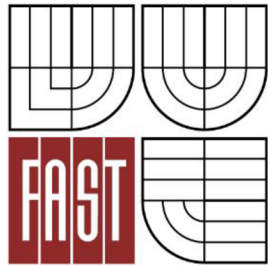




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

VYUŽITÍ TEPLA Z ODPADNÍ VODY

USE OF HEAT FROM WASTEWATER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MIROSLAV TLAŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
BRNO 2014

prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA



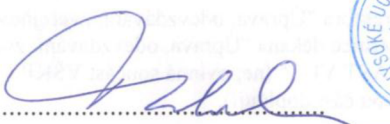
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

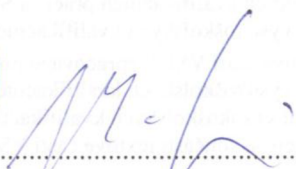
ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Miroslav Tlašek
Název	Využití tepla z odpadní vody.
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání bakalářské práce	30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013


.....
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] HLAVÍNEK Petr, HLAVÁČEK Jiří: Čištění odpadních vod-praktické příklady výpočtů, NOEL 2000, 1996, 196 s. ISBN 80-86020-00-2.
- [2] HLAVÍNEK Petr, MIČÍN Jan, PRAX Petr: Příručka stokování a čištění, NOEL 2000, 2001, 251 s., ISBN 80-86020-30-4.
- [3] KREJČÍ Vladimír, HLAVÍNEK Petr, ZEMAN Evžen: Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup, NOEL 2000, 2002, ISBN 80-86020-39-8.
- [4] MALÝ, Josef; MALÁ, Jitka. Chemie a technologie vody. 2. doplněné vydání. Brno: ARDEC s.r.o., 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [5] METCALF & EDDY: Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse (4th Edition ed.), McGRAW-HILL, 2001, ISBN 0-07-041878-0.
- [6] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing.
- [7] Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.

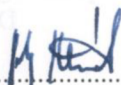
Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Bakalářská práce bude zaměřena na problematiku využití tepla z odpadní vody. V první části práce bude zpracován přehled postupů a technologií, zejména s ohledem na úspory energie a možnosti získávání energie z odpadní vody. V druhé části budou výsledky práce aplikovány na konkrétní lokalitu, kde bude zpracována studie využití tepla z odpadní vody, včetně návrhu výměníku a výpočtu množství získaného tepla. Podklady si student zajistí po dohodě s vedoucím práce v rámci bakalářského semináře. Při zpracování textů, výpočtů a výkresové části dokumentace bude v maximální míře využita výpočetní technika.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou spojenou se zpětným získáním tepla z odpadní vody a energetickou náročností čistíren odpadních vod. Současné technologie umožňují získat zpět teplo, které bylo vloženo do ohřevu teplé vody. A to jak pro malé výkony v rodinných domech, tak i pro velké budovy občanské vybavenosti. Ukázalo se, že díky využití tepelného čerpadla, se nízkopotencionální teplo odpadní vody může přeměnit v užitečné teplo pro vytápění a ohřev teplé vody. Nejen, že jsou tepelná čerpadla šetrná k životnímu prostředí, ale také dokáží konkurovat tradičním zdrojům tepla. Cílem práce bylo popsat tyto technologie a minimalizovat energii, která nám nevyužita „odteče do kanálu“.

KLÍČOVÁ SLOVA

odpadní voda, stoková soustava, čistírna odpadních vod, energie z odpadní vody, tepelné výměníky pro zpětné získávání tepla, tepelné čerpadlo

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the problems associated with heat recovery from waste water and energy intensity of wastewater treatment plants. Current technologies allow you to recover heat that was inserted into the hot water. These technologies can be used for small performances in houses and for large building amenities too. It has been shown that by using a heat pump, low-potential heat waste water can be converted into useful heat for heating and hot water. Not only these heat pumps are environmentally friendly environments, but they can also compete with traditional sources of heat. The aim of the study was to describe these technologies and to minimize the energy that is wasted us „will drain into the canal“.

KEYWORDS

wastewater, sewage system, wastewater treatment plant, energy from wastewater, heat recovery heat exchangers, heat pump

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

TLAŠEK, Miroslav. *Využití tepla z odpadní vody*. Brno, 2014. 65 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci napsal samostatně a že jsem uvedl všechny použité zdroje informací.

V Brně dne 22. 5. 2014

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych touto formou poděkovat prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA. za vedení bakalářské práce.

OBSAH

1. ÚVOD	3
2. POTŘEBA A VYUŽITÍ ENERGIE NA ČOV	4
2.1. Zvýšení energetického potenciálu	4
2.2. Měřítko energetické účinnosti.....	5
2.3. Energetická efektivnost	6
2.4. Shrnutí	8
2.5. Příklady použití.....	9
2.5.1. ČOV Budapešť – Jih.....	9
2.5.2. ČOV Budapešť – Sever	9
2.5.3. ČOV Plzeň.....	9
3. VYUŽITÍ ODPADNÍ VODY VE SVĚTĚ A U NÁS	10
4. ODPADNÍ VODA JAKO ZDROJ ENERGIE	12
4.1. Charakteristika odpadní vody	12
4.2. Možnosti využití	12
4.3. Princip tepelného čerpadla.....	13
4.4. Přímé využití odpadní vody v objektech	13
4.4.1. Malý koupelňový výměník	14
4.4.2. Systém GFX.....	15
4.4.3. Výměník pro velké provozy.....	16
4.4.4. Zdržování odpadní vody v jímce	17
4.5. Využití kanalizace jako zdroje tepla	20
4.5.1. Výměník tepla v kanalizačním potrubí	21
4.5.2. Systém HUBER	24
4.6. Získávání tepla z vyčištěné odpadní vody	27
4.6.1. Využití v čistírnách odpadních vod	27
4.6.2. Využití mimo čistírny odpadních vod.....	27
4.6.3. Využití pomocí výměníku Ro Win HUBER.....	28
4.7. Chlazení odpadní vodou	29
5. EKONOMIKA A EKOLOGIE PROVOZU	30
5.1. Účinnost	30
5.2. Vztah k životnímu prostředí	32
5.3. Využívání energie z odpadní vody	32
5.3.1. Místní orgány	32

5.4. Právní aspekty	32
5.5. Provoz systému	33
6. VYUŽITÍ TEPLA Z ODPADNÍ VODY NA ČISTÍRNĚ ODPADNÍCH VOD HODONÍN.....	34
6.1. Varianta č. 1 přítok na ČOV	35
6.1.1. Popis systému	35
6.1.2. Jímací objekt.....	36
6.2. Čerpadlo sací jímky	36
6.3. Výměník RoWin 4.....	36
6.4. Tepelné čerpadlo	36
6.5. Varianta č. 2 odtok z ČOV	41
6.5.1. Popis systému	41
6.5.2. Jímací objekt.....	42
6.5.3. Čerpadlo sací jímky	42
6.5.4. Výměník RoWin 4	42
6.5.5. Tepelné čerpadlo.....	42
6.6. Maximální výkon z odpadní vody.....	47
6.7. Varianta č. 3 potok „teplý járek“	49
6.7.1. Popis systému	49
6.7.2. Jímací objekt.....	50
6.7.3. Čerpadlo sací jímky	50
6.7.4. Výměník RoWin 8	50
6.7.5. Tepelné čerpadlo.....	50
7. ZÁVĚR	52
8. POUŽITÁ LITERATURA.....	54
SEZNAM TABULEK	57
SEZNAM OBRÁZKŮ	58
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	60
SEZNAM PŘÍLOH	61
SUMMARY	65

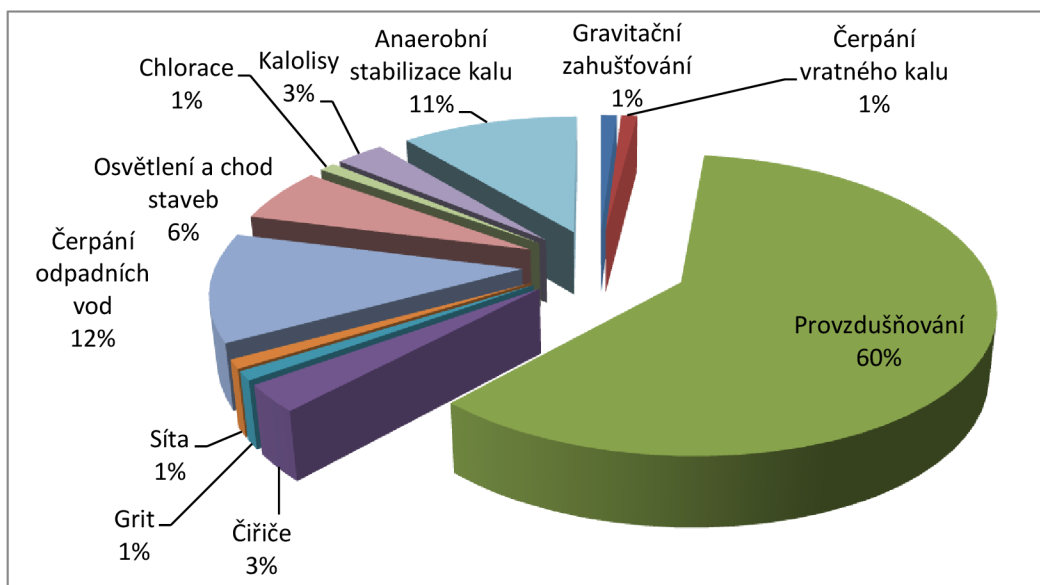
1. ÚVOD

V dnešní době se stále více věnujeme úsporám energií. Zvykli jsme si používat energetické štítky pro energetické hodnocení budov. Tyto štítky nám dávají informaci, kolik energie se spotřebuje během roku v budově. Využití odpadní vody pro zpětné získávání tepla je vhodným způsobem, jak ušetřit za náklady spojené s provozováním budov. Někdy i jednoduchou instalací výměníku, můžeme ušetřit až 60% nákladů na energie.

2. POTŘEBA A VYUŽITÍ ENERGIE NA ČOV

Čistírny odpadních vod spotřebovávají k procesu čištění velké množství energie. K pohánění čistírenských procesů se používá energie ze stále vzácnějších fosilních paliv. Těch je nejen čím dál méně, ale navíc produkují skleníkové plyny, jako jsou oxid uhličitý, metan a oxid dusný. Kritika k tradičnímu přístupu čištění odpadních vod neustále roste a to hlavně z důvodu, že není šetrná k životnímu prostředí. Tato kritika vede k novým strategickým paradigmatům k čištění odpadních vod a jejího rozvoje. Zejména pak k získávání energie z čistírenských procesů a produktů, zahrnující také nakládání s kaly a vyčištěnou vodou [1].

Ve skutečnosti komunální odpadní voda obsahuje všechny potřebné komponenty pro zlepšení udržitelného rozvoje. Jeden kubický metr odpadní vody obsahuje vodu spotřebovanou pěti až deseti lidmi za den a obsahuje přibližně 2 kWh ekvivalentní energie a dostatečné živiny pro alespoň jeden metr čtvereční zemědělské produkční oblasti za rok [2]. Zatím ČOV používají další energii k odstranění chemické energie a přítomných živin. Odhady založené na množství organických látek obsažených v odpadní vodě ukazují, že je potřeba vyčistit pouze 18 % z přítoku na běžné ČOV. Některé odhady dokonce tvrdí, že energie obsažená v odpadních vodách (organické znečištění a nerozpuštěné látky) je až desetkrát větší než energie, která se spotřebuje k jejímu vyčištění [3]. Potenciálně může pokrýt až 12 % odběru elektrické energie v USA [4]. Nicméně ve Velké Británii konvenční technologie umožňuje obnovení přibližně 11 % z přitékající energie na ČOV, pomocí kogenerační jednotky na výrobu elektrické energie a to díky získanému metanu z anaerobní stabilizace kalu. Jinými slovy, asi polovina energie potřebná k vyčištění odpadní vody je získána zpět [5].



Obr. 2-1 Spotřeba energie pro různé velikosti a postupy na ČOV [9]

2.1. ZVÝŠENÍ ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU

V Evropě a v USA byl vyhlášen nový přístup k podpoře a regulaci vodního hospodářství na úsporu energie a využití zdrojů k výrobě energie v procesech na ČOV. Vodohospodářský průmysl ve Velké Británii se zavázal k dobrovolnému snížení spotřeby elektrické energie v oblasti čištění odpadních vod: vodárenské společnosti se budou snažit, aby alespoň 20 % veškeré použité energie pocházelo z obnovitelných zdrojů, a to do roku 2020 [6]. Mnoho čistíren odpadních vod v Evropě již dosáhli až 50 % soběstačnosti v závislosti na energiích [5]. Ve střední Evropě po více než deseti letech vynaloženého úsilí prováděného na auditech

energie, spotřeba energie byla snížena o ohromujících 38 % v průměru ve Švýcarsku, na 344 čistírnách odpadních vod v Německu o 50 % a kolem 30 % v Rakousku [7]. Některé případy ukazují ČOV jako soběstačnou, nebo dokonce jako výrobce elektrické energie a ne spotřebitele. Takovým případem je čistírna odpadních vod v Strass (Rakousko), která dosahuje 108 % energetického koeficientu [8].

2.2. MĚŘÍTKA ENERGETICKÉ ÚČINNOSTI

Pro srovnávání studií mezi různými čistírnami musí být spotřeba energie vyjádřena na základě určitých směrnic a stejnou mírou, zvláště pokud jsou srovnávány čistírny mezi jednotlivými státy. Proto je nutné mít jednotný ukazatel systému. V tom to směru jsou často přijaty ukazatelé, jako jsou ekvivalentní obyvatelé nebo krychlový metr odpadní vody.

V závislosti na ekvivalentních obyvatelích, byly založeny další jednotky, jako jsou například $\text{kWh.EO}^{-1}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$, $\text{kWh.EO}^{-1}.\text{CHSK}^{-1}.\text{d}^{-1}$, $\text{kWh.EO}^{-1}.\text{N}^{-1}.\text{d}^{-1}$, $\text{kWh.EO}^{-1}.\text{P}^{-1}.\text{d}^{-1}$ a další byly přijaty jako ukazatele výkonnosti pro srovnávací studie. Je třeba dodat, že definice a hodnoty ekvivalentních obyvatel se mohou lišit mezi různými zeměmi [9].

- pro ekvivalentní obyvatele přepočítány z CHSK, je to 110 g $\text{CHSK.EO}^{-1}.\text{d}^{-1}$ v Rakousku a Švédsku [10], 160 g $\text{CHSK.EO}^{-1}.\text{d}^{-1}$ v Severní Americe [11] a 120 g $\text{CHSK.EO}^{-1}.\text{d}^{-1}$ v České Republice.
- pro ekvivalentní obyvatele přepočítány z BSK_5 , je to 43 g $\text{BSK}_5.\text{EO}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ve Švédsku a Rakousku [10], 80 g $\text{BSK}_5.\text{EO}^{-1}.\text{d}^{-1}$ v Severní Americe [11] a 60 g $\text{BSK}_5.\text{EO}^{-1}.\text{d}^{-1}$ v České republice.
- pro ekvivalentní obyvatele přepočítány ze spotřeby vody za den, je to 210 $\text{l.EO}^{-1}.\text{d}^{-1}$ v Rakousku, ve Švédsku je to 243 $\text{l.EO}^{-1}.\text{d}^{-1}$ [10] a 400 $\text{l.EO}^{-1}.\text{d}^{-1}$ v Severní Americe [11].

Pro srovnání energetické náročnosti čistíren odpadních vod mezi dvěma zeměmi, je nutné mít k dispozici srovnatelné ukazatele výkonnosti a poměry, které patří mezi klíčové parametry. Tyto ukazatele by měli být převzaty v konverzi. Když použijeme kWh.m^{-3} jako ukazatel, hodnoty CHSK, celkový dusík, fosfor atd., by měli být stejné. Vliv složitosti procesu čištění odpadní vody by měl být také brán v úvahu [9].

Tab. 2-1 Měrná spotřeba energie pro čištění městských odpadních vod [9]

Proces	Měrná spotřeba energie [kWh.m^{-3}]
Zkrápěná přisedlá biomasa	0,252
Aktivovaný kal	0,349
Pokročilé čištění odpadních vod bez nitrifikace	0,407
Pokročilé čištění odpadních vod s nitrifikací	0,505

Studie pro srovnání a hodnocení čistíren odpadních vod v Rakousku a Švédsku v roce 2007, které byly navrženy na počet převyšující 100 000 ekvivalentních obyvatel, poskytuje užitečné informace pro energetické hodnocení čistíren odpadních vod těchto dvou zemí [10]. Výsledné údaje o spotřebě elektrické energie (ekvivalentní obyvatelé byli přepočítáni z CHSK) bylo pro Švédsko 42 $\text{kWh.EO}^{-1}.\text{m}^{-3}.\text{rok}^{-1}$, zatímco výsledek pro Rakousko byl pouze 23 $\text{kWh.EO}^{-1}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$, což jsou hodnoty srovnatelné s Německem. Hlavním důvodem tohoto

významného rozdílu je to, že vyhodnocování spotřeby elektrické energie v Rakousku probíhá po mnoho let a díky tomu se neustále zdokonalují a zlepšují v úsporách energie [10], zatímco ve Švédsku je vyhodnocování zatím ve fázi vývoje. Ve studii by měla být zahrnuta veškerá spotřeba elektrické energie, včetně vyrobené na čistírně odpadních vod [9].

2.3. ENERGETICKÁ EFEKTIVNOST

Elektrická energie vyrobená na čistírně odpadních vod redukuje odběry elektrické energie ze sítě. Energetická efektivnost je vyjádřena jako poměr vyrobené elektrické energie k spotřebované elektrické energii pro provoz ČOV. V České republice dostávají čistírny odpadních vod tzv. zelené bonusy. Jsou to bonusy za vyrobenou elektrickou energii, kterou samy spotřebují. Tyto bonusy se pohybují kolem 2 Kč za kWh (v závislosti na uvedení zařízení do provozu - kogenerační jednotky).

Evropa je v současné době světovým lídrem ve zpětném získávání energie na městských čistírnách odpadních vod. S největší pravděpodobností je to díky rozpočtovým omezením a silnému povědomí o životním prostředí [9]. 63 % čistíren odpadních vod ve Velké Británii mají anaerobní stabilizaci kalu, jímají bioplyn a vyrábějí elektrickou energii [5]. V USA mají z celkového počtu anaerobní stabilizaci kalu a následné jímání bioplynu pouze na 19 % ČOV, z tohoto počtu asi 10 % využívá bioplyn.

Tab. 2-2 Energetická efektivnost některých ČOV [9]

Stát/ČOV	Švédsko (průměr ze všech ČOV)	Česko (ČOV Praha)	Singapur (ČOV Jurong)	Velká Británie (průměr ze všech ČOV)	Švýcarsko (ČOV Curych)	Rakousko (ČOV Strass)
Energetická efektivnost	9 %	83,5 %	40 %	50 %	100 %	108 %

Pro konvekční nádrž s aktivovaným kalem s mezofilní anaerobní stabilizací kalu se 40 % odstraněním nerozpuštěných látek a generátorem elektrické energie s účinností 30 %, může být dosaženo 20 – 50 % energetické efektivnosti [12]. S předúpravou biologických nerozpuštěných látek nebo tepelným rozkladem, odstranění olejů a tuků a efektivním energeticky úsporným procesem, lze energetické efektivnosti ještě zvýšit a to až na 80 % či více. Důkazem toho je ČOV v Praze a ČOV v Curychu. Čistírna komunálních odpadních vod v Rakouském Strassu dosahuje dokonce energetické efektivnosti 108 % [7]. Čistírna vyprodukuje dostatek elektrické energie pro svou vlastní spotřebu, při procesu čištění odpadní vody. Navíc 8 % z vytvořené elektrické energie prodává do veřejné elektrické sítě. Mezi hlavní přístupy pro dosažení tohoto pozitivního stavu jsou:

- dynamická kontrola a řízení aerace
- zvýšení produkce bioplynu tím, že se maximalizuje CHSK posílané do anaerobní vyhnívací nádrže při automatickém provozu inovativního před koncentračního procesu
- zapojení generátorů s vysokou účinností
- snižování dávky kyslíku použitím anaerobní oxidace amoniaku pro odstranění amoniaku v boční lince

Body I a IV redukují spotřebu elektrické energie a body II a III zvyšují generování elektřiny [9].

Tab. 2-3 Energetická cílová hodnota pro různé velikosti a postupy na ČOV [9]

			Skutečný průměrný přítok na ČOV [EO BSK ₆₀]									
			2 000 - 5 000		5 000 - 10 000		10 000 - 30 000		30 000 - 100 000		> 100 000	
			Směrné číslo	Optim. cíl	Směrné číslo	Optim. cíl	Směrné číslo	Optim. cíl	Směrné číslo	Optim. cíl	Směrné číslo	Optim. cíl
e _{ges}	Celková spotřeba elektřiny podle aktuálních EO _{BSK} */**											
	C (stáří kalu >5 dní) anaerobní stabilizace kalů	kWh. EO ⁻¹ .rok ⁻¹	-	-	30	23	[27]	[21]	[24]	[18]	-	-
	C+N (stáří kalu 13 dní) anaerobní stabilizace kalů	kWh. EO ⁻¹ .rok ⁻¹	-	-	39	30	34	26	30	23	26	20
	C+N (stáří kalu >25 dní) prodložená aerace	kWh. EO ⁻¹ .rok ⁻¹	54	41	46	35	40	31	-	-	-	-
e _{BB}	Spotřeba elektrické energie ve fázi aktivovaného kalu***											
	C (stáří kalu >5 dní) anaerobní stabilizace kalů	kWh. EO ⁻¹ .rok ⁻¹	-	-	20	15	[18]	[14]	[17]	[13]	-	-
	C+N (stáří kalu 13 dní) anaerobní stabilizace kalů	kWh. EO ⁻¹ .rok ⁻¹	-	-	29	22	25	19	23	18	21	16
	C+N (stáří kalu >25 dní) prodložená aerace	kWh. EO ⁻¹ .rok ⁻¹	41	32	36	28	31	24	-	-	-	-
N ₁	Procento bioplynu, které je znovu využito	%	-	-	95	97	97	98	98	99	98	99
N ₂	Procento energie z bioplynu převedeno na elektřinu	%	-	-	25	26	29	30	30	31	31	32
N ₃	Produkce bioplynu na kg kalu z vyhnivací nádrže											
	C	l.kg ⁻¹	-	-	500	525	[500]	[525]	[500]	[525]	-	-
	C + N	l.kg ⁻¹	-	-	450	475	450	475	450	475	450	475
V _e	Dodávka elektřiny z bioplynu */**											
	C	%	-	-	48	65	[62]	[84]	[72]	[95]	-	-
	C + N	%	-	-	37	50	50	67	58	78	68	90
V _w	Dodávka tepelné energie z bioplynu											
		%	-	-	90	95	95	97	97	98	98	99

* příplatek za e_{ges} v případě čerpací stanice: $0,5 \text{ kWh.EO}^{-1}.\text{rok}^{-1}$

** příplatek za e_{ges} v případě filtrace: směrné číslo + $3 \text{ kWh.EO}^{-1}.\text{rok}^{-1}$, cíl + $2 \text{ kWh.EO}^{-1}.\text{rok}^{-1}$
(ČOV pod 30 000 EO + $1 \text{ kWh.EO}^{-1}.\text{rok}^{-1}$)

*** aerace včetně míchání, čerpání vratného kalu a interní recirkulace

1 $\text{EO}_{\text{BSK60}} = 60 \text{ g BSK}_5.\text{EO}^{-1}.\text{den}^{-1}$ v odpadní vodě přitékající na ČOV

C... odstranění pouze uhlíku

N... odstranění nutrientů

2.4. SHRNU TÍ

V komunálních odpadních vodách je dostatek energie pro provoz městských čistíren odpadních vod. Praktické zkušenosti a studie ukazují, že komunální odpadní voda v sobě nese potenciál pro energetickou samostatnost čistíren odpadních vod. Můžeme provádět studie mezi jednotlivými čistírnami, používat zásady a normalizované rozměry na spotřebu elektrické energie na čistírnách komunálních odpadních vod. Údaje o spotřebě energie celého procesu čištění vody a jednotlivých jednotek na ČOV, byly použity jako základní linie pro spotřebu energie. Jako výkonnostní ukazatel byl přijat ekvivalentní obyvatel a průtok odpadní vody v závislosti na energetické spotřebě. Energetická efektivnost různých čistíren odpadních vod byla shromážděna a použita pro hodnocení studií pro zlepšení energetické efektivnosti ČOV. Energetické úspory mohou být zlepšeny díky zdokonalení vybavení. V oblasti lehké technologie je to provzdušňování aktivačních nádrží, které může mít největší podíl na úsporách energie. Výběr zařízení s vysokou účinností a používání senzorů pro dynamické on-line měření provozu je nezbytné. Dmychadla, čerpadla a motory s měničem frekvence mohou efektivně snížit spotřebu elektrické energie. Energetické audity, které jsou užitečným nástrojem pro snížení spotřeby elektřiny vybavení, jsou zavedeny. Inovace zařízení může vždy snížit spotřebu energie [9].

Některých nejlepších dostupných postupů se lze naučit dosažením vysoké energetické účinnosti na městských čistírnách odpadních vod. 30 až 50 % energetické účinnosti může být dosaženo díky aplikování anaerobních vyhnívacích nádrží a kombinováním zisku tepla a elektrické energie. Mnohem větší energetické efektivnosti může být dosaženo díky přidání primární usazovací nádrže (pro přidávání většího CHSK do vyhnívací nádrže), dynamickému řízení biologického procesu, vyšší účinnosti strojního zařízení atd. [9].

Teplné zpracování, včetně spalování běžných biologických nerozpuštěných látek, spalování, zplyňování a pyrolýza jsou účinné metody pro využití energie z odpadní vody a její následnou přeměnu na elektrickou energii. Vylepšená anaerobní vyhnívací nádrž (s předčištěním a zahuštěním kalu) se jeví jako lepší z hlediska rekuperace tepla i získání bioplynu, než klasická anaerobní vyhnívací nádrž [9].

Zvyšováním energetických efektivností na čistírnách odpadních vod díky maximálnímu využití potenciálu odpadní vody, může vést ke snížení energetické náročnosti procesu čištění odpadních vod. Pro toto zvýšení by se dalo využít i teplé vyčištění odpadní vody, pro zpětné získání tepla a využití bioplynu pouze pro výrobu elektrické energie.

2.5. PŘÍKLADY POUŽITÍ

2.5.1. ČOV Budapešť – Jih

296 000 EO, 51 500 m³.den⁻¹, výměna dmychadel

Tab. 2-4 Úspora elektřiny ČOV Budapešť - Jih [13].

	Před	Po
Dávka vzduchu	13 000 – 25 400 Nm ³ .h ⁻¹	10 800 – 24 000 Nm ³ .h ⁻¹
Průměrná denní spotřeba elektřiny	8 880 kWh	4 800 kWh
Úspora elektrické energie: 4 080 kWh.den ⁻¹ (48 %)		

2.5.2. ČOV Budapešť – Sever

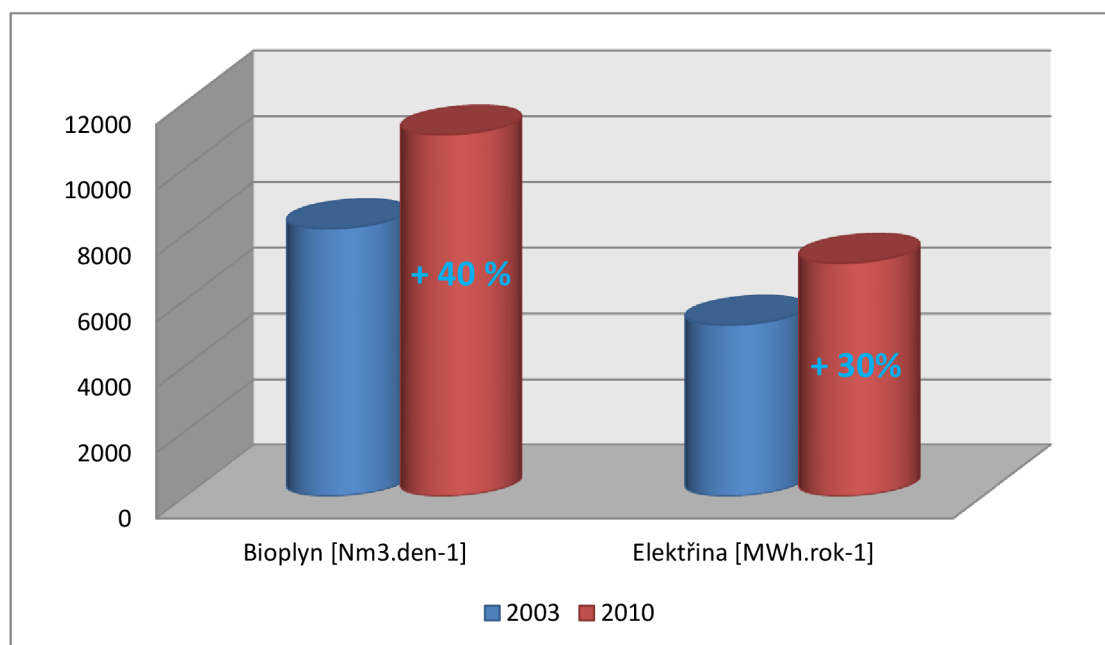
775 000 EO, 130 000 m³.den⁻¹, výměna odstředivky na zahuštění kalu za pásový zahušťovač

Tab. 2-5 Úspora elektřiny ČOV Budapešť - Sever [13].

	Před	Po
Celkový příkon	3 x 135 kW	25 kW
Průměrná denní spotřeba elektřiny	5 670 kWh	600 kWh
Úspora elektrické energie: 5 070 kWh.den ⁻¹		

2.5.3. ČOV Plzeň

380 000 EO, 76 000 m³.den⁻¹, přechod z mezofilní stabilizace (37 °C) na termofilní (55 °C)



Obr. 2-2 Zvýšení produkce bioplynu a elektřiny, ČOV Plzeň[13].

3. VYUŽITÍ ODPADNÍ VODY VE SVĚTĚ A U NÁS

Odpadní voda je zdrojem energie, který může být využit pro vytápění, ohřev teplé vody, nebo k ochlazení budov. Můžeme využít přímé výměníky tepla, nebo systémy s tepelnými čerpadly. Technologie je jednoduchá a osvědčená ve světě. První instalace byla provedena před více než 20 lety a po celém světě je v provozu přes 500 systémů s tepelným čerpadlem pro získávání energie z odpadní vody. Jejich výkony jsou v rozsahu 10 kW až 20 MW. Švýcarské a německé studie dokazují, že až 3% veškerých budov, mohou získávat teplo ze stokové soustavy. Veřejná kanalizace se ukázala jako ideální zdroj energie pro tepelné čerpadlo. Teplota odpadní vody se pohybuje od 10 °C do 25 °C po celý rok, čímž může zajistit vysoký topný faktor tepelného čerpadla a to jak pro vytápění v zimě, tak i pro chlazení v létě. Instalace alternativních zdrojů energie má také příznivý vliv na životní prostředí.

Průkopníkem pro získání energie z odpadní vody se stalo Švýcarsko, ve kterém v roce 1993 vznikl úřad Swiss Energy agency, který měl za úkol propagovat a rozvíjet způsoby využití tepla z odpadní vody.

V průběhu posledních třiceti let ve Švýcarsku, Německu a ve skandinávských zemích proběhl obrovský skok v úsporách energie. U nás byl největší rozmach spojen s projektem Zelená úsporám v roce 2009. Jednalo se především o zateplení domů spojené s výměnou oken. Dále o snížení nákladů na vytápění a ohřev teplé vody díky novým nízkoteplotním, později kondenzačním kotlům, nebo využití tepelného čerpadla. Tento trend přicházel díky moderním dostupným technologiím, nařízením evropské unie (energetické štítky), ale také díky stále vyšším cenám za energii.

V oblasti odpadní vody se moc využití a pokroku ale neodehrálo. Ztráta energie přes kanalizaci (pro nízkoenergetické budovy) je až 30 %! Energie, která se ztrácí v kanalizaci, je v současné době zdroj největšího úniku. Swiss Energy uvádí, že jen ve Švýcarsku se během roku v kanalizaci ztratí až 6 000 GWh tepelné energie. Číslo odpovídá přibližně 7 % poptávky po tepelné energii, pro ohřev teplé vody a vytápění ve Švýcarsku [14].

Švýcaři si dali za cíl minimalizovat tyto enormní ztráty energie v kanalizaci jako součást své strategie udržitelného rozvoje pro efektivní využívání energie. Proto již po roce 1990 byl zahájen program pro využití (rekuperaci) energie z odpadní vody. Program běží pod názvem Swiss Energy for Infrastructure Plants a jeho základní kampaň se týká především [14]:

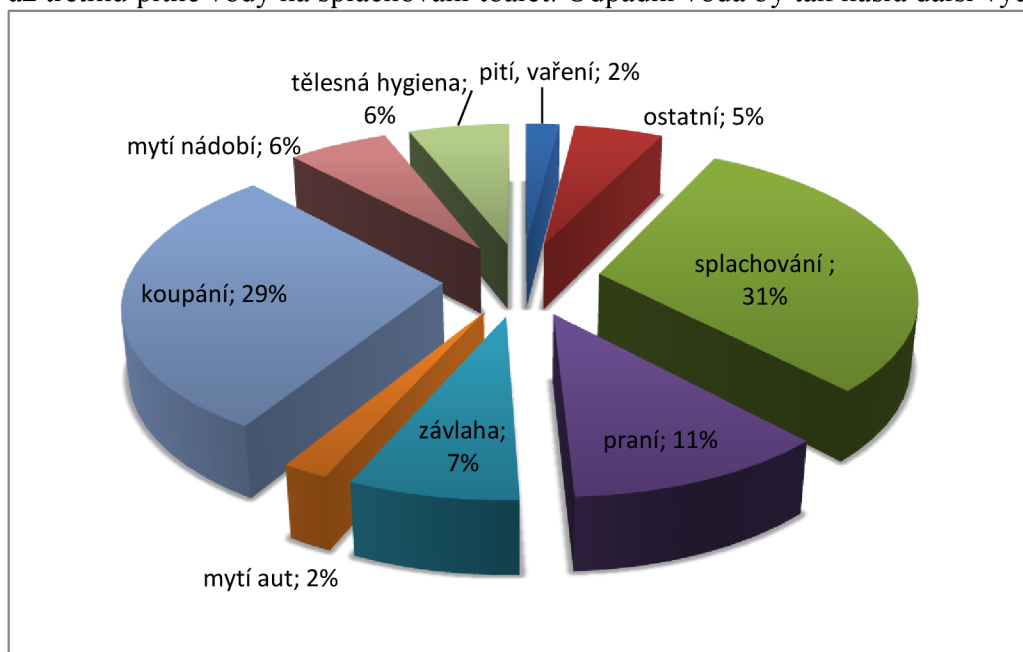
- podpora výzkumu, projektů a technologický rozvoj
- ukázky demonstračních projektů
- propagace a realizace studií o proveditelnosti
- poskytování poradenství
- vývoj nástrojů pro provozovatele a projektanty

Rekuperace tepla z odpadní vody se dá provádět třemi způsoby. Pro nejmenší výkony můžeme odpadní vodu rekuperovat vložением výměníku přímo do odpadního potrubí v budově. Jedná se o nejjednodušší využití a získané výkony jsou nejnižší. Dále je možno využít kanalizace odpadních vod. Stoka je vhodná pro tepelné čerpadlo. Musí se brát ale ohled na ochlazení teploty v kanalizaci. Pro provozování čistíren odpadních vod jsou nepřijatelné nízké teploty odpadní vody. Biologická část čistíren by se musela znovu vytápět a využití by bylo nerentabilní. Třetí řešení je využití tepelného čerpadla za dosazovacími nádržemi na čistírnách odpadních vod. Jedná se o velmi vhodné zařazení technologie tepelného čerpadla. Ochlazení odpadní vody je v tomto případě více než žádoucí a využití energie je tedy největší.

Ve světě se snaží o realizaci vhodných systémů pro využití tepla z odpadní vody. Jedná se většinou o různé kombinace a modifikace technologií, které vedou k největšímu využití

potenciálu stokové soustavy. V Německu se například snaží o tzv. decentralizované využití odpadní vody. Je to systém vhodný pro několik bytových jednotek (zástavba několika domů, vysokoškolské koleje, panelové domy). Systém vychází ze zachycení odpadní vody z objektů do centrální jímky. Za využití tepelného čerpadla se získává energie. Výhodou těchto systémů je vyšší teplota odpadní vody. Je to moderní technologie, která by mohla velice dobře konkurovat tradičním způsobům vytápění. V České republice je energie z odpadní vody nevyužívána. Neexistuje zde ani platný předpis, nebo norma pro nakládání s energií z odpadní vody.

Celkově se dá říct, že je odpadní voda využívána velmi málo. Odpadní voda (především z domácností) může být využita hned několikrát. Na následujícím grafu je znázorněna spotřeba vody v domácnostech. Ta se pohybuje v rozmezí 120 a 150 l.ob⁻¹.den⁻¹. Při využití tepla z odpadní vody a následné akumulace tzv. bílé vody z koupání a praní, bychom mohli ušetřit až třetinu pitné vody na splachování toalet. Odpadní voda by tak našla další využití.



Obr. 3-1 Spotřeba pitné vody během dne [15]

Norma ČSN EN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky říká: *Účelem stokových sítí a kanalizačních přípojek je spolehlivé, hospodárné a zdravotně neškodné odvádění odpadních vod z určitého území nebo připojených nemovitostí do zařízení na čištění odpadních vod (čistírny odpadních vod, dešťové nádrže) a posléze do vodního recipientu. Tím stokové sítě a kanalizační přípojky zajišťují ochranu vodního recipientu před znečištěním odpadními vodami (tj. znečištěními srážkovými vodami) z urbanizovaných povodí. Pro spolehlivé a hospodárné odvádění srážkových vod do srážkových (dešťových) stok oddílné stokové soustavy nebo stok jednotné stokové soustavy se doporučuje využívat zpomalení odtoku srážkových vod povrchovou retencí, ve stokové síti trubní retenci, retenčními nádržemi, popř. vsakováním apod.* [16]. Tato norma se ale nijak nezmiňuje o využití odpadní vody jako zdroje tepla pro vytápění a chlazení. Budovat kanalizační soustavy v lokalitách příznivých pro možnost využívání odpadní vody jako zdroje tepla, by snížilo počáteční náklady na výstavbu výměníků ve stokové síti. Norma tak pohlíží na odpadní vodu jako na odpad, ne jako na zdroj energie.

4. ODPADNÍ VODA JAKO ZDROJ ENERGIE

4.1. CHARAKTERISTIKA ODPADNÍ VODY

Pro návrh systému s rekuperací odpadního tepla jsou rozhodující tyto dva faktory: teplota a průtok odpadní vody. Teplota je ve stoce poměrně stálá, zásadní teplotní výkyvy nastávají v létě, kdy dosahuje maximálních teplot i přes 20 °C a v zimě, kdy jsou teploty odpadní vody nejnižší, v průměru mezi 10 °C až 13 °C. To je ideální pro využití tepelného čerpadla. Průtok odpadní vody může být někdy limitujícím faktorem. Je třeba zmínit, že průtoky musí být velké (okolo 10 l.s⁻¹). Odpadní voda bývá ve stoce ochlazena po tepelné výměně přibližně o 1 °C až 3 °C. Odpadní voda je nejteplejší po opuštění budovy, kde je spotřebována teplá voda. Ve stoce se může naředit se studenější odpadní vodou nebo za deštivých průtoků na jednotné kanalizaci dešťovou vodou. Teplota klesá o několik stupňů také během noci. Není tedy možné říci, který systém využití rekuperace tepla z odpadní vody je nejlepší. Na konkrétní lokalitě je nutno maximalizovat výhody a to jak systému rekuperace, tak i možnosti případné akumulace odpadní vody.

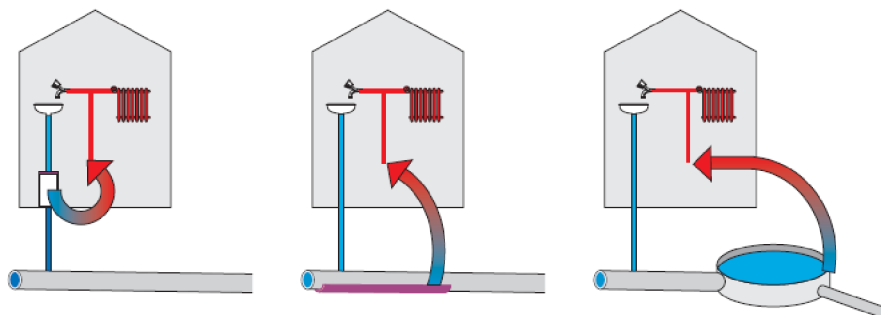
Odpadní vodu sice produkujeme každý den, ale je to pouze omezený zdroj energie. Je omezena většinou typem zástavby a dostupností. Dále musíme mít na paměti minimální teplotu pro čistírnu odpadních vod. Biologické procesy se prakticky zastavují a vůbec neprobíhají za nízkých teplot. Ne všechny místa jsou tedy z ekonomického hlediska zajímavé. Získávání energie z odpadní vody by se měla soustředit na sídliště, střední a velká města, nemocnice či průmysl aj..

I přes omezení je množství energie v odpadní vodě značné, jde jen o to, správně ji využít. Švýcarské studie ukázaly, že přibližně 2 TWh by mohly být použity ročně na vytápění a ohřev teplé vody v samotném Švýcarsku.[17]

4.2. MOŽNOSTI VYUŽITÍ

Ekonomicky nejzajímavější je využití stoky pro možnosti vytápění i chlazení. Tím by se maximálně využil energetický potenciál stoky. Energie z odpadní vody by měla sloužit k pokrytí stálých odběrů (vytápění/chlazení a ohřev teplé vody). Na pokrytí špičkových odběrů (např. mrazivé dny pár dní v roce) by měli sloužit konvenční zařízení (plynové kotle).

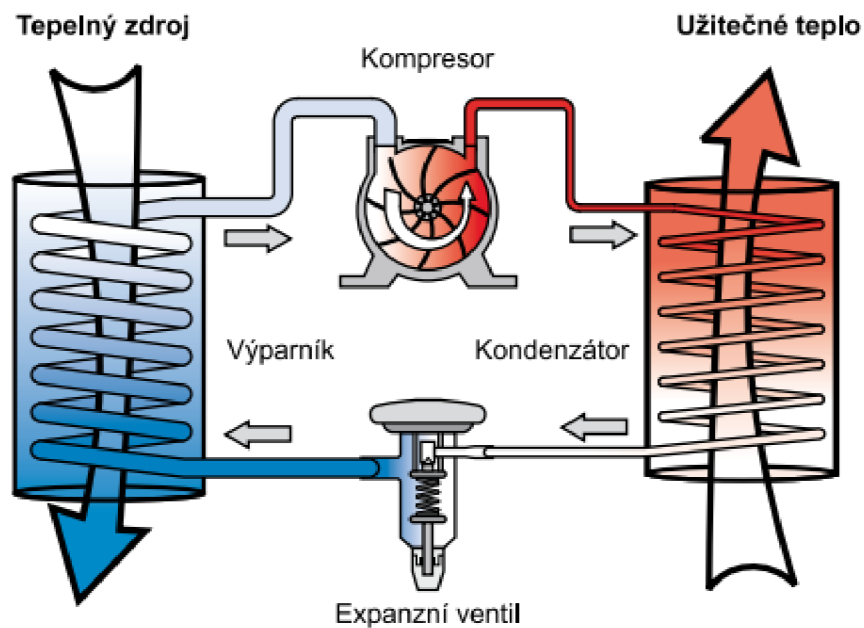
Využití odpadní vody můžeme rozdělit do tří kategorií a to podle místa jejího využití. Rekuperace teplé odpadní vody v budovách je první z nich. Systém může nebo nemusí zadržovat odpadní vodu. Další způsob je využití odpadní vody v kanalizaci. Zde je nutno spolupracovat s provozovatelem kanalizace. Třetí způsob je odebrání tepla vyčištěné odpadní vodě a to již v dosazovací nádrži, nebo těsně za ní. Problém je však s využitím tepla, čistírny bývají obvykle daleko od zástavby.



Obr. 4-1 Možnosti využití odpadní vody[17]

4.3. PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA

Tepelné čerpadlo funguje na principu kompresorového okruhu. Tvoří jej čtyři základní části: kompresor, výparník, expanzní ventil a kondenzátor. Dále jej tvoří dva okruhy: primární a sekundární. Princip tepelného čerpadla odpadní voda – voda je následující. Primární potrubí je umístěno buď v nádrži s odpadní vodou, nebo přímo ve stoce. Odebírá tak odpadní vodě teplo, které předává do výparníku tepelného čerpadla. Ve vnitřním okruhu se médium (chladiivo) natlakované kompresorem značně ohřeje a předá tepelnou energii v kondenzátoru sekundárnímu potrubí, kterým se může například vytápět. Dále je médium škrceno expanzním ventilem, čímž se výrazně schladí. Tento postup se neustále opakuje. Užitečné teplo je tedy tvořeno součtem energií z odpadní vody a energií vloženou do kompresoru.



Obr. 4-2 Princip tepelného čerpadla [13]

Využitím a instalováním tepelného čerpadla do systému rekuperace energie z odpadní vody se mnohonásobně zvýší potenciál odpadní vody. Tepelné čerpadlo se může využívat jak pro vytápění, tak i chlazení. Výkon tepelného čerpadla je charakterizován topným faktorem (COP). Je to poměr tepla předaného teplonosné látce a vynaložené (dodané) práce. Topný faktor roste s vyšší teplotou zdroje – teplotou odpadní vody.

4.4. PŘÍMÉ VYUŽITÍ ODPADNÍ VODY V OBJEKTECH

Systém pracuje na principu tepelné výměny mezi teplou odpadní vodou a studenou vodou. Výměníky tepla jsou napojeny přímo na kanalizační potrubí. Systémy jsou vhodné pro domácnosti, wellness centra, koupaliště, prádelny a další. Instalováním jednoduchého výměníku tepla můžeme ušetřit až polovinu nákladů spojenými s ohřevem teplé vody. Předehřátá voda může být napojena na ohříváč vody nebo přímo do mísící baterie, například ve sprše. Při přímém napojení se neztrácí teplo v potrubí po cestě do ohříváče, čímž je zaručena rychlejší návratnost.

4.4.1. Malý koupelňový výměník

Teplota vody, kterou se běžně sprchujeme, bývá kolem třiceti až čtyřiceti stupni celsia. Sprchováním se její teplota sníží přibližně o pět stupňů. Zbytek tepelné energie obsažené v teplé vodě odteče do stoky. Instalováním výměníku tepla můžeme tuto energii využít. Jak jsme již zvyklí, při sprchování odtéká voda do kanálu. Při použití malého koupelňového výměníku tepla, bude odpadní voda protékat nejdříve výměníkem, poté odteče přes zápachovou uzávěrku do kanalizace. Tepelná výměna je realizovaná protiproudě. Odpadní voda je schopná předat 12 – 15 °C vodě studené. Takto předehřátá voda je přimíchávána do teplé vody ze zásobníku. Tímto namícháním se výrazně snižuje množství spotřebované teplé vody až o 40%. Vhodné je využít termostatické baterie s nastavitelnou teplotou.

Připojení výměníků je vhodné realizovat co nejbližší odtoku, tedy ihned pod vaničku sprchového koutu. Tím vzroste stavební výška sprchy. Vzdálenější montáž výměníku by snižovala teplotu odpadní vody a tedy i celkovou účinnost. Výměník má dva vstupy a dva výstupy. Vstup a výstup pro odpadní vodu je pro plastové potrubí DN 40. Pitná voda se s výhodou napojí přes flexi potrubí s převlečnou maticí s 3/4“ světlostí. Pro zabránění snižování účinností je vhodné výměník čistit. Biologické čištění se doporučuje jako nejefektivnější. Bakterie ve formě prášku aplikujeme do odpadního potrubí dvakrát ročně [17].

Řešení je velmi vhodné pro každou domácnost. Počáteční náklady nejsou nijak vysoké, přitom uspořená energie je značná. V modifikovaném řešení lze výměník nainstalovat i na odpadní potrubí vany či myčky nádobí, a předehřátou vodu akumulovat v zásobníku teplé vody.



Obr. 4-3 Možnost zapojení [17]

4.4.1.1. Návrh koupelňového výměníku

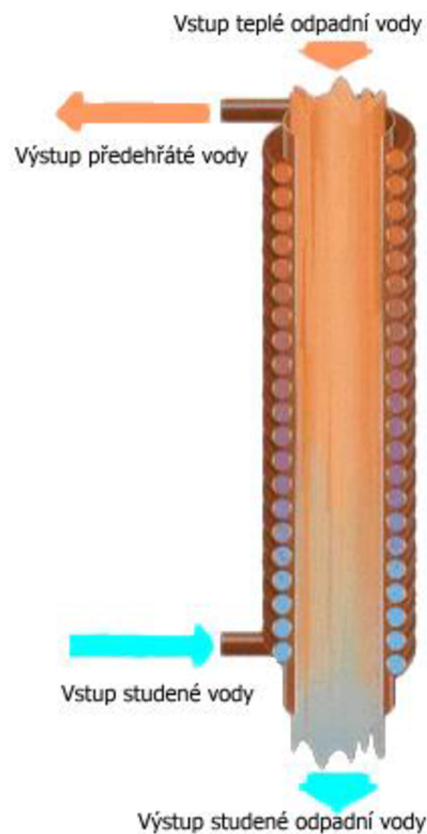
Teplota na sprchování se pohybuje v rozmezí 35 °C až 40 °C. Vlastním sprchováním se voda ochladí o 5 °C. Do kanalizace tedy odteče voda o teplotě min 30 °C. Tepelný výměník dokáže

využít až 14 °C. Voda ve vodovodním řadu, která má teplotu okolo 12 °C, bude tedy přehřátá až na 26 °C. Přehřátou vodu přivedeme přímo do směšovací baterie. Zde se mísí s teplou vodou. Potřeba teplé vody klesne tudíž až o 40 %. Dále do stoky odtéká ochlazená odpadní voda, která má teplotu minimálně 16 °C.

4.4.2. Systém GFX

Jedná se o systém, který byl vyvinut americkým ministerstvem energetiky. Je založen na jednoduché instalaci přímo do svodného potrubí. Jedná se o efektivní a velice jednoduchý způsob, jak ušetřit a využít teplo z odpadní vody.

Místo svodného potrubí namontujeme výměník tepla. Ten se skládá z vnitřní odpadní trouby a po obvodu šroubovitě navinutého potrubí. Celý výměník je z mědi, pro zajištění lepší tepelné vodivosti. Není třeba se bát o kontaminaci odpadní vodou, protože je zcela oddělena od vody pitné přes teplosměnnou plochu. Studená voda má přívod na spodní straně, jedná se tedy o protiproudý výměník.



Obr. 4-4 Výměník GFX [18]

Klesající odpadní voda po své trase v potrubí ohřívá studenou vodu. Provoz je založen na přírodním jevu – povrchovém napětí vody a gravitace. Povrchové napětí je natolik silné, že voda nejen obtéká stěny potrubí výměníků, ale je i zpomalována na rychlost mezi 0,4 – 1,2 m.s⁻¹. Povrchový film vody, který se drží po stěnách je tloušťky cca 300 – 685 mikronů při průtoku 0,03 – 0,2 l.s⁻¹. Teplo z tohoto filmu se přenáší do vody, která prochází přes výměník směrem vzhůru. Takto přehřátá voda může být vedena do ohřívачe vody, kde je následně ohřátá na požadovanou teplotu, nebo přímo do směšovací baterie. Z odpadní vody se využije až 80% její tepelné energie, což znamená, že se voda může přehřát až o 17 °C. Instalace je velmi snadná, a to buď profesionálním instalátérem, nebo to

zvládneme i sami během pár hodin. Instalace je vlastně výměna svodného potrubí (ideálně, když je na jednom svodném potrubí napojeno co nejvíce zdrojů odpadní vody), za výměník tepla. Ten může mít různé stavební délky, které jsou závislé na výkonu výměníku. Výměník se napojí na odpadní potrubí pomocí speciální objímky a to jak nahoře, tak i dole. Dále stačí jen napojit potrubí studené vody do výměníku tepla a výstup přehřáté vody do ohřivače vody. Tímto způsobem využíváme teplo odpadní vody pro přehřev vody, čímž ušetříme na energiích v průměru o 55%. Další výhodou je i nenáročnost, po nainstalování není nutno výměník čistit či ho obsluhovat. Výrobek byl nezávisle testován veřejnými společnostmi ve spojených státech, jako jsou Virginia Power a Pennsylvania Power and Light, došly k závěru; „ *GFX výměník pro recyklaci vody je velmi účinný tepelný výměník. Při měření efektivnosti (účinnosti recyklace) byl velmi blízky hodnotám, které jsou specifikované výrobcem*“ [18].

4.4.2.1. Návrh výměníku GFX

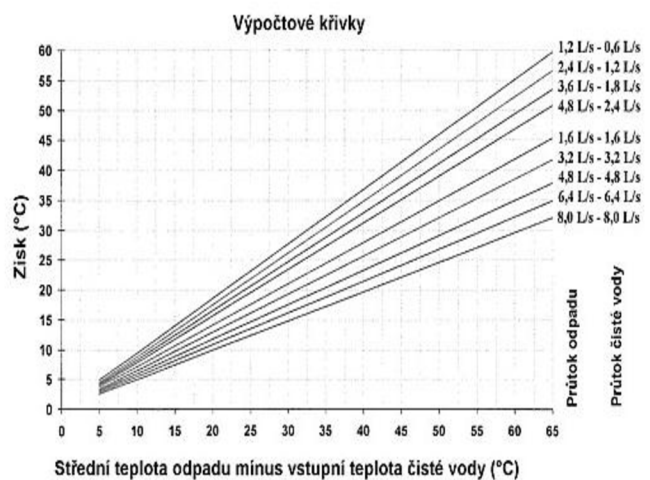
Výměník bude instalován do svodného potrubí a průběh teplot si ukážeme na sprše. Teplota vody pro sprchování je 40 °C. Ochlazená odpadní voda, která odtéká do kanalizace, má teplotu 35 °C. Studená voda z vnitřního vodovodu přitéká do výměníku GFX o teplotě 12,5 °C. Ve výměníku typu GFX G4-60, který stojí 650 US\$ (cca 13 000 Kč) [18], bude voda přehřívána na teplotu 27 °C. Takto přehřívána voda může být vedena přímo do baterie ve sprše nebo do ohřivače teplé vody. Ochlazená voda, která odeče do kanalizace, bude mít teplotu 21 °C. Celková úspora na ohřev teplé vody bude 50 %. Pro ohřev vody spotřebujeme cca 8,8 MWh.rok⁻¹. Kdybychom používali pro ohřev zásobník vody a kondenzační kotel, náklady na ohřev vody nás vyjdou na 15 184 Kč.rok⁻¹ [19]. Za rok bychom ušetřili polovinu této částky, tedy 7 592 Kč. Návratnost investice do výměníku GFX G4-60 činí 21 měsíců.

4.4.3. Výměník pro velké provozy

Princip je zde stejný a to odebrat tepelnou energii odpadní vodě. Vhodné je komerční využití pro průmysl, zejména pak lihovary, prádelny, wellness centra a všude tam, kde je produkována teplá odpadní voda. Návratnost investice a množství uspořené vody závisí na provozu. Obecně platí, čím více je výměník zatěžován, tím dříve se investice navrátí. Dá se říct, že se pohybujeme mezi jedním až třemi roky [20].



Obr. 4-5 Instalace výměníku [20]



Obr. 4-6 Výpočtové křivky [20]

Použitá odpadní voda je svedena do výměníku tepla. Ten tvoří systém kanálků, po kterých stéká voda o volné hladině. Teplosměnnou plochu tvoří nerezový plech. Do kanálků (absorbérů) je přiváděna protiproudě čistá voda, která je ohřívána teplou odpadní vodou. Systém se navrhuje individuálně pro každé použití na výpočtový průtok odpadní vody. Ten se pohybuje v rozmezí $0,2 - 8,0 \text{ l.s}^{-1}$. Se zvyšujícím se průtokem se zvyšuje počet absorbérů, který bývá od dvou do šestnácti.

Velké výhody nacházíme především ve velkých provozovnách, kde můžeme denně ušetřit několik tisíc kilowatthodin denně. Odpadní voda nepotřebuje žádnou zvláštní předúpravu a můžeme ji aplikovat i na silně znečištěné odpadní vody.

4.4.3.1. Návrh výměníku typ SUP 3

Umístění výměníku bude v prádelně. Teplota odpadní vody se zde pohybuje okolo $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota přivodní studené vody z řadu je $12 \text{ }^\circ\text{C}$. Použit bude výměník typu SUP 3, který má osm absorbérů. Průtok odpadní vody činí 1 l.s^{-1} . Dle výpočtové křivky určíme teplotní zisk z odpadní vody. Ten činí cca $16 \text{ }^\circ\text{C}$. Do kanalizace poteče ochlazená voda o teplotě cca $26 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.4.3.2. AQUAPARK Pasohlávky

V provozu od 22. 8. 2013

Odpadní voda z bazénů (2 bazény): $28\,000 \text{ l.h}^{-1} + 9\,000 \text{ l.h}^{-1}$, teplota $28 \text{ }^\circ\text{C}$

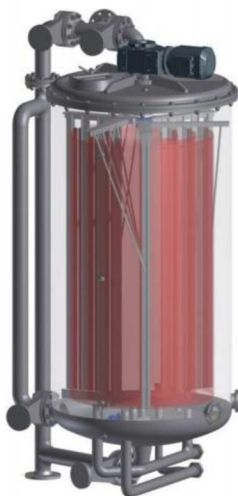
Teplota čisté vody: $\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Přímá úspora rekuperací: 350 kW.h^{-1}

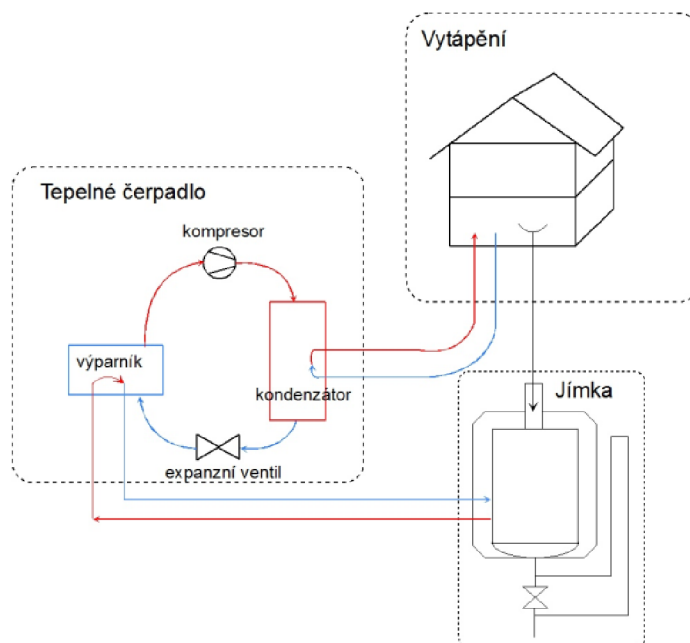
Následná úspora pro TČ: 175 kW.h^{-1} [20]

4.4.4. Zdržování odpadní vody v jímce

Při zachycování odpadní vody ještě před vypouštěním do kanalizace můžeme zvětšit topný faktor tepelného čerpadla a tím urychlit návratnost investice. Vycházíme z předpokladu, že teplá odpadní voda svedená do jímky má větší teplotu než odpadní voda ve stoce. Teplota odpadní vody v jímce se pohybuje okolo $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Systém je vhodný pro bytové domy, hotely, bazény a menší podniky. Odpadní voda je sváděna do protékané nádrže. V té je zavedeno primární potrubí tepelného čerpadla, které odebírá teplo odpadní vodě.



Obr. 4-7 Příklad jímky [21]



Obr. 4-8 Schéma zapojení jímky

Jímka se navrhuje tak, aby doba zdržení odpadní vody byla maximálně jeden den (z hygienických důvodů) a na velikosti průtoku odpadní vody, kolik dané spotřebiče vyprodukuje. Jímka je umístěna zpravidla v technické místnosti či v exteriéru. Dále musí být systém navržen tak, aby voda v jímce nezamrzala. Kdyby tepelné čerpadlo nebylo schopno vyprodukovat dostatečné množství tepla, muselo by být doplněno o další zdroj, například vrt či plynový kotel.

Řešení je výhodné pro místa s větším průtokem odpadních vod. Výhoda je také v tom, že jímku můžeme instalovat v různých objemech 500 – 10 000 l. Nádrž můžeme umístit uvnitř budovy nebo venku.

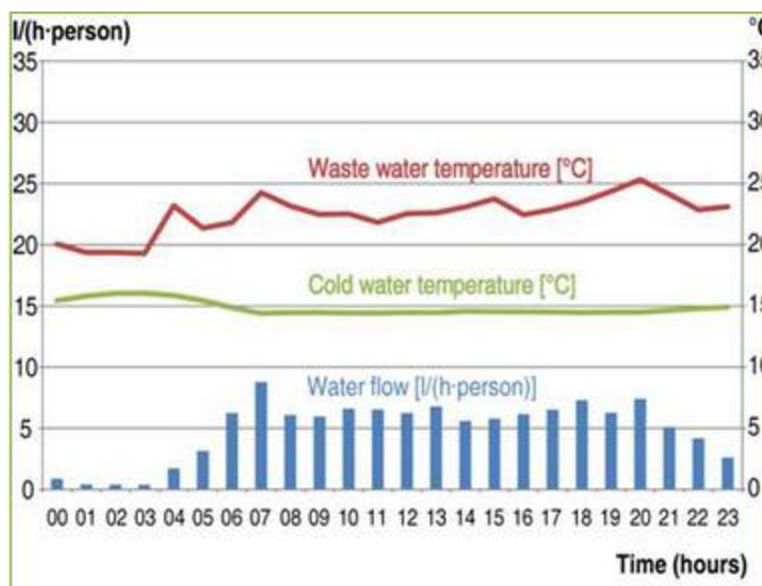
4.4.4.1. Příklad použití jímky ve Švýcarsku

Ve švýcarském domově pro seniory (100 lůžek) v Glarus, bylo instalováno v roce 2004 centrální zařízení pro využití tepla z odpadní vody. Zařízení se skládalo z výměníku tepla, který byl umístěn v externí jímce. Odpadní voda se zde využívá pro ohřev a následnou cirkulaci teplé vody. Instalováno je zde 30 kW tepelné čerpadlo, které dosahuje ročního topného faktoru 3,8 (naměřená hodnota) a to i přes vysoké znečištění odpadních vod [14].

4.4.4.2. Příklad použití jímky v Německu

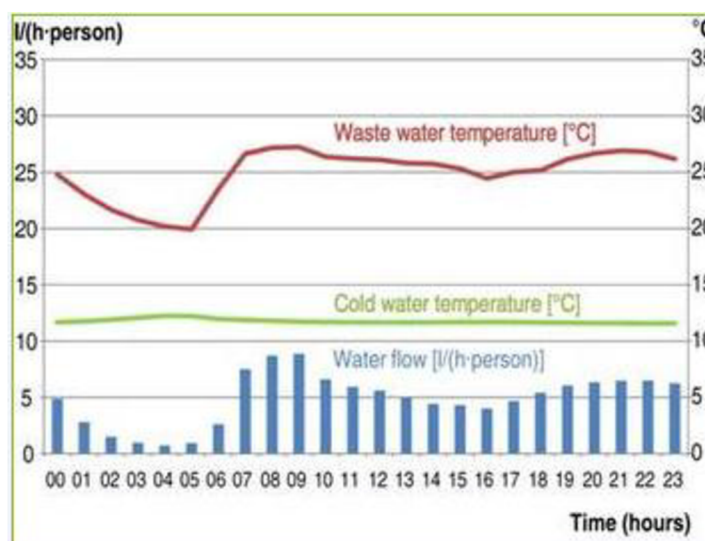
Německý program „In-house heat recovery of domestic waste water to increase the energy efficiency of buildings“ (Domovní zpětné získávání tepla z odpadní vody z domácností ke zvýšení energetické účinnosti budov) se zaměřuje na decentralizované využití odpadní vody. Vycházejí z předpokladu, že odpadní voda, která vychází z objektů, má vyšší teplotu než voda ve stoce. Na základě těchto výhod měřili a vyhodnocovali spotřebu vody na studentských kolejích a obytném domě.

V bytovém domě (8 bytových jednotek, 19 obyvatelů) v centru města Düren probíhalo od května do července 2012 měření spotřeby vody. Sledovali se průtoky a teploty studené, teplé a odpadní vody. Výsledky ukazují spotřebu vody ve všední dny do $117 \text{ l.os}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Průměrná teplota odpadní vody je $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Studená voda v průměru měření dosahovala teploty $14,8 \text{ }^\circ\text{C}$. V grafu není vidět rozdíl mezi pracovními dny a víkendem.



Obr. 4-9 Průběh kolísání spotřeby a teploty vody během dne – bytový dům[23]

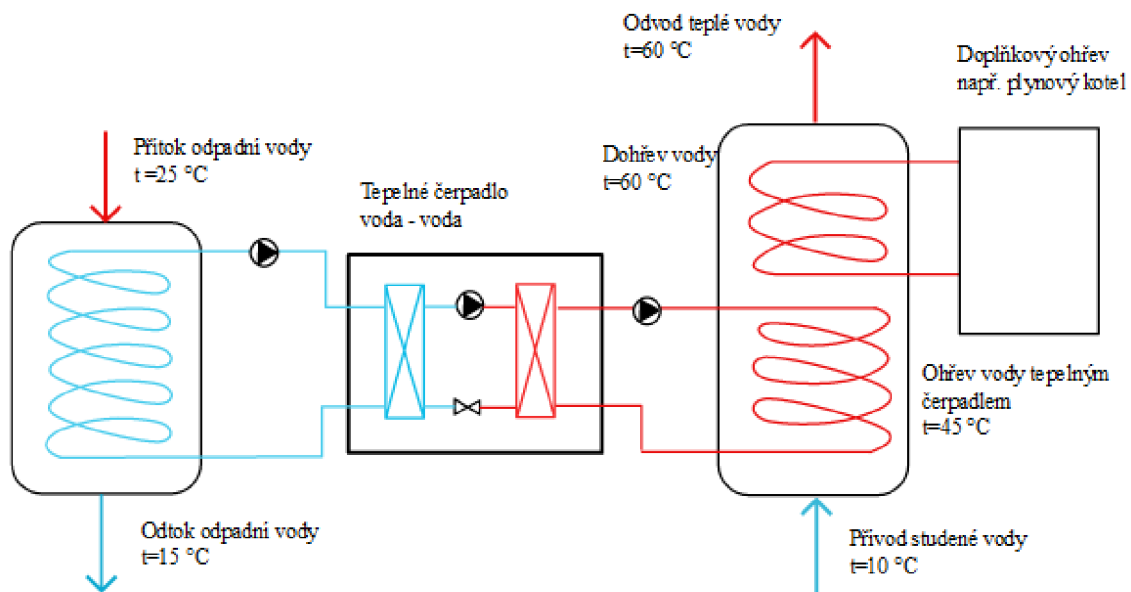
Výsledky měření ze studentských kolejí Theodore von Karman (224 obyvatel) v období od května 2011 do února 2012. Měřené hodnoty jsou od pondělí do pátku. Spotřeba pitné vody dosahovala v průměru $116,9 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. Průměrná teplota odpadní vody je $24,9^\circ\text{C}$. Studená voda v průměru měření dosahovala teploty $11,8^\circ\text{C}$. V grafu není zaznamenán víkendový provoz.



Obr. 4-10 Průběh kolísání spotřeby a teploty vody během dne – studentské koleje[23]

Z naměřených údajů nám vyplývá, že je odpadní voda ideálním zdrojem tepla pro systémy s tepelným čerpadlem. Akumulační jímka vyrovnává kolísání spotřeby vody během dne a slouží zároveň jako místo pro výměník tepla. Tepelné čerpadlo je zde využito pro ohřev teplé vody. Teplá voda se ohřívá ve dvou stupních. Předehřev je realizován tepelným čerpadlem, následný ohřev na 60°C se docílí plynovým kotlem (odstranění a předcházení výskytům bakterií Legionella).

V rámci výzkumného projektu [23] byly analyzovány systémy o jejich ekonomickém a ekologickém využití. Hydrografy profilů odpadní vody slouží pro simulaci výpočtů jako vstupní veličiny. Ve studentských koležích slouží tepelné čerpadlo pro přehřev teplé vody do 45 °C. Plynový kotel dohřívá vodu na 60 °C. Výkon tepelného čerpadla je 24 kW. Objem zásobníků teplé vody je 5 000 l stejně jako objem jímky na skladování odpadních vod. Na instalovaném místě se počítá s tvorbou biofilmu na tepelném výměníku v jímce. Ten má izolační vlastnosti a snižuje účinnost tepelné výměny. V simulaci výpočtu se počítalo s každodenním čištěním výměníku tepla.



Obr. 4-11 Schéma zapojení TČ pro ohřev teplé vody

Podle výpočtů se uvažuje spotřeba energie pro ohřev teplé vody na jednoho obyvatele 991,2 kWh.rok⁻¹. Tepelné čerpadlo poskytuje 475,5 kWh.rok⁻¹. Topný faktor tepelného čerpadla je 5,5 a pokrývá spotřebu 48%. Na základě výpočtů se odpadní voda ochladí průměrně na 18 °C [23]. Je to teplota, která neohrožuje provoz na čistírně odpadních vod.

4.5. VYUŽITÍ KANALIZACE JAKO ZDROJE TEPLA

Při využívání energie z odpadní vody v kanalizaci je nejdůležitější schválení provozovatelem kanalizací a čistírny odpadních vod. Základní podmínkou je, že činnost čistírny nebude narušena. Odebíráním tepla z odpadní vody dojde k jejímu ochlazení. Teplota surové odpadní vody, která přitéká na čistírnu odpadních vod, ovlivňuje účinnost biologické části. Teplota odpadní vody je tedy pro návrh takovýchto systémů limitující. Například její ochlazování na místech již s nízkou teplotou odpadní vody je zcela nepřijatelné.

Stupeň ochlazení surové odpadní vody v kanalizaci musí být vždy objasněn. Teplota odpadní vody, která přitéká na čistírnu, by podle Swiss Energy neměla být nižší než 10 °C. Celkové ochlazení by nemělo překročit 0,5 °C [14].

$$\Delta T = \frac{W_{OP}}{c \cdot \rho \cdot Q} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.1)$$

$$W_{OP} = c \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T \quad (4.2)$$

kde: ΔT – ochlazení odpadní vody [$^\circ\text{C}$]
 W_{OP} – množství odebraného tepla [kW]
 c – měrná tepelná kapacita vody, 4,18 [kJ.kg⁻¹. $^\circ\text{C}^{-1}$]
 ρ – měrná hmotnost vody (pro 10 $^\circ\text{C}$), 0,999701 [kg.l⁻¹]
 Q – průtok odpadní vody [l.s⁻¹]

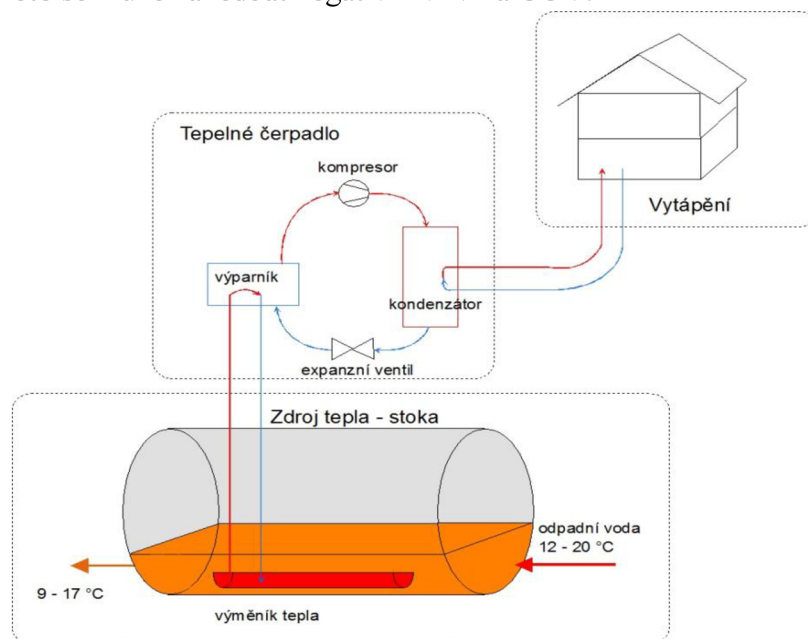
Z rovnice 4.1 vyplývá, že ochlazení odpadní vody je dáno především odebíráním tepelné energie. Avšak se zvyšujícím se průtokem zchlazení odpadní vody značně klesá. Množství odebraného nízkopotenciálního tepla pro tepelné čerpadlo je tedy ovlivňováno průtokem odpadní vody. Při vysokém průtoku můžeme z kanalizace odebírat stovky kW tepelné energie při minimálním poklesu teploty odpadní vody.

Rovnice 4.2 je pro výpočet maximální energie pro zadaný teplotní rozdíl.

Existují dva způsoby získávání energie z kanalizace. První z nich je instalace výměníku tepla do stoky, nebo při vybudování nové stokové sítě použitím prefabrikátů. Druhý způsob je vybudování externího výměníku s čerpáním odpadní vody. Obě varianty mají své výhody a obě jsou v provozu již třicet let [14].

4.5.1. Výměník tepla v kanalizačním potrubí

Teplota odpadní vody ve stoce má v průměru 10 – 20 $^\circ\text{C}$. Ve větších stokách je také zajištěn dostatečný a nepřerušovaný průtok. Díky tomu můžeme odpadní vodě odebírat teplo a to za pomoci speciálních výměníků tepla. Ty jsou integrovány ve speciálním kanalizačním potrubí (v případě nového potrubí), nebo mohou být instalovány speciální výměníky do stávajícího potrubí. Teplo odebrané ze stoky můžeme díky tepelnému čerpadlu využít k vytápění bytových domů, škol apod. Důležité je, aby se objekt nacházel v blízkosti stoky (kvůli ztrátám tepla v primárním okruhu TČ). Teplota odpadní vody, která projde přes výměníky, ochladne jen nepatrně. Proto se může zanedbat negativní vliv na ČOV.



Obr. 4-12 Schéma zapojení výměníku tepla ve stoce

4.5.1.1. Podmínky pro návrh

Pro úspěšné realizování a pohodlné užívání musí být splněna základní kritéria. Co nejkratší vzdálenost mezi spotřebitelem a umístění rekuperace tepla (stokou). Průtok odpadní vody by neměl být menší než 10 l.s^{-1} . Pokud je to možné, teplota vody ve stoce by měla být $10 - 15 \text{ }^\circ\text{C}$ a platí zde, čím vyšší teplota, tím lépe. Výměníky lze aplikovat do již funkčních stok, avšak musí mít minimálně DN 1 000. Při pokládce nového potrubí lze využít prefabrikátů a to již od DN 400. Chceme-li, aby tepelné čerpadlo dosahovalo vysokého topného faktoru, musí být teplota na výstupu do otopného okruhu nízká. Volíme tedy nízkoteplotní vytápění. Toto platí za předpokladu, že TČ bude navrženo jako bivalentní. Odpadní voda ve stoce by měla dosahovat rychlostí větších než $1,0 \text{ m.s}^{-1}$, abychom zamezili nežádoucímu zanášení teplosměnné plochy (biofilmem), které by vedlo ke snížení účinnosti. Proto je důležité znát teplotu a průtok odpadní vody, jeho kolísání a znečištění ještě před samotným návrhem. Nakonec musíme vhodně navrhnout rychlosti v primárním potrubí.

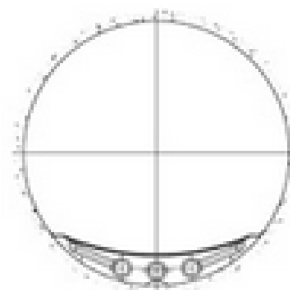
Systém by měl být lehce předdimenzovaný z důvodů provozní rezervy (kolísání teploty a průtoku ve stoce). Výměníky se navrhnu jako bezúdržbové, aby se nemusely čistit. Drobné práce a údržby by měli být minimální, lépe žádné [22].

4.5.1.2. Výměníky tepla vložené do potrubí

Výměníky tepla lze použít jak na novou, tak i na stávající kanalizaci. Umisťují se na dna odpadní trouby a odpadní voda předává teplo při průtoku. Výměníky jsou vyrobeny z nerezového plechu. Výměníky předávají tepelnou energii do potrubí primárního okruhu tepelného čerpadla. Potrubí jsou tři: přívodní, vratné a rozdělovací.

Tab. 4-1 Údaje o výkonu (výměník vložen do potrubí) [22]

DN POTRUBÍ	TEPELNÁ KAPACITA VÝMĚNÍKU [KW.M ⁻¹]
1200	3,2
1400	3,7
1600	4,2
1800	4,8
2000	5,3



Obr. 4-13 Výměník vložen do potrubí

4.5.1.3. Výměníky tepla integrované do potrubí

Jedná se o speciální provedení kanalizačního potrubí. Teplosměnnou plochu tvoří již vnitřní potrubí, které teplo odebrané z odpadní vody předá do potrubí integrovaného ve stěně. Vnitřní potrubí je ocelové. Kanalizační potrubí je předizolované. Spojuje se svařováním. Izolace potrubí je chráněna vnější chráničkou z PE. Volné montážní spoje jsou vyplněny PUR pěnou a převlečeny ochranným pouzdem.

Potrubí pro gravitační stoku, má potrubí pro primár TČ uloženo ve stěně (spodní část). Tepelná výměna zde závisí na výšce hladiny v potrubí. U tlakové kanalizace je distribuční potrubí uloženo u horního okraje.

Tento typ potrubí můžeme využít jak pro novou kanalizaci, tak i u výměny kanalizace starší. Potrubí se vyrábí v délkách od dvou do šesti metrů. Výhodou tohoto potrubí je, že se nezmenšuje průřezná plocha a tedy i kapacita stoky. Bohužel se jejich montáž neobejde bez výkopové práce.

Tab. 4-2 Údaje o výkonu (výměník integrován do potrubí, gravitační stoka) [22]

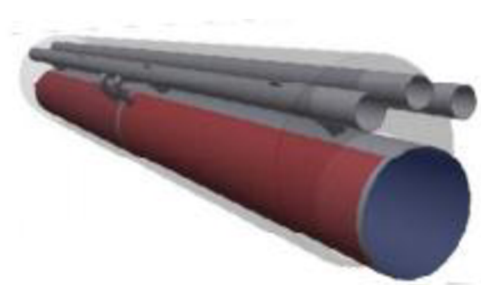
<i>DN POTRUBÍ</i>	<i>TEPELNÁ KAPACITA VÝMĚNÍKU [KW.M⁻¹]</i>
200	0,6
400	1,1
600	1,6
800	2,1
1200	3,2



Obr. 4-14 Integrovaný výměník tepla – gravitační potrubí

Tab. 4-3 Údaje o výkonu (výměník integrován do potrubí, tlaková stoka) [22]

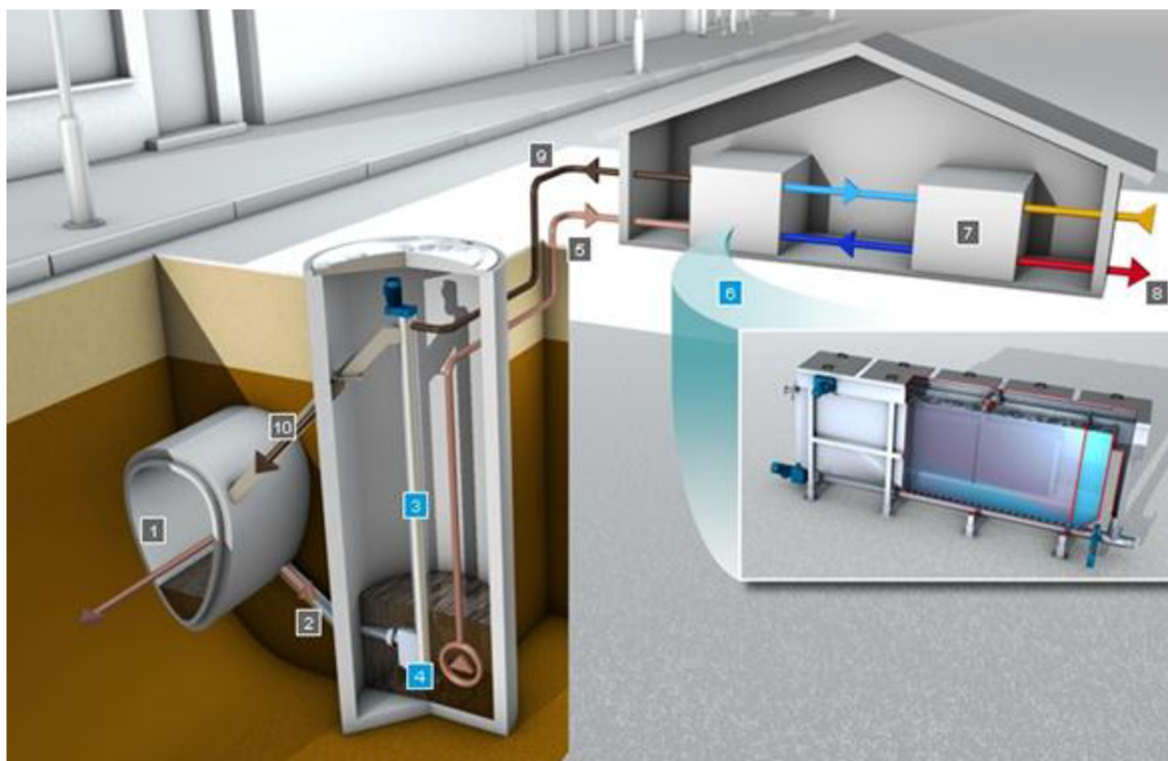
<i>DN POTRUBÍ</i>	<i>TEPELNÁ KAPACITA VÝMĚNÍKU [KW.M⁻¹]</i>
200	1,6
400	3,2
600	4,8
800	6,3



Obr. 4-15 Integrovaný výměník tepla – tlakové potrubí [22]

4.5.2. Systém HUBER

Inovativní systém HUBER odstraňuje nevýhody výměníků tepla umístěných ve stoce. Výměna tepla neprobíhá v kanalizaci, ale odděleně. Odpadní voda se oddělí ze stoky a použije se pro tepelnou výměnu tepla. Ochlazená odpadní voda se poté navrácí do kanalizace. Tím odpadájí nároky na výměníky umístěné v potrubí stoky. Minimální průtoky a sklony kanalizace nás stejně jako průtok odpadní vody limitují mnohem méně. Také investiční náklady jsou nižší. Navíc instalace může proběhnout za plného provozu stokové sítě. Provoz systému je snadnější, jelikož se veškeré strojní zařízení nachází mimo kanalizační potrubí.



Obr. 4-16 Zapojení systému HUBER [24]

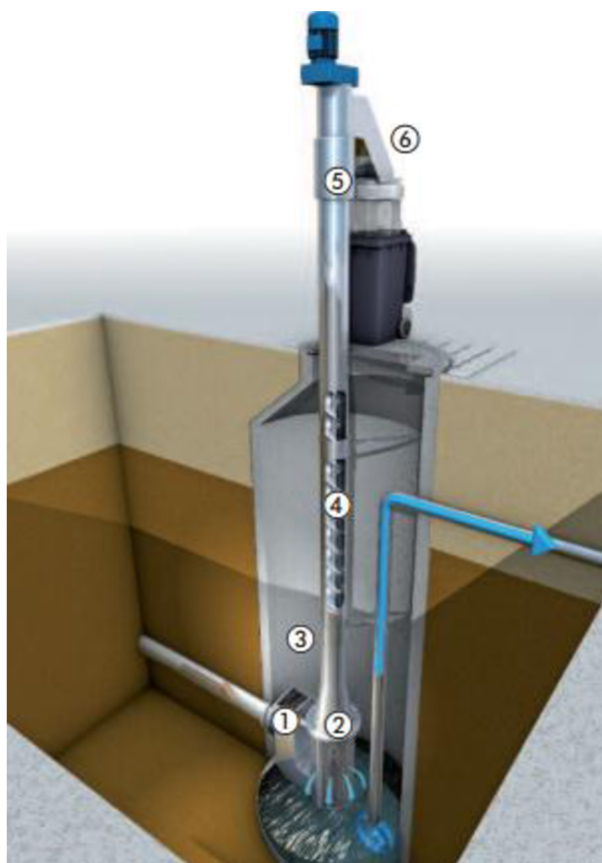
4.5.2.1. Obecný popis technologie

Princip systému je následující. Z kanalizace (1) je odebírána odpadní voda navrtávkou v potrubí (2), které je zaústěno do čisticí šachty. Odpadní voda je zde čištěna od hrubých nečistot pomocí perforovaného koše (4). Nečistoty jsou z koše odnášeny šnekovým podavačem směrem vzhůru (3). Odpadní voda zbavená hrubých nečistot a pevných látek je čerpána (5) do výměníku tepla HUBER RoWin (6). Ochlazená odpadní voda z výměníku tepla je vedena zpět do kanalizace (9). Tento proud odpadní vody je veden tak, aby odplavoval nečistoty, které byly šnekem vyneseny, zpět do kanalizace (10). Tepelné čerpadlo (7) produkuje teplo pro vytápění, které je vedeno ke spotřebitelům (8) [24].

4.5.2.2. Čištění v kanálových šachtách

Jelikož tepelná výměna neprobíhá v kanalizaci, ale mimo ni, je třeba odpadní vodu, která se nachází pod úrovní terénu, přečerpat. K tomu jsou nutná čerpadla. Odpadní voda je ale plná pevných látek, které mohou čerpadla poškodit či úplně zničit. Systém ROTAMAT® RoK 4 [24] umožňuje vodu vyčistit a následně čerpat.

Hlavní součástí systému RoK 4 je vertikální perforovaný koš (2) a kalový šnekový dopravník. Šnekový podavač je umístěn ve vertikální rouře (4). Přítok odpadní vody (1) je v dolní části. Následně odpadní voda protéká perforovaným košem, na kterém se zachycují pevné částice a nečistoty. Síto je čištěno pomocí kartáče, který je upevněn po obvodě rotačního šneku. Šnekový podavač tyto shrabky odstraňuje a odvodňuje při pohybu vzhůru. Shrabky jsou následně splachovány zpětným proudem ochlazené odpadní vody do kanalizace. Přecezená voda je čerpána do výměníku tepla [25].

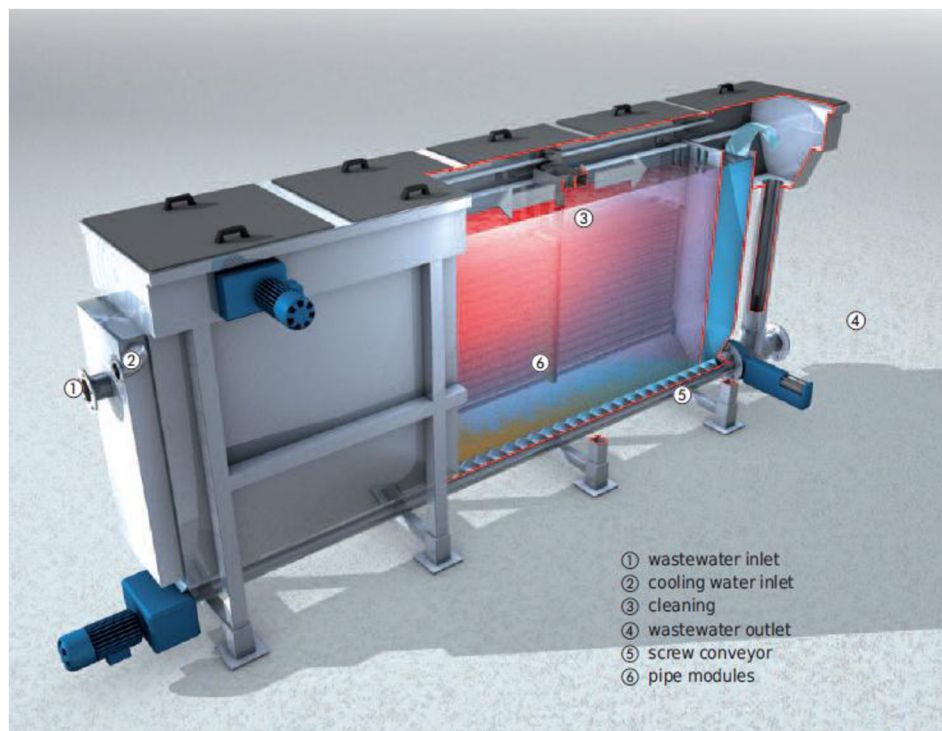


Obr. 4-17 Schéma zapojení čistící šachty [25]

4.5.2.3. Tepelný výměník HUBER RoWin

Výměník tepla je zhotoven z nerezové oceli. RoWin je nádrž, ve které je umístěno potrubí. Toto potrubí je z nerezové oceli a uspořádané tak, aby docházelo k co největšímu přenosu tepla mezi odpadní vodou a primárním rozvodem tepelného čerpadla. Biologické složení odpadní vody může vést k tvorbě biofilmu na teplosměnné ploše. Vznik biofilmu vede k nežádoucímu snížení tepelné vodivosti a tedy celkové účinnosti systému. Proto je třeba výměník preventivně čistit. Sedimenty, které se usazují na dně nádrže, jsou odstraňovány pomocí rotačního šneku. Znečištění se vrací zpět do kanalizace společně s ochlazenou odpadní vodou. Výměník je možno instalovat nad zemí i pod zemí. V případě instalace nad povrchem země je nutné výměník tepelně izolovat. Instalování nad zemí s sebou nese výhodu z hlediska čištění a údržby. Výměníky jsou prováděny v modulech, tak aby vyhovovaly specifickým požadavkům investora. Tepelné čerpadlo zapojené do systému může využívat tepelného výkonu až několik set kilowattů.

Tento systém má mnoho výhod. Instalace je snadná a rychlá. Buduje se pouze šachta vedle stávající stokové sítě. Kanalizace je během výstavby plně v provozu, jediná změna na potrubí stoky je vytvoření dvou otvorů: pro přívod teplé odpadní vody do šachty a pro vratné potrubí ochlazené odpadní vody z výměníku RoWin. Instalaci můžeme aplikovat na jakýkoliv tvar potrubí stoky. Tepelný výměník se instaluje vedle tepelného čerpadla. Tím se minimalizují tepelné ztráty v potrubí. Instalace by měla být v budově, která se nachází blízko spotřebiště. V závislosti na potřebě tepla a teploty odpadních vod je řízen přítok odpadních vod do výměníku čerpadlem. Proces je plně automatizovaný a regulovaný. Neovlivňuje průtok odpadních vod v kanalizaci. Turbulentní proudění ve výměníku snižuje tvorbu biofilmu. Údržba a kontrola výměníku je snadná díky instalaci v objektu. Není tedy nutné provádět údržbu v kanalizaci. Tepelný výměník a tepelné čerpadlo můžeme využít pro chlazení budov v letním období [26].



Obr. 4-18 Tepelný výměník HUBER RoWin [26]

4.5.2.4. Návrhová kritéria

Pro efektivní získávání tepla z odpadní vody musí být splněna následující kritéria. Ve stoce musí být minimální průtok alespoň $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ odpadní vody. Výkon tepelného čerpadla by měl být alespoň 20 kW (ekonomické hledisko). Výhodné jsou budovy s nízkoteplným vytápěním. S klesající teplotou vratného potrubí vytápění se zvyšuje topný faktor tepelného čerpadla. Spotřebiště by se mělo nacházet v blízkosti stokové sítě [24].

4.5.2.5. Realizované projekty

Výšková budova Wintower ve Švýcarsku má celkovou plochu $22\,000 \text{ m}^2$ rozdělenou do 28 podlaží. Odpadní voda je zde využita pro chlazení a vytápění. Jako zdroj tepla je využita stoka s průtokem odpadních vod $50 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Předčištěná odpadní voda je čerpána čerpacím zařízením RoK 4. Dvě ponorná čerpadla dodávají odpadní vodu jako zdroj energie do dvou výměníků RoWin velikosti 6. Tepelné čerpadlo produkuje až 600 kW energie [27].

Studentské koleje Straubing v Německu. Straubing se nachází ve východním Bavorsku. Odpadní voda je využívána k vytápění celkem 11 budov s celkovým počtem pokojů 112. V blízkosti kolejí se nachází kmenová stoka s průtokem 20 l.s^{-1} . Tepelná čerpadla zde pracují s průměrným topným faktorem 5,0 o výkonu 260 kW. Instalováním tohoto systému se snížil roční počet emisí CO_2 o 80 %. Z odpadní vody se rekuperuje až 70 % tepla [28].

4.6. ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA Z VYČIŠTĚNÉ ODPADNÍ VODY

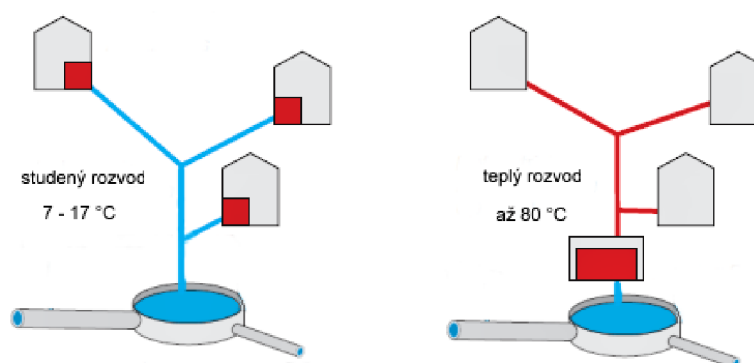
Energetický potenciál vyčištěné odpadní vody je mnohem vyšší než pro surové odpadní vody v kanalizaci. Vyčištěná voda může být zchlazena až o $8 \text{ }^\circ\text{C}$. Je dokonce žádoucí nevypouštět teplé odpadní vody z čistíren. Energetické využití je ale složitější, jelikož čistírny odpadních vod jsou většinou vzdálené od občanské vybavenosti.

4.6.1. Využití v čistírnách odpadních vod

Jedná se o ideální případ využití tepla z vyčištěné odpadní vody. Vzniklé teplo by mohlo najít využití jako zdroj tepla pro vyhřívací nádrže či sušení kalu. Skutečnost je však taková, že čistírny jsou v tomhle směru samostatné a to díky získávání bioplynu v kogeneračních jednotkách. Využití se možná najde v budoucnu pro větší čistírny, které dokážou produkovat bioplyn o vyhovující kvalitě, aby mohl být dotován do plynovodní sítě.

4.6.2. Využití mimo čistírny odpadních vod

V samotném Švýcarsku existuje 20 čistíren, které využívají teplo z vyčištěné odpadní vody. Využití může probíhat dvěma způsoby: studený a teplý rozvod. Studený rozvod znamená, že vyčištěná odpadní voda je čerpána ke spotřebitelům zpět do městské zástavby. Výroba tepelné energie se poté provádí decentralizovaně. Po tepelné výměně se vyčištěná a ochlazená odpadní voda vypouští zpět na čistírnu odpadních vod (a následně vypouštěna do recipientu z jednoho místa), nebo přímo vypouštěna do recipientu, je-li to možné. V druhém způsobu je produkováno teplo přímo na čistírně nebo v její těsné blízkosti a následně řešeno jako centralizované zásobování teplem [14].



Obr. 4-19 Druhy rozvodu vyčištěné odpadní vody

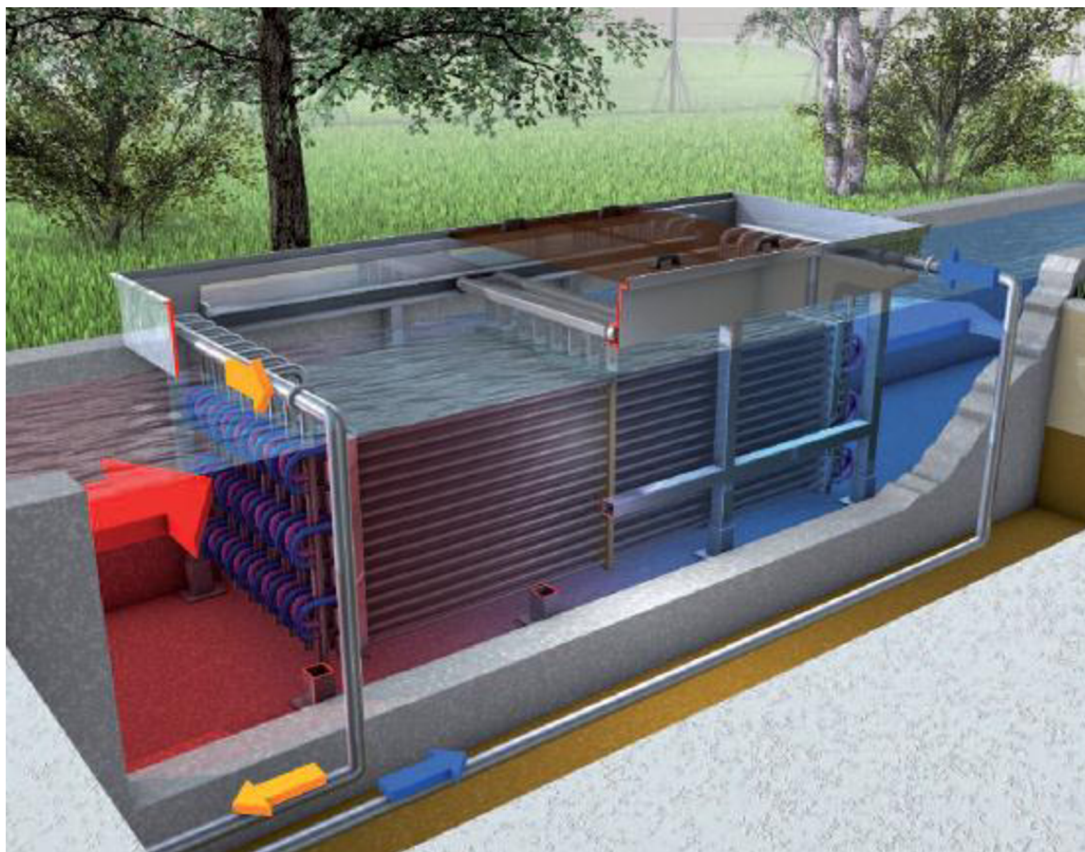
4.6.2.1. Příklad čistírny v Bernu – Švýcarsko

Kapacita čistírny je přibližně 350 000 EO. Energetický potenciál vyčištěné odpadní vody je více než 30 MW. Součástí tohoto energetického potenciálu je odběr 1 400 kW sousedním Bremgartenem. Teplárny v Bremgartenu produkují 5 GWh tepla ročně. Přibližně 60 %

z tohoto tepla pochází z odpadních vod. Naměřený roční topný faktor tepelných čerpadel je 3,0 [14].

4.6.3. Využití pomocí výměníku RoWin HUBER

Výměník tepla HUBER RoWin můžeme s výhodou využít i na čistírnách odpadních vod. Vyčištěná odpadní voda se svede z dosazovacích nádrží do betonového žlabu, ve kterém je osazen tepelný výměník. Není zde zapotřebí žádné čerpadlo, voda odtéká samospádem.



Obr. 4-20 Výměník tepla RoWin v betonovém žlabu [26]

Největší výhodou systému je větší potenciál vyčištěné odpadní vody. Ta může být zchlazena na nižší teplotu než ve stoce před čistírnou. Růst biofilmu na výměníku není zcela vyloučen. Z tohoto důvodu je nutná kontrola a údržba systému, aby nebyla zmenšována tepelná kapacita výměníku. Systém výměníků tepla RoWin se může zapojit sériově i paralelně. Tím se přizpůsobí jakékoliv náročnější instalaci a specifickým podmínkám dané čistírny.

Tento systém má několik výhod. Mezi nejdůležitější patří zajištění konstantního gravitačního průtoku. Dále zde nepotřebujeme mechanické předčištění, voda již vyčištěna je. Vyčištěnou odpadní vodu můžeme také více ochladit, což je žádoucí nejen z energetického důvodu, ale lepší se tím i podmínky v recipientu. Tento systém se nemusí výhradně používat na čistírnách odpadních vod, ale i tam kde je vypouštěna teplá a málo znečištěná voda do kanalizace [26].

4.6.3.1. Realizované projekty

Leukerbad ve Švýcarsku je jedním z největších lázeňských a rekreačních středisek v Alpách. Jedná se o termální lázně. Odpadní voda z bazénů dosahuje teploty 30 °C. Tato voda je

znečištěna vlasy, kůží, tukem a dalšími produkty vzniklých při koupání. Průtok odpadní vody je $9 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Byly zde instalovány dva výměníky RoWin velikosti 8. Ochlazená voda odtéká na čistírnu odpadních vod. Získaná tepelná energie z tepelného čerpadla je 450 kW [29].

4.7. CHLAZENÍ ODPADNÍ VODOU

Pro investory je důležitá otázka návratnosti investice. Využívání odpadní vody pro vytápění využijeme pouze v topném období. Po zbytek roku se technologie může využít pro chlazení budov. Moderní tepelná čerpadla mohou pracovat i v „obráceném režimu“. Tato kombinace je obzvláště zajímavá. Jedna technologie může být použita při vytápění v zimě i pro chlazení v létě. Počáteční náklady se tedy sníží, jelikož nebude zapotřebí kupovat zdroj chladu. Chladná voda je rozvedena do výměníku tepla umístěném ve vzduchotechnické jednotce. Zde je výměník zahříván proudícím vzduchem, který se na výměníku ochlazuje. Chladný vzduch je odtud vzduchotechnickým potrubím rozveden do celé budovy. Chlazení je nepřímé, kondenzátor tepelného čerpadla je napojen buď na výměník tepla typu chladicí voda/odpadní voda, nebo přes systém trubních výměníků integrovaných v kanalizačních troubách.

Odpadní voda zde figuruje jako chladicí voda pro kondenzátor. Tím odpadají další náklady pro ochlazování budov, není nutná žádná chladicí věž, nebo vzduchem chlazený kondenzátor, pro který je nutný ventilátor. Díky odpadní vodě se tedy sníží i náklady na provoz. Oteplení závisí hlavně na množství dodaného tepla a také na průtoku odpadní vody. Platí zde rovnice 4.1 a 4.2. Dále zde musí platit pravidla mezi provozovatelem stokové soustavy a provozovatele chladicí techniky. Ohřátí odpadní vody může vést následnému oteplení recipientu.

5. EKONOMIKA A EKOLOGIE PROVOZU

Studie švýcarského úřadu pro energii Swiss Federal Office of Energy ukazuje ekonomickou životaschopnost na třech základních ukazatelích:

- ceny tradičních zdrojů energie
- velikost systému (požadavky na výkon)
- tepelné hustotě využití (využití tepla z TČ)

Při dnešních cenách ropy 106,24 US\$ za barel (ropa Brent k 5. 4. 2014) a typickému tepelnému toku 2,5 MWh na jeden metr distribuční sítě, mezní hodnota pro ekonomické vytápění energií z odpadní vody je přibližně 1 MW[14]. Tato hodnota se vztahuje k bivalentnímu vytápění s 60% až 80 % dodávkami tepla pomocí tepelného čerpadla. Jestliže je budova nejen vytápěna, ale i chlazená, hraniční hodnota na poptávku tepla výrazně klesá. Studie dále ukazuje, že náklady na výrobu energie z odpadní vody pomocí tepelných čerpadel se pohybují v rozmezí od 0,07 US\$ po 0,22 US\$ (1,4 Kč až 4,4 Kč) za kWh [14].

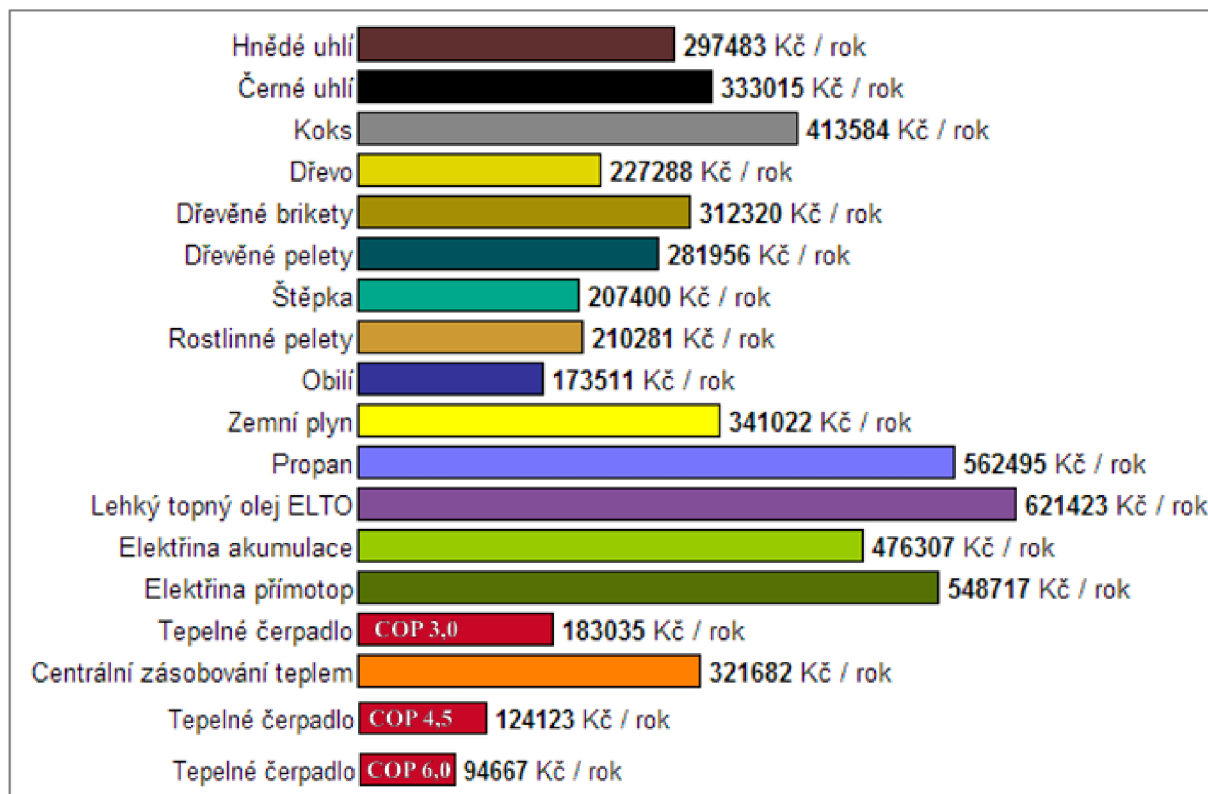
5.1. ÚČINNOST

Tepelná čerpadla pracují velice efektivně. Spotřeba primární energie ve vztahu k užitečné energii vyrobené je mnohem nižší než u tradičních systémů na výrobu tepla či chladu. Ve srovnání s kondenzačním plynovým kotlem tepelné čerpadlo odpadní voda/voda, spotřebovává o 10 % méně primární energie. Ve srovnání s olejovým ohřivačem spotřebovává dokonce o 23 % méně energie. Také ve srovnání s jinými tepelnými čerpadly si vede velice dobře. Klasická tepelná čerpadla země/voda, které dosahují nejvyšších topných faktorů, nedosahují zdaleka tak dobrých výsledků jako tepelná čerpadla odpadní voda/voda. Je třeba také zmínit, že pořizovací náklady na vrtné sondy patří k velkému podílu z ceny na systému TČ země/voda. Vrtané sondy také již nelze po zabudování nijak opravovat. Soustava přečerpávání vody ze studní (přečerpávací a vsakovací) se může využít jen tehdy, je-li zajištěno vhodné proudění podzemní vody při vysoké hladině podzemní vody. Ve stoce nám problémy na zábor pozemků či vrtání sond aj. odpadají. Kanalizace má také stálé teploty po celý rok. Je tedy nejvhodnějším zdrojem pro tepelná čerpadla. Topné faktory se pohybují od 4,5 do 6. Ve švýcarské Basileji naměřili rekordní hodnotu COP více než 7 [14]!

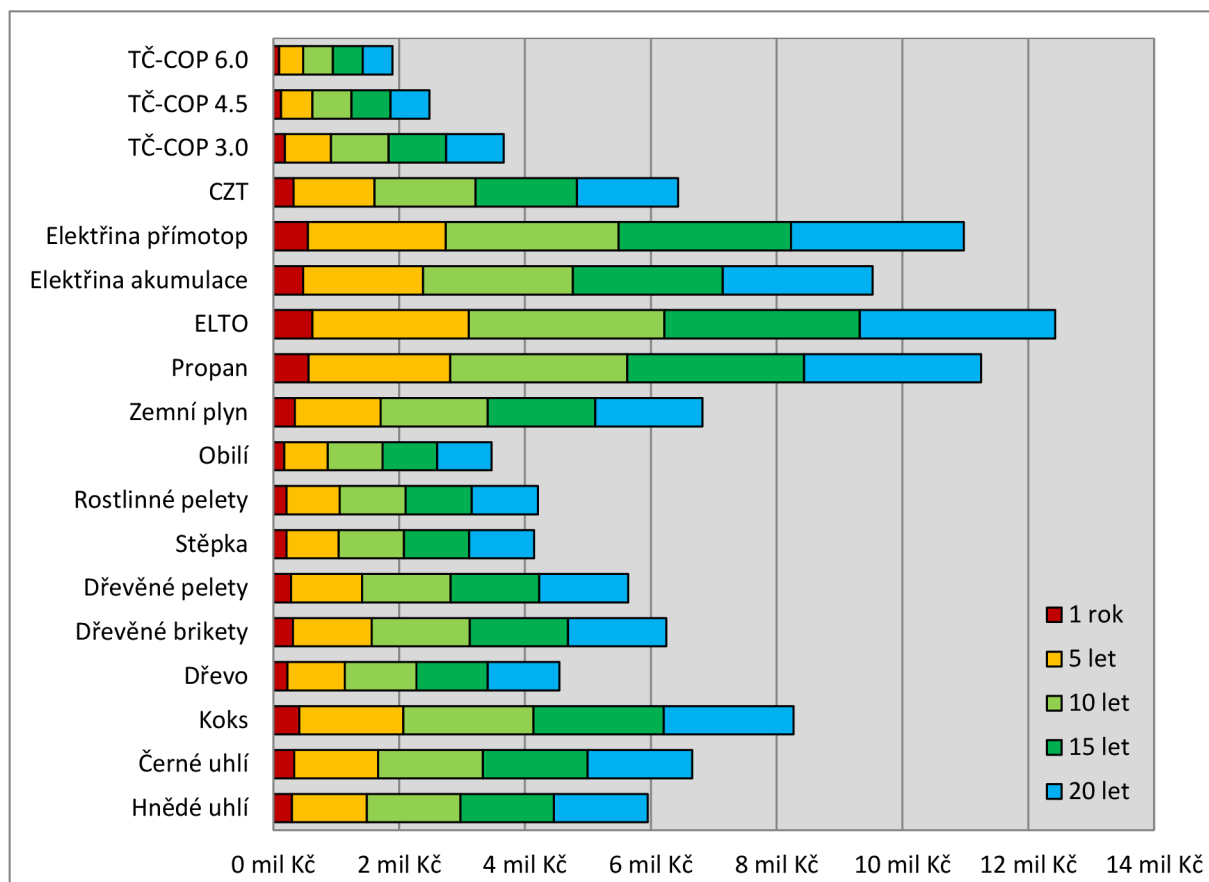
Nesmí se také zapomenout na provozování tepelných čerpadel. Náklady na provoz jsou bezkonkurenčně nejnižší, přitom řízení a regulace celého systému probíhá plně automaticky. Životnost tepelných čerpadel se pohybuje mezi 20 a 25 roky.

Následující tabulka (Obr. 5-1) porovnává náklady na provoz budovy v klimatické oblasti Brno pro výpočtovou venkovní teplotu -12 °C. Tepelná ztráta budovy je 100 kW, uvažuje se s ohřevem teplé vody. Výpočtová vnitřní průměrná teplota je 19 °C. Ve výpočtu byly zohledněny skutečné doby vytápění dle denostupňové metody. Teplá voda je ohřívána po celý rok. Ze srovnání je patrné, že provoz tepelného čerpadla je provozně nejlevnější. Dokonce můžeme vidět srovnání provozu mezi topným faktorem 3,0 u běžných tepelných čerpadel. Provozování tepelných čerpadel odpadní voda/voda se reálný topný faktor pohybuje v průběhu topné sezóny mezi hodnotami cca 4,5 až 6,0. Z porovnání vyplývá, že roční náklady na provoz jsou okolo 110 000 Kč. Je nutno připomenout, že provoz TČ je plně automatizován a regulován. Do výpočtu je zahrnuta cena za potřebný jistič.

Na Obr. 5-2 jsou zobrazeny náklady na provoz za pět, deset, patnáct a dvacet let. Toto srovnání může ovlivnit rozhodování při koupi levnějšího spotřebiče (plynový či elektrický kotel), nebo při pořízení dražšího systému s tepelným čerpadlem. Větší investice se vrátí zpět a to výrazně nižšími provozními náklady.



Obr. 5-1 Roční porovnání nákladů na vytápění [30]



Obr. 5-2 Porovnání nákladů na vytápění během dvaceti let

5.2. VZTAH K ŽIVOTNÍMU PROSTŘEDÍ

Využívání energie z odpadních vod je šetrné k životnímu prostředí. Tepelná čerpadla jsou poháněna elektrickou energií z elektráren. Tímto je docíleno zmenšení emisí CO₂ až na 22 % oproti olejovému topení.

Tab. 5-1 Relativní emise CO₂ z energetických systému [14]

TČ odpadní voda/voda, bivalentní	22 %
TČ odpadní voda/ voda, multivalentní	41 %
Plynový kondenzační kotel	63 %
Olejové topení	100 %

Průměrný roční COP 3,5, výkon: TČ 80 %, plynový kotel 20 %

Účinnost kombinované výroby el. energie a tepla: el. energie 35 %, teplo 55 %, podíl výroby tepla: TČ 50 %, kogenerační jednotka 30 %, plynový kotel 20 %.

5.3. VYUŽÍVÁNÍ ENERGIE Z ODPADNÍ VODY

Aby bylo možné odpadní vodu využít jako primární zdroj pro tepelná čerpadla, je třeba mít data z měření a základní údaje. Takové to data můžeme získat buď z monitorovací kampaně, nebo z generelu odvodnění (má-li město). Poté můžeme najít místa ve stokové síti, která jsou vhodná pro využití technologie získání tepla z odpadní vody a zároveň takové místa, která jsou v těsné blízkosti potenciálních odběratelů tepla (školy, administrativní budovy, hotely apod.).

Jakmile jsou nashromážděna data o potenciálu energie z odpadní vody, může se začít plánovat regionální dodávka energií. Například ve Švýcarsku mají napájecí plán, který určuje prioritu různých zdrojů v různých čtvrtletích. Využívá se zde zemní plyn, geotermální energie nebo tepla z podzemní vody. V blízkosti kmenových stok či čistírny odpadních vod se přednostně využívá energie z odpadní vody. Vyskytuje-li se stavba v takovémto místě, je využití tepelného čerpadla odpadní voda/voda přednostně povinností v případě, že nebude ohrožen provoz na čistírně odpadních vod [14].

5.3.1. Místní orgány

Využíváním odpadní vody jako zdroje energie pro vytápění by se mohlo docílit k plnění cílů v oblasti životního prostředí. Řada švýcarských měst v této době působí v šíření této technologie. Místní orgány (obce, města) by se měly spolufinancovat na výstavbě těchto systémů pro veřejné budovy sloužící obyvatelům, jako jsou školy, úřady či nemocnice. Dále by provozovatelé kanalizací měli poskytovat informace pro projektování pro potenciální zájemce [14]. U nás se zatím o tepelných čerpadlech mluví jako o alternativním zdroji. V roce 2009 bylo tepelné čerpadlo použito asi v každé desáté novostavbě. Ve Švýcarsku se tepelné čerpadlo instaluje do 60 % novostaveb, ve Švédsku dokonce do 90 % novostaveb. V dnešní době je ve Švédsku vytápěno obnovitelnými zdroji tepla více než 70 % všech rodinných domů [30].

5.4. PRÁVNÍ ASPEKTY

Zařízení pro dodávky energie, které využívají odpadní vody, potřebují kromě běžného stavebního povolení i povolení týkající se právní ochrany potoků a řek (recipientů). Také je nutný souhlas od provozovatele kanalizační soustavy a čistírny odpadních vod. To vše může

znamenat, že licence nemusí být získána [14]. Ideální případ je takový, že vlastník kanalizace je zároveň provozovatelem kanalizace. Tímto mohou odpadnout případné problémy a nesrovnalosti. Nesmí být také zapomenuto, že odpadní voda nemusí být jen odpadem, ale i zdrojem.

Ochlazení či ohřátí nesmí být takové, že by narušilo chod čistírny odpadních vod. Dále musí být zaručena ochrana vodních toků (recipientů). Nesmí dojít k ovlivnění teploty vody v recipientu. Z tohoto důvodu je nutné právní schválení od orgánu, který je za to zodpovědný. Tento orgán stanoví, zda je využití odpadní vody (ochlazení nebo oteplení) ospravedlnitelné [14].

Veškeré závazky a povinnosti v souladu s budovou, provoz a údržba zařízení pro výrobu energie z odpadní vody, nenarušení funkčnosti stokové soustavy, by měli být stanoveny na základě dohody mezi provozovatelem (vlastníkem) ČOV (VaK na daném území) a uživatelem systému využití tepla z odpadní vody. Obecně by mělo být dáno, že poplatek za využívání odpadní vody jako zdroje energie, by byl pouze symbolický. Vysoký poplatek by byl nevýhodný pro ekonomickou životaschopnost systému s využitím odpadních vod [14].

5.5. PROVOZ SYSTÉMU

Pro co nejdélší životnost a optimální účinnost systému je nutné počítat s jeho udržováním. Jedná se především o znečištění výměníků tepla. Tvorba biofilmu je více než nežádoucí. Biofilm snižuje přestup tepla, tím i celkovou účinnost systému. Tvorbu biofilmu nelze nikdy vyloučit. V nejhorsím případě, může být topný faktor tepelného čerpadla snížen až o 2. Tvorba biofilmu musí být udržována v kontrolovatelných mezích:

- Prevence tvorby biofilmu u primárního čištění odpadních vod
- Pravidelné čištění výměníku tepla
- Rozšíření teplosměnných ploch – předimenzování systému [14]

Čištění biofilmu na potrubí integrovaném ve stoce je takřka nemožné. Zde není nutné čerpání odpadní vody. Na druhou stranu, systém s předčištěním odpadní vody a automatickým čištěním výměníku tepla, se může jevit jako provozně dražší. Odpadní voda se musí přečerpávat, čímž se zvedají provozní náklady. Díky předčištění a samočisticím mechanismům výměníku tepla je zaručena větší provozní stabilita. Externí výměníky jsou také lépe přístupné než výměníky uložené v podzemí.

Efektivní provoz tepelných čerpadel odpadní voda/voda vyžaduje odpovídající kontrolní strategii a inteligentní hydraulickou koncepci, aby bylo možné optimálně řešit kolísání energie (změny průtoků odpadní vody a změny dány odběrem tepelné energie). Celý systém (primární a sekundární okruh) musí působit jako celek. Dnešní inteligentní regulace dokážou řídit celý systém automaticky. Díky tomu je zajištěn automatický, regulovaný a levný provoz vytápění, ohřevu teplé vody či chlazení.

6. VYUŽITÍ TEPLA Z ODPADNÍ VODY NA ČISTÍRNĚ ODPADNÍCH VOD HODONÍN

Projekt vznikl ve spolupráci s firmou HUBER CS spol. s r. o. a s Vodovody a kanalizace Hodonín a.s.. ČOV v Hodoníně ve snaze snížit energetickou náročnost provozu, bude využívat teplou odpadní vodu jako zdroj energie pro vytápění administrativní budovy. Během minulé topné sezóny bylo zjištěno, že pro vytápění v zimním období stačí teplota na přívodu 40 °C. A to i v době mrazů s nepřetržitým vytápěním. Tato nízká teplota přívodu je velmi vhodná pro tepelné čerpadlo. Provozování tepelného čerpadla se očekává s vysokým topným faktorem a to díky nízké teplotě na přívodu topné vody tak i díky na vysoké teplotě na výparníku tepelného čerpadla (díky vysoké teplotě odpadní vody). Administrativní budova je v současné době vytápěna pomocí bioplynu. Počítá se, že bioplyn bude využit pro výrobu elektrické energie. Nyní je čistírna odpadních vod na cca 60 % soběstačnosti a využití tepla z odpadní vody by mohlo číslo výrazně navýšit.

Teplo z odpadní vody bude získáváno pomocí tepelného výměníku HUBER RoWin. Návrh byl proveden pro tři varianty:

- Přítok odpadní vody na ČOV
- Odtok vyčištěné odpadní vody z ČOV
- „teplý járek“ tj. potok z chladicí vody z elektrárny

Návrh výměníků tepla RoWin a tepelných čerpadel byl proveden ve spolupráci s firmou HUBER. Vycházelo se ze vstupních údajů. Návrh tepelných čerpadel byl proveden pro nejnejpříznivější podmínky pro tepelné čerpadlo, tj. minimální průtok ve stoce a nejnižší naměřená teplota odpadní vody. Provozní hodnoty se předpokládají příznivější, což bude mít pozitivní dopad na provozní náklady. Dále byl proveden výpočet ochlazení odpadní vody a provozních nákladů dle tepelných ztrát vytápěné budovy. Pro variantu č.2 Odtok z ČOV byl proveden návrh pro maximální využití tepla vyčištěné odpadní vody. Z výpočtu je patrné, jak významným zdrojem tepla může být odpadní vody.



Obr. 6-1 Areál ČOV Hodonín

6.1. VARIANTA Č. 1 PŘÍTOK NA ČOV

6.1.1. Popis systému

Odpadní voda bude využívána jako zdroj energie pro vytápění administrativní budovy na čistírně odpadních vod v Hodoníně. Budova se nachází 30 m od česlovny, ze které bude odpadní voda čerpána. Ponorné čerpadlo bude vloženo do žlabu, ve kterém bude provedeno zahlobnění, aby nemohlo dojít k přísávání vzduchu čerpadlem. Je navrženo tak, aby překonalo geodetickou výšku a tlakové ztráty v potrubí. Odpadní voda bude proudit do tepelného výměníku HUBER RoWin 4, ve kterém bude předávat teplo primárnímu okruhu tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo je navrženo pro výkon 97 kW, pro pokrytí tepelných ztrát objektu a ohřev teplé vody. Ohřátá voda tepelným čerpadlem bude proudit do rozdělovače, ze kterého se bude dělit do čtyř větví. První větev je pro systém vytápění administrativní budovy. Druhá větev je pro letní provoz, kdy bude odpadní vodou vyhřívána vyhnívací nádrž. Třetí okruh je pro ohřev teplé vody. Na rozdělovači bude jeden výstup nevyužit a to pro možné využití v budoucnu. Tepelné čerpadlo a výměník RoWin 4 budou nainstalovány v suterénu administrativní budovy. Provoz bude řízen regulací tepelného čerpadla a výměník RoWin bude chráněn čidlem teploty proti zamrznutí, pro případ nízkých průtoků odpadní vody.

Tab. 6-1 Vstupní data

Typ kanalizační soustavy	jednotná kanalizace
Tvar potrubí	obdélník
Dimenze potrubí	1000x2500
Průměrný bezdeštný průtok	75.00 l.s ⁻¹
Minimální bezdeštný průtok	12.00 l.s ⁻¹
Průměrná roční teplota OV	14.30 °C
Průměrná zimní teplota OV	9.70 °C
Vzdálenost budova/kanalizace	20.00 m
Hloubka uložení potrubí	3.00 m
Druh vytápěné budovy	stará budova, zateplená, po výměně oken
Potřebný výkon	90.00 kW
Nutné množství energie	kwh.rok ⁻¹
Vytápění	ano
Teplota přívodu	40.00 °C
Chlazení	ne
Ohřev teplé vody	ano
Obsah chloridů	do 1000 mg.l ⁻¹

6.1.2. Jímací objekt

Jímací objekt bude umístěn za česlemi v česlovně. Díky využití česlic na ČOV, se sníží pořizovací náklady. Provedou se pouze stavební úpravy stávajícího žlabu a to tak, že se do žlabu provede sací jímka pro ponorné čerpadlo. Jímka bude provedena zahloubením 0,5 m a bude mít rozměr 1,0 m x 0,7 m.

6.2. ČERPADLO SACÍ JÍMKY

Čerpadlo je navrženo jako ponorné pro čerpání odpadní vody, uloženo v mokré jímce. Je navrženo pro minimální bezdeštný průtok odpadní vody $12,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ a dopravní výšku 5 m. Předpokládá se vyšší průtok odpadní vody během dne, tudíž se bude ochlazená odpadní voda míchat s neochlazenou. Tímto způsobem bude zabráněno nežádoucímu zchlazování odpadní vody před čistírnou odpadních vod. Čerpadlo je navrženo jako ponorné pro čerpání odpadní vody, uloženo v mokré jímce. Čerpadlo je od firmy GRUNDFOS a je vybaveno macerátorem před případným poškozením oběžného kola.

6.3. VÝMĚNÍK ROWIN 4

Tepelný výměník bude umístěn v kotelně spolu s tepelným čerpadlem. Vstupní potrubí je DN 100 a výstupní DN 150. Potrubí bude z nerezové oceli a bude zaizolováno tepelnou izolací De Witky Eurobatex tl. 32 mm. Dále bude napojen na primární okruh tepelného čerpadla a to nerezovým potrubím DN 100. Potrubí bude zaizolováno stejnou izolací. Výměník RoWin je samočistící, ovládání motorů šnekových čerpadel a kompresoru bude zajištěno připojením na elektrický proud. Výměník bude chráněn proti poškození ze zamrznutí odpadní vody. To by mohlo dojít při minimálním průtoku odpadní vody, nebo selháním čerpadla odpadní vody a stagnováním odpadní vody ve výměníku. Tepelné čerpadlo při maximálním odběru (potřeba velkého výkonu) by mohlo odpadní vodu ochladit pod bod mrazu a tím poničit tepelný výměník. Čidlo teploty bude umístěno ve výměníku a bude napojeno na regulaci, která při teplotě nižší než $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ vypne tepelné čerpadlo.

6.4. TEPELNÉ ČERPADLO

Je navrženo od firmy CIAT na pokrytí tepelných ztrát a ohřev teplé vody. Chladivo tepelného čerpadla tvoří směs R410A, která se vyznačuje lepšími účinnostmi předání energie z odpadní vody. Tepelné čerpadlo je navrženo na 97 kW (viz příloha č. 1).

Tab. 6-2 Návrh TČ

Název	DYNACIAT LG/LGP 300V R410A
Tepelný výkon	74.6 kW
Elektrický výkon	22.4 kW
Celkový výkon	97.00 kW
COP	4.33 -
Topná voda	40/35 $^\circ\text{C}$
Průtok topné vody	4.9 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$

Tab. 6-3 Ochlazení OV – minimální průtok

Tepelný výkon	W_{OV}	74.6	kW
Průtok OV	Q_{min}	12.00	$l.s^{-1}$
Teplota OV,min	$T_{OV,min}$	9.70	°C
Tep. ochlazené OV	$\Delta T_{OV,min}$	8.21	°C
Tep. kapacita vody	c	4.18	$kJ.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$
Měrná hmotnost	ρ	0.999701	$kg.l^{-1}$

Tab. 6-4 Ochlazení OV-průměrný průtok

Tepelný výkon	W_{OV}	74.6	kW
Průtok OV	Q_{pr}	12,00	$l.s^{-1}$
Teplota OV,pr	$T_{OV,pr}$	14,30	°C
Tep. ochlazené OV	$\Delta T_{OV,pr}$	12,81	°C
Tep. kapacita vody	c	4.18	$kJ.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$
Měrná hmotnost	ρ	0.999701	$kg.l^{-1}$

Tab. 6-5 Vstupní data pro výpočet provozních nákladů

Q_C	90.00	kW	potřeba tepla
$t_{i,p}$	19.00	°C	průměrná vnitřní teplota - výpočtová
$t_{e,N}$	-12.00	°C	výpočtová venkovní teplota
$t_{e,m}$	13.00	°C	začátek topného období
t_e	4.20	°C	průměrná teplota v topném období
t_{w1N}	40.00	°C	návrhová teplota přívodu
t_{w2N}	30.00	°C	návrhová teplota vratu

Tab. 6-6 Náklady na vytápění

d	215.00	dny	topné období
D°	3182.00	den.°C	vytápěcí denostupně
e_i	0.85	-	nesoučasnost TZ
e_t	1.00	-	snížení teploty během noci
e_d	0.80	-	zkrácení doby VTP
ϵ	0.68	-	opravný součinitel
η_0	1.00	-	účinnost regulace
η_r	0.96	-	účinnost rozvodu VTP
$Q_{VTP,r}$	157.05	MWh.rok ⁻¹	roční potřeba energie, VTP

Tab. 6-7 Náklady na ohřev teplé vody

$t_{1,TV}$	10.00 °C	studená voda
$t_{2,TV}$	60.00 °C	teplá voda
V_p	0.20 m ³ .d ⁻¹	celková potřeba teplé vody
z	0.60 -	ztrátový koeficient
Q_{TV}	18.57 kWh	denní potřeba vody
$t_{sv,l}$	12.00 °C	teplota sv. v létě
$t_{sv,z}$	8.00 °C	teplota sv. v zimě
N	261.00 d	počet pracovních dní
$Q_{TV,r}$	4.62 MWh.rok ⁻¹	roční potřeba energie, ohřev TV

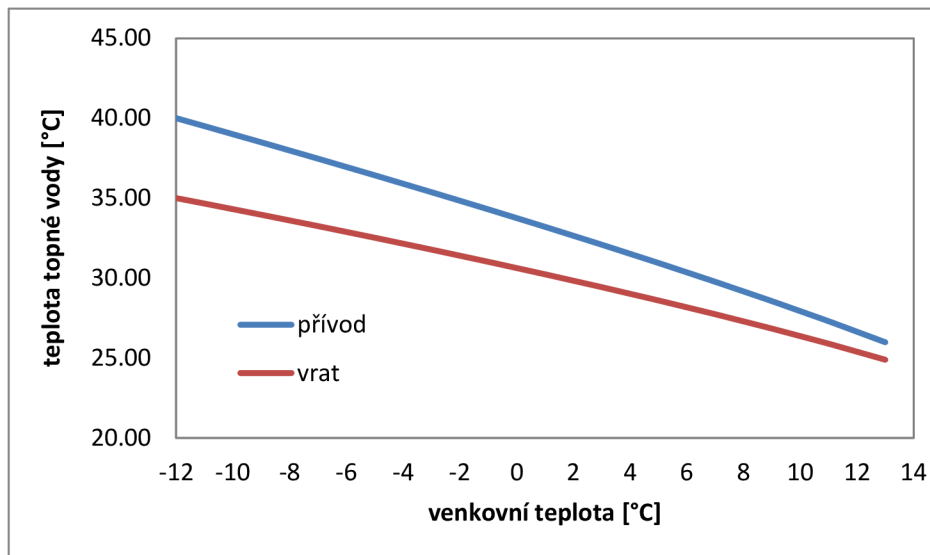
Teplá voda bude po 8. hodinovém intervalu dohřáta na 60 °C.

$Q_{celkem,r}$	161.67 MWh.rok ⁻¹
----------------	------------------------------

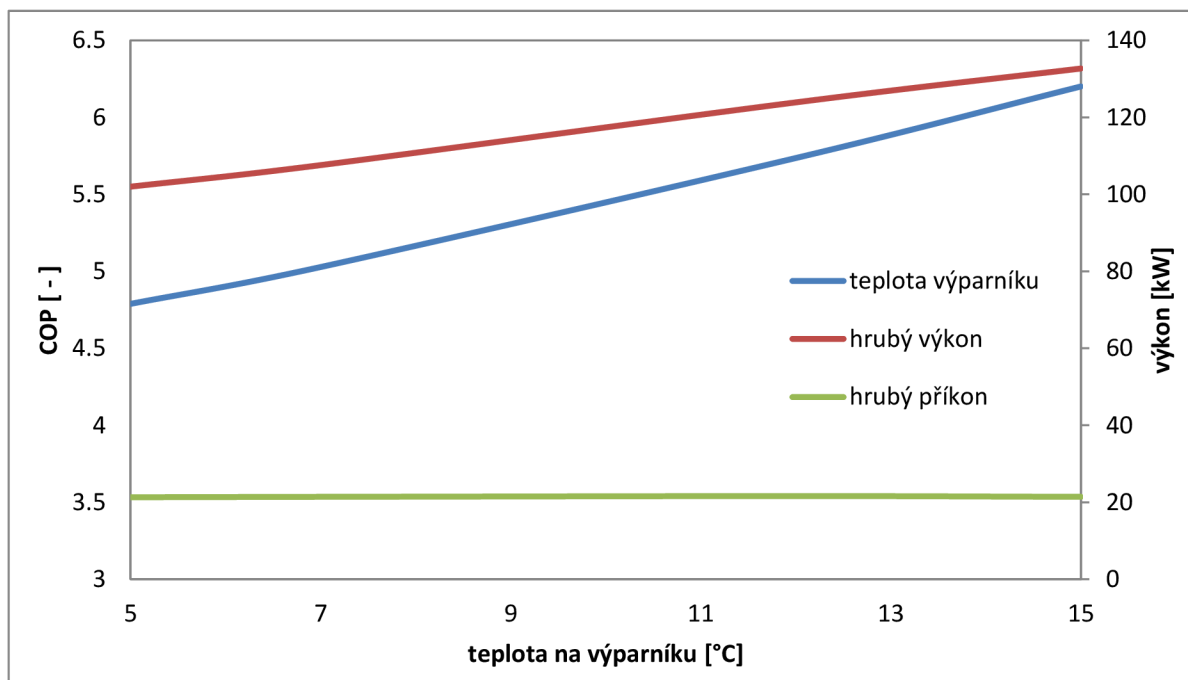
Tab. 6-8 Celkové provozní náklady

COP	4.33 -	topný faktor
Q_{OV}	124.34 MWh.rok ⁻¹	energie z OV
Q_{EL}	37.33 MWh.rok ⁻¹	el. energie
NT	1.73 Kč.kWh ⁻¹	zelený bonus
	641.00 Kč.měs ⁻¹	jistič
	93 816.34 Kč.rok ⁻¹	cena el energie celkem
	0.25 kW	čištění - výměník
	0.55 kW	čištění - výměník - nádrž
	0.37 kW	výpustný ventil
	0.55 kW	kompresor
	6264.00 h	provozní doba
	10.77 MWh.rok ⁻¹	el. energie
	48.11 MWh.rok ⁻¹	el. energie celkem
	3.36 -	COP celkem
	90 919.56 Kč.rok⁻¹	cena el. energie celkem
	70 000.00 €	cena systému
	27.44	kurz
	1 920 800 Kč	cena systému

Topný faktor je min. 4,33 a to při nejnepříznivějších podmínkách (min. průtok odpadní vody a max. tepelný výkon TČ). Ekonomika provozu je vypočtena v tabulce 6-6 a 6-7. Celkové provozní náklady jsou popsány v tabulce 6-8. Je nutné připomenout, že jsou to roční maximální náklady. Topný faktor tepelného čerpadla se v průběhu roku mění a celkové roční náklady se očekávají o 20 % nižší. Ekvitemní křivka je znázorněna na Obr. 6-2 a topná křivka v závislosti teploty na výparníku a topném faktoru je uvedena na Obr. 6-3 pro teplotu přívodu 40 °C. Jde vidět, že topný faktor se zvyšuje při nižší teplotě na přívodu (výstupní teplota kondenzátoru) a při vyšší teplotě na výstupu z výparníku.

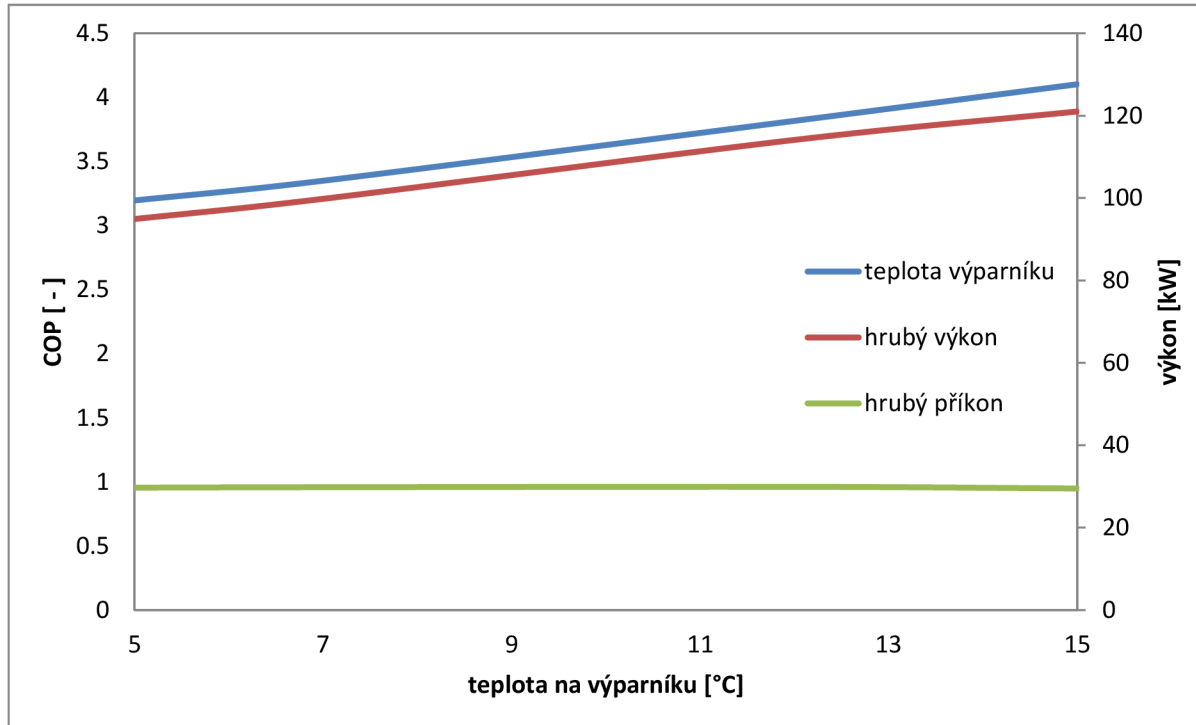


Obr. 6-2 Ekvitemní křivka

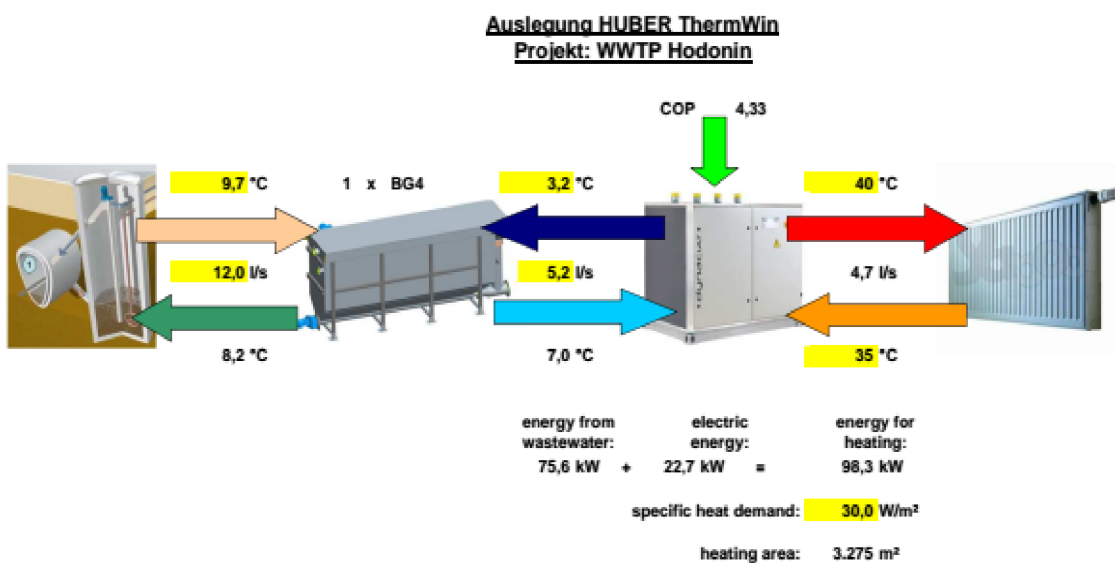


Obr. 6-3 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku (40 °C)

Tepelné čerpadlo bude předávat topný výkon do rozdělovače. Okruhy jsou hydraulicky odděleny anuloidem. Rozdělovač má čtyři větve. První pro vytápění administrativní budovy, druhý pro vytápění vyhnivací nádrže, třetí pro ohřev teplé vody a poslední jako rezerva do budoucna. Okruhy mají vlastní oběhová čerpadla pro překonání ztrát potrubí. Dále je na topné větvi instalován trojcestný ventil, který bude napojen na regulaci TČ. Obr. 6-4 ukazuje závislost topného faktoru, hrubého výkonu a příkonu v závislosti na teplotě na výstupu z výparníku. Graf je pro výstupní teplotu z kondenzátoru 55 °C. Varianta je pro tzv. letní provoz, kdy bude technologie využita pro ohřev vyhnivacích nádrží.



Obr. 6-4 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku (55 °C)



Obr. 6-5 Návrh výměníku tepla a tepelného čerpadla

6.5. VARIANTA Č. 2 ODTOK Z ČOV

6.5.1. Popis systému

Odpadní voda bude využívána jako zdroj energie pro vytápění administrativní budovy na čistírně odpadních vod v Hodoníně. Budova se nachází 350 m od potrubí na odtoku z ČOV, ze kterého bude odpadní voda čerpána. Ponorné čerpadlo bude vloženo do plastové šachty WAVIN TERGA o průměru 1,0 m. Její dno bude o 0,6 m níže, než dno potrubí vyčištěné odpadní vody. Odtokové potrubí bude navrtáno a spojeno s šachtou potrubím DN 150. Tím bude zajištěno, aby nemohlo dojít k přísávání vzduchu čerpadlem. Čerpadlo je navrženo tak, aby překonalo geodetickou výšku a tlakové ztráty v potrubí. Odpadní voda bude proudit do tepelného výměníku HUBER RoWin 4, ve kterém bude předávat teplo primárnímu okruhu tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo je navrženo pro výkon 102,7 kW pro pokrytí tepelných ztrát objektu a ohřev teplé vody. Ohřátá voda tepelným čerpadlem bude proudit do rozdělovače, ze kterého se bude dělit do čtyř větví. První větev je pro systém vytápění administrativní budovy. Druhá větev je pro letní provoz, kdy bude odpadní vodou vyhřívána vyhnívací nádrž. Třetí okruh je pro ohřev teplé vody. Na rozdělovači bude jeden výstup nevyužit a to pro možné využití v budoucnu. Tepelné čerpadlo a výměník RoWin 4 budou nainstalovány ve stávající kotelně. Provoz bude řízen regulací tepelného čerpadla a výměník RoWin bude chráněn čidlem teploty proti zamrznutí, pro případ nízkých průtoků odpadní vody.

Tab. 6-9 Vstupní data

Typ kanalizační soustavy	vyčištěná OV
Tvar potrubí	kruh
Dimenze potrubí	1200
Průměrný bezdeštný průtok	75.00 l.s ⁻¹
Minimální bezdeštný průtok	12.00 l.s ⁻¹
Průměrná roční teplota OV	15.60 °C
Průměrná zimní teplota OV	10.40 °C
Vzdálenost budova/kanalizace	350.00 m
Hloubka uložení potrubí	2.50 m
Druh vytápěné budovy	stará budova, zateplená, po výměně oken
Potřebný výkon	90.00 kW
Nutné množství energie	kWh.rok ⁻¹
Vytápění	ano
Teplota přívodu	40.00 °C
Chlazení	ne
Ohřev teplé vody	ano
Obsah chloridů	do 1000 mg.l ⁻¹

6.5.2. Jímací objekt

Jímací šachta bude umístěna v zadní části ČOV, vedle trouby, která odvádí vyčištěné odpadní vody do recipientu. Jelikož se jedná o vyčištěnou odpadní vodu, není zde nutné již předčištění odpadní vody. Dále zde bude zapotřebí nižších průtoků vyčištěné odpadní vody, tudíž se voda může více zchladit.

6.5.3. Čerpadlo sací jímky

Čerpadlo je navrženo jako ponorné pro čerpání odpadní vody, uloženo v mokré jínce. Je navrženo pro minimální bezdeštný průtok odpadní vody $12,0 \text{ l.s}^{-1}$ a dopravní výškou 5 m pro překonání geodetické výšky a ztrát v potrubí. Čerpadlo je od firmy GRUNDFOS a je vybaveno macerátorem před případným poškozením oběžného kola.

6.5.4. Výměník RoWin 4

Tepelný výměník bude umístěn v kotelně spolu s tepelným čerpadlem. Stávající kotelna se nachází v blízkosti vyhnívacích nádrží a od jímacího objektu je vzdálena 100 m. Vstupní potrubí je DN 100 a výstupní DN 150. Potrubí bude z nerezové oceli a bude zaizolováno tepelnou izolací De Witky Eurobatex tl. 32 mm. Dále bude napojen na primární okruh tepelného čerpadla a to nerezovým potrubím DN 100. Potrubí bude zaizolováno stejnou izolací. Výměník RoWin je samočisticí, ovládání motorů šnekových čerpadel a kompresoru bude zajištěno připojením na elektrický proud. Výměník bude chráněn proti poškození ze zamrznutí odpadní vody. To by mohlo dojít při minimálním průtoku odpadní vody, nebo selháním čerpadla odpadní vody a stagnováním odpadní vody ve výměníku. Tepelné čerpadlo při maximálním odběru (potřeba velkého výkonu) by mohlo odpadní vodu ochladit pod bod mrazu a tím poničit tepelný výměník. Čidlo teploty bude umístěno ve výměníku a bude napojeno na regulaci, která při teplotě nižší než $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ vypne tepelné čerpadlo.

6.5.5. Tepelné čerpadlo

Je navrženo od firmy CIAT na pokrytí tepelných ztrát a ohřev teplé vody. Chladivo tepelného čerpadla tvoří směs R410A, která se vyznačuje lepšími účinnostmi předání energie z odpadní vody. Tepelné čerpadlo je navrženo na 103,3 kW (viz příloha č. 2).

Tab. 6-10 Návrh TČ

Název	DYNACIAT LG/LGP 300V R410A
Tepelný výkon	80.4 kW
Elektrický výkon	22.9 kW
Celkový výkon	103.30 kW
COP	4.51 -
Topná voda	40/35 $^\circ\text{C}$
Průtok topné vody	4.9 l.s^{-1}

Tab. 6-11 Ochlazení OV – minimální průtok

Tepelný výkon	W_{OV}	83.1	kW
Průtok OV	Q_{min}	12.00	$l.s^{-1}$
Teplota OV,min	$T_{OV,min}$	10.40	°C
Tep. ochlazené OV	$\Delta T_{OV,min}$	8.74	°C
Tep. kapacita vody	c	4.18	$kJ.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$
Měrná hmotnost	ρ	0.999701	$kg.l^{-1}$

Tab. 6-12 Ochlazení OV – průměrný průtok

Tepelný výkon	W_{OV}	83.1	kW
Průtok OV	Q_{min}	12.00	$l.s^{-1}$
Teplota OV,min	$T_{OV,pr}$	15.60	°C
Tep. ochlazené OV	$\Delta T_{OV,pr}$	13.94	°C
Tep. kapacita vody	c	4.18	$kJ.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$
Měrná hmotnost	ρ	0.999701	$kg.l^{-1}$

Tab. 6-13 Vstupní údaje pro výpočet provozních nákladů

Q_C	90.00	kW	potřeba tepla
$t_{i,p}$	19.00	°C	průměrná vnitřní teplota, výpočtová
$t_{e,N}$	-12.00	°C	výpočtová venkovní teplota
$t_{e,m}$	13.00	°C	začátek topného období
t_e	4.20	°C	průměrná teplota v topném období
t_{w1N}	40.00	°C	návrhová teplota přívodu
t_{w2N}	30.00	°C	návrhová teplota vratu

Tab. 6-14 Náklady na vytápění

d	215.00	dny	topné období
D°	3182.00	den.°C	vytápěcí denostupně
e_t	0.85	-	nesoučasnost TZ
e_n	1.00	-	snížení teploty během noci
e_d	0.80	-	zkrácení doby VTP
ϵ	0.68	-	opravný součinitel
η_0	1.00	-	účinnost regulace
η_r	0.96	-	účinnost rozvodu VTP
$Q_{VTP,r}$	157.05	MWh.rok ⁻¹	roční potřeba energie, VTP

Tab. 6-15 Náklady na ohřev teplé vody

$t_{1,TV}$	10.00 °C	studená voda
$t_{2,TV}$	60.00 °C	teplá voda
V_p	0.20 m ³ .d ⁻¹	celková potřeba teplé vody
z	0.60 -	ztrátový koeficient
Q_{TV}	18.57 kWh	denní potřeba vody
$t_{sv,l}$	12.00 °C	teplota sv v létě
$t_{sv,z}$	8.00 °C	teplota sv v zimě
N	261.00 d	počet pracovních dní
$Q_{TV,r}$	4.62 MWh.rok ⁻¹	roční potřeba energie, ohřev TV

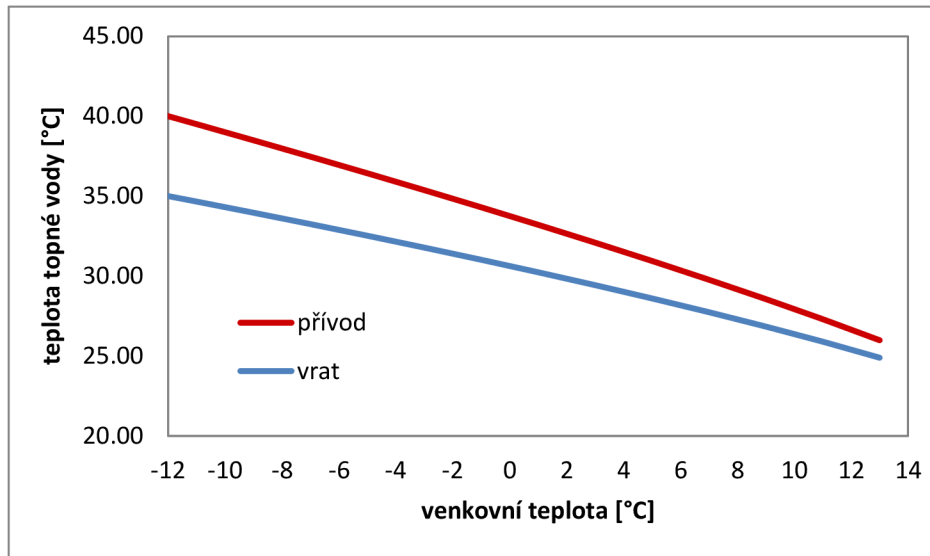
Teplá voda bude po 8. hodinovém intervalu dohřáta na 60 °C.

$Q_{celkem,r}$	161.67 MWh.rok ⁻¹
----------------	------------------------------

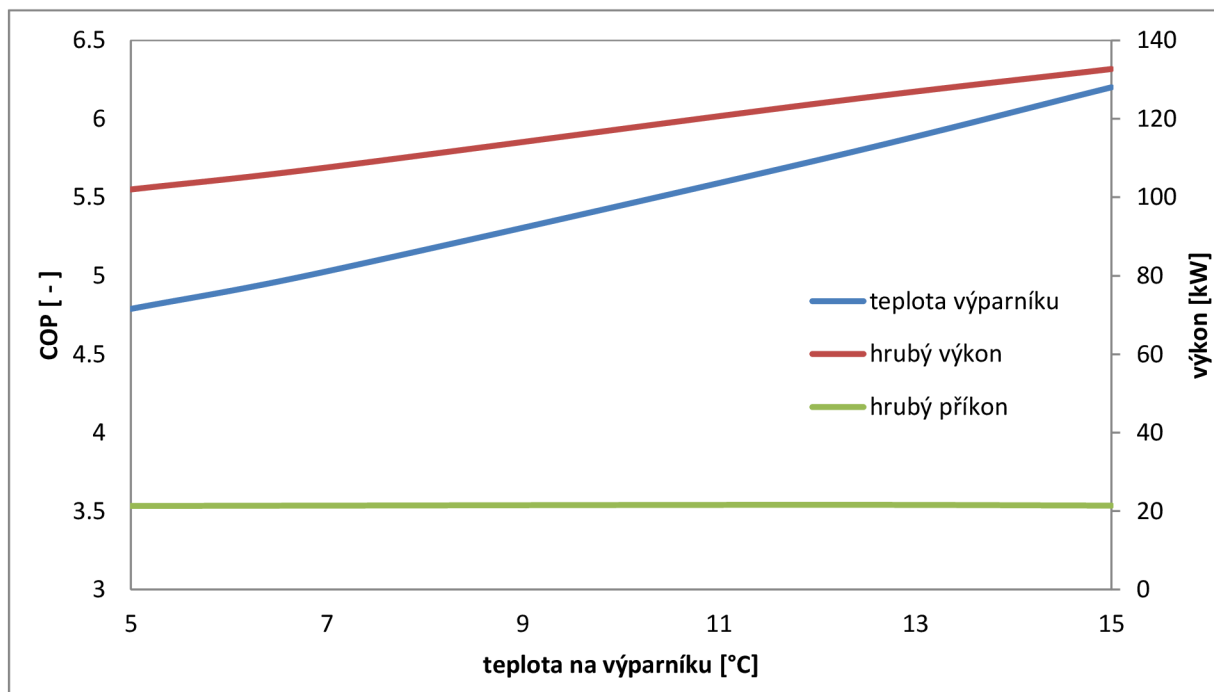
Tab. 6-16 Celkové provozní náklady

COP	4.51 -	topný faktor
Q_{OV}	125.83 MWh.rok ⁻¹	energie z OV
Q_{EL}	35.84 MWh.rok ⁻¹	el energie
NT	1.73 Kč.kWh ⁻¹	zelený bonus
	641.00 Kč.měs ⁻¹	jistič
	69 695.10 Kč.rok ⁻¹	cena el energie celkem
	0.25 kW	čištění - výměník
	0.55 kW	čištění - výměník - nádrž
	0.37 kW	výpustný ventil
	0.55 kW	kompresor
	6264.00 h	provozní doba
	10.77 MWh.rok ⁻¹	el energie
	46.61 MWh.rok ⁻¹	el energie celkem
	3.47 -	COP celkem
	88 334.26 Kč.rok⁻¹	cena el energie celkem
	70 00.00 €	cena systému
	27.44	kurz
	1 920 800 Kč	cena systému

Topný faktor je min. 4,51 a to při nejnepříznivějších podmínkách (min. průtok odpadní vody, minimální teplota odpadní vody a max. tepelný výkon TČ). Ekonomika provozu je vypočtena v tabulce 6-14 a 6-15. Celkové provozní náklady jsou popsány v tabulce 6-16. Je nutné připomenout, že jsou to roční maximální náklady. Topný faktor tepelného čerpadla se v průběhu roku mění a celkové roční náklady se očekávají o 20 % nižší. Ekvitermní křivka je znázorněna na Obr. 6-6 a topná křivka v závislosti teploty na výparníku a topném faktoru je uvedena na Obr. 6-7 pro teplotu přívodu 40 °C. Jde vidět, že topný faktor se zvyšuje při nižší teplotě na přívodu (výstupní teplota kondenzátoru) a při vyšší teplotě na výstupu z výparníku.

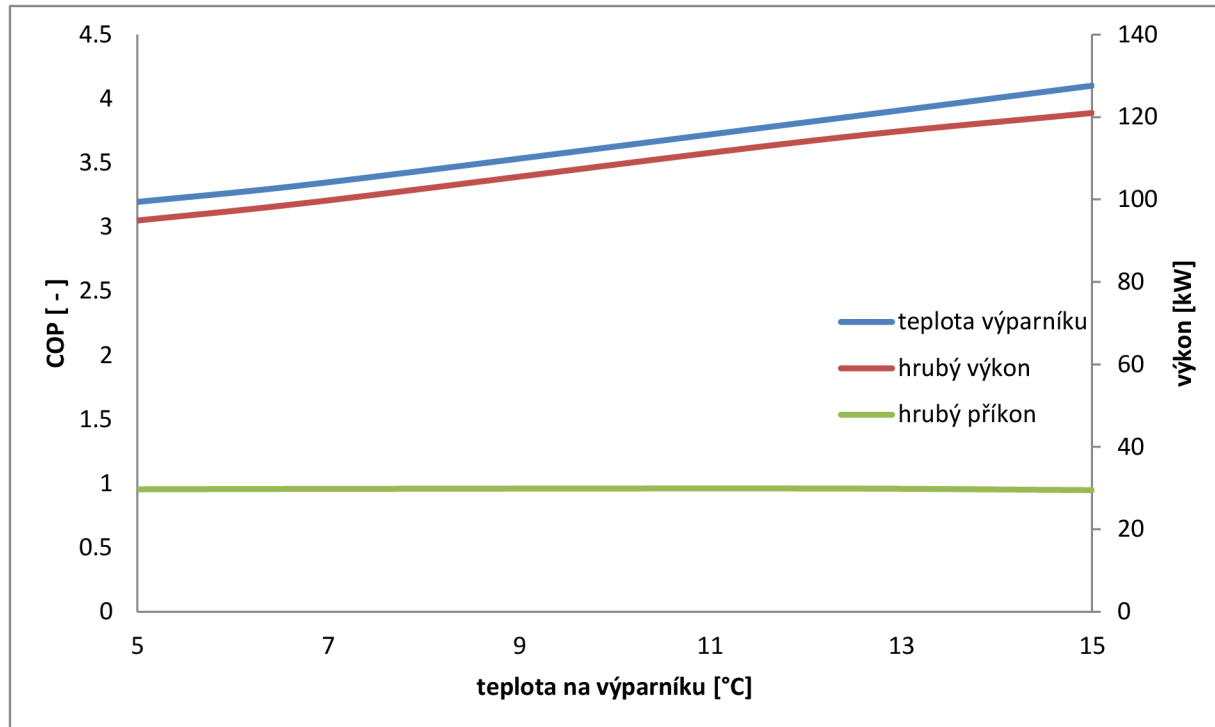


Obr. 6-6 Ekvitermní křivka

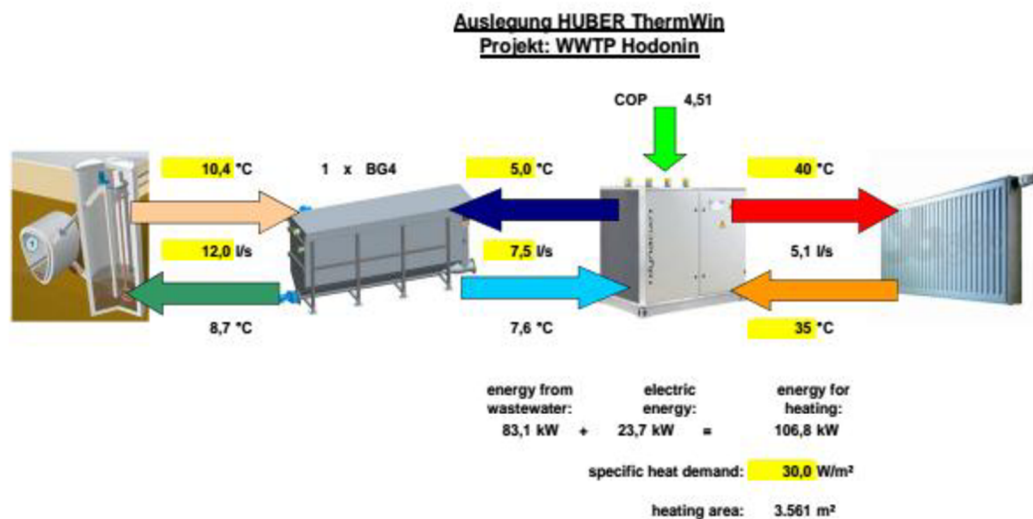


Obr. 6-7 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku (40 °C)

Tepelné čerpadlo bude předávat topný výkon do rozdělovače. Okruhy jsou hydraulicky odděleny anuloidem. Rozdělovač má čtyři větve. První pro vytápění administrativní budovy, druhý pro vytápění vyhnivací nádrže, třetí pro ohřev teplé vody a poslední jako rezerva do budoucna. Okruhy mají vlastní oběhová čerpadla pro překonání ztrát potrubí. Dále je na topné větvi instalován trojcestný ventil, který bude napojen na regulaci TČ. Obr. 6-8 ukazuje závislost topného faktoru, hrubého výkonu a příkonu v závislosti na teplotě na výstupu z výparníku. Graf je pro výstupní teplotu z kondenzátoru 55 °C.



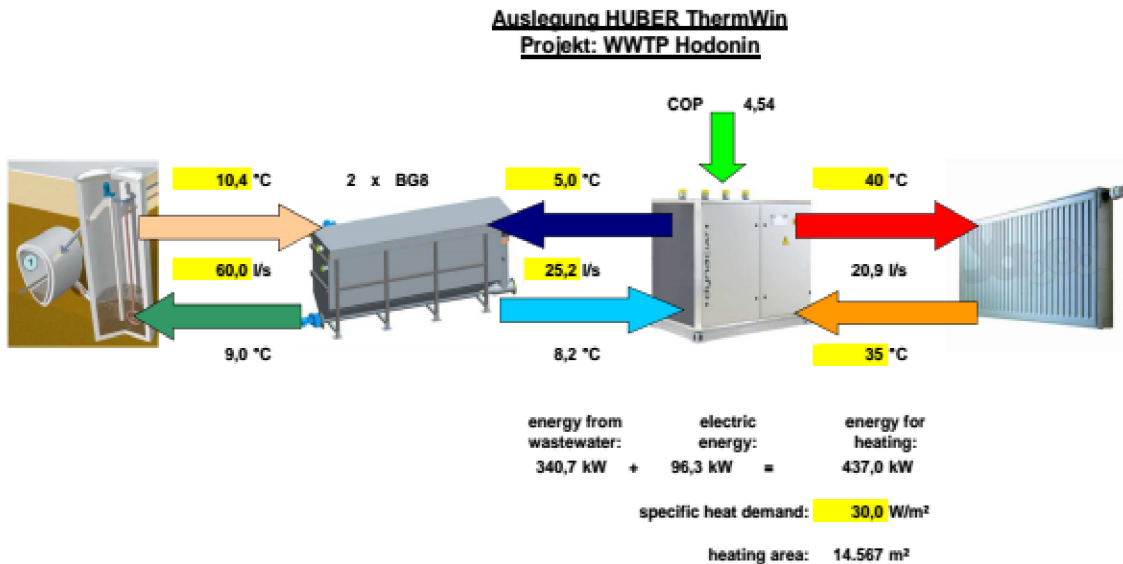
Obr. 6-8 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku (55 °C)



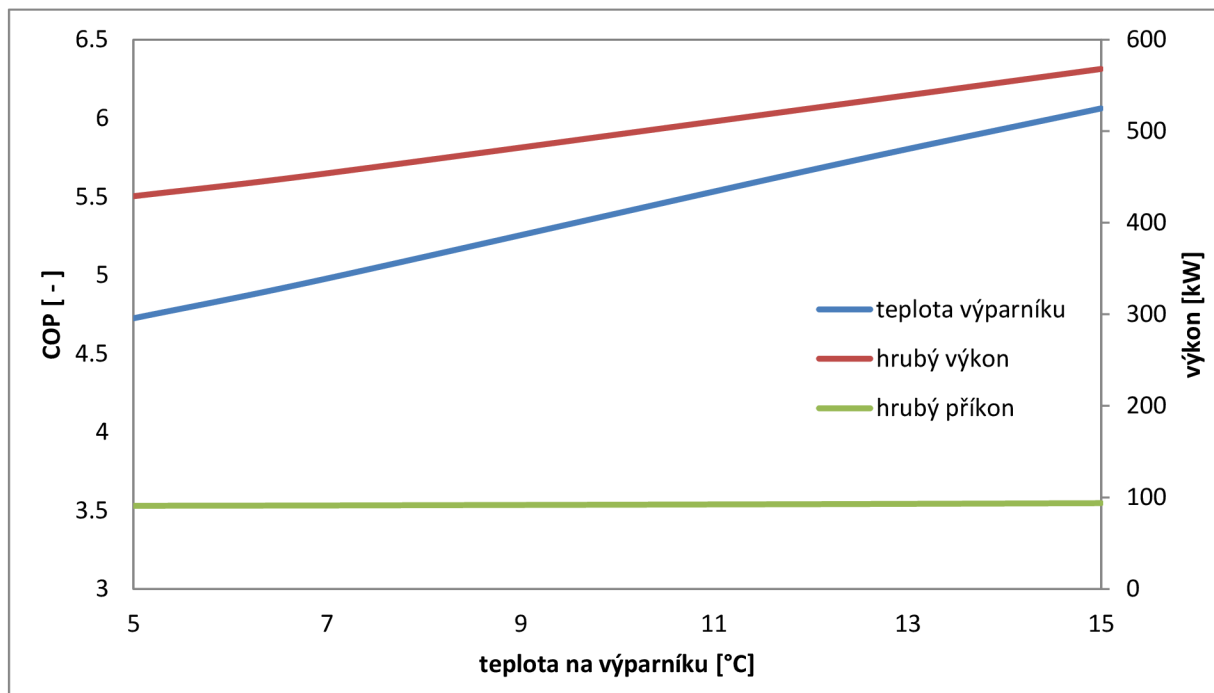
Obr. 6-9 Návrh výměníku tepla a tepelného čerpadla

6.6. MAXIMÁLNÍ VÝKON Z ODPADNÍ VODY

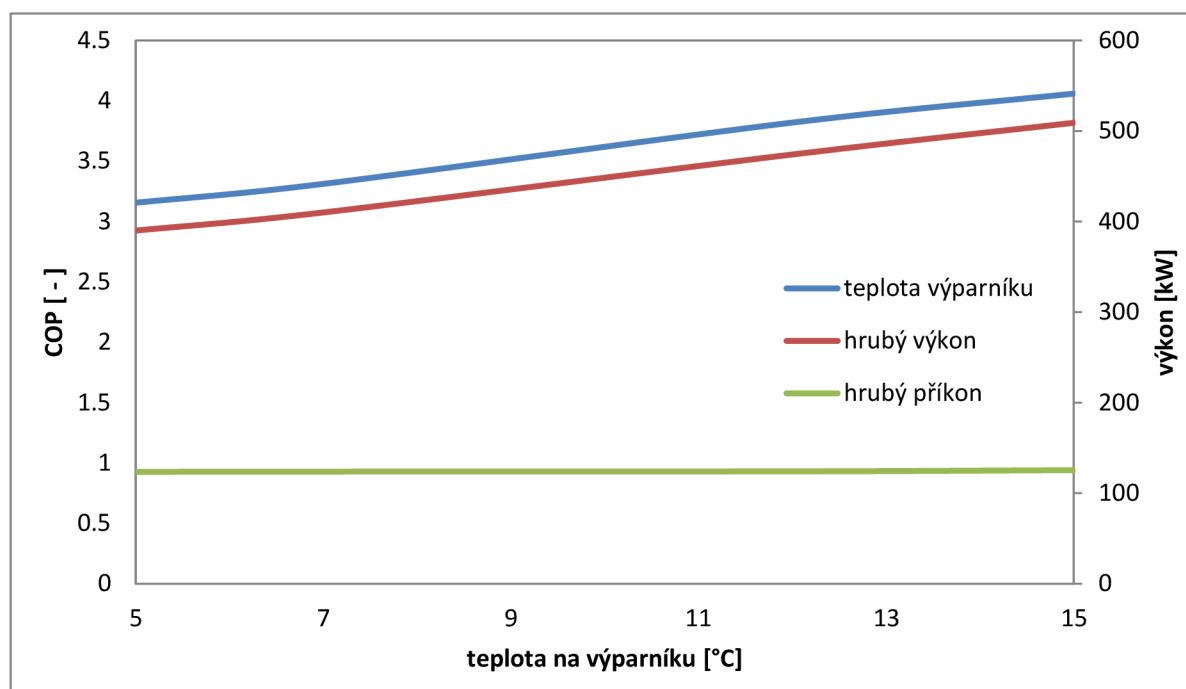
Vyhodnocení bylo provedeno z možnosti realizace založené na maximálním ochlazení odpadní vody a využitím maximálního výkonu. Bylo zjištěno, že při průtoku odpadní vody $60,0 \text{ l.s}^{-1}$ a její minimální teplotě $10,4 \text{ }^\circ\text{C}$ by se dalo získat až $430,3 \text{ kW}$ výkonu z tepelného čerpadla. A to za využití dvou tepelných výměníků RoWin 8. Toto zjištění vypovídá o velmi vysokém potenciálu stokového systému jako zdroje tepla.



Obr. 6-10 Návrh výměníku tepla a tepelného čerpadla



Obr. 6-11 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku ($40 \text{ }^\circ\text{C}$)

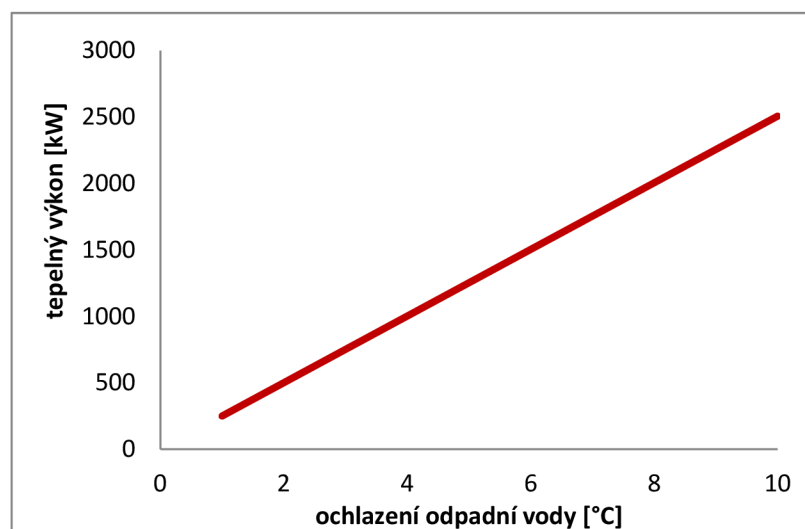


Obr. 6-12 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku (55 °C)

Teoreticky byl vypočten tepelný výkon 2607,54 kW z odpadní vody při průtoku 60,0 l.s⁻¹ a ochlazení na 0,0 °C.

Tab. 6-17 Maximální výkon pro ochlazení OV na 0 °C

Tepelný výkon	W_{OV}	2 607.54	kW
Průtok OV	Q_{pr}	60.00	l.s ⁻¹
Teplota OV	T_{OV}	10.40	°C
Tep. ochlazené OV	ΔT_{OV}	0.00	°C
Tep. kapacita vody	c	4.18	kJ.kg ⁻¹ .°C ⁻¹
Měrná hmotnost	ρ	0.999701	kg.l ⁻¹



Obr. 6-13 Závislost výkonu na ochlazení odpadní vody (pro 60 l.s⁻¹)

6.7. VARIANTA Č. 3 POTOK „TEPLÝ JÁREK“

6.7.1. Popis systému

Teplá voda v potoce bude využívána jako zdroj energie pro vytápění administrativní budovy na čistírně odpadních vod v Hodoníně. Budova se nachází 100 m od koryta potoka, ze kterého bude voda čerpána. Ponorné čerpadlo bude vloženo do plastové šachty WAVIN TERGA o průměru 1,0 m. Její dno bude o 0,6 m níže, než dno potoka. Potok v místě napojení bude upraven, aby do šachty natékalo maximální množství vody z potoka. Tím bude zajištěno, aby nemohlo dojít k přísávání vzduchu čerpadlem. Čerpadlo je navrženo tak, aby překonalo geodetickou výšku a tlakové ztráty v potrubí. Odpadní voda bude proudit do tepelného výměníku HUBER RoWin 8, ve kterém bude předávat teplo primárnímu okruhu tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo je navrženo pro maximální výkon 367,6 kW, pro pokrytí tepelných ztrát objektu a ohřev teplé vody. Ohřátá voda tepelným čerpadlem bude proudit do rozdělovače, ze kterého se bude dělit do tří větví. První větev je pro systém vytápění administrativní budovy. Druhá větev je pro letní provoz, kdy bude odpadní vodou vyhřívána vyhnívací nádrž. Třetí okruh je pro ohřev teplé vody. Na rozdělovači bude jeden výstup nevyužit a to pro možné využití v budoucnu. Tepelné čerpadlo a výměník RoWin 8 budou nainstalovány v suterénu administrativní budovy. Provoz bude řízen regulací tepelného čerpadla a výměník RoWin bude chráněn čidlem teploty proti zamrznutí, pro případ nízkých průtoků vody.

Tab. 6-18 Vstupní data

Typ kanalizační soustavy	teplá voda z elektrárny
Tvar potrubí	koryto
Dimenze potrubí	
Průměrný bezdeštný průtok	10.00 l.s ⁻¹
Minimální bezdeštný průtok	10.00 l.s ⁻¹
Průměrná roční teplota OV	20.00 °C
Průměrná zimní teplota OV	20.00 °C
Vzdálenost budova/kanalizace	100.00 m
Hloubka uložení potrubí	3.00 m
Druh vytápěné budovy	stará budova, zateplená, po výměně oken
Potřebný výkon	90.00 kW
Nutné množství energie	kWh.rok ⁻¹
Vytápění	ano
Teplota přívodu	40.00 °C
Chlazení	ne
Ohřev teplé vody	ano
Obsah chloridů	do 1000 mg.l ⁻¹

6.7.2. Jímací objekt

Jímací šachta bude umístěna vedle koryta. Jelikož se jedná o vodu z potoka, není zde nutné již předčištění vody. Bude nutné využít maximálních úprav koryta pro nátok do šachty, aby i při nižších průtocích bylo možné potoka využít pro výměnu tepla TČ.

6.7.3. Čerpadlo sací jímky

Čerpadlo je navrženo jako ponorné pro čerpání odpadní vody, uloženo v mokré jímce. Je navrženo pro minimální bezdeštný průtok vody $10,0 \text{ l.s}^{-1}$ a dopravní výškou 7 m pro překonání geodetické výšky a ztrát v potrubí. Čerpadlo je od firmy GRUNDFOS a je vybaveno macerátorem před případným poškozením oběžného kola.

6.7.4. Výměník RoWin 8

Tepelný výměník bude umístěn v suterénu administrativní budovy spolu s tepelným čerpadlem. Vstupní potrubí je DN 200 a výstupní DN 250. Potrubí bude z nerezové oceli a bude zaizolováno tepelnou izolací De Witky Eurobatex tl. 32 mm. Dále bude napojen na primární okruh tepelného čerpadla a to nerezovým potrubím DN 125. Potrubí bude zaizolováno stejnou izolací. Výměník RoWin je samočisticí, ovládání motorů šnekových čerpadel a kompresoru bude zajištěno připojením na elektrický proud. Výměník bude chráněn proti poškození ze zamrznutí odpadní vody. To by mohlo dojít při minimálním průtoku vody, nebo selháním čerpadla vody a stagnováním vody ve výměníku. Tepelné čerpadlo při maximálním odběru (potřeba velkého výkonu) by mohlo odpadní vodu ochladit pod bod mrazu a tím poničit tepelný výměník. Čidlo teploty bude umístěno ve výměníku a bude napojeno na regulaci, která při teplotě nižší než $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ vypne tepelné čerpadlo.

6.7.5. Tepelné čerpadlo

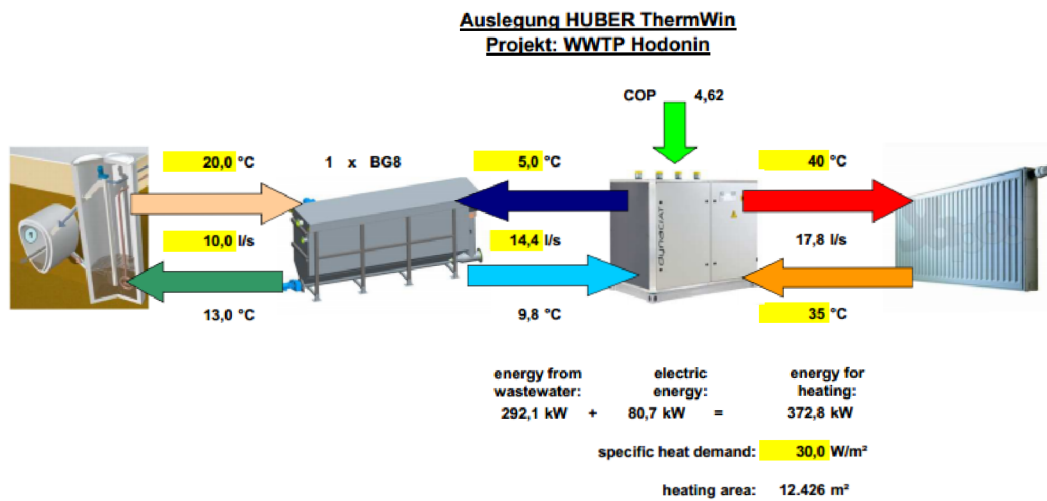
Je navrženo od firmy CIAT na pokrytí tepelných ztrát a ohřev teplé vody. Chladivo tepelného čerpadla tvoří směs R410A, která se vyznačuje lepšími účinnostmi předání energie z odpadní vody. Tepelné čerpadlo je navrženo na $367,6 \text{ kW}$ (viz příloha č. 3).

Tab. 6-19 Návrh TČ

Název	DYNACIAT LG/LGP 300V R410A
Tepelný výkon	288.1 kW
Elektrický výkon	79.5 kW
Celkový výkon	367.60 kW
COP	4.62 -
Topná voda	40/35 $^\circ\text{C}$
Průtok topné vody	17.5 l.s^{-1}

Tab. 6-20 Ochlazení vody

Tepelný výkon	W_{OV}	292.1	kW
Průtok vody	Q_{pr}	10.00	$l.s^{-1}$
Teplota vody, pr	$T_{OV,pr}$	20.00	$^{\circ}C$
Tep. ochlazené vody	$\Delta T_{OV,pr}$	13.01	$^{\circ}C$
Tep. kapacita vody	c	4.18	$kJ.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$
Měrná hmotnost	ρ	0.999701	$kg.l^{-1}$



Obr. 6-14 Návrh výměníku tepla a tepelného čerpadla

7. ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala problematikou využití tepla z odpadní vody. Pro moderní pasivní a nulové domy představuje kanalizace velké úniky energií. Švýcarské studie dokazují, že se nejedná o žádné zanedbatelné položky. Proto je nutné začít využívat odpadní vodu. A to jak pro rekuperaci tepla, tak i pro jiné účely (splachování toalet, závlaha, mytí aut, atd.). Energie z odpadní vody se dá získat třemi základními způsoby:

- přímé výměníky tepla v objektu
- využitím tepelného čerpadla a odpadní vody v kanalizaci
- využitím tepelného čerpadla a vyčištěné odpadní vody na ČOV

Další způsoby jsou kombinací výše uvedených ve snaze využitím tepla z odpadní vody, není-li dodržena některá z okrajových podmínek (teplota, průtok).

V první části bylo uvedeno, jak získávat teplo zpět z odpadní vody, která ohřátá odečte do veřejné kanalizace. Tato teplá odpadní voda může předat své teplo pro předehřev studené vody, která vtéká do mísicí baterie. Tímto předehřevem můžeme snížit náklady na ohřev teplé vody až o polovinu. Díky mísení předehřáté vody (cca. 25 °C) s teplou vodou ze zásobníku (60 °C) docílíme úspory v potřebě teplé vody ze zásobníku.

Tab. 7-1 Množství vody při sprchování – bez předehřevu

PV	0.2	l.s ⁻¹	potřeba vody pro sprchování [31]
m_t	0.09	l.s ⁻¹	množství teplé vody
t_t	60	°C	teplota teplé vody
m_s	0.11	l.s ⁻¹	množství studené vody
t_s	12	°C	teplota studené vody
t	33.60	°C	výsledná teplota sprchování

Tab. 7-2 Množství vody při sprchování – s předehřevem

PV	0.2	l.s ⁻¹	potřeba vody pro sprchování [31]
m_t	0.05	l.s ⁻¹	množství teplé vody
t_t	60	°C	teplota teplé vody
m_{ps}	0.15	l.s ⁻¹	množství předehřáté studené vody
t_{ps}	25	°C	teplota předehřáté studené vody
t	33.75	°C	výsledná teplota sprchování
Δm	0.04	l.s ⁻¹	snížení potřeby teplé vody

Z výpočtu vyplývá úspora potřeby teplé vody až o 44 %. Návratnost investice by se orientačně pohybovala do dvou a půl let. Je tedy patrné, že přímé výměníky tepla umístěné na potrubí vnitřní kanalizace mohou účinně šetřit náklady spojené s ohřevem teplé vody. Tepelné výměníky nevyžadují speciální údržbu. Náklady na provoz jsou nulové, k užití výměníku není třeba žádná další energie.

Další část se věnovala využitím tepla z odpadní vody pomocí tepelného čerpadla. Ukázalo se, že odpadní voda je ideálním zdrojem pro primární okruh tepelného čerpadla. Studie i stavby ve světě ukazují, že z odpadní vody můžeme získat teplo pro vytápění v zimě i chlad pro chlazení v létě. Nejedná se o nízké hodnoty ale o stovky kW! Instalace tepelných čerpadel ve městě se zúží na výběr pouze jediného, tedy TČ vzduch/voda (či v modifikaci

vzduch/vzduch). Jiné použití nelze realizovat, protože to neumožní zástavba. Kanalizační soustava je již postavena a stačí ji pouze využít. Využíváním tepelných čerpadel, jakožto ekologických zdrojů tepla, odpadní voda/voda nejen můžeme přispět k redukci skleníkových plynů, ale můžeme i ušetřit díky vysokému topnému faktoru. COP u takovýchto tepelných čerpadel se pohybuje v průběhu roku v rozmezí 3,5 až 6,0. Jedná se tedy o vyšší topné faktory než u tepelných čerpadel vzduch/voda. Při využívání tepla z kanalizace můžeme využít buď výměníků uložených ve stoce, nebo externích výměníků tepla, do kterých se odpadní voda přečerpává. Vhodné lokality pro využití technologie k získání tepla z odpadní vody jsou omezeny průtokem odpadní vody, který by neměl být nižší než $10 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Celkové ochlazení odpadní vody by nemělo být větší než $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Při nedodržení těchto podmínek je vhodné odpadní vodu zachytávat a tím vyrovnávat nerovnoměrnost průtoků během dne a kolísání teploty. Využití zachytných jímek, ve kterých jsou uloženy teplosměnné plochy, je vhodné pro tzv. decentralizovaný systém. Je to systém vhodný pro bytové domy, studentské koleje apod. Teplá odpadní voda se zachytává přímo na odtoku z budovy a je pozdržena v jímce. Ta se navrhuje na dobu zdržení jeden den. Tepelné čerpadlo využívá teplo z odpadní vody v jímce a může být využito pro přípravu teplé vody či vytápění budovy (je-li odpadní vody dostatek pro zajištění výkonu pro TČ).

Třetím způsobem jak získat teplo z odpadní vody je z vyčištěné odpadní vody na čistírnách odpadních vod. Jedná se o největší energetický potenciál, protože vyčištěnou vodu můžeme ochladit o více stupňů. Systém tedy může být využit i na menších ČOV, které mají malé průtoky. Kapitola se věnovala možnostem získání tepla a nastínění možného využití. To může být problematické, jelikož se většinou čistírny odpadních vod nachází daleko od zastavěné části měst.

Poslední část byla věnována projektu na čistírně odpadních vod v Hodoníně. Byly zde možné tři varianty:

- přítok na ČOV
- odtok z ČOV
- potok „teplý járek“

Pro tyto tři systémy byly navrženy výměníky tepla HUBER RoWin a tepelná čerpadla CIAT. Tepelná čerpadla by měla sloužit pro vytápění administrativní budovy a ohřev teplé vody. V letních měsících by technologie vytápěla vyhnívací nádrž. Tím by byl zajištěn celoroční provoz. Srovnání variant bylo z hlediska provozních nákladů. Z investičních nákladů je patrné, že nejlevnější by byla varianta č. 1 přítok na ČOV. Vzdálenost kanalizace a budovy je nejmenší a tím je zaručeno nejnižších tepelných ztrát v potrubí. S výhodou se zde využije i česlí, nebude tak nutné mechanické předčištění před čerpáním odpadní vody do výměníku RoWin. Z výsledků je patrné, že odpadní voda na přítoku má dostatečné parametry pro vytápění administrativní budovy. Zchlazení odpadní vody nebude ovlivňovat biologické procesy na ČOV.

Zajímavé bylo vyhodnocení na odtoku z čistírny odpadních vod. Voda zde může být ochlazená o více stupňů a navržený výkon pro tepelná čerpadla činí $367,6 \text{ kW}$ při minimálním COP 4,62. Jedná se o teplo vhodné pro vytápění obytných budov a topný faktor je pro teplotu na přívodu $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ze všech výsledků je patrné, že vhodné využití odpadní vody vede ke snížení provozních nákladů na vytápění. Tepelná čerpadla jsou také šetrná k životnímu prostředí. Vhodným využitím systému s tepelným čerpadlem můžeme ušetřit stovky tisíc korun při vytápění.

8. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] STOWA (2010). *NEWS: The Dutch Roadmap for the WWTP of 2030*. Utrecht, The Netherlands.
- [2] Keller, J. (2008). *Wastewater-Energy Conversion Options*, IWA Leading-Edge Conference, 2-4 June 2008, Zurich.
- [3] GWCR (2008). *State of Science Report: Energy and Resource Recovery from Sludge*.
- [4] Reinhardt, G. and Fillmore, L. (2009). *Energy Opportunities in Wastewater and Biosolids*.
- [5] Johnson, T., Scanlan, P. A., Yurtsever, D. and Kuchenrither, R. D. *State of Practice: Biosolids Energy and Resource Recovery*, Water Convention, SIWW09, 23-26 June 2009 Singapore.
- [6] UKWIR (2009). *Maximizing the Value of Biogas Summary Report*.
- [7] Wett, B., Buchauer, K. and Fimml, C. (2007a). *Energy Self-Sufficiency as a Feasible Concept for Wastewater Treatment Systems*, Leading-Edge Conference, 4-6 June 2007, Singapore.
- [8] Wett, B. (2007b). *Development and implementation of a robust deammonification process*. *Wat. Sci. & Technol.*
- [9] CAO, Ye Shi. *Mass Flow and Energy Efficiency of Municipal Wastewater Treatment Plants*. London: IWA Publishing, 2011. ISBN 1843393824.
- [10] Jonasson, M. (2007). *Energy Benchmark for Wastewater Treatment Processes-A Comparison between Sweden and Austria*. MSc Thesis, Lund University.
- [11] Wilson, A. W. (2009). *Solids Separation Basics at Wastewater Treatment Plants* Western Canada Water Biosolids & Residuals Seminar Radisson Hotel, Calgary, 21 April 2009
- [12] EPA 2007. *Opportunities for and Benefits of Combined Heat and Power at Wastewater Treatment Facilities*.
- [13] Water2Energy: *Využijte energii z vody*. In: *Veoliavoda* [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.veoliavoda.cz/czech-republic-water/ressources/files/1/35727,Water-2-Energy-complete-CZ.pdf>
- [14] SCHMID, Felix. *SEWAGE WATER INTERESTING HEAT SOURCE FOR HEAT PUMPS AND CHILLERS*. In: [online]. 2008. vyd. Zürich, Switzerland: SwissEnergy Agency for Infrastructure Plants [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/123320392/SEWAGE-WATER-INTERESTING-HEAT-SOURCE-FOR-HEAT-PUMPS-AND-CHILLERS> British Standard BS 8525-1:2010. *Greywater systems – Part 1: Code of practice*. UK: BSI, 2010.
- [15] ČSN 75 6101. *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii, a státní zkušebnictví, 2013.
- [16] NELA úsporné sprchování: *výměník do koupelny*. In: [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: http://sakal-ovt.cz/web/wp-content/uploads/2013/11/prospekt_maly_koupelny_vymenik_sakal.pdf

- [17] GFX Technology. US EPA. [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.gfxtechnology.com/>
- [18] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB-info* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [19] SAKAL, Ivan. *SAKAL: technologie pro úspory energií* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://sakal-ovt.cz/cs/>
- [20] KASAG. *Heat exchanger solutions to recover energy from water, sewage and process heat*. KASAG LANGNAU AG. Hohgantweg 4, Switzerland. Dostupné z: <http://www.kasag.ch/LinkClick.aspx?fileticket=-d4Oom-PEvQ%3d&tabid=151&language=en-US>
- [21] KASAG. *Sewage-pipe heat exchanger*. KASAG LANGNAU AG. Hohgantweg 4, Switzerland. Dostupné z: <http://www.kasag.ch/LinkClick.aspx?fileticket=zGOIWLHbKVY%3d&tabid=151&language=en-US>
- [22] SEYBOLD, Christopher a Marten F BRUNK. REHVA. *In-house waste water heat recovery*. KASAG LANGNAU AG. Germany. Dostupné z: http://www.rehva.eu/fileadmin/REHVA_Journal/REHVA_Journal_2013/RJ_issue_6/P.18/18-21_Seybold_RJ1306.pdf
- [23] HUBER SE. *Heating and cooling with wastewater: Recovery of thermal energy from municipal and industrial wastewater*. Industriepark Erasbach A1 · D-92334 Berching. Dostupné z: http://www.huberics.cz/fileadmin/02_Loesungen/08_Waerme_aus_Abwasser/02_Waerme_aus_dem_Kanal_ThermWin/pro_waermerueckgewinnung_en.pdf
- [24] HUBER SE. *ROTAMAT® RoK 4: Pumping Stations Screen*. Industriepark Erasbach A1 · D-92334 Berching. Dostupné z: http://www.huberics.cz/fileadmin/01_products/01_screens/01_rotamat_screens/10_rok4/pro_rok4_en.pdf
- [25] HUBER SE. *HUBER RoWin Heat Exchanger*. Industriepark Erasbach A1 · D-92334 Berching. Dostupné z: http://www.huberics.cz/fileadmin/01_products/11_energy_from_ww/11_rowin/pro_rowin_en.pdf
- [26] First HUBER ThermWin® plant for wastewater heat recovery in Switzerland: Energy Efficiency for the Winterthur Wintower. In: *HUBER* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.huberics.cz/cz/huber-report/ablage-berichte/energy-from-wastewater/first-huber-thermwinr-plant-for-wastewater-heat-recovery-in-switzerland.html>
- [27] HUBER. *Wohnanlage Sudetendeutsche Straße Straubing, Deutschland: Heizen und Warmwasserbereitung mit Energie aus kommunalem Abwasser*. Industriepark Erasbach A1 · D-92334 Berching. Dostupné z: www.huber.de

- [28] Leukerbad in Switzerland uses HUBER Heat Exchanger for heat recovery from thermal spa wastewater. In: *HUBER* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.hubercs.cz/cz/huber-report/ablage-berichte/energy-from-wastewater/leukerbad-in-switzerland-uses-huber-heat-exchanger-for-heat-recovery-from-thermal-spa-wastewater.html>
- [29] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [30] TZB-info / Vytápění / Tabulky a výpočty: Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva. *TZB-info* [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/139-porovnani-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva?energie_gj=126.8
- [31] ČSN EN 806-3. *Vnitřní vodovod pro rozvod vody určené k lidské spotřebě - Část 3: Dimenzování potrubí - Zjednodušená metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii, a státní zkušebnictví, 2006.

SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Měrná spotřeba energie pro čištění městských odpadních vod [9]	5
Tab. 2-2 Energetická efektivnost některých ČOV [9]	6
Tab. 2-3 Energetická cílová hodnota pro různé velikosti a postupy na ČOV [9]	7
Tab. 2-4 Úspora elektřiny ČOV Budapešť - Jih [13].	9
Tab. 2-5 Úspora elektřiny ČOV Budapešť - Sever [13].	9
Tab. 4-1 Údaje o výkonu (výměník vložen do potrubí) [22]	22
Tab. 4-2 Údaje o výkonu (výměník integrován do potrubí, gravitační stoka) [22]	23
Tab. 4-3 Údaje o výkonu (výměník integrován do potrubí, tlaková stoka) [22]	23
Tab. 5-1 Relativní emise CO ₂ z energetického systému [14]	32
Tab. 6-1 Vstupní data	35
Tab. 6-2 Návrh TČ	36
Tab. 6-3 Ochlazení OV – minimální průtok	37
Tab. 6-4 Ochlazení OV-průměrný průtok	37
Tab. 6-5 Vstupní data pro výpočet provozních nákladů	37
Tab. 6-6 Náklady na vytápění	37
Tab. 6-7 Náklady na ohřev teplé vody	38
Tab. 6-8 Celkové provozní náklady	38
Tab. 6-9 Vstupní data	41
Tab. 6-10 Návrh TČ	42
Tab. 6-11 Ochlazení OV – minimální průtok	43
Tab. 6-12 Ochlazení OV – průměrný průtok	43
Tab. 6-13 Vstupní údaje pro výpočet provozních nákladů	43
Tab. 6-14 Náklady na vytápění	43
Tab. 6-15 Náklady na ohřev teplé vody	44
Tab. 6-16 Celkové provozní náklady	44
Tab. 6-17 Maximální výkon pro ochlazení OV na 0 °C	48
Tab. 6-18 Vstupní data	49
Tab. 6-19 Návrh TČ	50
Tab. 6-20 Ochlazení vody	51
Tab. 7-1 Množství vody při sprchování – bez předehřevu	52
Tab. 7-2 Množství vody při sprchování – s předehřevem	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Spotřeba energie pro různé velikosti a postupy na ČOV [9]	4
Obr. 2-2 Zvýšení produkce bioplynu a elektřiny, ČOV Plzeň[13].	9
Obr. 3-1 Spotřeba pitné vody během dne [15]	11
Obr. 4-1 Možnosti využití odpadní vody[17].....	12
Obr. 4-2 Princip tepelného čerpadla [13]	13
Obr. 4-3 Možnost zapojení [17]	14
Obr. 4-4 Výměník GFX [18].....	15
Obr. 4-5 Instalace výměníku [20]	16
Obr. 4-6 Výpočtové křivky [20].....	16
Obr. 4-7 Příklad jímky [21].....	17
Obr. 4-8 Schéma zapojení jímky	18
Obr. 4-9 Průběh kolísání spotřeby a teploty vody během dne – bytový dům[23]	19
Obr. 4-10 Průběh kolísání spotřeby a teploty vody během dne – studentské koleje[23].....	19
Obr. 4-11 Schéma zapojení TČ pro ohřev teplé vody	20
Obr. 4-12 Schéma zapojení výměníku tepla ve stoce	21
Obr. 4-13 Výměník vložen do potrubí	22
Obr. 4-14 Integrovaný výměník tepla – gravitační potrubí.....	23
Obr. 4-15 Integrovaný výměník tepla – tlakové potrubí [22]	23
Obr. 4-16 Zapojení systému HUBER [24].....	24
Obr. 4-17 Schéma zapojení čistící šachty [25].....	25
Obr. 4-18 Tepelný výměník HUBER RoWin [26]	26
Obr. 4-19 Druhy rozvodu vyčištěné odpadní vody	27
Obr. 4-20 Výměník tepla RoWin v betonovém žlabu [26]	28
Obr. 5-1 Roční porovnání nákladů na vytápění [30].....	31
Obr. 5-2 Porovnání nákladů na vytápění během dvaceti let	31
Obr. 6-1 Areál ČOV Hodonín	34
Obr. 6-2 Ekvitermní křivka	39
Obr. 6-3 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku (40 °C).....	39
Obr. 6-4 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku (55 °C).....	40
Obr. 6-5 Návrh výměníku tepla a tepelného čerpadla.....	40
Obr. 6-6 Ekvitermní křivka	45
Obr. 6-7 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku (40 °C).....	45
Obr. 6-8 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku (55 °C).....	46

Obr. 6-9 Návrh výměníku tepla a tepelného čerpadla.....	46
Obr. 6-10 Návrh výměníku tepla a tepelného čerpadla.....	47
Obr. 6-11 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku (40 °C).....	47
Obr. 6-12 Závislost příkonu, výkonu a COP na teplotě výparníku (55 °C).....	48
Obr. 6-13 Závislost výkonu na ochlazení odpadní vody (pro 60 l.s ⁻¹)	48
Obr. 6-14 Návrh výměníku tepla a tepelného čerpadla.....	51

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČOV	čistírna odpadních vod
OV	odpadní voda
EO	ekvivalentní obyvatel
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku (5 dnů)
C	odstranění pouze uhlíku
N	odstranění nutrientů
COP	coefficient of performance – topný faktor
TČ	tepelné čerpadlo
DN	jmenovitá světlost potrubí
ΔT	ochlazení odpadní vody [$^{\circ}\text{C}$]
W_{OP}	množství odebraného tepla [kW]
c	měrná tepelná kapacita vody [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$]
ρ	měrná hmotnost vody [$\text{kJ}\cdot\text{l}^{-1}$]
Q	průtok odpadní vody [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]

SEZNAM PŘÍLOH

1. Tepelné čerpadlo pro variantu č.1
2. Tepelné čerpadlo pro variantu č.2
3. Tepelné čerpadlo pro variantu č.3
4. Situace M 1:1 000
5. Půdorys kotelny M 1:50
6. Schéma zapojení kotelny M 1:50

1. Tepelné čerpadlo pro variantu č.1

DYNACIAT LG/LGP 300V R410A

Kompakter, fürschröner und geräuscharmer Kaltwassersatz – SCROLL-Verdichter - gelötete Plattenwärmetauscher

Komplette und bedienerfreundliche Regelung und Steuerung über Mikroprozessor

Gemäß technischer Broschüre Nr. CAT

Kältemittel / Kg : R410A/ 9.9
Anzahl der Kältekreisläufe : 1
Leistungsregelung : 100-50-0 %
Anlaufart : Kaskade



Bruttokälteleistung : 75,2 kW
Nettokälteleistung : 74,6 kW
EER (EN 14511) / ESEER : 3,33 / 4,97
Flüssigkeit : MEG 25%
Temperatur Eintritt/Austritt : 7,0 °C / 3,2 °C
Volumenstrom : 5,2 l/s
Druckverlust : 453,3 mbar
Anschlussdurchmesser : G 2" M

Bruttowärmeleistung : 96,4 kW
Nettowärmeleistung : 97,0 kW
Netto-Wert COP (EN 14511) : 4,33
Flüssigkeit : Wasser
Temperatur Eintritt/Austritt : 35,0 °C / 40,0 °C
Volumenstrom : 4,6 l/s
Druckverlust : 526,0 mbar
Anschlussdurchmesser : G 2" M
Innengewinde

Aufgenommene Bruttoleistung : 21,2 kW
Aufgenommene Nettoleistung: 22,4 kW
Versorgungsspannung : 3Ph 400V 50 Hz
Max. Nennstrom zur Kabeldimensionierung : 60,2 A
Anlaufstrom : 204,0 A
Anlaufstrom mit Option SOFTSTARTER : 90,0 A



2. Tepelné čerpadlo pro variantu č.2

DYNACIAT LG/LGP 300V R410A

Kompakter, fürmschöner und geräuscharmer Kaltwassersatz – SCROLL-Verdichter - gelötete Plattenwärmetauscher

Komplette und bedienerfreundliche Regelung und Steuerung über Mikroprozessor

Gemäß technischer Broschüre Nr. CAT

Kältemittel / Kg : R410A/ 9.9
Anzahl der Kältekreisläufe : 1
Leistungsregelung : 100-50-0 %
Anlaufart : Kaskade



Bruttokälteleistung : 81,4 kW
Nettokälteleistung : 80,4 kW
EER (EN 14511) / ESEER : 3,51 / 4,97
Flüssigkeit : Wasser
Temperatur Eintritt/Austritt : 7,6 °C / 5,0 °C
Volumenstrom : 7,5 l/s
Druckverlust : 687,9 mbar
Anschlussdurchmesser : G 2" M



DynaCIAT^{power}
700V-2400V

Bruttowärmeleistung : 102,7 kW
Nettowärmeleistung : 103,4 kW
Netto-Wert COP (EN 14511) : 4,51
Flüssigkeit : Wasser
Temperatur Eintritt/Austritt : 35,0 °C / 40,0 °C
Volumenstrom : 4,9 l/s
Druckverlust : 591,2 mbar
Anschlussdurchmesser : G 2" M
Innengewinde



DynaCIAT
120V-600V

Aufgenommene Bruttoleistung : 21,3 kW
Aufgenommene Nettoleistung: 22,9 kW
Versorgungsspannung : 3Ph 400V 50 Hz
Max. Nennstrom zur Kabeldimensionierung :
60,2 A
Anlaufstrom : 204,0 A
Anlaufstrom mit Option SOFTSTARTER :
90,0 A

3. Tepelné čerpadlo pro variantu č.3

DYNACIATPOWER LG/LGP 1000V R410A

Kompakter, fürsichöner und geräuscharmer Kaltwassersatz – SCROLL-Verdichter - gelötete Plattenwärmetauscher

Komplette und bedienerfreundliche Regelung und Steuerung über Mikroprozessor

Gemäß technischer Broschüre Nr. CAT

Kältemittel / Kg : R410A/ 18+18
Anzahl der Kältekreisläufe : 2
Leistungsregelung : 100-75-50-25-0 %
Anlaufart : Kaskade



Bruttokälteleistung : 289,0 kW
Nettokälteleistung : 288,1 kW
EER (EN 14511) / ESEER : 3,62 / 5,38
Flüssigkeit : Wasser
Temperatur Eintritt/Austritt : 9,8 °C / 5,0 °C
Volumenstrom : 14,4 l/s
Druckverlust : 326,5 mbar
Anschlussdurchmesser : VICTAULIC DN 125

Bruttowärmeleistung : 366,3 kW
Nettowärmeleistung : 367,6 kW
Netto-Wert COP (EN 14511) : 4,62
Flüssigkeit : Wasser
Temperatur Eintritt/Austritt : 35,0 °C / 40,0 °C
Volumenstrom : 17,5 l/s
Druckverlust : 412,3 mbar
Anschlussdurchmesser : VICTAULIC DN 125 Innengewinde

Aufgenommene Bruttoleistung : 77,3 kW
Aufgenommene Nettoleistung: 79,5 kW
Versorgungsspannung : 3Ph 400V 50 Hz
Max. Nennstrom zur Kabeldimensionierung : 205,0 A
Anlaufstrom : 414,0 A
Anlaufstrom mit Option SOFTSTARTER : 310,0 A



SUMMARY

Bachelor thesis dealt with the issue of using heat from waste water. For modern passive houses and zero-energy building represents a large sewer leakage power. Swiss studies show that this is no insignificant item. That is why we need to use wastewater. Not just for heat recovery but for other purposes too (for flushing toilets, watering, car washing, etc.). Energy from waste water can be obtained in three ways:

- direct heat exchangers in the building
- using heat pump and wastewater sewerage
- using heat pump at treated wastewater to the WWTP

Other methods are combinations of the above in order to use the heat from the waste water, if not met certain boundary conditions (temperature, flow rate)

The first part was shown how to gain back the heat from wastewater which is heated flows out into the public sewer system. This warm wastewater can transmit its heat to preheat the cold water that flows into the mixing manifold. This preheating can reduce the cost of heating water by up to half. With mixing the preheated water (approx. 25 °C) hot water from the reservoir (60 °C) is achieved by saving in need of hot water from the tank.

The next section is devoted to the use of heat from waste water using the heat pump. It turned out that the waste water is an ideal source for the primary circuit of the heat pump. Studies and buildings around the world show that the wastewater can get heat for heating in winter and coolness in summer for cooling. This is not a low value but hundreds kW! By using heat pumps as environmental heat sources, wastewater/water not only can contribute to the reduction of greenhouse gas emissions, but we can also save due to high heating factor. COP for such heat pump varies during the year in the range of 3.5 to 6.0. When using heat from sewers can use either heat stored in the gutter, or external heat exchangers, in which wastewater is pumped. Suitable locations for use of the technology to extract heat from the wastewater are limited flow of waste water, which should not be less than 10 l.s⁻¹. The total cooling wastewater should not exceed 0.5 °C.

The third way to get heat from the wastewater is treated wastewater at WWTP. It is the largest energy potential, because the treated water can be cooled several degrees. Therefore, the system can also be used for smaller wastewater treatment plants that have low flow rates. The chapter devoted to the possibility of obtaining heat and outlined possible use. This can be problematic, since the majority of wastewater treatment plants located far from the urban area.

The last part was devoted to the project at the wastewater treatment plant in Hodonín. There were three options:

- inflow to the wastewater treatment plant
- outflow from wastewater treatment plants
- stream “teplý járek”

For these three systems were designed heat exchangers HUBER RoWin a heat pump CIAT. Heat pumps should be used for heating office buildings and hot water. In the summer months the heat will be used for the sludge digestion. This would provide a year-round operation. All of the results show that the appropriate use of waste water resulting in reduced operating costs for heating. Heat pumps are also environmentally friendly. Appropriate use of the system with a heat pump can save hundreds of thousands of heating costs.