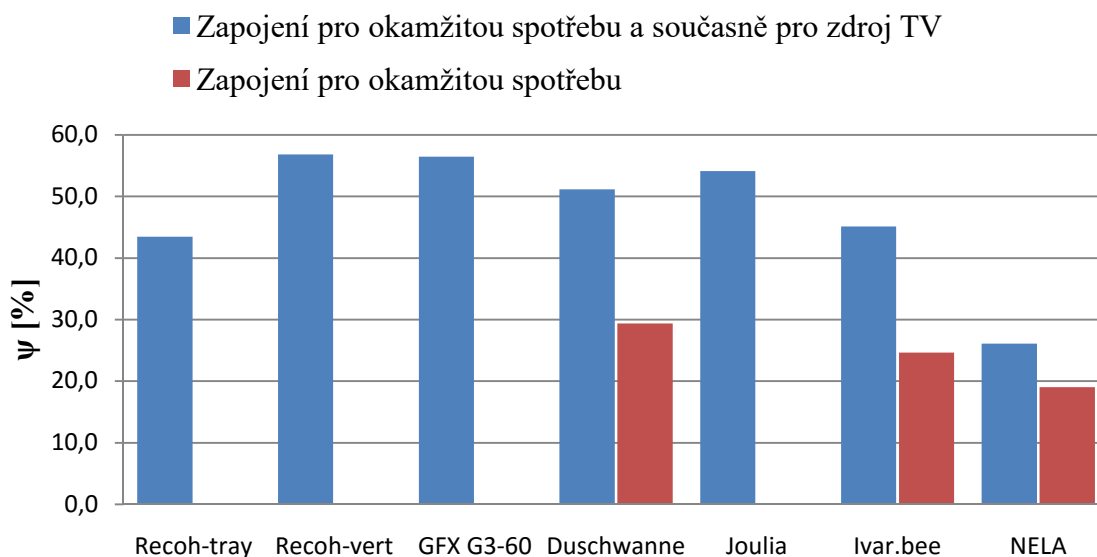
Tab. 2 – Přehled vstupních hodnot a výsledků výpočtů při zapojení tepelného výměníku pro okamžitou spotřebu a současně pro zásobník TV

Typ výměníku	Recoh-tray	Recoh-vert	GFX G3-60	Duschwanne	Joulia	Ivar.bee	NELA
t_{mix} [°C]	40	40	40	40	40	40	40
t_{TV} [°C]	60	60	60	60	60	60	60
t_{SV} [°C]	10	10	10	10	10	10	10
t_{PV} [°C]	23	27	26,9	25,3	26,2	23,5	17,8
t_{OV} [°C]	37	37	37	37	37	37	37
$\dot{V}_{TV,s}$ [l/min]	3,676	3,152	3,166	3,389	3,266	3,616	4,209
$\dot{V}_{TV,bez}$ [l/min]	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
η [%]	48,1	63,0	62,6	56,7	60,0	50,0	28,9
η^* [%]	43,3	56,7	56,3	51,0	54,0	45,0	26,0
\dot{Q}_s [W]	9478,6	7242,2	7298,0	8192,2	7689,2	9198,8	12390,8
\dot{Q}_{bez} [W]	16768,2	16768,2	16768,2	16768,2	16768,2	16768,2	16768,2
ψ [%]	43,5	56,8	56,5	51,1	54,1	45,1	26,1

5.3 Porovnání účinností a úspory energie v závislosti na typu instalace



Obr. 33 – Porovnání účinnosti rekuperačních výměníků v závislosti na typu instalace



Obr. 34 – Porovnání úspory energie rekuperačních výměníků v závislosti na typu instalace

6. Vícekriteriální rozhodování

6.1 Volba kritérií

Vícekriteriální rozhodování je založeno na volbě nejvhodnější varianty při použití dvou nebo více hodnotících kritérií. Umožňuje stanovit pořadí významnosti jednotlivých variant na základě jejich užítivosti, která je vyjádřena pomocí určitých kritérií [3]. Zvolená kritéria pro výběr tepelného výměníku:

Cena – pořizovací náklady samotného výměníku

Tab. 3 – Přehled cen rekuperačních výměníků

Typ výměníku	Originální cena	Přibližná cena v Kč
Recoh - tray	799,2 £	27 000
Recoh – vert	470 £	15 900
GFX G3-60	530 \$	13 000
Duschwanne	1460 €	39 700
Joulia	2710 CHF	68 000
Ivar.bee 1300	21900 Kč	21 900
NELA	6800 Kč	6 800

Úspora – dosahovaná úspora na základě vhodně zvolené instalace, při které dosahujeme optimálních podmínek

Prostor – jde o obestavěný prostor, který je nutný pro dodržení daných požadavků (dostatečný prostor pro instalaci nebo případnou údržbu)

Vzdálenost – účinnost rekuperace je mimo jiné závislá na umístění tepelného výměníku od zařizovacího předmětu, vlivem tepelných ztrát v potrubní síti

Variabilita – možnost paralelního (resp. sériového) zapojení výměníku u soustav s velkým průtokem

Vzhled – schopnost výměníků zakomponovat do interiéru místnosti tak, aby neovlivnil požadavky zákazníka (např. bezbariérový sprchový kout)

6.2 Stanovení váhy kritérií

Stanovení důležitosti jednotlivých kritérií metodou pořadí, kdy nejdůležitější kritérium dostane nejvyšší pořadí, je uvedeno v Tab. 4.

$$\text{váha kritéria} = \frac{\text{pořadí kritéria}}{\sum \text{hodnot pořadí}} \quad (6.1)$$

$$\text{váha kritéria} = \frac{6}{21} = 0,286$$

Tab. 4 – Stanovení váhy kritéria metodou pořadí

Kritérium	Cena	Úspora	Prostor	Vzdálenost	Variabilita	Vzhled	Σ
Pořadí	6	5	4	2	1	3	21
Váha	0,286	0,238	0,190	0,095	0,048	0,143	1

6.3 Stanovení pořadí variant

Tab. 5 – Ohodnocení jednotlivých variant pomocí metody pořadové funkce

Kritérium	Cena	Úspora	Prostor	Vzdálenost	Variabilita	Vzhled
Recoh-tray	3	2	7	7	6	6
Recoh- -vert	5	7	4	5	7	3
GFX G3-60	6	6	3	5	7	3
Duschwanne	2	4	5	7	6	4
Joulia	1	5	7	7	6	7
Ivar.bee	4	3	6	6	7	5
NELA	7	1	7	7	7	6

Pořadí variant určujeme podle hodnot jednotlivých kritérií. Pořadí vynásobíme váhou příslušného kritéria a vzniká tzv. dílčí agregovaná hodnota. Poté provedeme součet dílčích agregovaných hodnot u dané varianty. Nejvýhodnější varianta je varianta s nejvyšší hodnotou agregovaného kritéria

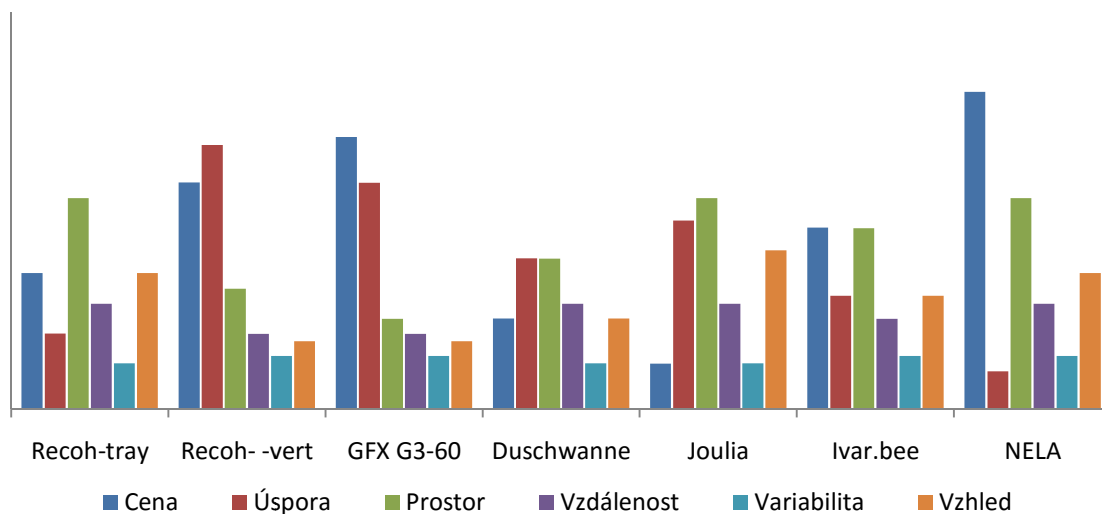
$$\text{dílčí agregovaná hodnota} = \text{hodnota pořadí varianty} \cdot \text{váha kritéria (6.2)}$$

$$\text{dílčí agregovaná hodnota} = 3 \cdot 0,286 = 0,858$$

Tab. 6 – Určení agregovaného kritéria a výsledného pořadí variant

Kritérium	Cena	Úspora	Prostor	Vzdálenost	Variabilita	Vzhled	Σ	Pořadí
Recoh-tray	0,858	0,476	1,330	0,665	0,288	0,858	4,475	6.
Recoh- -vert	1,430	1,666	0,760	0,475	0,336	0,429	5,096	2.
GFX G3-60	1,716	1,428	0,570	0,475	0,336	0,429	4,954	3.
Duschwanne	0,572	0,952	0,950	0,665	0,288	0,572	3,999	7.
Joulia	0,286	1,190	1,330	0,665	0,288	1,001	4,760	4.
Ivar.bee	1,144	0,714	1,140	0,570	0,336	0,715	4,619	5.
NELA	2,002	0,238	1,330	0,665	0,336	0,858	5,429	1.

6.4 Vyhodnocení



Obr. 35 – Dosažené hodnocení rekuperačních výměníků v jednotlivých kritériích



Obr. 36 – Přehled celkového hodnocení rekuperačních výměníků

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo nalézt, na základě vícekritériálního rozhodování, nejuvhodnější aplikaci lokální rekuperace pro rodinný dům. Určit kritéria pro rozhodování a následně metodou pořadové funkce vybrat nejlepší variantu.

Jako nejuvhodnější rekuperační výměník se podle hodnocení kritérií jeví rekuperační výměník NELA. Z Obr. 35 je zřejmé, že jeho největší výhodou je nízká pořizovací cena a minimální obestavěný prostor. I přes nižší tepelnou účinnost je v celkovém součtu (obr. 36) hodnocen jako nejlepší.

Obecně největší úsporu energie dle výpočtů, vykazují vertikální rekuperační výměníky tepla. Díky jejich velikosti a vertikální poloze, je nutná instalace do nižšího patra a jsou tedy závislé na vzdálenosti jejich instalace od výpusti zařizovacího předmětu.

Nejjednodušší instalaci představují rekuperační výměníky, které jsou součástí sprchové vaničky. Jejich aplikace nepotřebuje žádné složitější stavební úpravy než je tomu u běžných sprchových vaniček.

U výpočtu účinnosti rekuperace nicméně bylo zjištěno, že výměníky Ivar.bee a Duschwane mají stejnou účinnost rekuperace, jak při zapojení pro okamžitou spotřebu, tak i při zapojení pro okamžitou spotřebu současně se zdrojem tepla. Tato situace je nemožná, jelikož se ve výměníku mění průtok přiváděné studené vody. Ve skutečnosti lze předpokládat, že účinnost při zapojení pro okamžitou spotřebu současně se zásobníkem TV bude nižší, než při zapojení pro okamžitou spotřebu. Úspora však při tomto zapojení vychází vyšší, jelikož do termostatické baterie přivádíme jak přehřátou studenou vodu, tak zároveň tuto přehřátou vodu přivádíme i do zdroje tepla, který připravuje teplou vodu. Z toho nám vyplývá, že nemůžeme mít stejnou výstupní teplotu přehřáté vody při rozdílném způsobu instalace.

O době návratnosti investované částky rozhoduje mnoho aspektů. Především je to pořizovací cena včetně provedené instalace, účinnost rekuperace resp. úspora, pravidelnost využívání, či doba životnosti rekuperačního výměníku. Jelikož však provoz

rekuperačního výměníku tepla z šedé odpadní vody vyžaduje minimální provozní náklady, nabízí se tak zajímavý způsob úspory energie.

8. Zdroje

- [1] Matuška, T.: Experimentální metody v technice prostředí. Vydání první. Nakladatelství ČVUT (Thákurova 1, Praha 6), rok 2005. 200 s. ISBN 80-01-03291-4
- [2] Hemzal, K.: Přenosové jevy v technice prostředí. Dotisk prvního vydání. Nakladatelství ČVUT (Thákurova 1, Praha 6), rok 2007. 100 s.
- [3] Košetická, B. a kol.: Management a ekonomika podniku – Sbírká úloh. Vydání první. Nakladatelství ČVUT (Thákurova 1, Praha 6), rok 2006. 212 s. ISBN 80-01-03433-X
- [4] *TZB-info*[online] vid. 19. 12. 2012.[cit. 26.6.2016] Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/9411-cistení-sedých-vod-a-možnost-využití-energie-z-nich>
- [5] *TZB-info*[online] vid. 25. 4. 2016.[cit. 26.6.2016] Dostupné z:<http://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/14105-ucinnost-rekuperacního-vymeníku-odpadní-vody-není-rovná-úspore-tepla>
- [6] *TZB-info*[online] vid. 10. 7. 2015.[cit. 26.6.2016] Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/12959-sprchovy-vymeník-nela-rekuperace-nejen-v-domácím-prostředí>
- [7] Shower save [online] vid. duben 2011.[cit. 26.6.2016] Dostupné z:<http://www.showersave.net/wp-content/uploads/2011/09/RT-1-installation-manual-Recoh-tray-220711.pdf>
- [8] Shower save [online] vid. květen 2014.[cit. 26.6.2016] Dostupné z:<http://shower-save.com/files/documents/install-recohvert.pdf>
- [9] GFX technology [online].[cit. 26.6.2016] Dostupné z:<http://www.gfxtechnology.com/EEF-GFX-Flyer.pdf>
- [10] Wagner Solar [online] vid. 2015.[cit. 26.6.2016] Dostupné z:http://downloadcenter.wagner-solar.com/download.php?c_download=10909&setversion=newest&exlang=DE

[11]IVAR-CS [online].[cit. 26.6.2016] Dostupné z: <http://www.ivarcs.cz/cz/rekuperace-odpadni-teple-vody-ivar-bee>

[12]JouliaSwitzerland [online].[cit. 26.6.2016] Dostupné z: <http://j1.joulia.com/en/how-it-works/>

[13]Meander Heat recovery [online].[cit. 26.6.2016] Dostupné z: <http://www.meanderhr.com/technical/types-of-dwhr-system/>

[14] Vakhandel Janssen [online].[cit. 27.6.2016] Dostupné z: <https://www.vakhandeljanssen.nl/sanitair/douche-wtw/recoh-tray-douchebak-wtw-v2-84cm->

[15]Shower save [online].[cit. 27.6.2016] Dostupné z: <http://shower-save.com/products/recoh-vert.html>

[16]GFX technology [online].[cit. 27.6.2016] Dostupné z: http://www.gfxtechnology.com/Ins-Video_files/image002.gif

[17]Umwelt arena [online].[cit. 27.6.2016] Dostupné z: <http://www.umweltarena.ch/partner/joulia-sa/>

[18]SAKAL [online].[cit. 27.6.2016] Dostupné z: <http://sakal-ovt.cz/produkty/sprchovy-vymenik-nela/#!prettyPhoto>

[19] Vavříčka, R., Matuška T.: Zpětné získávání v oblasti přípravy teplé vody. Vytápění, větrání, instalace, 2016, roč. 25, č.3, s. 126 – 131. ISSN 1210 – 1389

Obr. 7-Dostupné z:http://www.gaia-green.fr/ressources/common/recoh_tray/Recoh-tray2.png

Obr. 8-Dostupné z:http://www.gaia-green.fr/ressources/common/recoh_tray/Recoh-Tray-ppt.jpg

Obr. 9-Dostupné z:<http://www.showersave.net/wp-content/uploads/2011/09/RT-1-installation-manual-Recoh-tray-220711.pdf>

Obr. 11-Dostupné z:<http://shower-save.com/files/images/products/vert600.jpg>

Obr. 12-Dostupné z:http://www.termosol.cz/_gf/web/produkty/recoh-multivert/recoh-multivert_funkce.jpg

Obr. 13-Dostupné z:http://www.termosol.cz/_gf/web/produkty/recoh-multivert/recoh-multivert_konstrukce.jpg

Obr. 15-Dostupné

z:<http://static1.squarespace.com/static/511d27c2e4b0bc0f6a784380/t/565efe9ce4b0aca7d4210ae0/1449066140520/?format=500w>

Obr. 16-Dostupné z:<http://www.gfxtechnology.com/EEF-GFX-Flyer.pdf>

Obr. 18-Dostupné z:http://imagecenter.wagner-solar.com/download.php?c_download=885&c_event=minioper

Obr. 19-Dostupné z:http://imagecenter.wagner-solar.com/download.php?c_download=886&c_event=minioper

Obr. 21-Dostupné z:http://joulia.com/wp-content/uploads/2015/07/NY_white_glossy-1024x730.jpg

Obr. 22-Dostupné z:http://joulia.com/wp-content/uploads/2015/07/NY_empty_wt-sichtbar-cooper-1024x730.jpg

Obr. 23-Dostupné z:http://www.umweltarena.ch/wp-content/uploads/2014/07/JOULIA_Galerie-6.jpg

Obr. 25-Dostupné

z:http://www.ivarcs.cz/img/_/p.001103.foto/tn_first/innova_bee_depliant-hd-3.jpg?1406552355

Obr. 28-Dostupné z:<https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR-XwNX6jajzm50oSPuYmE0zh3sgGO9FN6RPcmyVGpDTdg2PaN9pA>