



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

**TECHNOLOGIE ZNOVUVYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD
V MÍSTĚ POTŘEBY**

TECHNOLOGIES OF REUSE OF WASTEWATER IN PLACE OF NEED

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Podhrázský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Martin Podhrázský
Název	Technologie znovuvyužití odpadních vod v místě potřeby
Vedoucí práce	prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

[1] Metcalf + Eddy: Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGRAW-HILL, New York 1985

[2] Parson S.: Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment, IWA Publishing, ISBN: 1843390175

[3] HLAVÍNEK Petr, MIČÍN Jan, PRAX Petr. Příručka stokování a čištění, NOEL 2000, 2001, 251 s., ISBN 80-86020-30-4.

[4] Krejčí a kol.: Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup, ISBN 80-86020-39-8, NOEL 2000, Brno 2002.

[5] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing.

[6] Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V první části práce bude zpracována rešerše zaměřená na stávající stav problematiky čištění městských odpadních vod v rámci systému reuse technologie a jejich využití v městských sídlech (sewer mining).

V praktické části student koncepčně navrhne systém reuse technologie v konkrétní lokalitě a zpracuje případovou studii využití vyčištěných městských odpadních vod pro závlahy včetně instalace výměníků tepla pro vytápění komerčního objektu. V případové studii se student zaměří na technické řešení, výpočty, zisk energie a ekonomiku navrženého systému.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá možnostmi využití potenciálu odpadních vod tekoucích v kanalizačních potrubích. Cílem je představit poznatky o technologiích a zkušenostech v oblasti dodávky recyklované užitkové vody a získávání tepelné energie z odpadních vod. Rešeršní část je rozdělena na dvě hlavní témata. První téma je zaměřeno na výběr důležitých informací a zkušeností s návrhem a provozem decentralizovaných technologií pro recyklaci odpadních vod odebraných z kanalizačního potrubí. Jsou zde přebrány zkušenosti ze států, které jsou v těchto technologiích pokročilejší, především kvůli nepříznivějším klimatickým podmínkám v porovnání s ČR. Druhá část práce se zabývá získáváním tepelné energie uchované v odpadních vodách tekoucích v kanalizačních potrubích a možnostmi využití této energie pro chlazení a vytápění objektů. V praktické části je koncepčně posouzena možnost vytápění plaveckého stadionu ve městě Brně využitím tepelné energie odpadních vod. Jako zdroj odpadních vod ve studii slouží kmenová stoka odpadních vod procházející v blízkosti koupaliště. Ve studii je posouzena ekonomická výhodnost investice do vytápění objektu pomocí energie z odpadních vod, ekonomická výhodnost byla investice byla získána porovnáním s vytápěním objektu za pomoci centrálního zdroje tepla, dodávaným společností Teplárny Brno, a.s.

KLÍČOVÁ SLOVA

Recyklace, znovuvyužití, odpadní, voda, stokování, decentralizační, čištění, filtrace, tepelná, energie, vytápění, výměníky, tepelná čerpadla, rekuperace, výměník tepla.

ABSTRACT

Final thesis is focused on possibilities hidden in the potential of wastewaters in sewers. The goal of this thesis is to present technologies and experiences with water reclamation and with heat recovery systems using wastewaters as a source of heat energy. The theoretical part is divided in two main topics. The first topic is focused on bringing important knowledge and experiences with designing and operating decentralized sewer mining systems, which are, due to less favourable environmental conditions, largely applicated and developed in countries such as Australia, California, etc. The second topic is focused on heat recovery from sewage water and possibilities of heating and cooling buildings. A possibility of using heat energy from sewage for heating and cooling a swimming pool building located in Brno, Czech Republic was assessed in the last part of this thesis. As a source of wastewater was considered a sewer main located near the pool building. Payback periods and economical effectivity of investing into wastewater heat recovery system was compared with centralized heat supply system, which is a very common source of heat energy in Czech Republic.

KEYWORDS

Sewer mining, reclamation, recycle, reuse, circular economy, wastewater, sewer, decentralized, treatment, filtration, heat energy, heat recovery, heat pump, heat exchanger.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Martin Podhrázský *Technologie znovuvyužití odpadních vod v místě potřeby*. Brno, 2019. 99 s., 6 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Technologie znovuvyužití odpadních vod v místě potřeby* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 12. 2019

Bc. Martin Podhrázký
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA za vstřícný přístup k řešení práce a orientaci v oboru, dále bych chtěl poděkovat Ing. Kristýně Velikovské za přípravu a pomoc s podklady a panu Ing. Jakubu Račkovi, Ph.D. za odbornou pomoc, vstřícný přístup a za celkovou spolupráci na praktické části diplomové práce.

OBSAH

1	Úvod.....	12
2	Využití odpadních vod pro pokrytí potřeby vody (sewer mining).....	13
2.1	Čištění odpadních vod.....	14
2.1.1	Centralizované metody odvádění odpadních vod a možnosti jejího dalšího použití	14
2.1.2	Decentralizované metody odvádění odpadních vod a možnosti jejího dalšího použití.....	14
2.2	Kvalita vody pro další využití.....	16
2.2.1	Odstranění patogenních organismů a indikátorových organismů	17
2.2.2	Analýza rizik.....	18
2.3	Výhody využití sewer miningu	19
2.4	Překážky pro sewer mining	19
2.4.1	Vnímání veřejnosti.....	19
2.4.2	Posouzení investice.....	20
2.5	Proces plánování a realizace.....	22
2.6	Pilotní studie sewer miningu provedená na území eu.....	22
2.7	Negativní dopady sewer miningu (koroze a zápach)	24
2.7.1	Vznik zápachu.....	25
2.7.2	Koroze.....	27
2.8	Filtrace.....	28
2.8.1	Mikrofiltrace	30
2.8.2	Ultrafiltrace.....	30
2.8.3	Nanofiltrace	30
2.8.4	Reverzní osmóza.....	30
2.8.5	Moduly.....	31
2.8.6	Deposition mode.....	33
2.8.7	Suspension mode	33
2.8.8	Zpětný proplach (Backwashing).....	33
2.9	Příklady využití sewer miningu ve světě.....	34
2.9.1	The Australian Capital Territory Electricity and Water.....	34
2.9.2	Flemington Racecourse.....	35
2.9.3	Darling Quarter Recycled Water Treatment Plant	38
2.9.4	Riverside Rocks Park.....	40
2.9.5	Pennant Hills Golf Club.....	41
2.9.6	Sydney Olympic Park	42
3	Zisk tepla z odpadních vod	44

3.1	Právní rámec.....	45
3.2	Kategorie získávání tepla z odpadních vod	45
3.2.1	Decentralizované systémy	46
3.2.2	Centralizovaná rekuperace tepla ze surové OV	47
3.2.3	Centralizovaná rekuperace tepla z vyčištěné OV.....	49
3.2.4	Chlazení pomocí odpadních vod.....	49
3.3	Tepelné výměníky pro získávání tepelné energie ze stoky	50
3.3.1	Tepelné výměníky pro centrální odběr tepelné energie	50
3.4	Tepelná čerpadla	53
3.4.1	Princip funkce	53
3.4.2	Typy nejčastěji používaných tepelných čerpadel.....	54
3.5	Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP	55
3.5.1	Jmenovitý topný faktor COP	56
3.5.2	Sezónní topný faktor tepelného čerpadla SCOP (Seasonal Coefficient of Performance)	56
3.6	Návrh systému	57
4	Studie zpracování tepelné energie ze stokového systému při Městském plaveckém stadionu Lužánky	61
4.1	VSTUPNÍ INFORMACE.....	61
4.2	Seznam příloh	61
4.3	Vstupní podklady.....	61
4.4	ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU	61
4.4.1	Popis zájmové oblasti	61
4.4.2	Obsah plánované rekonstrukce a výstavby	61
4.4.3	Trasa a dotčené pozemky pro realizaci vytápění za pomoci odpadních vod.....	62
4.4.4	Dotčené sítě	63
4.4.5	Zhodnocení potřeby tepelné energie	63
4.4.6	Zdroj odpadních vod.....	65
4.4.7	Ochlazení/oteplení odpadní vody.....	66
4.5	KONCEPČNÍ NÁVRH PRO ZÍSKÁNÍ TEPLA Z OV	67
4.5.1	Odběrný objekt	67
4.5.2	Čerpací stanice OV a její vyzbrojení	68
4.5.3	Kanalizační výtlak do tepelných výměníků	69
4.5.4	Tepelné výměníky.....	69
4.5.5	Odtokové potrubí	69
4.6	STANOVENÍ NÁKLADŮ	70
4.6.1	Propočet investičních nákladů s ohledem na navržené technické řešení	70
4.6.2	Vstupní informace týkající se ekonomické návratnosti	71

4.6.3	Výkon výměníků a využitelnost energie v budově pro vytápění a chlazení	75
4.6.4	Náklady na vytápění SO a NO pouze pomocí CZT	75
4.6.5	Náklady na vytápění pomocí energie z odpadních vod (EOV) a CZT pro pokrytí špičkových odběrů	76
4.6.6	Náklady na chlazení SO a NO	77
4.6.7	Provozní náklady pro provoz výměníků tepla	78
4.7	ORIENTAČNÍ DOBA NÁVRATNOSTI	79
4.8	POSOUZENÍ PROVOZNÍCH FAKTORŮ (ENERGETICKÁ NÁROČNOST, PORUCHOVOST, SERVISNÍ NÁROKY, ATD.)	83
5	Závěr.....	85

1 ÚVOD

Vývoj způsobů čištění odpadních vod po dlouhá desetiletí následoval systém centralizovaného řízení a čištění, především pro jeho relativně nízkou technologickou náročnost a s cílem minimalizovat náklady na výstavbu, provoz a údržbu. S rychlým vývojem nových technologií, dokonalejších a přesnějších systémů řízení a obecně postupně se měnícím pohledem na ekosystém, zdroje energie, surovin a dalších aspektů, však můžeme sledovat trend postupné decentralizace získávání zdrojů. Tento trend lze sledovat v různých oborech, například v energetice, kde využívání obnovitelných zdrojů energie a obecná snaha o snížení ekologických dopadů pomalu proměňuje pohled na zdroje energie a na jejich prostorové rozmístění. Tento trend se nevyhýbá ani oboru nakládání s odpadními vodami. Na odpadní vody lze pohlížet ne jako na odpad, nýbrž jako na potenciální zdroj energie, který při určitých okolnostech může přinést finanční úspory, snížit ekologickou stopu a při znovuvyužití těchto vod přispět k šetření zdrojů. Implementace těchto postupů je závislá na vývoji technologií, ochotě pohlížet na zdroje odlišným způsobem a legislativní podporou.

Rozvoj těchto technologií je ovlivněn ekonomickou výhodností a vnějšími vlivy. Není náhodou, že průkopníky technologií a procesů pro recyklaci vody jsou státy, které se potýkají s nedostatkem relativně levných zdrojů vody a v oblastech trpících suchem, jako je třeba Austrálie, Kalifornie a další. Téměř všechny poznatky o technologii zvané sewer mining v této práci jsou převzaty právě ze zkušeností z těchto zemí. Cílem práce je uvést tyto technologie a předložit obecné předpoklady a nároky na návrh těchto systémů a představit možná rizika, která s sebou nesou.

Anglickým pojmem sewer mining můžeme rozumět využívání energie odpadních vod (OV), či přímé využití odpadní vody pro další účely. Při využití energie OV je tato voda, po využití jejího potenciálu, nejčastěji navracena zpět do kanalizačního systému. Při přímém využití OV pro další účely je vyčištěná voda spotřebována a zpět do stokového systému se může, či nemusí vracet pouze residua z čištění této OV.

Zahraniční anglickojazyčná literatura pod pojmem sewer mining uvádí především technologie, pomocí kterých je získaná odpadní voda ze stokových systémů přímo využita, nejčastěji pro závlahy, nebo i výrobu pitné vody. Získávání tepelné energie z OV je v anglickojazyčné literatuře uváděno především jako heat recovery from sewers, pojmy se však různě prolínají a pojem sewer mining bychom mohli označit jako nadřazený pojem, který zahrnuje veškeré metody využití odpadních vod tekoucích v kanalizačním potrubí.

2 VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD PRO POKRYTÍ POTŘEBY VODY (SEWER MINING)

V Evropě se momentálně 73,4 % obyvatelstva koncentruje ve velmi urbanizovaných oblastech, jde o dlouhodobý trend stěhování lidí do měst. Do roku 2050 se očekává nárůst populace ve městech Evropské unie na 81 %. Současná sídelní struktura České republiky se vyznačuje značnou roztržitostí, existuje na našem území velké množství relativně malých obcí. K 1. 1. 2011 bylo z celkového počtu obcí 559 měst a 124 městysů, míra urbanizace dosahovala 70,3 %. Na našem území je relativně nízký počet velkoměst a s tím související významné zastoupení malých a středních měst, kromě Prahy se v ČR nachází pouze dvě města s více jak 300 tisíci obyvateli. Do roku 1989 došlo k výraznému nárůstu podílu městského obyvatelstva, tento proces se však v České republice po roce 1989 obrací a dochází k suburbanizaci území – stěhování lidí z měst do přilehlých oblastí. Spolu s proměnou klimatu, nárůstem sucha na našem území a zvyšující se úrovní životní podmínky působí koncentrace obyvatelstva značné zatížení pro ekosystém a dodávky vody. V závislosti na rozložení obyvatelstva bude nezbytné přistupovat k novým řešením zásobování vodou, sewer mining patří k u nás ne příliš známému způsobu znovuvyužití odpadních vod, ve světě, především v Austrálii, se však můžeme setkat se spoustou úspěšných projektů. Jde o jednu z variant decentralizovaného nakládání s odpadními vodami, využívá však odpadní vodu tekoucí ve veřejné stokové síti a svým charakterem tak bude vhodnější pro užití ve více urbanizovaných oblastech. [21] [2]

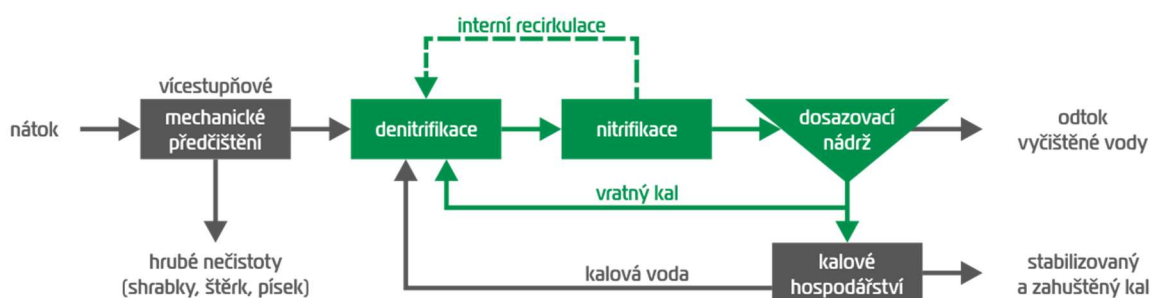
Evropská komise 28. května 2018 zveřejnila návrh nařízení, které stanovuje minimální požadavky na opětovné použití vody. Cílem tohoto dokumentu je pomoci s hrozbou nedostatku vody a takzvaným „vodním stresem“. Nedostatek vody je také velice provázaný se zavlažováním v zemědělství a častou hrozbou jsou pak sucha, jejichž výskyt stoupl v posledních 30 letech o téměř 20 %. [22]

Obečným cílem nařízení je regulace nedostatku vody, především zvýšením znovuvyužití vody, a to zejména v zemědělském sektoru, a to za současného udržení standardů veřejného zdraví a ochrany životního prostředí. Problematika začala být na unijní úrovni řešena v roce 2012, v současnosti je opětovné využití vody řešeno pomocí dvou nástrojů, které nicméně nespecifikují jeho podmínky. Jedná se o Rámcovou směrnici o vodě a Směrnici o čištění městských odpadních vod. První dokument stanovuje členským státům stanovit stav jejich vody a stanovit programy, jak dosáhnout dobrých výsledků. Tyto programy pak musí být předkládány Komisi každých 6 let. Problematiku je vhodné řešit na unijní úrovni, a to zejména s odkazem na mezinárodnost vodních toků. 60 % povodí je mezinárodních, sdíleno mezi 2-19 zeměmi. Opatření provedená jedním státem tudíž nejsou dostačující. [22]

V souladu se současným směřováním Evropské unie směrem k cirkulární ekonomice, která je součástí takzvaného udržitelného rozvoje, jde o snahu o zvýšení kvality životního prostředí pomocí zvyšování efektivity produkce. Znovuvyužitím odpadních vod dochází k proměně odpadu na zdroje, jde tedy o zvýšení účinnosti zdrojů. V koloběhu vody na úrovni měst se toto týká především použití odpadní vody jako zdroje. Metoda znovuvyužití odpadních vod souvisí se stupněm centralizace a decentralizace. Decentralizované zneškodňování odpadních vod se stává alternativou k centralizovanému čištění, které v mnoha případech není optimální variantou nejen z ekologického, ale ani ekonomického pohledu. [2] [23]

2.1 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Proces čištění odpadních vod můžeme rozdělit na tři základní stupně, primární, sekundární a terciální. Primární stupeň spočívá v mechanickém odstranění některých nerozpuštěných látek a organické hmoty, hrubé nečistoty jsou odstraněny pomocí česlí, následuje lapák písku a tuků, poté následuje usazovací nádrž. Sekundární biologické čištění slouží k odstranění sloučenin dusíku, fosforu a organického znečištění. Po tomto procesu následuje dezinfekce nejčastěji UV zářením, či pomocí filtrace. Při třetím stupni čištění se odstraňují anorganické ionty jako např. vápník, hořčík, sírany, ale také komplexní syntetické organické sloučeniny. Někdy je do terciálního čištění zahrnováno i odstraňování dusíku a fosforu. Nejčastěji se pro dočištění odpadních vod používá filtrace (aktivní uhlí, membránová, písková) a hygienizace. [20]



Obr. 2.1-1 Schéma konvenční ČOV [24]

Aby bylo možné znovu využít odpadní vody, je nezbytné z nich odstranit sedimenty, pevné látky, biologický materiál, těžké kovy, nutrienty, parazity a patogenní organismy včetně virů a bakterií. Většina těchto znečištění je odstranitelná pomocí kombinace výše uvedených technologií. Opětovné využití odpadních vod v urbanizovaných oblastech, například pro zalévání, splachování toalet a další, vyžaduje zařazení třetího stupně čištění s odstraněním patogenních organismů. [20]

2.1.1 Centralizované metody odvádění odpadních vod a možnosti jejího dalšího použití

Mezi centralizované metody můžeme zařadit například model jedné čistírny odpadních vod pro větší urbanizované území, ze které je vyčištěná odpadní voda určená pro další využití dopravena do místa potřeby. Nevýhodou tohoto modelu je, že čistírny se nacházejí v odlehlých oblastech na okraji měst a obcí, vodu pro další účely je tedy nutné přivádět dlouhými vzdálenostmi do místa potřeby. Těmito vodami jsou nejčastěji zásobováni velkoodběratelé pro zemědělství a průmysl. [2] [23]

2.1.2 Decentralizované metody odvádění odpadních vod a možnosti jejího dalšího použití

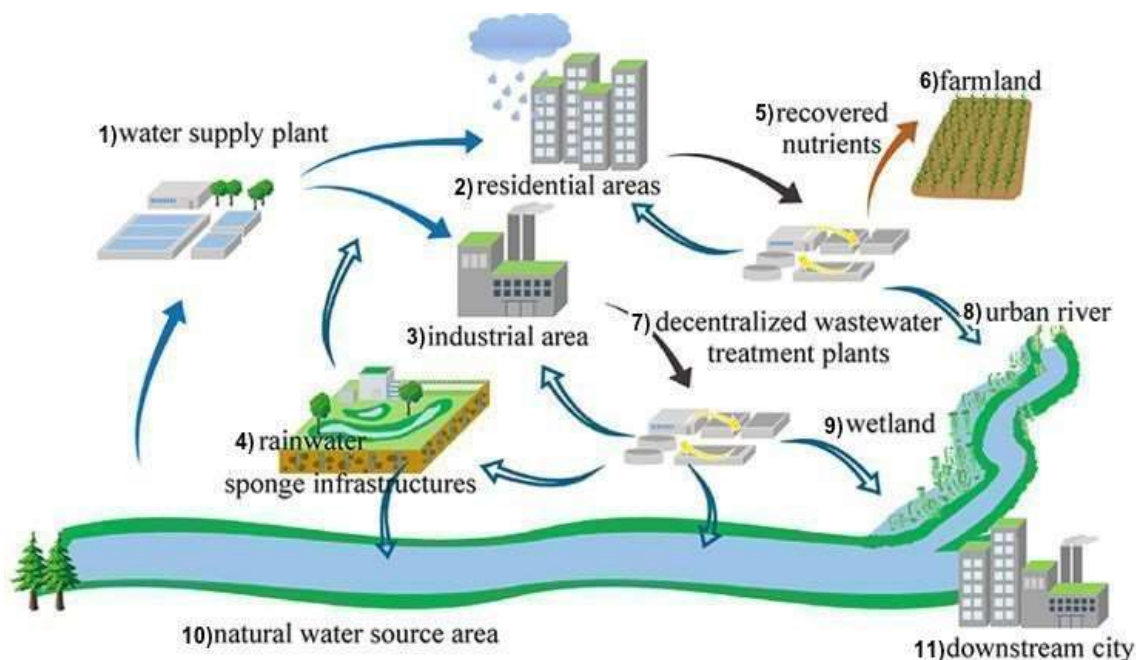
Pro vyjádření pojmu decentralizované odvádění a opětovné využití odpadních vod se v zahraničí používá zkratka DESAR (Decentralised Sanitation and Reuse). Jde o decentralizované řešení nakládání s odpadními vodami v jednotlivých domech. Princip je založený na separaci znečištění u zdroje, na odděleném čištění odpadních vod, jejich opětovném použití a na efektivním hospodaření s dešťovou vodou. Jednotlivé DESAR koncepty nabízejí

různé varianty dělení odpadních vod z domácností a jejich znovuvyužití. Tyto systémy udržují jednotlivé druhy odpadních vod blízko místa vzniku, a tak umožňují zkrácení a uzavření vodního cyklu v domácnostech, a tím úspory pitné vody i financí. Jsou blíže konceptu evropskou unií podporované oběhové ekonomice a je možné je dále dělit podle rozsahu.

Domovní jednotky (in-house) mohou upravovat různé druhy odpadní vody a poskytovat ji k dalšímu použití, např. splachování, praní atd. V tomto konceptu však nastává problém, že údržba a náklady na provoz jsou značné a implementace technologií závisí pouze na motivaci jednotlivých obyvatel (sucho, ohleduplné ekologické chování, ekonomická výhodnost). [2] [23]

Shlukováním in-house jednotek a sdílením technologií mezi více nemovitostmi je možné snížit náklady na provoz, investiční náklady jsou však vyšší. Instalace dvojího potrubí, pokud s ním není počítáno při stavbě nemovitosti, představuje také velmi nákladnou položku. [2] [23]

Někde mezi dvěma extrémy, centralizovaným čištěním odpadních vod a znovuvyužitím odpadních vod v rámci jedné obytné jednotky, se nachází sewer mining. Získaná odpadní voda je nejčastěji využívána pro závlahy městských parků či sportovních center, je však možné ji přivést i do domácností. [2]



Obr. 2.1-2 Decentralizované schéma vodního hospodářství [27]

(1) Úpravna vody, 2) Obytná oblast, 3) Industriální oblast, 4) Objekty pro zadržení vody, 5) Využití čistírenských kalů, 6) Zemědělství, 7) Decentralizované ČOV, 8) Recipient, 9) Mokřady, 10) Zdroj pro úpravnu vody, 11) Obec dále po toku řeky)

I přes úspěch sewer miningu v Austrálii a ve světě čelí Evropa mnoha výzvám, které omezují rozvoj těchto projektů. Mezi hlavní výzvy patří názor veřejnosti, nedostatečná legislativa, inženýrské problémy a také nedostatek finanční podpory. Vzhledem k momentálnímu ekonomickému růstu v Evropské unii se nacházíme ve vhodném období na zahájení projektů oběhové ekonomiky ve vodním hospodářství. [2]

Naskýtá se zde příležitost pro malé a střední podniky, které by mohly hrát roli v sektoru znovuvyužívání odpadních vod a přispěly by k rozšíření těchto technologií v rámci Evropské unie. Soukromé podniky by mohly provozovat jednotky pro úpravu vody a prodávat vyčištěnou odpadní vodu (nebo služby závlah) městům a obcím, zatímco vodohospodářské společnosti by mohly mít zisk z prodeje odpadní vody a její část by byla vyčištěna bez jejich nákladů. [2]

2.2 KVALITA VODY PRO DALŠÍ VYUŽITÍ

Organické znečištění vypouštěné do kanalizačního systému obsahuje patogenní organismy pocházející jak od lidí, tak zvířat. Odpadní voda může také obsahovat nebezpečné chemikálie a těžké kovy, které mohou představovat vážné riziko pro životní prostředí a pro zdraví obyvatel. Patogenní organismy pocházející od obyvatel mohou vstupovat do odpadních vod od pacientů v nemocnicích či od každého, kdo je nemocný, nebo je nositelem choroby. Odpadní vody od zvířat často vstupují do kanalizačního systému z farem, domácností, živočišného průmyslu, od krys a dalších živočichů, které se mohou pohybovat poblíž či vně kanalizační sítě. Nejčastějším typem patogenních organismů vstupujících do kanalizační sítě jsou bakterie, viry a parazité (včetně červů a protozoí), které jsou nebezpečné pro lidské zdraví.

Vyčištěné odpadní vody však mohou být pro společnost velice přínosné a důvody pro jejich znovuvyužití mohou převážit nad riziky. V mnoha zemích se odpadní vody používají pro závlahy v zemědělství, pro závlahy městské zeleně a parků, či je jimi možné přímo zásobovat obyvatelstvo užitkovou vodou. Při využití odpadních vod pro závlahy je nutné určit vhodný typ závlahy, zda voda přichází do styku s přímo konzumovanou plodinou, přizpůsobit dobu sklizně plodin poslednímu kontaktu se závlahovou vodou a další. Podle těchto faktorů se stanoví minimální kvalita vody. Pro závlahy nám můžou sloužit technické normy Ministerstva zemědělství, jako například TNV 75 4931 provozní řady závlah, popřípadě ČSN 75 7143 (757143) Jakost vod, jakost vody pro závlahu.

Vyčištěné odpadní vody mohou být využity také pro závlahy městské zeleně a městských parků, kde je nutné počítat s přímým kontaktem obyvatel s odpadní vodou. Pro závlahy stromů a dalších rostlin může být využito kapkové závlahy, kde je minimalizováno riziko šíření patogenních organismů vzduchem. Hygienické riziko lze snížit použitím kapkové závlahy či obecně do podmoku, kdy riziko infekce z aerosolů eliminujeme. [32]

Způsob nakládání s vyčištěnou odpadní vodou se v ČR řídí zákonem 254/2001 Sb. O vodách a o změně některých zákonů, nařízením vlády č. 61/2003 Sb. O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Nevýhodou je skutečnost, že při vodoprávním řízení se rozhoduje pouze o jakosti a množství vypouštěné vyčištěné odpadní vody, nikoli o jejím možném využití. Na druhou stranu, opětovné využití odpadních vod neomezuje v ČR žádný zákon, vyhláška, ani předpis. Pro konkrétní oblast využití by se taková voda zkoumala z hlediska ukazatelů kvality pitné vody, tedy podle vyhlášky č. 252/2004 Sb., kterou stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Posouzení, zda je vhodné použít vyčištěnou odpadní vodu, by probíhalo individuálně se zohledněním požadavků na kvalitu vody v dané oblasti využití a dle sociálních faktorů. [31]

Mezi hlavní ukazatele jakosti vody a jejího znečištění můžeme zařadit [30]

- Turbiditu, nebo nerozpuštěné látky,
- BSK
- mikrobiologickou kvalitu, včetně fekálních patogenů,
- chemické složení (salinita, elektrická vodivost, nutrienty, těžké kovy, pesticidy atd.,
- řasy, sinice,
- organickou hmotu,
- barvu,
- pH,
- residua dezinfektantů a vedlejší produkty dezinfekce.

S rozvojem společnosti vznikají také nové typy znečištění, jež můžeme nalézt v odpadních vodách, jako například léky, produkty z domácností, antibiotika, průmyslové vody, hormony, vedlejší produkty dezinfekce a další. [30]

Každá jednotka upravující odpadní vodu pro další účely by měla být vybavena měřením dat jakosti vody, která by měla být pravidelně kontrolována. Četnost měření a měřené veličiny se stanovují na základě zdroje vody a účelu použití. Při sběru dat a dalším vyhodnocování je nutné zhodnotit vnější faktory, jako například přívalové deště, které mění složení odpadní vody. [30]

V koncentraci jednotlivých patogenů existují sezónní odchylky, koncentraci může také ovlivnit propuknutí určité nemoci v zájmové oblasti. Možnost kontaminace z upravených vod je nižší v městských úpravárnách vody, jelikož vliv epidemií je ředěn celkovým množstvím odpadních vod vypouštěných velkým počtem obyvatel. Odchylky mohou být větší u malých úprav. Stejně tak chemické složení vody je různorodější v malých systémech, kde menší množství vyústěných odpadních vod například z průmyslu může mít vyšší vliv na kvalitu vody. [30]

2.2.1 Odstranění patogenních organismů a indikátorových organismů

Míra odstranění patogenních organismů z vody může být ovlivněna různými faktory, jako je hloubka vody, průtoky, charakter filtračního média (či velikostí pórů membrán), mikrobiální aktivitou, dávkami dezinfektantů a dobou kontaktu s dezinfektanty a dalšími. Neupravené odpadní vody vždy představují mikrobiální riziko. Odpadní vody mohou obsahovat mikroorganismy jako Legionella, mycobakterie a další. Koncentrace patogenních látek v neupravené odpadní vodě je velmi variabilní, odráží míru infekcí a nemocí ve společnosti. [30]

Výběr vhodného způsobu čištění a požadovaná jakost vody se liší v závislosti na způsobu využití recyklovaných vod, v tabulce Tab. 2.2-1 je uvedena účinnost jednotlivých procesů pro čištění odpadních vod na odstranění vybraných druhů patogenních organismů. [30]

Tab. 2.2-1 Odstranění vybraných patogenních organismů [30]

Treatment	Indicative log reductions ^a							
	<i>Escherichia coli</i>	Bacterial pathogens (including <i>Campylobacter</i>)	Viruses (including adenoviruses, rotaviruses and enteroviruses)	Phage	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	Helminths
Primary treatment	0–0.5	0–0.5	0–0.1	N/A	0.5–1.0	0–0.5	0–0.5	0–2.0
Secondary treatment	1.0–3.0	1.0–3.0	0.5–2.0	0.5–2.5	0.5–1.5	0.5–1.0	0.5–1.0	0–2.0
Dual media filtration with coagulation	0–1.0	0–1.0	0.5–3.0	1.0–4.0	1.0–3.0	1.5–2.5	0–1.0	2.0–3.0
Membrane filtration	3.5–>6.0	3.5–>6.0	2.5–>6.0	3–>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0
Reverse osmosis	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0
Lagoon storage	1.0–5.0	1.0–5.0	1.0–4.0	1.0–4.0	3.0–4.0	1.0–3.5	N/A	1.5–>3.0
Chlorination	2.0–6.0	2.0–6.0	1.0–3.0	0–2.5	0.5–1.5	0–0.5	1.0–2.0	0–1.0
Ozonation	2.0–6.0	2.0–6.0	3.0–6.0	2.0–6.0	N/A	N/A	0–0.5	N/A
UV light	2.0–>4.0	2.0–>4.0	>1.0 adenovirus >3.0 enterovirus, hepatitis A	3.0–6.0	>3.0	>3.0	N/A	N/A
Wetlands — surface flow	1.5–2.5	1.0	N/A	1.5–2.0	0.5–1.5	0.5–1.0	1.5	0–2.0
Wetlands — subsurface flow	0.5–3.0	1.0–3.0	N/A	1.5–2.0	1.5–2.0	0.5–1.0	1.0–3.0	N/A

N/A = not available; UV = ultraviolet
^a Reductions depend on specific features of the process, including detention times, pore size, filter depths, disinfectant
 Sources: WHO (1989), Rose et al (1996, 2001), NRC (1998), Bitton (1999), USEPA (1999, 2003, 2004), Mara and Horan (2003).

*n-log redukce odpovídá koncentraci zbylých kontaminantů 10^{-n}

Minimální jakost vody určené ke znovuvyužití a míra odstranění patogenních organismů je ovlivněna druhem využití těchto vod. Například dle Australian Guidelines for Water Recycling je pro využití v městských otevřených prostorech s neomezeným přístupem uvedeno potřebné odstranění zárodků bakteriální gastroenteritidy log 5*, gastrointestinální parazitózy log 3,5* a enterických virů log 4*. Jako vhodný způsob úpravy je uvedeno čištění pomocí koagulační filtrace, dezinfekce, či membránová filtrace a dezinfekce UV zářením. Hodnoty odstranění by měly být dosažitelné pomocí membránových technologií s následnou dezinfekcí. [30]

Ve světovém měřítku se kvalitou odpadních vod pro další použití zabývají směrnice Světové zdravotnické organizace (WHO), které upravují především zdravotní a hygienické otázky nakládání s vyčištěnou odpadní vodou. [31]

2.2.2 Analýza rizik

Při opětovném využití odpadních vod pro další účely je vhodné provést analýzu rizik. Pro úspěšnou analýzu je nezbytné získat vstupní informace jako zdroj vody, měření procesu, proces čištění, kvalitu vyčištěné vody, použití vody, měření na výtoky a v místě použití atd. [30]

Zhodnocením následků (kontaminace) je nutné odhadnout míru rizika pro obyvatelstvo, ekologické riziko a další. V závislosti na míře rizika a dalších faktorech je nutné stanovit způsoby a četnost měření jakosti vody (operační, denní, týdenní atd.) Součástí analýzy by mělo být stanovení postupu v případě poruchy a možnosti napravení poruch (zdroj vody, kontrola procesu, dávkování chemikálií, pH, zatížení, dezinfekce, čištění systému, odstavení atd.) [30]

Pro závlahy jak parků, tak pro zemědělské účely, je nutné posoudit složení půdy, druh rostlin, výskyt spodních a povrchových vod, infrastrukturu a další. [30]

Mezi krizové situace řadíme nesplnění kvalitativních limitů, poruchy systému, sabotáž, ilegální vypouštění odpadních látek, výpadek energie, přírodní pohromy, epidemie a další. [30]

Povědomost veřejnosti o benefitech a rizicích využívání recyklovaných vod nemusí být vysoká, je tedy na místě vždy konzultovat jejich využití s obyvateli a poskytnout dostatek informací, možné dopady nepovoleného užívání, benefity a další. [30]

Na zákonodárcích a tvůrcích norem bude také nutnost stanovení akceptovatelného rizika pocházejícího z využívání odpadních vod pro další potřebu. Existuje tu však možnost inspirovat se v zemích, kde je opětovné využití odpadních vod běžnou záležitostí. [30]

2.3 VÝHODY VYUŽITÍ SEWER MININGU

Sewer mining může přinést různé výhody pro obyvatele, města, obce a také soukromé subjekty. Mezi ně můžeme zařadit: [20]

- Snížení poptávky po pitné vodě a tím menší požadavky na infrastrukturu,
- porucha jediné lokální ČOV nezpůsobí výpadek celého systému,
- stupeň úpravy vody může být přizpůsoben jejímu využití, jinými slovy čištění může být ušito na míru požadavkům,
- zmenšení ekologického dopadu,
- může být použita pro širokou škálu účelů (průmyslové vody, městské vody, parky atd.),
- provoz může být relativně levný, cena čistíren se liší s výkonem a kapacitou,
- snížení zatížení na ČOV, menší zatížení kanalizační sítě.

2.4 PŘEKÁŽKY PRO SEWER MINING

Technologie čelí značnému množství různých překážek, jako je pohled a obavy veřejnosti, nedostatečná informovanost, zkušenosti, chybějící legislativa a nedostatek finanční podpory. Pro další rozvoj a užití technologie je nutná legislativní a politická podpora, jednotlivé aspekty využití této technologie nemohou být řešeny izolovaně, musí se na ně pohlížet jako na velice komplexní problémy [20]

2.4.1 Vnímání veřejnosti

Veřejné vnímání a přijetí rizika spojeným s recyklací vody je klíčovým problémem pro širší rozvoj technologie. V zahraničí existuje relativně krátkodobá zkušenost s užitím recyklovaných vod, nicméně zkušenosti ukazují, že zdravotní rizika nejsou příliš významná. [20]

Zkušenosti z Austrálie ukazují, že podle názoru veřejnosti by měla recyklovaná voda být levnější oproti vodě pitné. Navzdory ekonomicky méně příznivým podmínkám byly na

několika místech v Austrálii nastaveny nižší ceny oproti vodě pitné s cílem ovlivnit negativní pohled odběratelů na užitkovou vodu získanou úpravou splaškové vody. [20]

2.4.2 Posouzení investice

Běžně používané metody investičního rozhodování bývají založeny na tradičním finančním ohodnocení, využívajícím analýzu čisté současné hodnoty NPV (Net Present Value). V této metodě je zahrnuta doba životnosti projektu a bere v úvahu časovou hodnotu peněz, závisí pouze na předvídaných hotovostních tocích a alternativních nákladech kapitálu. Tímto ukazatelem lze velice jednoduše odhadnout výhodnost hmotných investic, jeho aplikace ale nepracuje s hodnocením například ekologických dopadů a s tím spojených dalších investic.

2.4.2.1 Příklad posouzení investice

Ve studii byla porovnána výhodnost investice centralizovaného a decentralizovaného způsobu nakládání s odpadními vodami s cílem zlepšit ekologický stav v řece Arga, konkrétní opatření se týkala oblasti Kolem města Pamplony, Navarra, Španělsko. Ve studii byla porovnáována varianta decentralizované úpravy OV pomocí technologie sewer mining, s variantou stávajícího centralizovaného způsobu nakládání s OV a variantou stávajícího centralizovaného nakládání s OV s rozšířením o membránovou filtraci. Ve studii bylo posouzeno 6 alternativ založených na 12 možných scénářích s cílem zmenšit odchylky ve výpočtu, který byl proveden pomocí metody analýzy efektivnosti nákladů CEA (Cost Effectiveness Analysis). Jde o ekonomickou analýzu porovnávající relativní náklady s celkovými přínosy. Je často využívána ve zdravotnictví a dalších odvětvích, kde není vhodné posuzovat pouze finanční vliv investic. [11] Analýzou nákladů se zjistilo, že sewer mining by byl nejdražší možnou variantu jak z hlediska investičních nákladů, tak z hlediska nákladů na provoz a údržbu, nicméně konečná efektivita investice by mohla být vyšší oproti druhým dvěma variantám. [26]

Porovnávané varianty:

- Membránová ultrafiltrace odpadních vod před vypuštěním do toku: ATT (Advanced Tertiary Treatment),
- decentralizovaný model čištění odpadních vod pomocí HMBR (Hybrid Membrane Bioreactor)
- běžný třetí stupeň čištění CTT (Conventional Tertiary Treatment) s technologií koagulace, flokulace a následnou pískovou filtrací. [26]

Výsledná cena každé z alternativ TAEC (Total Annualized Equivalent Cost) obsahuje dvě složky. Složku IC (Investment Cost) a OMC (Operation and Maintenance Cost). Je nutné zohlednit ušetřené náklady vznikající snížením zatížení na stávající síť. Ušetřené náklady vznikají snížením celkového množství odpadních vod přitékajícím na čistírnu, které jsou odebrány pro sewer mining, a ušetřené náklady na úpravu pitné vody, která by byla nahrazena vodou pocházející ze sewer miningu. Tyto náklady jsou označeny jako CS (Cost Savings). Vzniklý kal při čištění odpadních vod by byl odváděn zpět do kanalizace a čištěn v ČOV, ušetřené náklady se tedy týkají pouze okruhu vody, ne kalového okruhu. [26]

- EI (Effectiveness Index) je získán z posouzení dosažení cílů, které vedou ke zlepšení poměrů v toku, vzhledem ke stávající situaci.

- CER (Cost Effectiveness Ratio) bylo spočítáno jako podíl TAEC a EI. Nejvýhodnější alternativou je varianta s nejnižším CER, nejhorší s nejvyšším CER.

Byly použity dvě diskontní sazby, 3 a 9 %. Vyšší sazby favorizují řešení s vyššími náklady v budoucnu, tedy vyššími náklady pro provoz a údržbu a nižšími investičními náklady.

Tab. 2.4-1 Výsledky studie [26]

	Varianta 1 (0,143 m ³ /s)			Varianta 2 (0,250 m ³ /s)		
	SM	CTT	ATT	SM	CTT	ATT
Investment Cost (IC) [10 ⁶ €/y]	10,42	0,42	2,66	16,91	0,71	4,43
Operation and Maintenance Cost (OMC) [10 ⁶ €/y]	0,92	0,31	0,4	1,6	0,53	0,69
OMC-CS [10 ⁶ €/y]	0,2	0,31	0,4	0,34	0,53	0,69
Total Annualized Equivalent Cost (TAEC) 3 % [10 ⁶ €/y]	0,52	0,32	0,48	0,85	0,55	0,82
Total Annualized Equivalent Cost (TAEC) 9 % [10 ⁶ €/y]	1,14	0,35	0,64	1,86	0,6	1,09
Effectiveness Index (EI)	1,45	1	1,51	5,24	1,78	2,69
Cost-effectiveness Ratio (CER) TAEC 3 %	0,36	0,32	0,32	0,16	0,31	0,31
Cost-effectiveness Ratio (CER) TAEC 9 %	0,79	0,35	0,42	0,35	0,34	0,41

Varianta s konvenční úpravou pískovými filtry vyšla jako investičně nejlevnější, jelikož náklady na membránové technologie jsou podstatně vyšší a náklady na provoz a údržbu membránových procesů (SM a ATT) jsou vyšší v porovnání s běžným procesem úpravy vod. Centralizovaná varianta membránového čištění vyšla čtyřikrát levněji oproti decentralizované variantě, což je vysvětleno nižšími náklady v rozmezí studovaných průtoků a dále vyššími náklady pro výstavbu deseti až třinácti menších zařízení pro decentralizovaný systém. Při odečtení ušetřených nákladů (CS) od nákladů celkových (OMC) se sewer mining při diskontní sazbě 3 % cenou blížil centralizované variantě s mikrofiltrací (ATT).

V případě varianty 2 (vyšší průtoky technologií ČOV) je pomocí sewer miningu dosaženo dvojnásobného zlepšení kvality vody v porovnání s centralizovaným čištěním odpadních vod s mikrofiltrací, naproti tomu ve variantě 1 byla dosažená efektivita podobná. Tento jev byl vysvětlen metodou posuzování koncentrací znečištění v toku, a také v případě sewer miningu by byla šetřena voda, která by se za jiných okolností upravovala na vodu pitnou a mohly by být mírně navýšeny průtoky v řece. [26]

Cost-effectiveness Ratio (CER) bylo spočítáno jako podíl TAEC a EI. Nejvýhodnější alternativou je varianta s nejnižším CER, nejhorší s nejvyšším CER. Sewer mining je dle studie velmi výhodný při nižší diskontní sazbě ve variantě 2, kde je počítáno s vyššími průtoky technologiemi ČOV. Při započítání vyšší diskontní sazby se Cost-effectiveness Ratio (CER) zásadně změní a Sewer mining vychází jako nejméně investičně výhodná alternativa. [26]

Výše uvedená studie poukazuje na nedostatky v procesu rozhodování a posuzování variant pro nakládání s odpadními vodami. Pro komplexní zhodnocení efektivity investic a dopadu na životní prostředí není vhodné posuzovat pouze finanční efektivitu, ale také komplexně zhodnotit ušetřené náklady spojené s využitím alternativních technologií a ekologický dopad. Na druhou stranu ve studii nebyl zhodnocen negativní dopad na stávající stokovou síť vlivem vypouštění kalu z čištění odpadní vody pomocí sewer miningu zpět do stokové sítě a

implementace v takto širokém měřítku není vždy, vzhledem ke konfiguraci zájmové oblasti, vhodná. [26]

2.5 PROCES PLÁNOVÁNÍ A REALIZACE

Následující část nabízí obecný postup při plánování a realizaci projektů opětovného využití odpadních vod pomocí technologie sewer mining. Počáteční fází pro návrh a realizaci je předběžné posouzení výhodnosti investice, která posoudí legislativní požadavky, potenciální zákazníky, příležitosti pro obchodní partnery, vliv třetích stran a tvorbu ceny. Poté je možné přistoupit k následujícím krokům: [20]

- Určení polohy:
 - Rozměr, typ, lokace,
 - zhodnocení kapacity,
 - zhodnocení možnosti dalšího rozvoje,
 - zjištění kompenzace investice.
- Provedení vodní bilance:
 - Porovnání spotřeby vody s dostupným zdroji (dešťové vody, pitná voda) s ohledem na následné využití,
 - zhodnocení poptávky po recyklované vodě,
 - provedení bilance,
 - porovnání poptávky s nabídkou.
- Určit možnosti znovuvyužití:
 - Na místě (např. závlahy),
 - dvojité rozvody vody (pitná a užitková).
- Posouzení sociálního dopadu a dopadu na lidské zdraví
 - Určení potřebné kvality vody a způsob její dopravy,
 - požadavky na kontrolu a dodržení standardů pro recyklovanou vodu,
 - názor veřejnosti v zájmové oblasti na různé druhy využití recyklovaných vod.
- Zhodnocení ekologického dopadu:
 - Vliv kvality vody,
 - vhodnost zeminy.
- Životnost investice a ekonomické zhodnocení:
 - Úspory z rozsahu,
 - hlavní náklady, provozní náklady, vyřazení z provozu, náhrada systému.

Závěrečným krokem je výběr vhodné technologie založený na předchozích šesti krocích, na základě kompletní ekonomické analýzy a ekologickém a sociální posouzení. Výběr vhodné technologie také vyžaduje posouzení objemu odpadních vod v kanalizaci a objem výsledné upravené vody. Je nutné brát v potaz průběh denních a nočních průtoků, včetně maxim a minim. [20]

2.6 PILOTNÍ STUDIE SEWER MININGU PROVEDENÁ NA ÚZEMÍ EU

Vzhledem k nedostatečným zkušenostem se sewer miningem na území EU byl proveden pilotní projekt v Athénách, kde bylo umístěno zařízení pro odběr splaškových vod z kanalizace a

následná úprava pro užitkové účely s cílem popsat blíže tuto technologii, usnadnit její další implementaci a usnadnit výzkum a kontrolu provozních parametrů.

Jednotka se skládá ze dvou částí, a to membránového bioreaktoru (MBR) a reverzní osmózy (RO). Obě části byly sestaveny jako individuální moduly a poté spojeny do jednoho kompaktního celku jednoduchého pro převoz, kapacita sestavy je 10 m³/d. [2]

V MBR zajišťuje cirkulace kalu rovnovážné množství biologického zatížení na membráně. Recirkulační okruh je bohatý na rozpuštěný kyslík (2,5-5,0 mgO₂/l) a zásobuje nitrifikační zónu kyslíkem. Tento okruh zároveň zabraňuje odvodnění kalu při filtraci a zabraňuje zanesení membrány redukcí TSS (Total Suspended Solids). Poměr recirkulace reguluje koncentraci biomasy, která by neměla překročit maximální limit. Tento okruh by měl být čtyřnásobkem průtoku vzniklého permeátu, při maximálním průtoku tedy 40 m³/d. Jedná se dle dosahovaných průtoků o jednotku s velmi malým výkonem. [2]

Pro údržbu membrány jsou prováděny zpětné výplachy a čištění membrány. Oba cykly jsou spouštěny automaticky. Aby byla zajištěna dostatečná propustnost membrány, je nutné provádět také denní, týdenní a roční chemické čištění, roční je prováděno ručně a trvá 8 až 12 hodin. Proces čištění je podporován vzduchovým dmychadlem. [2]

Biomembránová jednotka je uložena v kontejneru o velikosti 2,16×2,00×2,87 m, který je rozdělen na 5 částí. [2]

1. V První nádrži jsou odstraněny plovoucí a usazující se látky, odtud odpadní voda proudí přes hrubý filtr do denitrifikační nádrže.
2. V denitrifikační nádrži dochází k redukci dusíku díky organickému substrátu přítomnému v odpadní vodě. V nádrži je mísen kal se surovou odpadní vodou, kal je mísením udržován v suspenzi a je zaručeno jeho rovnoměrné rozdělení.
3. V nitrifikační nádrži probíhá oxidace organického znečištění a nitrifikace amoniaku. Nitrifikační zóna je okysličována a míchána vhaněným vzduchem.
4. V nádrži pro membránovou filtraci je extrahován permeát pomocí lalokových čerpadel, které umožňují zpětný chod pro periodické čištění. Pro uskladnění permeátu je potřebný minimální objem 300 litrů nutný pro zajištění dostatečného množství vody na čištění membrány. Část kalu je čerpána do páte nádrže, zatímco část teče zpět do nitrifikace.
5. V páte nádrži je zdržen kal, přebytečný kal odtéká zpět do kanalizace, popřípadě s ním může být nakládáno dle potřeby.

Výtok z MBR je dále čištěn pomocí reverzní osmózy, řízení jak MBR, tak procesu reverzní osmózy (RO), je umístěno společně s jednotkou RO v druhém kontejneru o rozměrech 2,16×3,00×2,87 m. [2]

I přes velké rozdíly kvality vody na přítoku dosahovala kvalita permeátu na výstupu z MBR stálých hodnot, jedná se tedy o vhodnou úpravu odpadní vody před reverzní osmózou. RO dále významně zlepšila kvalitu permeátu, především z estetického a mikrobiologického hlediska. Vyčištěná odpadní voda plně splňovala požadavky na limity dle Řecké legislativy. Membrána se během procesu nezanášela, což ukazuje, že metody jejího čištění jsou dostatečné. Všechna mikrobiologická znečištění se držela pod detekovatelným limitem analytických metod. Na výtoku z RO nebyl zaznamenán výskyt bakterií E-koli. Další parametry, které se držely pod

hladinou detekce jsou celkový fosfor a CHSK. Konduktivita zůstala za MBR nezměněna, byla však snížena o 90 % pomocí reverzní osmózy. [2]

Tab. 2.6-1 Účinnost čištění [2]

Ukazatel	Surová voda	MBR	RO
BSK5 [mg/l]	154	≤10	≤1
CHSK [mg/l]	341	≤70	≤5
NL [mg/l]	146	≤5	0

Kontrola procesu

Proces je kontrolován senzory umístěnými na přítoku, pěti částech procesu umístěných v prvním kontejneru, a na výtoku z reverzní osmózy. Celkově je osazeno deset senzorů měřících dvacet jedna fyzikálních a chemických charakteristik. Pro automatizaci a kontrolu elektromechanických procesů, jako jsou čerpadla, provzdušňovače, míchače, ventily atd., je využito programu Vision1210 PLC (Programmable Logic Controller). [2]

Proces rozhodování

Pro podporu a usnadnění procesu rozhodování při zvažování sewer miningu jako možné alternativy nakládání s vodami byly v rámci studie vytvořeny dvě metody, jedna posuzující lokální dopady a druhá usnadňující proces rozhodování v rámci větších celků (např. měst). [2]

Lokální posouzení je založeno na UWOT (Urban Water Optioneering Tool) [14], UWOT umožňuje odhad poptávky vody, nároky na energie, kvalitu odpadních vod za výtokem a ohodnotit celkový přínos pro ekosystém. Model rozlišuje dva typy poptávky nazývané push a pull. Push je spojena s potřebou snížení množství vypouštěných vod (srážkových, odpadních), zatímco pull představuje potřebu určitého množství vody pro pokrytí poptávky (závlahy atd.).

Druhý nástroj pomáhá ve větším měřítku lokalizovat vhodné oblasti pro sewer mining posuzováním velikosti oblasti pro zavlažování a minimalizováním potenciálního vzniku koroze na stávajícím kanalizačním systému. Zvyšováním množství kalu v odpadní vodě vracejícího se zpět do kanalizace může způsobit ucpání potrubí, zápach, korozi a další problémy. Na základě všech těchto informací jsou vyhodnoceny v zájmové oblasti místa vhodná pro sewer mining, tedy taková místa, která umožňují přístup k zeleným plochám a zároveň disponují malou pravděpodobností vniku H₂S koroze. [2]

2.7 NEGATIVNÍ DOPADY SEWER MININGU (KOROZE A ZÁPACH)

Odběr vody pro sewer mining a následné vrácení kalu do kanalizační sítě má za následek změnu složení v ní tekoucí odpadní vody. Na Australském kontinentu, kde je technologie sewer miningu nejrozšířenější, bylo v několika případech zaznamenáno ucpání potrubí vlivem vypouštění kalu a změně charakteristik odpadní vody, změna složení odpadních vod může dále podporovat vznik H₂S a tím vznik síranové koroze a zápach. [15]

V městské oblasti v Melbourne byly simulovány čtyři scénáře, pomocí kterých byl hodnocen dopad vypouštění kalu z čištění zpět do potrubí na stokovou síť. Scénáře byly nastaveny dle množství vypouštěného kalu zpět do kanalizace, množství odebírané vody představovalo 25 % (SM1) 50 % (SM2) a 70 % (SM3) potřeby vody pro domácnosti. Jeden kontrolní scénář simuloval stav v potrubí bez odběru vody a následném vypouštění kalu ze sewer miningu (Base

case). Celkové množství odebrané vody bylo tedy 0 m³/den pro kontrolní stav, 69 m³/den, 153 m³/den a 214 m³/den pro SM1, SM2 a SM3. Celkový průtok ve stoce byl 904 m³/den, 836 m³/den, 753 m³/den a 692 m³/den, množství odebraných vod tvořilo 7 %, 17 % a 23 % z celkového množství odpadních vod v potrubí. Počet domácností byl odhadnut na 3750 s průměrnou hodnotou 2,55 obyvatele na jednu domácnost, celková plocha byla cca 425 ha. Odběr vody byl uvažován z potrubí o průměru DN 300. Předpokládané využití odpadních vod bylo pro splachování toalet. Výsledkem studie byl rozdíl v průtoku odpadních vod, produkce H₂S, vznik koroze a životnosti potrubí. Pro simulaci byl uvažován membránový bioreaktor MBR, jelikož se jedná o nejběžnější metodu úpravy vody pro sewer mining. [15]

Tab. 2.7-1 Průtokové poměry ve stoce [15]

	% pokrytí poptávky [%]	Množství odebrané vody [m ³ /d]	Celkový průtok v úseku stoky [m ³ /d]	% odebraných odpadních vod z celkového průtoku ve stoce [%]
Base case	0	0	904	0
SM1	25	69	836	7
SM2	50	153	753	17
SM3	70	214	692	23

Při výběru místa odběru odpadních vod vhodného pro sewer mining je vhodné zhodnotit dostupnost a vzdálenost domácností, které budou zásobovány touto vodou. Výběr odběru odpadní vody v takové lokalitě, kde je předpokládán výskyt odpadních vod pouze z domácnosti zajišťuje relativně stálé složení odpadních vod. Jelikož při sewer miningu dochází k odlehčení hydraulického zatížení stoky, je vhodné umístit sewer mining do takových lokalit, kde se očekává zvýšení objemu odpadních vod vyústěných do kanalizační sítě. Další nařazení vypouštěného kalu může mít také vliv na síranovou korozi a vznik zápachu. Odběrný bod pro účely simulace se nachází v prostřední části hlavní stoky, aby spodní část potrubí mohla být postižena zvýšenou produkcí H₂S. [15]

Koncentrace H₂S v potrubí za výtokem vzrostla třikrát, pětkrát a osmkrát pro scénáře SM1, SM2 a SM3, v porovnání s Base Case. Zvýšení koncentrace vedlo ke zvýšení zápachu a koroze, která snížila životnost potrubí.

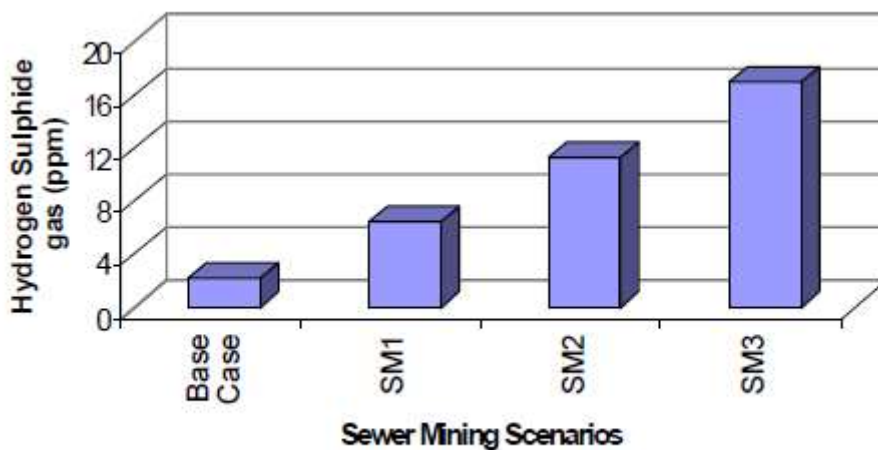
2.7.1 Vznik zápachu

Dlouhá doba zdržení OV v potrubí společně s malou rychlostí může vést k anaerobním podmínkám podporujícím vznik H₂S, pomalá rychlost OV také snižuje schopnost samočištění potrubí a podporuje vznik sedimentů. [15]

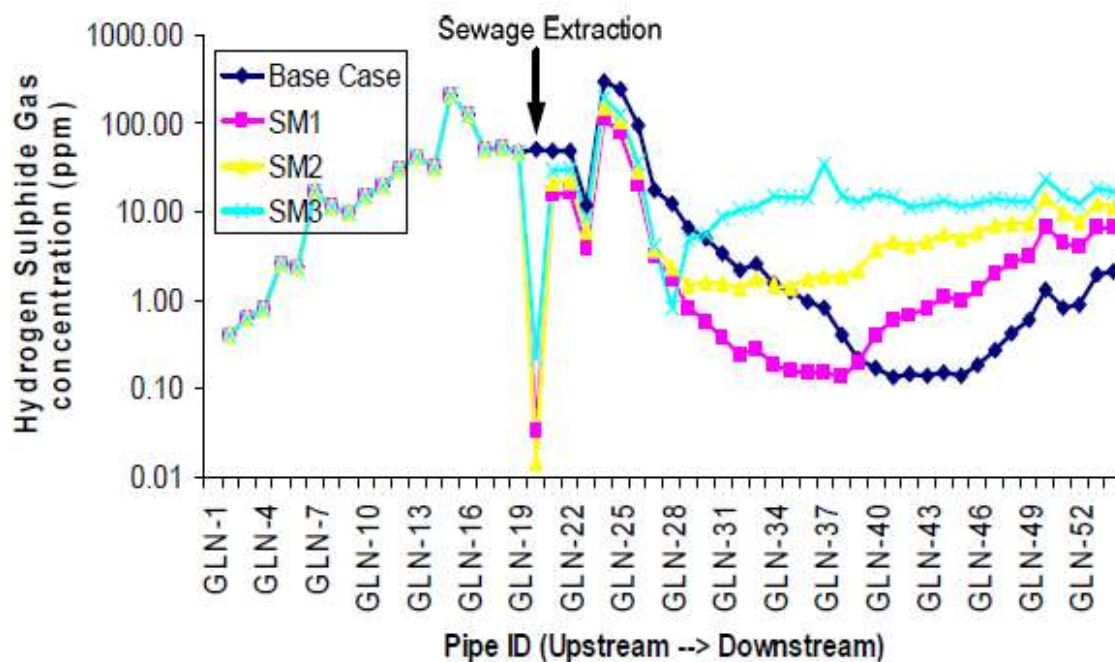
Vlivem odebrání odpaní vody a navrácení pouze hustého kalu zpět do potrubí dochází v závislosti na celkovém množství odpadních vod ke snížení rychlosti proudění odpadních vod, což může mít za následek zhoršené vlastnosti samočištění potrubí a vznik sedimentů. Delší

doba zdržení odpadních vod může vést k anaerobním podmínkám potřebným pro vznik H_2S . Práh detekce je 0,002 ppm, při této koncentraci nemá sulfan negativní účinky, zápach začíná být nepříjemný při koncentracích nad 0,5 ppm. Při koncentracích vyšších jak 10 ppm způsobuje bolesti hlavy, nevolnost a podráždění očí a plic. Při vyšších koncentracích vyšších jak 200 ppm může způsobit smrt. [15]

Vývoj koncentrace H_2S je zobrazen na Obr. 2.7-2. Můžeme vidět pokles koncentrace vlivem odebrání odpadních vod pro sewer mining, nicméně po určité vzdálenosti od vyústění kalu zpět do potrubí dojde k překročení koncentrace H_2S , které by bylo v potrubí bez ovlivnění sewer miningem (Base case). Čím menší je množství odebraných odpadních vod pro sewer mining, tím delší je vzdálenost k překročení koncentrace Base case, větší množství odebraných odpadních vod vzdálenost zkracuje. Na Obr. 2.7-1 můžeme vidět koncentrace H_2S na vyústění z kanalizace, jsou třikrát, pětkrát a osmkrát vyšší pro scénář SM1, SM2, SM3 v porovnání s Base case. [15]



Obr. 2.7-1 Koncentrace H_2S na vyústění z kanalizace [15]

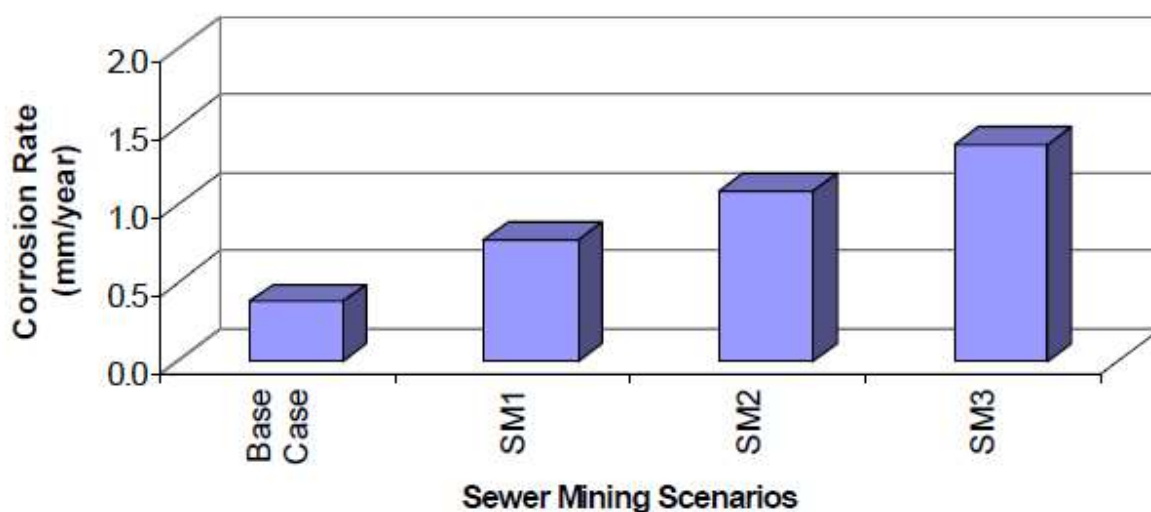


Obr. 2.7-2 Vývoj koncentrace H₂S [15]

2.7.2 Koroze

Koroze potrubí je určována materiálem a stářím. Potrubí s vysokou reaktivitou, jako třeba beton, absorbují větší množství H₂S a bude tedy vykazovat silnější korozi a nižší zápach oproti potrubím s nižší povrchovou reaktivitou, jako jsou třeba PVC materiály. Koroze bude probíhat rychleji ve starších potrubích typických pro stávající kanalizační síť. [15]

Na Obr. 2.7-3 jsou uvedeny hodnoty na vyústění kanalizačního úseku. Při Base case dosahovala koroze 0,38 mm/rok, což se dá označit za relativně malý úbytek. Při scénářích SM1, SM2 a SM3 dosahovala koroze 0,77 mm/rok, 1,08 mm/rok a 1,39 mm/rok. Ukazuje se, že sewer mining a odvádění kalu zpět do potrubí může mít výrazně nepříznivý dopad na stav potrubí, i v případě relativně malého množství upravené odpadní vody. Koroze potrubí souvisí s délkou životnosti potrubí. Je nutné podotknout, že naměřené hodnoty se týkají pouze jednoho místa na vyústění z úseku potrubí. Intenzita koroze, a tedy vliv na stáří potrubí, se směrem od místa navrácení kalu ze sewer miningu mění. Lokalizace vhodného odběrného místa odpadních vod a místo vyústění kalu pocházejícího z čištění vod může velmi ovlivnit stav potrubí a tím i celkové náklady na provoz kanalizační sítě. [15]



Obr. 2.7-3 Vliv na rychlost koroze [15]

2.8 FILTRACE

Membránová filtrace je v současné době velmi rozšířenou technologií pro filtraci různých druhů kapalin, používá se pro čištění různých druhů odpadních vod z průmyslu, úpravu pitné vody a v neposlední řadě pro čištění odpadních vod. V rámci procesu čištění může být zařazena jako další stupeň, či nahrazovat jednotlivé stupně konvenčního čištění odpadních vod. Může sloužit pro zlepšení kvality odtoku z ČOV, nebo může být přečištěná odpadní voda využita pro další účely s ohledem na stupeň odstranění v ní obsažených látek. Jelikož jsou membránové technologie v porovnání s konvenčními technologiemi prostorově úspornější, jsou vhodné jak pro centralizované čištění odpadních vod, tak pro decentralizované.

Membránové procesy slouží k separaci látek s využitím polopropustných membrán a schopnosti látek procházet póry. Jsou schopné odstranit z vody v závislosti na velikosti pórů nerozpustné kontaminanty (mechanické částice, zákal, koloidy), mikroorganismy (bakterie, parazitické látky, řasy, viry) i rozpustné kontaminanty (organické i anorganické látky). [16]

Pro čištění odpadních vod jsou již řadu let využívány kombinace biologického čištění a membránové filtrace, takzvané membránové bioreaktory (MBR). Při konvenčním čištění odpadních vod je voda z biologického stupně většinou odváděna do dosazovacích nádrží, odtud dále při požadavku na vyšší kvalitu odtoku či při znovuvyužití vody čištěna pomocí pískových filtrů. Tyto stupně úpravy mohou být nahrazeny membránovými technologiemi, které nabízejí výrazně vyšší prostorovou úspornost, oproti konvenčním technologiím až o 70 %. Slouží také pro intenzifikaci procesů, jelikož vykazují lepší účinnost čištění. Možnost nahrazení různých stupňů čištění odpadních vod při výrazném snížení prostorové náročnosti činí tento typ reaktorů vhodným pro potřeby sewer miningu.

Existují tři základní mechanismy dělení látek ze směsi membránou. První je rozdílná velikost částic, druhý mechanismus je založen na rozdílném náboji složek směsi a třetí na rozdílné rozpustnosti složek směsi v membráně. Separační charakteristika membrány je určena dvěma

parametry, tokem látky membránou (propustností) a selektivitou, tj. schopností oddělit částice různého typu. Transport membránou je podmíněn hnací silou procesu působící na složky vstupní fáze. Nejčastějším druhem hnací síly je rozdíl tlaku nebo koncentrace na opačných stranách membrány. Dále se může jednat o rozdíl teplot nebo elektrického potenciálu, který ovlivňuje transport částic s rozdílným nábojem a molekulovou hmotností. Prostřednictvím membrány se přiváděný roztok dělí na koncentrát obohacený o složky, které membrána nepropustí a na permeát (tok procházející membránou), který je o tyto látky ochuzen. [18]

Dělicí vlastnosti membrán jsou dány jejich selektivitou a propustností. Selektivita ovlivňuje účinnost dělení a složení permeátu. Membrány jsou kategorizovány podle molekulové hmotnosti molekul, které již membránou neprojdou. Taková molekulová hmotnost je vyjádřena v Daltonech ($1 \text{ Dalton} = 1,66053 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$) a označuje se jako hranice dělení. Výrobci běžně garantují, že 90 % molekul o molekulové hmotnosti rovnající se dělicímu rozsahu membránou neprojde. [18]

Separální membrány mají různé geometrické formy, ploché, trubkové, kapilární, dutá vlákna, keramické multikapiláry, kazety, kapalně membrány. [17]

Podle směru toku kapaliny se membrány dělí na: [16]

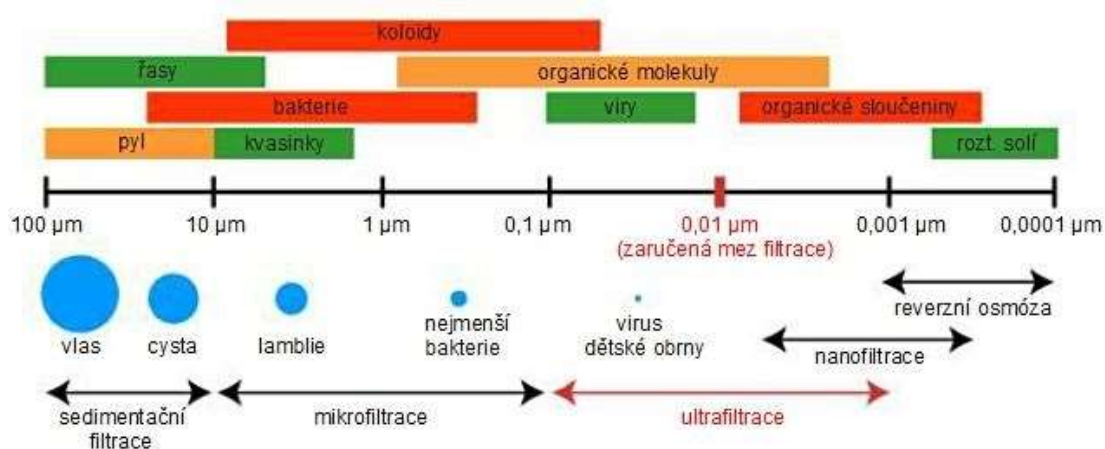
- Přímou (dead end) filtraci,
- tangenciální (cross flow) filtraci.

Podle velikosti pórů, velikosti molekul a provozní tlaku se dělí na:

- Mikrofiltraci,
- ultrafiltraci,
- nanofiltraci,
- reverzní osmózu. [16]

Podle tlakových poměrů na membráně rozlišujeme: [16]

- Podtlakové,
- tlakové systémy.



Obr. 2.8-1 Odstranění částic v závislosti na typu filtrace [25]

2.8.1 Mikrofiltrace

Mikrofiltrace je volně definována jako membránový proces separace s velikostí pórů přibližně od 0,03 do 10 μm a s hmotností molekul vyšší jak 1 000 000 Daltonů. [19] U mikrofiltrace uvažujeme zanedbatelný osmotický tlak, tok membránou je přímo úměrný použitému tlaku, praktické výkony membrán při běžných provozních tlacích (0,03-0,2 MPa) se pohybují ve stovkách l/h/m^2 . [17]

Jedná se o vhodnou metodu pro odstraňování částic koloidního charakteru, odstraní písky, jíly, prach, řasy a některé druhy bakterií, nepředstavuje však absolutní bariéru pro viry. [19]

Pro výrobu se používají organické materiály (polymery) a anorganické materiály (sklo, kovy, keramika). Mechanismus separace je založen na síťovém efektu, kdy jsou částice separovány podle velikosti v závislosti na velikosti pórů membrány.[18]

2.8.2 Ultrafiltrace

Ultrafiltrace je volně definována jako membránový proces separace s velikostí pórů přibližně od 0,002 do 1 μm a s hmotností molekul přibližně 10 000 až 100 000 Daltonů. U ultrafiltrace uvažujeme zanedbatelný osmotický tlak, tok membránou je přímo úměrný použitému tlaku, praktické výkony bývají v desítkách až stovkách l/h/m^2 . [17]

Ultrafiltrace se používá při oddělování koloidně disperzního podílu od disperzního prostředí, odstraňuje veškeré mikrobiologické organismy odstranitelné mikrofiltrací a některé další druhy virů, netvoří však pro ně absolutní zábranu. [19]

2.8.3 Nanofiltrace

U nanofiltrace a reverzní osmózy se na separaci kromě principu molekulového síta podílejí i vazebné interakce separovaných částic s povrchem membrány. [17] Princip nanofiltrace je stejný jako princip reverzní osmózy, separační schopnost nanofiltrace je však výrazně nižší. I tato technologie je schopna zachytit ionty (pouze dvojmocné a vícemocné), avšak v menším množství, než je tomu v případě reverzní osmózy. Hlavním mechanismem nanofiltrace již není pouze síťový efekt, který je založen na velikosti pórů a částic, ale rozpouštění-difúze. [18]

Póry pro nanofiltraci se pohybují od 0,001 μm a od 400 do 100 000 Daltonů. Pro provoz je potřebný vyšší operační tlak, kolem 0,35 MPa až 0,85 MPa. Teoreticky může odstranit veškeré bakterie i viry, [19] odstraňuje také alkalinitu a mění tvrdost vody, voda tedy může být korozivní. Pro zabránění koroze a dalších nepříznivých účinků alkalinity a tvrdosti vody je potřebná další úprava.

2.8.4 Reverzní osmóza

U reverzní osmózy působí proti procesu filtrace osmotický tlak, tok membránou je přímo úměrný rozdílu vyvozeného a osmotického tlaku, praktické výkony membrán při běžných provozních tlacích (0,7-8 MPa) bývají v desítkách až jednotkách l/h/m^2 . [17] U nanofiltrace a reverzní osmózy se na separaci kromě principu molekulového síta podílejí i vazebné interakce separovaných částic s povrchem membrány. [17]

Reverzní osmóza umožňuje separaci na úrovni anorganických iontů a nízkomolekulárních látek organické povahy. Je nasazována všude tam, kde je potřeba snížit celkový obsah rozpuštěných látek, zejména anorganických solí nebo tam, kde je ve zdrojové vodě zastoupena některá složka v nadlimitní koncentraci (chloridy, dusičnany, sírany, amoniakální dusík). Je schopná odstranit téměř všechny kontaminanty z vody, může odstranit radium, přírodní organické látky, pesticidy, bakterie a viry. [19]. Čím má roztok vstupující na membránu vyšší koncentraci solí, tím vyšší bude jeho osmotický tlak a tím vyššího pracovního tlaku bude potřeba dosáhnout, aby došlo k překonání osmotického tlaku vstupujícího roztoku [18]

2.8.5 Moduly

Membránové filtry se většinou vyrábějí jako deskové, trubkové, či ve formě dutých vláken, které jsou pak tvarovány do několika typů membránových modulů. Dutá vlákna (Hollow Fibre) jsou navrhována pro dlouhodobé použití v řádu let, Spirálově vinuté (Spiral-Wound) moduly jsou umístěny v oddělené tlakové nádobě, která je na samotném modulu nezávislá. [19]

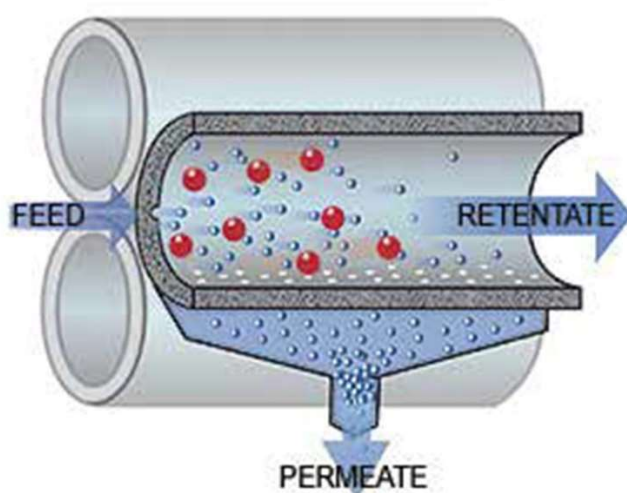
2.8.5.1 Moduly z dutých vláken (Hollow-Fibre Modules)

Moduly jsou tvořeny dutými vlákny, které si lze představit jako dlouhé úzké trubičky, svázané do různých forem. Bývají umístěny na délku do tlakových nádob, jsou běžně umístěny vertikálně, horizontální uložení není běžné. Běžně se moduly dutých vláken sestávají ze stovek až desítek tisíců vláken, rozměry se však mohou měnit v závislosti na výrobci. Běžné rozměry jsou: [19]

- Vnější průměr 0,5–2,0 mm,
- vnitřní průměr 0,3–1,0 mm,
- tloušťka stěny 0,1–0,6 mm,
- délka vlákna 1–2 m.

Vlákna mohou fungovat v režimu zevnitř-ven (inside-out), nebo zvenčí-dovnitř (outside-in). Inside-out režim spočívá v proudění surové vody zevnitř vlákna, která je radiálně filtrována směrem ven. Během procesu outside-in surová voda proudí z vnějšího prostředí modulu směrem do vlákna. [19]

Při inside-out procesu může surová voda pod tlakem vstupovat do vlákna na obou koncích vláken, filtrát odchází výtokem umístěným uprostřed, či na konci modulu. Při outside-in procesu surová voda vstupuje do modulu vstupem uprostřed modulu a je filtrována do vláken, odkud potom odchází filtrát jedním z konců modulu. Většina systémů s dutými vlákny operuje v režimu přímé filtrace (direct/dead end filtration) a jsou periodicky čištěny. [19]

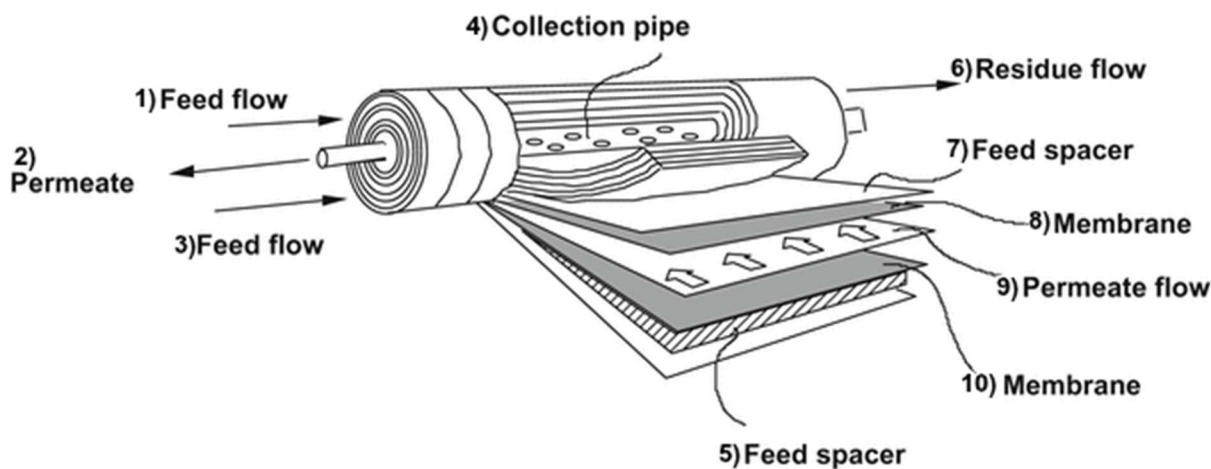


Obr. 2.8-2 Princip funkce dutých vláken [28]

2.8.5.2 Spirálně vinuté (Spiral-Wound Modules)

Spirálně vinuté moduly jsou nejčastěji používány pro nanofiltraci a reverzní osmózu. Modul je tvořen vrstvou zvanou leaf, která je omotána kolem střední perforované trubice. Jeden „leaf“ je tvořen dvěma vrstvami (flat membrane sheets), které jsou přeložené zády k sobě a oddělené prostorem pro odvádění permeátu (permeate carrier). Tyto vrstvy jsou ve třech okrajích uzavřeny, jediný neuzavřený okraj vede do středové trubice. Do prostoru mezi jednotlivé leaf vchází voda určená k vyčištění, nazývá se spacer channels. [19]

Surová voda vchází na konci spirály do prostoru mezi jednotlivými leaf (spacer channels), paralelně k centrální trubici. Prouděním vody tímto prostorem část permeátu prochází skrz každou ze dvou obklopujících vrstev membrány do části nazvané permeate carrier, nechávající za sebou znečištění oddělené membránou. Voda zbavená nečistot proudí skrz permeate carrier spirálně do středové trubice, voda ve spacer channels proudí kolem povrchu membrány a koncentrát poté odchází paralelně k centrální trubici na druhém konci modulu. [19]



Obr. 2.8-3 Princip funkce spirálně vinutých modulů [29]

(1,3) Nátok surové vody, 2) Permeát, 4) Středová trubice, 5,7) Prostor pro surovou vodu, 6) Retenát, 8) Membrána, 9) Permeát)

2.8.6 Deposition mode

Membránová filtrace pracuje v režimu jeden nátok, jeden výtok filtrátu. Tyto systémy jsou nazývány dead-end, nebo direct filtration a jsou podobné konvenční granulové filtraci. Kontaminanty rozpuštěné ve vodě se shlukují na povrchu membrány a jsou zde drženy pomocí hydraulických sil působících kolmo k membráně a jsou odstraňovány zpětným proplachem. Některé filtry mohou být v provozu až do omezení průtoku na limitní úroveň a poté vyměněny. [19]

Některé jednotky využívají periodického čištění zvaného back pulse, nebo krátkých intervalů opačného průtoku, který může zahrnovat proplach vzduchem či dávkování oxidantů. Tento proces rozpouští usazené látky na filtru zpět do odpadní vody. [19]

2.8.7 Suspension mode

Voda proudí paralelně k membráně v kontinuální, či přerušované formě s cílem minimalizovat akumulaci kontaminantů na povrchu membrány a zabránit tak ucpání. [19]

2.8.8 Zpětný proplach (Backwashing)

Proces je navržen k odstranění kontaminantů naakumulovaných na membráně. Každá jednotka je čištěna zvlášť pro minimalizaci počtu jednotek čištěných ve stejném čase. Voda proudí opačným směrem po dobu přibližně 30 sekund až 3 minut. Síla a směr proudění odstraní kontaminanty z membrány, čisticí voda je recyklována, nebo vypouštěna do odpadu. Čištění jednotky filtru probíhá každých 15 až 60 minut, čištění snižuje výkonnost systému o 5 až 10 % v závislosti na objemu filtrátu použitého během čištění. Zpětný proplach se téměř výlučně používá u modulů tvořených dutými vlákny pro procesy mikrofiltrace a nanofiltrace.

Obecně je proces spuštěn při překročení některé z operačních hodnot, jako je čas, objem, nárůst tlaku TMP (Trans Membrane Pressure), či nestálost proudění. Ideálně by se TMP mělo po čištění navrátit do normálních hodnot, nicméně většina membrán vykazuje nárůst TMP po každém čištění. Toto naznačuje akumulaci nečistot, které nemohou být odstraněny běžným procesem čištění. Na odstranění těchto nečistot se používají další chemické prostředky.

Spirálně vinuté membrány nelze čistit zpětným proplachem, tyto systémy jsou čištěny chemicky, pulzací proudění a rychlosti proudění. [19]

2.8.8.1 Chemické čištění

Existuje spousta druhů chemikálií použitelných pro chemické čištění, bývají určeny k odstranění specifického druhu znečištění. Například kyselina citronová se používá pro rozpouštění anorganických usazenin, silné zásady, jako hydroxid sodný, se používají pro rozpouštění organického znečištění. Použit může být také silný roztok chloru pro kontrolu růstu biofilmu. Často je nutné užití kombinace různých chemikálií pro odstranění různých typů znečištění. [19]

Po procesu čištění je důležité propláchnout jednotku před znovuvvedením systému do provozu filtračního cyklu. Voda by měla být odvedena do odpadu, dokud se kvalita filtrátu nevrátí do

požadovaných hodnot. Při chemickém čištění může vznikat významné množství odpadní vody. Pro mikrofiltraci a ultrafiltraci je běžné recyklovat až 90 % čisticích chemikálií, recyklace pro nanofiltraci a reverzní osmózu není tak běžná, jelikož roztoky obsahují rozpuštěné nečistoty a snižuje se tak jejich účinnost. [19]

2.9 PŘÍKLADY VYUŽITÍ SEWER MININGU VE SVĚTĚ

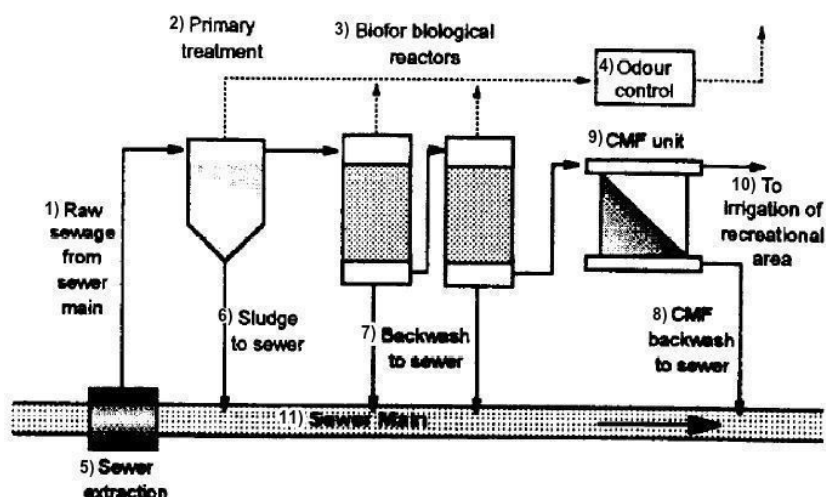
V Tab. 2.9-1 můžeme vidět přehled níže popsanych případů využití technologie sewer mining v Austrálii.

Tab. 2.9-1 Přehled využití sewer miningu v Austrálii [2]

Místo	Technologie	Kapacita [m ³ /den]	Použití	Cena
Flemington Racecourse, Melbourne, Australia	Dual membrane	100	Závlahy	Odhad ceny zařízení 0,42 \$/m ³ Provozní náklady 0,43 \$/m ³ (2006)
Darling Quarter, Sydney's CBD Australia	Moving bed, biofilm reactor, RO, UV	170	Splachování, závlahy, chladicí věže	Cena zařízení 2,2 \$/m ³ Provozní náklady 2,1 \$/m ³ (2011)
Riverside Rocks Park, Sydney, Australia	Reed beds, UV	360	Závlahy	Odhad ceny zařízení 0,49 \$/m ³ (2006)
Pennant Hills, North Sydney, Australia	MBR, UV	1000	Závlaha golfového hřiště	Odhad ceny zařízení 0,49 \$/m ³ (2008)
Olympic Park Sydney, Australia	SBR, nutrient	2191	Splachování, závlahy	cena 1,05 \$/m ³ (2009)

2.9.1 The Australian Capital Territory Electricity and Water

Společnost byla průkopníkem technologie sewer mining a jako jedna z prvních popsala proces odebrání splaškových vod z kanalizační sítě s následnou úpravou pro další použití. Upravená voda byla využívána pro závlahy veřejného prostoru. Šlo o kompaktní čistírnu odpadních vod umístěnou v nadzemní budově o ploše 180 m² s kontrolou úniku pachů. Kapacita čistírny byla 600 m³/d. Čisticí proces zahrnoval odběr splašků přímo ze stoky, primární čištění, biologické čištění za pomoci biofilmového reaktoru a kontinuální mikrofiltraci (CMF) s následnou hygienizací chlorem. Čistírna byla navržena pro bezobslužný provoz a kontrolována z úpravny vody Lower Molonglo. [1]



Obr. 2.9-1 Schéma zařízení [1]

(1) Odpadní voda, 2) Předčištění, 3) Biologické čištění, 4) Řízení zápachu, 5) Odběr OV, 6) Odvod kalu zpět do stoky, 7,8) Odvod zbytků ze zpětného proplachu do stoky, 9) Zařízení kontinuální mikrofiltrace, 10) Vyčištěná OV

2.9.2 Flemington Racecourse

Jedná se o jednu z nejpopulárnějších dostihových drah v Austrálii, nachází se ve městě Melbourne. Vzhledem k velkému počtu návštěvníků vedení věřilo v ekonomickou výhodnost sewer miningu, posoudila ji tedy jako jednu z možných technologií pro znovuvyužití odpadních vod. Smart Water Fund poskytl na projekt 270 000 dolarů určených pro vývoj a předvedení technologie. [12] [4]

Šlo o samostatnou čistírnu a úpravnu odpadních vod, ve které byla odpadní voda upravována na třídu A. [4] Dle EPA (Environment Protection Authority) Victoria, Australské vládní organizace pro ochranu životního prostředí, je třída A nejvyšší možnou jakostí odpadních vod určených pro další použití. Recyklované vody třídy A jsou takové vody, u kterých existuje vysoká pravděpodobnost přímého kontaktu osob s recyklovanou vodou. Je možné je použít pro závlahu plodin určených k přímé konzumaci, v městské zástavbě s neomezeným veřejným přístupem, a další. [3]

Úprava byla mimo jiné postavena také za účelem demonstrace technologie sewer miningu a následnému zhodnocení technických a ekonomických parametrů. Tato ukázka měla sloužit k lepšímu odhadu provozních nákladů, dosažitelné kvality vyčištěné vody a dalším charakteristikám procesu úpravy vod. Zřízení mělo výkonnost cca 20 000 l/den, voda byla využívána pro závlahy. [4]

Splaškové vody byly odváděny z kanalizace DN 450 procházející poblíž zařízení a ploch určených pro závlahy. Kanalizace odváděla odpadní vody z menší obytné oblasti a od návštěvníků dostihové dráhy. Průtok kanalizací se pohyboval od 0 po 5 l/s během dne, během velkých akcí na dráze průtok dosahoval až 50 l/s. Na kanalizaci byl instalován stupeň v šachtě vytvářející menší zdrž vody o hloubce 300 mm, ze které byly splaškové vody odváděny přímo do zařízení pro čištění a úpravu. Hladina vody v šachtě byla hlídána pomocí senzoru spojeného

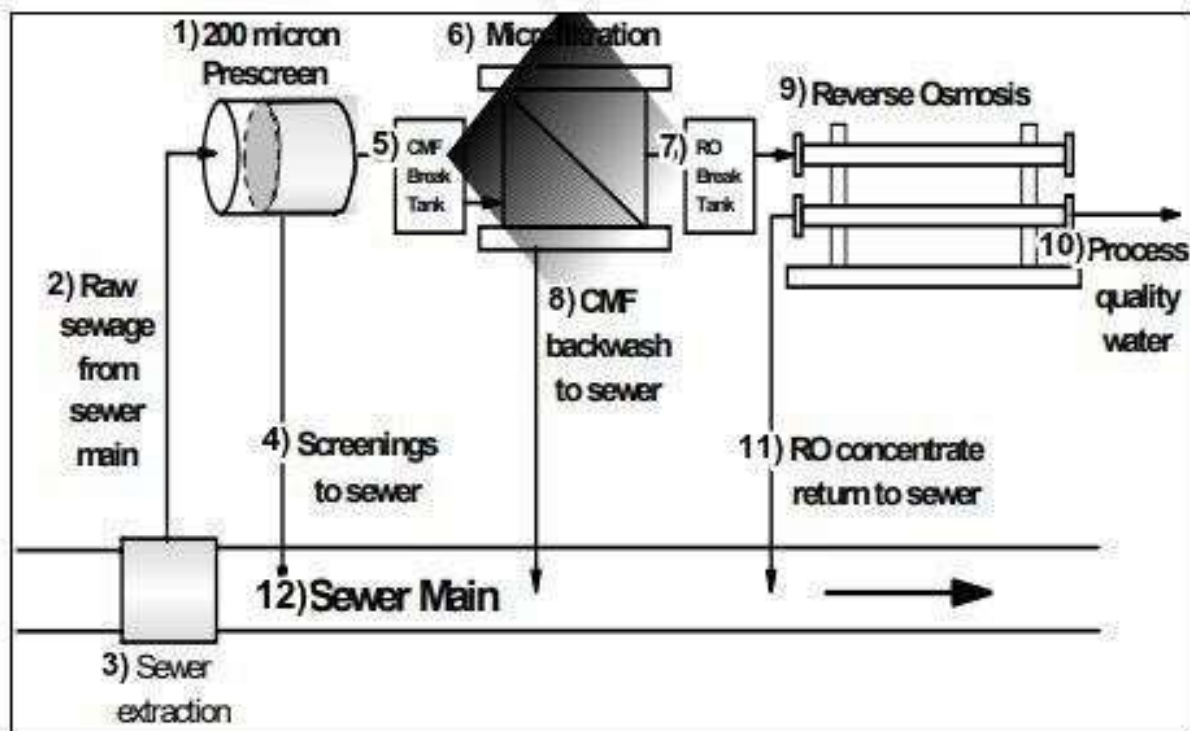
s řídicím střediskem. Úpravna byla umístěna v modifikovaném lodním kontejneru a oplocena. [4]



Obr. 2.9-2 Flemington Racecourse [4]

Odpadní voda byla čištěna za pomoci metod označovaných jako Multiple Water Reuse technology (MWR). [4] Jde o technologie úpravy odpadních vod bez využití biologického stupně čištění. Využívá dvojité membrány k získání odpadní vody dostatečně čisté pro všechny nepitné účely. Systém obsahuje mikrofiltrační jednotku následovanou reverzní osmózou. Díky kompaktním velikostem získaným odpadnutím prostorově náročného biologického stupně je vhodným řešením pro účely sewer miningu, provoz probíhá čistě automaticky. Duální membránový systém zajišťuje odstranění patogenních organismů, spolu s dezinfekcí vody pomocí chloru či ozonu. Proces čištění vod byl složen z následujících částí

- Cezení,
- mikrofiltrace,
- reverzní osmóza,
- dezinfekce.



Obr. 2.9-3 Flemington racecourse, schéma zařízení [4]

(1) Cezení, 2) Surová OV, 3) Odběr OV, 4) Shrabky z cezení, 5) Vyrovnávací nádrž před CMF, 6) Mikrofiltrace, 7) Vyrovnávací nádrž před reverzní osmózou, 8) Residua z čištění CMF, 9) Reverzní osmóza, 10) Upravená OV, 11) Retenát z reverzní osmózy

2.9.2.1 Cezení

Surová odpadní voda byla odváděna ze stoky přes nerezovou membránu o velikosti 200 μm , odtud gravitačně tekla do nádrže, kde byla voda čerpána dále na mikrofiltrovační jednotku. Síto sloužilo k odstranění nerozpuštěných látek, vláknitých materiálů a některých olejů a tuků. Koncentrát byl odváděn zpět do kanalizace.

2.9.2.2 Mikrofiltrace

Pórovitost membrány se pohybovala kolem 0,2 μm . Membrána byla čištěna zpětným proplachem za pomoci vzduchu a vyčištěné odpadní vody. Biofilm byl automaticky periodicky odstraňován pomocí kyselých a zásaditých látek, či jejich kombinací. Růst biofilmu byl regulován pomocí dávkování chloru před mikrofiltrací, byl tím také regulován bakteriální růst v potrubí.

2.9.2.3 Reverzní osmóza

Jednotka reverzní osmózy sloužila k odstranění rozpuštěných látek, solí a nerozpuštěných látek, zabráňovala proniknutí bakterií a virů. Kvalita permeátu splňovala všechny požadavky na pitnou vodu dle EPA s výjimkou množství amoniaku. Membrány byly chemicky čištěny pro zabránění růstu biofilmu, cca každý jeden až dva týdny.

2.9.2.4 Řízení procesu

Úprava vody byla plně automatická, stav všech tří bariér (mikrofiltrace, reverzní osmóza, chlorace) byl průběžně monitorován pomocí kontrolních bodů:

- Měřič turbidity: měří kvalitu permeátu za mikrofiltrační jednotkou, opatřen alarmem a automatickým odstavením procesu při překročení 1,0 NTU (ukazatel turbidity) na více jak 15 minut, poté se spustí kontrola tlaku na mikrofiltru. Když se nepotvrdí ztráta integrity membrány, původ znečištění musí být dále prověřen.
- Měřič konduktivity: průběžně monitoruje nátok a výtok reverzní osmózy, poplach byl spuštěn v případě překročení 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na více jak 15 minut.
- Chlorace: Proces je kontrolován pomocí ukazatele zbytkového chloru v permeátu za reverzní osmózou.

V případě překročení limitních hodnot popsanych výše byla upravená voda svedena zpět do kanalizace spolu s odstavením dodávky vod pro závlahy. Všechna řídicí data jako tlak, teplota, průtok, objem, turbidita, konduktivita, chlor a další byly průběžně zaznamenávány či manuálně vkládány do data loggeru. Všechny nádrže byly opatřeny bezpečnostním přelivem napojeným na kanalizaci.

Tab. 2.9-2 Odstranění znečištění ve Flemington racecourse [4]

Ukazatel	Surové OV	Koncentrát z Mikrofiltrace	Koncentrát z reverzní osmózy
BSK [mg/l]	230	89	<2
TOC (Total Organic Carbon) [mg/l]	103	46	0,6
Nerozpustné látky [mg/l]	144	<2	
TDS (Total Dispersed Solids) [mg/l]		403	12
TKN (Organic Nitrogen and Amoniak) [mg/l N]	50	51	3,9
Celkový P [mg/l P]	11,2	9	0,03
Fekální kolimorfnní bakterie [cfu(KTJ)/100ml]	$5,1 \times 10^6$	1,3	<0,1

Výsledky fekálních kolimorfnních bakterií jsou výsledkem geometrického průměru nechlorovaných vzorků

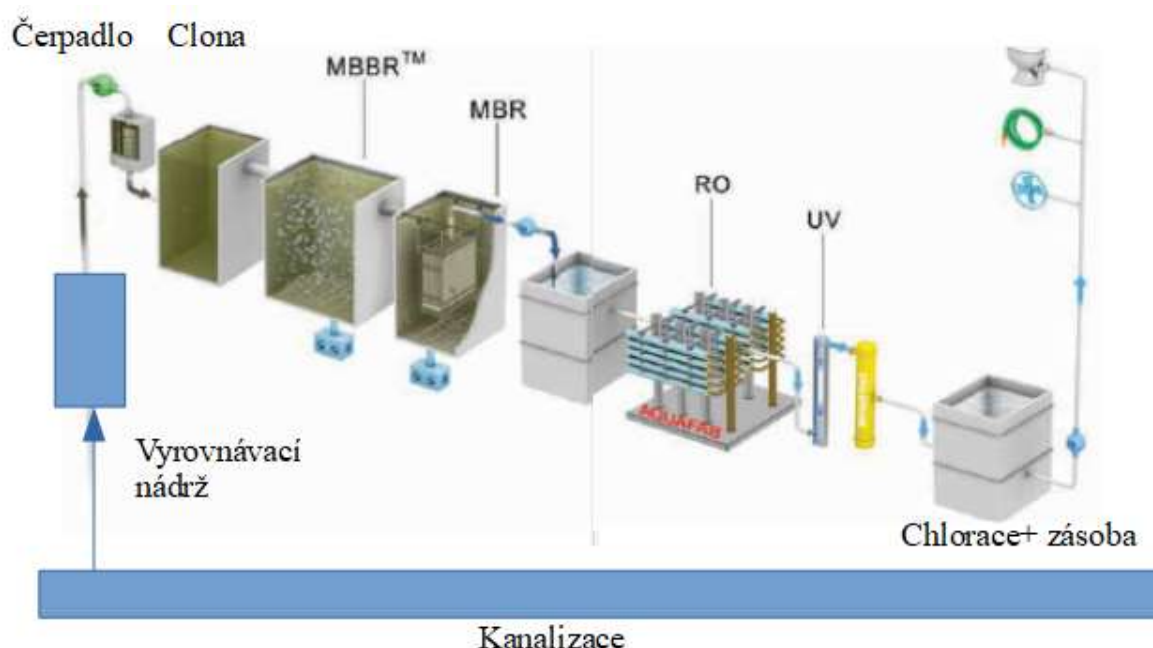
Nakonec byla pro potřeby závodní dráhy zvolena jako vhodnější technologie desalinace podzemních vod. Závodní dráha leží nad podzemními zvodněmi nacházejícími se v hloubce 30 až 50 metrů, tato voda je odebírána a odsolována pomocí reverzní osmózy. [13]

2.9.3 Darling Quarter Recycled Water Treatment Plant

Jde o dvě komerční budovy obsahující osm pater o 55,418 m² kancelářských prostor, obchodní centrum v přízemí, parkoviště pro 800 automobilů, dětské hřiště, divadlo a další kulturně společenské prostory ve městě Sydney. Ve sklepních prostorech budovy je umístěna úprava vod postavena a provozována společností Veolia.

Splásková voda je získávána z nedaleké kanalizace a upravována pomocí biologicko-fyzikálních procesů pomocí kombinace MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) reaktoru a

ultrafiltrací z dutých vláken, kterou jsou odstraněny bakterie, viry, rozpuštěné látky a BSK a CHSK. Poté je voda čištěna pomocí reverzní osmózy pro odstranění solí a částecek menších jak 0,0001 μm a hygienizována UV zářením a chlorací.



Obr. 2.9-4 Schéma zařízení v Darling Quarter [6]

Surové splašky jsou odebrány z kanalizace a čerpány do vyrovnávací nádrže zajišťující konstantní přítok do zařízení. Odtud odpadní vody putují skrz macerátor na jemná síta, které zachytí částice o velikosti 1 mm a větší. Následuje MBBR (Moving Bed Bioreactor) s aktivní biovrstvou rostoucí na plastových nosičích suspendovaných v reaktoru. Tato technologie využívá jak výhody systému aktivovaného kalu, tak dalších systému s biologickými vrstvami (biofiltry, biorotory atd.) Zařízení vyžaduje relativně malý půdorys oproti klasické aktivaci, má bezúdržbovější provoz a je vhodný pro vysoce zatížené systémy biologickým znečištěním. [5] Dále je voda čištěna filtrací přes dutá vlákna, odstraňující částice o velikosti 0,05 μm a větší. Následuje reverzní osmóza odstraňující soli a částice větší jak 0,0001 μm . Koncentrát, odpad z čištění, je odváděn zpět do kanalizace. Hygienizace vody je zajištěna dezinfekcí UV zářením s následnou chlorací. [6]

Tab. 2.9-3 Odstranění znečištění v Darling Quarter recycled water treatment plant [6]

Ukazatel	Hodnoty
BSK ₅	<5 mg/l
Nerozpuštěné látky	<5 mg/l
pH	6,5-8,5
Turbidita	<0,2 NTU
E coli	< cfu ¹ /100 ml
Coliphages	< pfu ² /100 ml
Clostridia	< pfu ² /100 ml
Odstranění virů	6,6 log reduction ³
Odstranění bakterií	12,1 log reduction ³
Odstranění protozoa	8,1 log reduction ³

¹cfu-kolonie tvořící jednotky

²pfu-fágové částice schopné tvořit plaky

³n-log redukce odpovídá koncentraci zbylých kontaminantů 10⁻ⁿ
(1-log=90 % redukce, 2-log=99 % redukce)

2.9.4 Riverside Rocks Park

Park je situován ve městě Brisbane, Austrálie, s plochou 26 hektarů. Voda z kanalizace je čištěna pomocí technologie kořenové čistírny (Reed Beds) s následnou hygienizací UV zářením. Jde o největší projekt tohoto druhu v Austrálii s potenciálem ušetřit 130 Ml vody denně a snížit množství dusíku vnášeného do řeky Brisbane o 750 kg ročně. V parku je zavlažována plocha o velikosti 5 hektarů s potřebou vody 360 000 l/den. [7]



Obr. 2.9-5 Letecký snímek Reverside Rocks [7]

(1) Plnicí stanice, 2) Nádrž na OV, 3) Oplocení, 4) Chodník, 5) Nádrž na vyčištěnou vodu, 6) Vertikální kořenová čistírna, 7) Čerpací stanice, 8) Horizontální kořenová čistírna, 9) Oplocení kořenové čistírny)

2.9.5 Pennant Hills Golf Club

V roce 2003/2004 se golfový klub dostal do problémů s množstvím vody pro závlahy, poté co přehrady zásobující město Sydney dosáhly kriticky nízkých hodnot hladiny vody. Bylo zavedeno omezení spotřeby vody pro všechny odběratele včetně domácností, omezení se týkalo i golfového klubu, jehož maximální omezený odběr byl 10 000 m³/měsíc. Toto množství vody bylo v letních měsících nedostatečné pro udržení provozu. Pro dodání potřebného množství vody byly posouzeny následující varianty. [8]

2.9.5.1 Výstavba hráze

Výstavba menší přehrady napájené z potoka procházejícího golfovým hřištěm. Varianta byla zamítnuta z důvodu přílišné zdlouhavosti projektu, velkého zásahu do krajinného rázu a nepříznivým modelům srážek pro napájení přehrady. [8]

2.9.5.2 Odebírání podzemní vody

Využití současných vrtů pro odebírání podzemní vody, varianta byla zamítnuta z důvodu náročnosti na úpravu vody na odstranění železa a soli, navíc maximální množství odebírané vody dosahovalo pouze 20 % požadované vydatnosti, byl tedy zařazen pouze jako doplňkový zdroj. [8]

2.9.5.3 Sewer mining

Odebírání splaškové vody z kanalizace o průměru DN 350 vedoucí kolem hřiště, odebírání vody z kanalizace bylo označeno jako spolehlivý zdroj pro zavlažování z důvodu již ověřené technologie na podobných projektech, v Sydney se však jednalo o jeden z prvních projektů tohoto typu. Projekt naplnil všechna očekávání a nastavil kritéria pro využívání sewer miningu v Sydney a celé Austrálii. [8] Jako použitá technologie byl použit MBR (Mikrofiltration Biofilm Reactor) reaktor s hygienizací chlorem a UV zářením s výkonem 1 000 m³/den [8]

2.9.6 Sydney Olympic Park

V Olympijském parku bylo cílem dosáhnout lokálního řešení problému zásobování vodou a čištění odpadních vod, jsou zachytávány dešťové vody a odpadní voda je čištěna a opět využívána, čímž se podstatně snížila spotřeba pitné vody. Voda ze sewer miningu společně s dešťovou vodou zajišťují dostatečné množství pro závlahy, napájení fontány a splachování toalet jak v olympijském parku, tak v urbanizované části Newington. Celkově je ušetřeno více jak 850 milionu litrů pitné vody ročně, sewer mining vyčistí cca 550 milionu litrů odpadní vody za rok. Z celkového množství je v olympijském parku využíváno pouze 5 % pitné vody, a to především pro takové účely, kde je užití recyklované vody legislativně zakázáno. Využívá se pouze pro pitné účely, sprchování, mytí rukou, pro plnění plaveckých bazénů a tvorbu hokejových ploch. [9]

Odpadní voda pochází z kanalizačního systému města Sydney a ze samotného olympijského parku, organické znečištění z procesu čištění je částečně využíváno na místě pro kompostování a částečně odváděno zpět do stoky. Odpadní vody jsou biologicky čištěny v SBR reaktorech, hygienizovány UV zářením, poté pokračují na úpravnu vody, kde procházejí procesem mikrofiltrace, reverzní osmózy a hygienizací chlorem. [10]

Tab. 2.9-4 Dosažené hodnoty čištění v Sydney Olympic park [10]

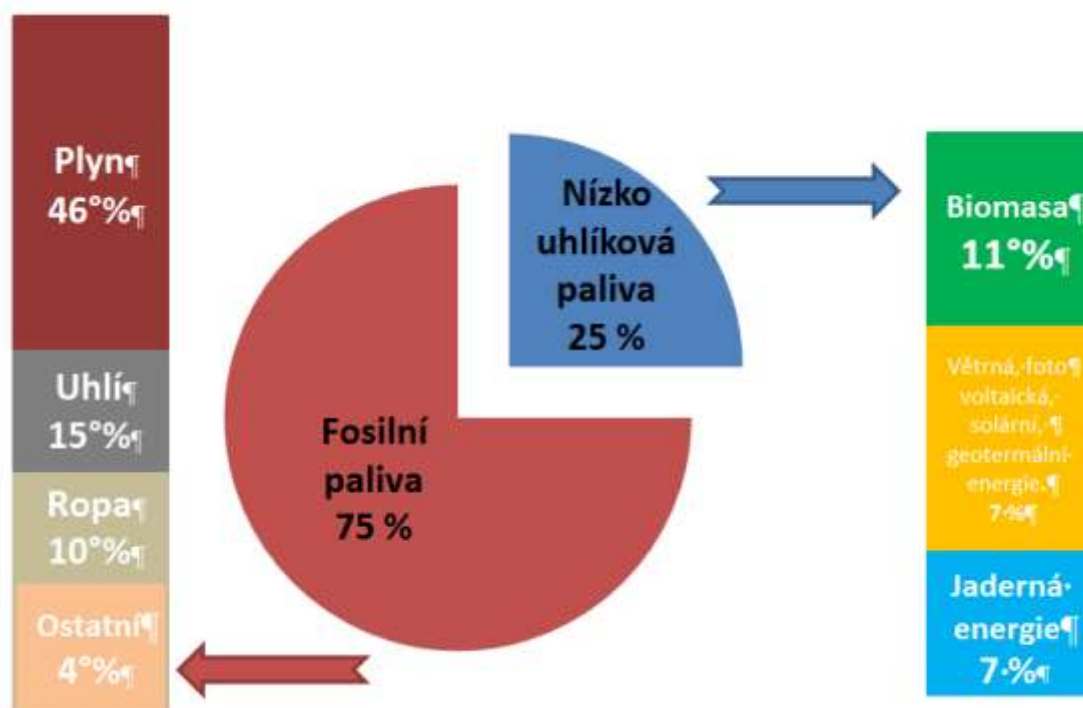
Ukazatel	Max Hodnoty		Běžně dosažené hodnoty	
Kolimorfnní bakterie	<10	ve 100 ml	0	ve 100 ml
Fekální kolimorfnní bakterie	<1	ve 100 ml	0	ve 100 ml
Viry	<2	v 50 l	0	v 50 L
Parazité	<2	ve 100 l	0	ve 100 L
Turbidita	<2	NTU	0,2	NTU
Zbytkový volný chlor	<0,5	mg/l	0,05	mg/l
BSK	<20	mg/l	<2	mg/l
pH	6,5-8,0	-	7,5	-
Barva	<15	TCU	5	TCU
Totální fosfor	<=1	mg/l	0,5	mg/l
Totální dusík	<=12	mg/l	1,5	mg/l
NL	ø 500	mg/l	400	mg/l

Tab. 2.9-5 Vývoj cen pitné a recyklované vody v Sydney Olympic park [10]

Období	Cena pitné vody [\$]	Cena recyklované vody [\$]	Množství použité pitné vody [ML/rok]	Množství použité recyklované vody [ML/rok]	Množství dešťových vod [ML/rok]	Celkem [ML/rok]
2001-2002	0,925	0,775	140	51	250	441
2002-2003	0,942	0,792	139	92	300	531
2003-2004	0,98	0,83	57	413	365	835
2004-2005	1,01	0,863	22	200	388	610
2005-2006	1,2	1,05	9	181	412	602
2006-2007	1,26	1,114	8	158	324	490
2007-2008	1,34	1,189	6	150	345	501
2008-2009	1,61	1,46	-	-	-	-

3 ZISK TEPLA Z ODPADNÍCH VOD

Vytápění a chlazení tvoří polovinu celkové spotřeby energie v EU, účinnost a ekologická udržitelnost vytápění by měly být předmětem veřejného zájmu. I přes posupný rozvoj obnovitelných a udržitelných zdrojů stále 75 % paliv pochází z paliv fosilních, která s sebou nesou veškerá enviromentální rizika. Dlouhodobým cílem EU je snížení skleníkových plynů a splnění závazků vcházejících z dohody o klimatu COP21 v Paříži. V některých částech Evropy až tři čtvrtiny venkovního znečištění jemnými částicemi připadá na vytápění domácností pevnými palivy (včetně uhlí a biomasy). [32]



Obrázek 3-1 Primární energie na vytápění a chlazení, 2012 [32]

Většina lidské činnosti produkuje chlad či teplo, které je možné ve velkém počtu případů znovu využít. Jednou z variant znovuvyužití tepelné energie pocházející z antropogenní činnosti je odebrání tepla či chladu z kanalizačního potrubí a jejich zužitkování v místě potřeby. Vzhledem k charakteru technologie je použití vhodnější pro vytápění či chlazení větších budov, komerčních center či pro dálkové vytápění a chlazení. Dálkové vytápění představuje 9 % vytápění v EU. V roce 2012 byl hlavním palivem plyn (40 %), po něm následovalo uhlí (29 %) a biomasa (16 %). Do procesu dálkového vytápění lze začlenit elektřinu z obnovitelných zdrojů (za použití tepelných čerpadel), geotermální a solární tepelnou energii, odpadní teplo a komunální odpad. Energetické soustavy toto řešení může nabídnout flexibilitu vzhledem k tomu, že zajišťuje levné skladování tepelné energie, například v nádržích na teplou vodu, nebo v podzemních zařízeních. Dálkové vytápění má dlouholetou tradici v členských státech, ve kterých panují chladné zimy. V některých zemích se dálkové vytápění považuje za atraktivní možnost pro podniky a pro spotřebitele a za prostředek ke zlepšení energetické účinnosti a zavádění energií z obnovitelných zdrojů. Dálkové vytápění a chlazení může také přispět k cílům kvality ovzduší, zejména v případě, že nahrazuje vytápění tuhými palivy v domácnostech, nebo

mu má zamezit. Téměř polovina budov v EU disponuje jednotlivými kotli instalovanými před rokem 1992, s účinností 60 % nebo méně. Celkem 22 % jednotlivých plynových kotlů, 34 % přímých elektrických ohřivačů, 47 % kotlů na naftu a 58 % kotlů na uhlí je za limitem své technické životnosti. Tyto zastaralé jednotky pro vytápění by mohly být nahrazeny centrálním dálkovým vytápěním, které by mohlo být částečně dotováno energií z odpadních vod. [32]

Zdroje energie můžeme obecně rozdělit na primární, které nejsou člověkem nijak transformované a sekundární (druhotné), které jsou vzniklé lidskou činností. Primární dále dělíme na neobnovitelné zdroje (fosilní paliva, jaderná paliva) a obnovitelné (vodní energie, větrná energie, sluneční energie, biomasa, geotermální energie a další.) Mezi sekundární energie patří komunální odpad, topné oleje, skládkové plyny, odpadní teplo a můžeme mezi ně zařadit právě získávání tepla z odpadních vod. [33]

3.1 PRÁVNÍ RÁMEC

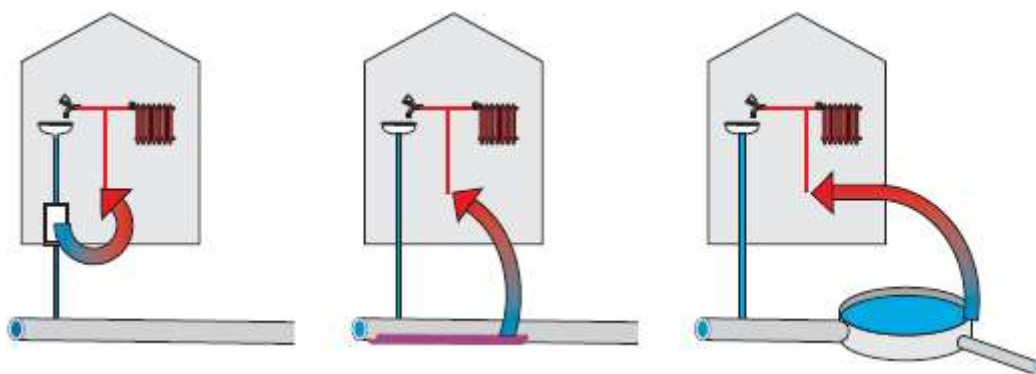
V několika zemích, jako například Švýcarsko a Německo je odpadní voda jako zdroj energie již začleněna do politické strategie. V Austrálii je získání tepla z odpadních vod podrobně zaneseno v rámci Federálního zákoníku o energiích. V České republice v současné době neexistuje legislativní prostředí pro využití tepla pomocí centralizovaných systémů odebrání odpadní vody z kanalizace. Odpadní voda jako potenciální zdroj energie je zmíněna v ČSN 75 6780 Využití šedých a dešťových vod. [36]

3.2 KATEGORIE ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA Z ODPADNÍCH VOD

V místě spotřeby má odpadní voda nejvyšší tepelnou energii, tato energie postupně klesá směrem k čistírně odpadních vod. Pokles teploty je způsoben ředěním vodou o nižší teplotě a postupným předáváním tepelné energie do okolí.

Získávání tepla z odpadních vod může být dále děleno do tří kategorií dle umístění odběru.

- Decentralizované (In-house recovery),
- centralizované před ČOV (Raw wastewater),
- centralizované za ČOV (Cleaned wastewater).



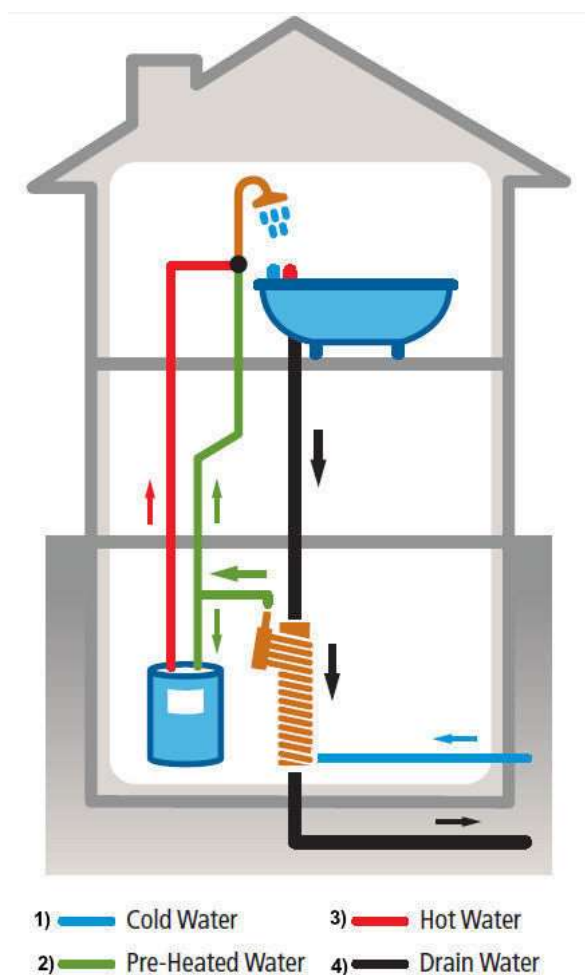
Obrázek 3-2 Kategorie získávání tepla dle umístění odběru. Zleva In-house recovery, Raw wastewater recovery, Cleaned wastewater recovery. [34]

3.2.1 Decentralizované systémy

Decentralizované systémy spočívají ve znovuvyužití tepla přímo v místě jeho vzniku, kde je tepelná energie předávána vodě určené ke spotřebě. Tímto vzniká krátký okruh minimalizující tepelné ztráty, systémy jsou vhodné pro rodinné nebo bytové domy, ale i pro komerční objekty.

Lokální systémy rekuperace tepla jsou založeny na principu odebírání tepla z odtékající vody, která předehřívá studenou vodu do sprch nebo jiných aplikací. Existují dva druhy aplikací, předehřev studené vody pro okamžitou spotřebu a předehřev studené vody do zásobníku TUV. [35]

Podle provozních zkušeností může docházet k problémům s kontaminací pitné vody v prostředí výměníků tepla. Dle normy ČSN EN 1717 Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění zpětným průtokem musí být teplosměnná plocha zařízení provedena jako dvouplošťová, čímž nedochází k žádnému přenosu hmoty. [34] [35]



Obrázek 3-3 Schéma domovní rekuperace tepelné energie [37]

3.2.1.1 Předehřev studené vody pro okamžitou spotřebu

Výhodou tohoto zapojení je to, že předehříváme vodu vždy, když je potřeba. Časová prodleva, od které je předehřátá voda k dispozici, je závislá na délce potrubí a umístění tepelného výměníku. Teplota předehřáté vody se pohybuje kolem 20 °C. Ohřátou vodu lze přímo napojit

do okruhu sprch nebo umyvadel. Opatření má za následek snížení spotřeby teplé vody. Ve směšovací baterii tak smícháváme menší poměr teplé vody ku studené vodě. V tomto případě má uvedený systém větší účinnost než přehřátí vody do zásobníku TUV, protože je umístěn blíže směšovací baterii a nedochází ke ztrátám. [35]

3.2.1.2 Přehřev studené vody do zásobníku TUV

Druhou možností je přehřátou vodu vést do zásobníku teplé užitkové vody (TUV), kde se pak dohřívá na příslušnou požadovanou teplotu. Tady se dá s výhodou použít stratifikace vody do zásobníku, to znamená teplotu odvádět do místa ve výměníku, které má příslušnou teplotu. Tento systém je investičně náročnější a má menší účinnost než výše popsany systém. [35]

3.2.1.3 Výhody decentralizovaných systémů [42]

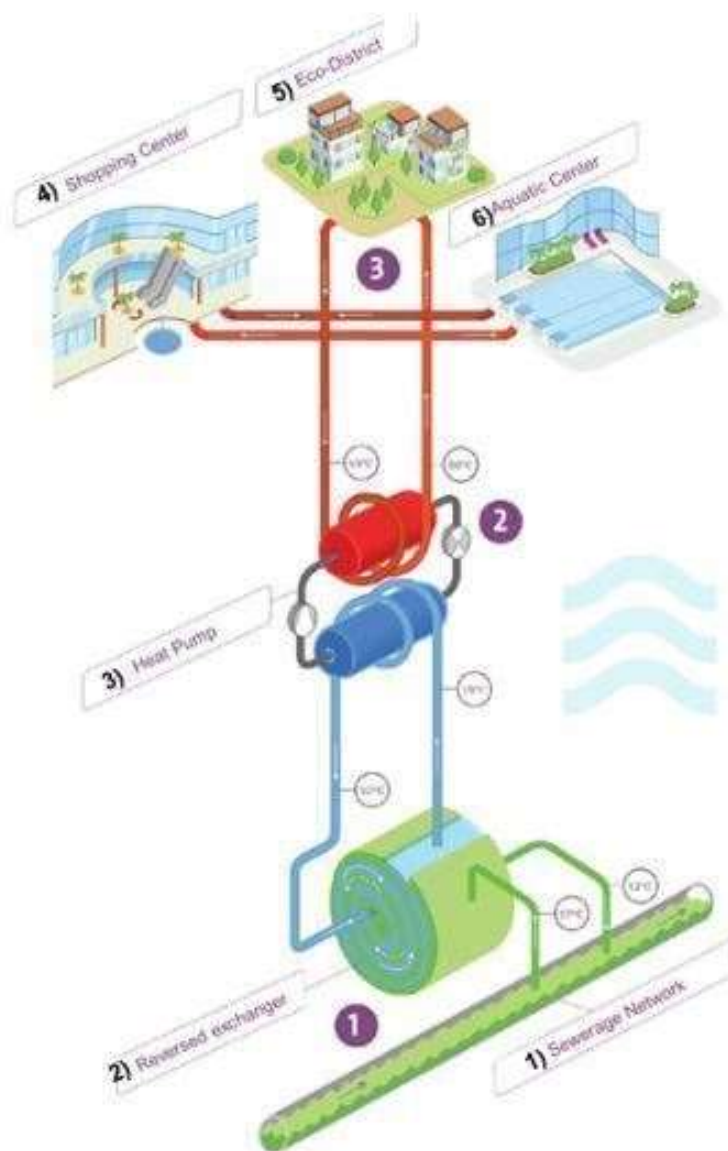
- Vysoká teplota odpadní vody,
- velmi krátká transportní vzdálenost
- spotřebitelé=odběratelé,
- není vliv dešťových vod,
- potenciál až 100 kW.

3.2.1.4 Nevýhody decentralizovaných systémů [42]

- Fluktuace v průtoku,
- vyšší operační náklady.

3.2.2 Centralizovaná rekuperace tepla ze surové OV

Centralizované systémy spočívají buďto v oděru odpadní vody ze stoky a jejím dopravení do výměníku tepla či umístění výměníku přímo do odpadní vody. V případě odebrání odpadní vody z kanalizace je ochlazená voda navracena zpět do kanalizace. Zpět do kanalizace se také obvykle odvádí shrabky a usazeniny z rekuperační jednotky. V případě umístění výměníku tepla přímo do stokového systému je osazeno potrubí se zabudovaným výměníkem tepelné energie, či umístění výměníku do stávajícího potrubí. Charakterem jsou centralizované systémy vhodnější pro zásobování teplem více odběratelům či pro větší budovy.



Obrázek 3-4 Schéma centralizované rekuperace tepelné energie z OV [38]

(1) Kanalizační potrubí, 2) Výměník tepla, 3) Tepelné čerpadlo, 4) Nákupní centrum, 5) Ekologická zástavba, 6) Aquapark)

Při použití speciálních výměníků lze teplo rekuperovat z jakýchkoliv odpadních vod, včetně vod technologických. Jedná se nejenom o vody odcházející z ČOV, ale o veškeré technologické odpadní vody. Pro výběr správného výměníku a jeho napojení je primární složení odpadních vod, jejich množství, kontinuálnost nátok a jejich teplota. [35]

Pro aplikaci centralizovaných systémů je nutné získat povolení od provozovatele stokového systému a provozovatele čistírny odpadních vod. Ochlazení odpadních vod ovlivňuje proces jejich čištění na čistírně, a to především proces nitrifikace na biologickém stupni čištění. Provozovatelé by měli stanovit podmínky, za nichž je možné využít tepelnou energii odpadních vod. [34]

Výhody: [42]

- Velké množství OV,

- relativně blízko místu spotřeby,
- potenciál až 1000 kW.

Nevýhody: [42]

- Velká závislost na podmínkách kanalizační sítě,
- změna vlastností odpadní vody má dopad na čištění OV

3.2.3 Centralizovaná rekuperace tepla z vyčištěné OV

Energetický potenciál vyčištěných odpadních vod může být vyšší než potenciál surových odpadních vod z důvodu, že pod čistírnou odpadních vod se nemusí udržovat minimální teplota potřebná pro procesy na ČOV a odpadní voda může být ochlazená o více stupňů. Toto ochlazení může mít také příznivý vliv na kvalitu vody na výtoku do vodoteče. Tento potenciál je však ne vždy možné využít, jelikož čistírny odpadních vod se ve většině případech nacházejí mimo zastavěné plochy a není komu tepelnou energii předávat.

Energie by mohla být využita pro samotnou čistírnu odpadních vod, například pro vyhnívací nádrže či sušení kalu, nicméně existuje pouze pár příkladů takového využití, jelikož čistírny obvykle využívají dostatek energie pocházející z kalových plynů. [34]

Výhody: [42]

- Nemá vliv na čištění OV,
- relativně stálý průtok a největší tepelný potenciál,
- voda je vyčištěná,
- ochlazení vody,
- potenciál až 10 MW.

Nevýhody: [42]

- Vzdálenost od odběratelů.

3.2.4 Chlazení pomocí odpadních vod

Odpadní vody mohou být použity jak pro vytápění, tak pro chlazení. Využití obou funkcí může přinést značné ekonomické výhody. Kombinace spočívá ve využití chladicích systémů.

Tepelné čerpadlo je jediná technologie, která může současně sloužit pro vytápění i chlazení domů. To přináší úsporu investičních nákladů i úsporu prostoru v budově, protože místo instalace zdroje tepla a zdroje chladu stačí jen jedno zařízení. Nejúspěšnějším způsobem chlazení domů pomocí tepelných čerpadel je „pasivní chlazení“, jehož provoz je prakticky zdarma, ale má určitá výkonová i technická omezení. Naopak největší spotřebu energie mají tepelná čerpadla s reverzním systémem chlazení, protože umí střídavě vyrábět jen teplo, nebo chlad a fungují tak prakticky jako dvě samostatná zařízení. Nejeefektivnějším systémem jsou tepelná čerpadla se souběžnou výrobou tepla a chladu, která mají jednak nízké provozní náklady a zároveň i dostatečný výkon. Je zde ale vyšší investice do zapojení strojovny, kde se musí instalovat odvod odpadního tepla do primárního okruhu. Ideálním řešením tak často mohou být tepelná čerpadla s aktivním chlazením a využitím odpadního tepla, která také umí produkovat

teplo a chlad současně, ale díky integrovanému výměníku odpadního tepla uvnitř tepelného čerpadla, mají i velmi jednoduché zapojení strojovny. [39]

3.3 TEPELNÉ VÝMĚNÍKY PRO ZÍSKÁVÁNÍ TEPELNÉ ENERGIE ZE STOKY

Na správný návrh a realizaci systémů s rekuperací tepla z kanalizačních potrubí mají rozhodující vliv tyto faktory: [41]

- Krátká vzdálenost mezi spotřebitelem a umístěním systému zpětného získávání tepla,
- teplota odpadní vody (nejlepší je konstantní, přibližně 10 až 15 °C nebo vyšší),
- minimální průtok odpadní vody 10 l/s,
- minimální průměr kanalizačního potrubí DN 1000 pro dodatečnou instalaci výměníků (u prefabrikovaných kanalizačních prvků s integrovanými výměníky je minimální průměr DN 400),
- nízká teplota vytápěcí vody (otopný systém v objektu) a rekuperační systém navržený jako bivalentní,
- dostatečné tlakové poměry v potrubním rozvodu,
- veličiny jako průtok odpadní vody, jeho změny, nečistoty v různých úsecích, teplota odpadní vody musejí být stanoveny předem,
- co nejvyšší průtoková rychlost odpadní vody v potrubí (minimálně 1 m/s); cílem je, aby se nečistoty (biofilm) neusazovaly na dně potrubí,
- znečištění výměníku tepla – určí se průběžnou kontrolou výstupních údajů (objemový průtok okruhu, teplota přívodní a vratné vody v okruhu výměníku, teplota odpadní vody v kanalizaci).

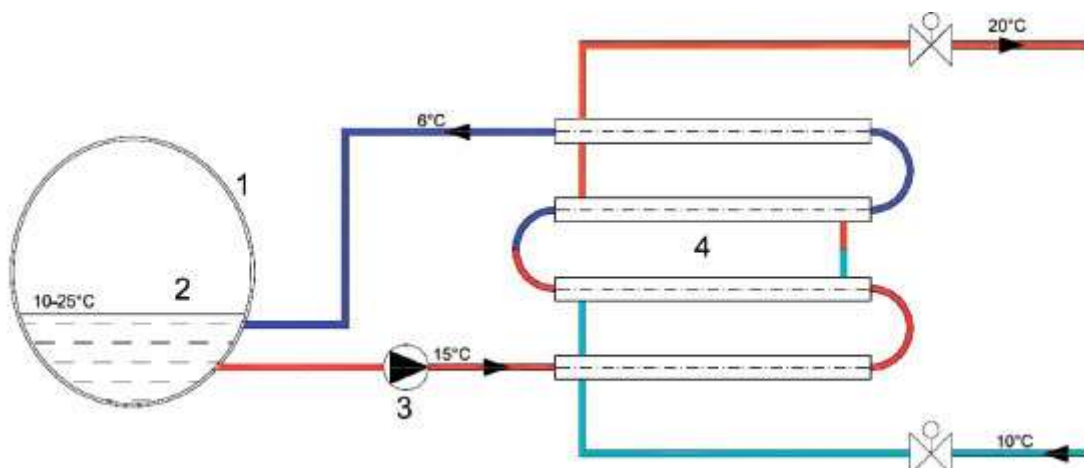
Tepelné výměníky mohou být klasifikovány do dvou hlavních skupin podle použití a konstrukce. Krom této klasifikace je možné je rozdělit dle procesu výměny tepla, poměru plochy a objemu, konfigurace proudění a geometrie. Tepelné výměníky mohou být dále rozděleny do tří kategorií dle charakteru umístění. Mohou být vně budov pro decentralizované In-house použití a pro centralizovanou konfiguraci mohou být umístěny uvnitř či vně stoky. Pro in-house použití se nejčastěji používají gravitační a spirální tepelné výměníky [42]

3.3.1 Tepelné výměníky pro centrální odběr tepelné energie

3.3.1.1 Externí výměníky

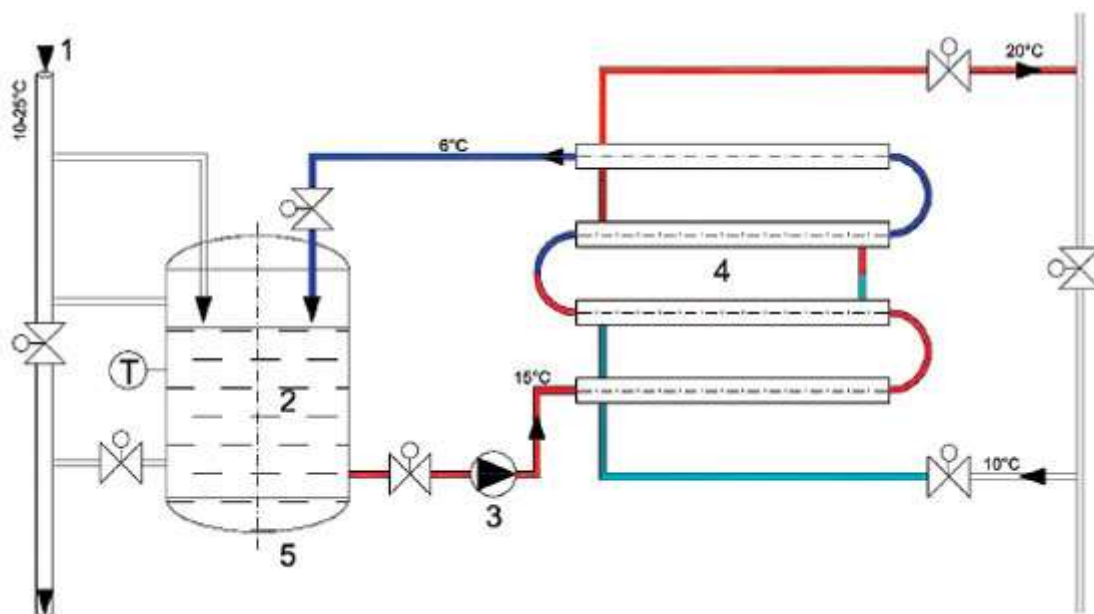
Externí výměníky jsou instalovány mimo kanalizační stoku, odpadní voda je do nich přiváděna potrubím. Nenacházejí se přímo v odpadním potrubí, využívají takzvaného by-pasu. Výhodou je lepší kontrola růstu biofilmu a vyšší přenosná účinnost. U tohoto typu se výměník tepla skládá ze dvou potrubí vložených do sebe. Odpadní voda proudí vnitřním potrubím, kde se využívá jako zdroj tepla. Mezi vnějším a vnitřním potrubím je meziprostor, jímž protéká čistá voda. Stěna vnitřního potrubí přenáší teplo z odpadní vody do čisté vody v distribučním systému. Speciální dvoutrubkové potrubí nabízí oproti klasickým potrubím mnohé výhody související s obsahem pevných částic v odpadní vodě. Tento systém se hodí u šedé i černé vody.

Odpadní voda se ze zdroje vhání čerpadlem do výměníku nebo se přečerpává přes akumulaciční nádrž. [41]



Obrázek 3-5 Schéma zapojení externího dvoutrubkového ocelového výměníku tepla do kanalizačního potrubí [41]

(1) kanalizační potrubí, 2) odpadní voda, 3) oběhové čerpadlo, 4) externí výměník tepla)



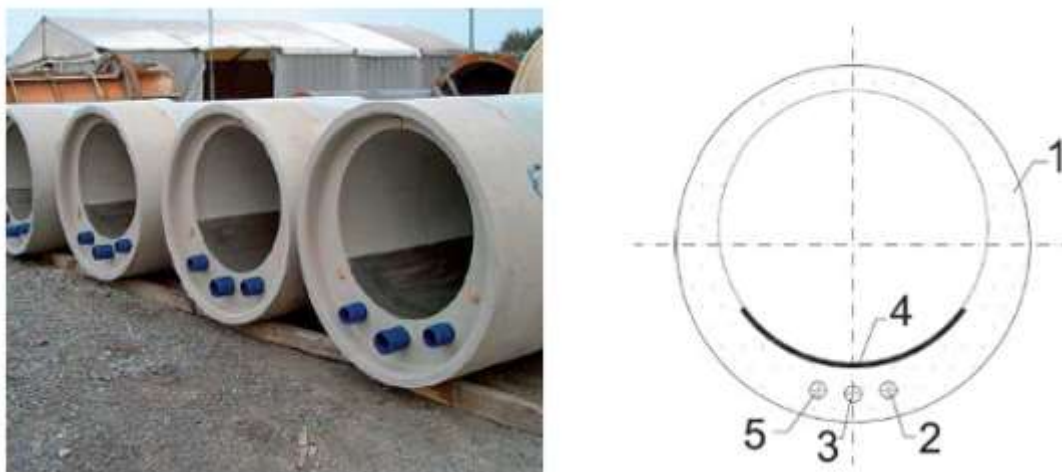
Obrázek 3-6 Schéma zapojení externího dvoutrubkového ocelového výměníku tepla v kombinaci s akumulací nádrží [41]

(1) kanalizační potrubí, 2) odpadní voda, 3) oběhové čerpadlo, 4) externí výměník tepla, 5) akumulací nádrž)

3.3.1.2 Výměníky integrované do stěny potrubí

Výměníky integrované do potrubí mohou být skládány dle dimenze a tvaru potrubí, průměr potrubí by měl být vyšší jak DN 400 pro nové stoky a vyšší jak DN 1000 pro existující stoky. Životnost se většinou uvádí kolem 50 až 60 let. Minimální průtoky by měly být kolem 15 l/s, teplota OV 10 až 30 °C, vzdálenost budov do 250 m a minimální tepelný odběr 150 kW.

Výhodami jsou rychlá výstavba a to, že výměník neubírá z průměru kanalizačního potrubí. Nevýhodou je špatná přístupnost při kontrole a revizi. [42] [41]



Obrázek 3-7 Výměník integrovaný do stěny potrubí [41]

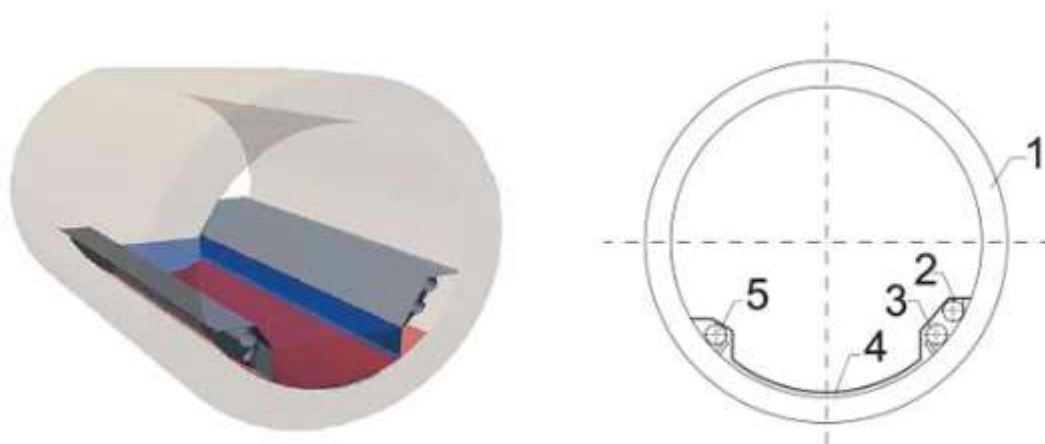
(1) Betonová trubka, 2) přívod studené vody do výměníku, 3) rozdělovací potrubí 4) výměník tepla)



Obrázek 3-8 Předizolované kanalizační potrubí s integrovaným ocelovým výměníkem tepla [41]

3.3.1.3 Výměníkové moduly vložené do potrubí

Výměníkové moduly jsou umístovány přímo do nového i existujícího potrubí, a to do spodní části či k horní hraně. Výměník tepla umístěný u horní hrany je výhodný z hlediska kontroly a revize, instalace je však investičně náročnější. Teplo se z odpadní vody odvádí a odevzdává přes teplosměnnou plochu výměníku. Pod výměníkem jsou většinou umístěna tři potrubí (přívodní, vratné a by-pas), která zabezpečují přenos tepla do tepelného čerpadla a do uživatelského systému (otopný systém, systém přípravy teplé vody, chladicí systém). Důležitým kritériem pro návrh je průtok odpadních vod, jelikož množství odpadních vod ovlivňuje plochu pro přenos tepla, a tím i průměr a pozici potrubí tepelného výměníku. [42] [41]



Obrázek 3-9 Schéma tepelného výměníku vloženého do potrubí [41]

3.4 TEPELNÁ ČERPADLA

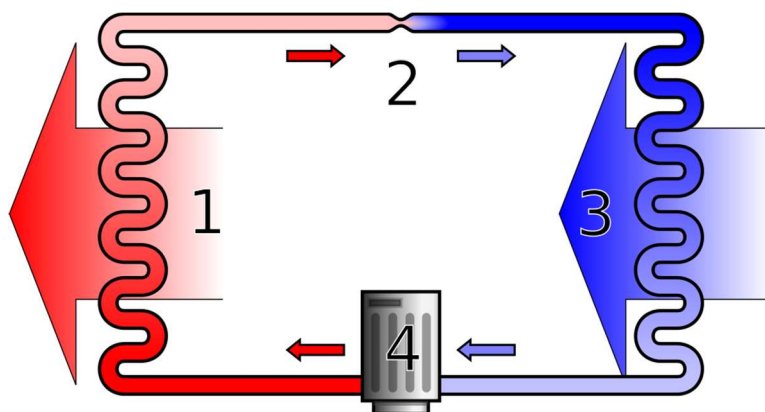
Tepelná čerpadla jsou jedním z alternativních zdrojů obnovitelné energie. Odnímají teplo z okolního prostředí vytápěného objektu (země, vzduchu, vody), převádějí ho na vyšší teplotní hladinu a uvolněné teplo využívají pro vytápění a ohřev teplé vody. Tepelné čerpadlo se většinou skládá ze dvou částí – venkovní a vnitřní. Vnitřní jednotku na první pohled nerozeznáte od běžného plynového kotle nebo ohřívače vody. Nemá žádné zvláštní nároky na umístění ani velikost prostoru a zajišťuje předávání tepla do topného systému. Venkovní část zajišťuje odebrání tepla ze zvoleného „zdroje“ (země, vzduchu, vody). Velikost a podoba venkovní části závisí na tom, z jakého zdroje se teplo získává. [44]

3.4.1 Princip funkce

Tepelná čerpadla využívají fyzikálních vlastností evaporace a následné kondenzace kapalin, nejčastěji jde o nemrznoucí směs. Tepelné čerpadlo stlačí nemrznoucí směs, čímž ji ohřeje na vyšší teplotu a tlak je uvolněn na straně, kde má být teplo absorbováno

Pracovní kapalina je v plynném stavu stlačena a proudí skrz systém pomocí kompresoru. Na druhé straně kompresoru je horká a stlačená kapalina ochlazená ve výměníku tepla zvaném kondenzátor. V kondenzátoru nemrznoucí kapalina kondenzuje a odevzdané teplo míří do topné soustavy. Zkondenzovaná nemrznoucí směs prochází skrz expanzní ventil, kde dochází k ochlazení kapaliny. Ochlazená kapalina poté vstupuje do výparníku, kde kapalina absorbuje teplo a odpařuje se. Dochází k výměně tepla mezi nemrznoucí směsí a vnějším prostředím. Poté nemrznoucí směs putuje do kompresoru, kde je kapalina stlačena za zvýšení teploty na cca 80 °C, poté se cyklus se opakuje.

Je klíčové, aby kapalina dosáhla dostatečně vysoké teploty při stlačení, aby mohla uvolnit teplo skrz tepelný výměník kondenzátoru, stejně tak musí kapalina dosáhnout dostatečně nízké teploty při expanzi, jinak by nedošlo k přenosu tepla z vnějšího prostředí do kapaliny ve výparníku. [43]



Obrázek 3-10 Schéma funkce tepelných čerpadel [43]

(1) Kondenzátor, 2) Expanzní ventil, 3) Výparník, 4) Kompresor)

3.4.2 Typy nejčastěji používaných tepelných čerpadel

3.4.2.1 Tepelná čerpadla země-voda

V plastové trubce, několik set metrů dlouhé (zemním kolektoru), cirkuluje nemrznoucí směs, která se průchodem zemí "ohřívá" o několik stupňů Celsia (v nezámrzné hloubce je stálá teplota cca. 4 °C). Poté putuje do kompresoru, kondenzátoru, výparníku a ochlazená směs zamíří zpět do kolektoru k opětovnému zahřátí. Tento cyklus se neustále opakuje. Odebírat nízkopotenciální energii ze země můžeme pomocí horizontálního plošného kolektoru, nebo z vertikálního vrtu. [45]

Výhody:

- Stabílní topný výkon,
- dlouhodobá životnost,
- absolutně tichý chod.

Nevýhody:

- Vyšší investiční náklady (vrt),
- rozsáhlé pozemní práce (kolektor).

3.4.2.2 Vzduch/voda

Tento systém má mnoho výhod vyplývajících ze snadné instalace a velké univerzálnosti. Tepelné čerpadlo tohoto typu lze namontovat prakticky na jakoukoliv stavbu, a to velmi jednoduše. Při použití tohoto typu odpadají zemní práce spojené s případem zemního tepelného čerpadla, i pořizovací náklady jsou obvykle o něco nižší. Výkon tepelného čerpadla se mění s teplotou venkovního vzduchu, tedy vzrůstá-li teplota venkovního vzduchu, roste i výkon tepelného čerpadla, naopak klesá-li teplota, klesá i výkon. Z tohoto důvodu jsou tepelná čerpadla vzduch/voda většinou provozována v bivaletním provozu, to znamená, že pod bodem bivalence (teplota kolem -3 °C až -5 °C) připíná doplňkový zdroj tepla (zpravidla elektrokotel). [46]

Výhody:

- Snadná instalace,
- nižší investiční náklady.

Nevýhody:

- Proměnlivý výkon v závislosti na teplotě venkovního vzduchu,
- potřeba rezervního zdroj tepla.

3.4.2.3 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch

Tepelná čerpadla vzduch/vzduch pracují na stejném principu jako tepelná čerpadla vzduch/voda, jen s tím rozdílem, že tepelný výkon předávají přímo vnitřnímu vzduchu objektu. Tepelná čerpadla vzduch/vzduch mohou mít jen jednu vnitřní jednotku (split), nebo více vnitřních jednotek (multisplit). Tepelná čerpadla s jednou vnitřní jednotkou se používají pro vytápění malých bytů, temperaci domů nebo chat a chalup. Vnitřní jednotka vytápí pouze prostor, ve kterém je umístěna. Do dalších pokojů za zavřenými dveřmi se teplo dostává obtížněji. Při použití více vnitřních jednotek je ale možné tímto způsobem zajistit vytápění nebo i klimatizaci celého domu. [46]

Výhody:

- Snadná instalace,
- nízké investiční náklady.

Nevýhody:

- Proměnlivý výkon,
- pouze lokální účinek.

3.4.2.4 Tepelná čerpadla voda-voda

Pro tento systém bývá zdrojem povrchová, podzemní či spodní voda, je však možné využít i další zdroje, jako například vodu odpadní. Ze zdroje odebíráme vodu, necháme ji projít výměníkem tepelného čerpadla (výparníkem), který z ní odebere část tepla a zase ji vracíme zpět. Jde o neúčinnější typ tepelných čerpadel využívající relativně stále teploty, teplota je taktéž vyšší než v případě varianty země/voda. [45]

Výhody:

- Vysoký topný faktor,
- krátká doba návratnosti,
- nižší pořizovací náklady.

Nevýhody:

- Malý počet vhodných lokalit.

3.5 PARAMETRY PRO HODNOCENÍ EFEKTIVITY TEPELNÝCH ČERPADEL: COP A SCOP

Energetickou kvalitu samotných tepelných čerpadel jako výrobků mezi sebou může dnes zákazník porovnat dvěma parametry: jmenovitý topný faktor COP a sezónní topný faktor SCOP. COP je určen pro jeden standardní provozní bod, který velmi zhruba odpovídá nejčastějšímu provoznímu stavu. SCOP je integrovaným parametrem, který vyjadřuje sezónní energetickou náročnost tepelného čerpadla. Oba parametry jsou stanoveny pro definované

standardizované podmínky a nemohou poskytnout informaci o chování tepelného čerpadla v reálném nasazení v konkrétní instalaci (budově, otopné soustavě, nastavení regulace).

3.5.1 Jmenovitý topný faktor COP

Definice topného faktoru jako parametru efektivity samotného tepelného čerpadla je uvedena v normě pro laboratorní zkoušení tepelných čerpadel a chladicích zařízení ČSN EN 14511. Hranicemi hodnocení je samotná funkční jednotka tepelného čerpadla. Topný faktor je poměr topného výkonu k celkovému elektrickému příkonu jednotky za ustálených provozních podmínek

$$COP = \Phi / (P_c + P_{aux}) \quad 3.5-1$$

kde:	Φ	tepelný výkon tepelného čerpadla [kW]
	P_c	elektrický příkon kompresoru [kW]
	P	elektrický příkon potřebný pro překonání tlakové ztráty výparníku a kondenzátoru, odtávání výparníku a vlastní regulaci tepelného čerpadla [kW].

S ohledem na průběh zkoušky, především u tepelného čerpadla se vzduchem jako zdrojem tepla, se jedná o poměr středního tepelného výkonu ke střednímu elektrickému příkonu za zkušební časový úsek. V rámci zkušebního časového úseku je nutné uskutečnit několik cyklů odtávání výparníku tepelného čerpadla. Do celkového elektrického příkonu se započítává nejen příkon kompresoru, ale i náročnost odtávání, potřeba elektrické energie regulačních a zabezpečovacích prvků (expanzní ventil, vyhřívání kompresoru jako ochrana proti kondenzaci chladiva apod.) a také elektrický příkon nutný pro překonání tlakových ztrát výměníků (výparník, kondenzátor) tepelného čerpadla při požadovaném průtoku teplotnosných látek. [47]

Topný faktor se stanovuje z laboratorního měření při různých provozních podmínkách (teploty na vstupu do výparníku, teploty na výstupu z kondenzátoru) pro zachycení dostatečného provozního rozsahu. Největší množství bodů se zkouší pro tepelná čerpadla vzduchová, provozovaná ve velkém rozsahu teplot na vstupu do výparníku (pět hodnot od -15 do $+12$ °C), naopak tepelná čerpadla odebírající teplo z vody se zpravidla zkouší pouze pro dvě teploty na vstupu do výparníku (10 °C, 15 °C). [47]

3.5.2 Sezónní topný faktor tepelného čerpadla SCOP (Seasonal Coefficient of Performance)

Topný faktor tepelného čerpadla COP stanovený měřením v laboratoři pro jednu kombinaci provozních podmínek nevyjadřuje dostatečně věrohodně provozní efektivitu tepelného čerpadla provozovaného celý rok v měnících se teplotních podmínkách jak na straně výparníku (zdroje tepla), tak na straně kondenzátoru (odběru tepla), při měnícím se odběrovém výkonu, který tepelné čerpadlo kryje svým tepelným výkonem, případně musí být pokryt záložním zdrojem (elektrokotlem) podle míry dimenzování výkonu tepelného čerpadla vůči odběru. [47]

Lepším kritériem při výběru tepelného čerpadla než jmenovitý topný faktor (za standardních podmínek) je sezónní topný faktor tepelného čerpadla SCOP definovaný normou ČSN EN

14825. Výpočet SCOP vychází z celoroční bilance produkce tepla daného tepelného čerpadla a krytím potřeby tepla budovy definované návrhovou tepelnou ztrátou v otopné sezóně se standardizovanými provozními a klimatickými podmínkami. Výpočet se provádí v otopném období rozděleném na teplotní intervaly po 1 °K. Do SCOP se zahrnuje nejen efektivita produkce tepla tepelným čerpadlem v aktivním chodu, ale také energetické ztráty vlivem cyklování tepelného čerpadla (pokud má vyšší výkon než je tepelná ztráta během otopného období), energetická potřeba záložního elektrokotle (pokud výkon tepelného čerpadla nestačí pro krytí ztráty budovy), energetická spotřeba tepelného čerpadla v pohotovostním režimu či při náběhu, ztráty vychládáním výměníků v době mimo provoz, udržování kompresoru na požadované teplotě, apod. Pro výpočet je nutné mít k dispozici sadu hodnot výkonu a topného faktoru tepelného čerpadla stanovených měřeními v laboratoři pro různé kombinace provozních podmínek podle ČSN EN 14511 a ČSN EN 14825, mezilehlé hodnoty se interpolují. [47]

3.6 NÁVRH SYSTÉMU

Při návrhu energetických rekuperačních systémů je třeba zvážit: [48]

- Zda jsou v komunální sféře vhodné splaškové nebo jednotné kanalizace, resp. zda se v průmyslové oblasti nenacházejí další vhodné zdroje (odpadní voda z výroby, technologických procesů, chlazení atd.),
- zda účinky nepravidelného nárazového přečerpávání a proplachování ovlivňují průměrný průtok v suchém počasí (minimální průtok),
- faktory, které mají značný vliv na teplotu odpadní vody,
- zaústění odpadní vody z průmyslu s vysokou teplotou (možné výkyvy teplot při nepravidelné výrobě a změnách ve výrobě),
- zaústění srážkových vod (může snížit teplotu odpadní vody i na několik hodin, resp. na delší období, například v zimě),
- množství a typ znečištění (kalů) v odpadní vodě,
- sklon a rychlost proudění v místě odběru tepelné energie,
- demografický vývoj v řešené lokalitě,
- spotřebu teplé vody (snížení spotřeby teplé vody na osobu v souvislosti s úsporami),
- instalaci zařízení s úsporným provozem (pračky, myčky nádobí atd.),
- přesídlení větších obchodních nebo průmyslových obvodů,
- možnost oddělení srážkových vod (snížení průtoku by částečně kompenzovalo zvýšení teploty odpadní vody).

Zároveň je nutno znát energetický potenciál odpadní vody, který se dá vyhodnotit z křivky průběhu teploty a průtoku odpadní vody v místě návrhu s ohledem na přípustné, resp. technicky možné změny teploty. Při návrhu je však třeba zjistit i další okrajové podmínky: [48]

- Přibližný denní průtok a teplotu odpadní vody v suchém počasí,
- přibližný denní průtok a teplotu odpadní vody v suchém počasí s případnými odchylkami během pracovních dní a víkendů,
- případné výkyvy teploty odpadní vody během roku (například ochlazení srážkovými vodami nebo chladicí vodou z průmyslu).

Množství využitelného tepla z odpadní vody můžeme spočítat jako [48]

$$Q_{VT} = c \times \rho \times Q_{WW} \times \Delta\theta \quad 3.6-1$$

kde	Q_{VT}	tepelný výkon výměníku tepla [kW]
	C	měrná tepelná kapacita odpadní vody [kJ/(kg×K)]; při teplotách 0 až 20 °C se počítá s hodnotou 4,19
	ρ	hustota odpadní vody [kg/l], při teplotě 0 až 20 °C se počítá s hodnotou 1,0
	Q_{WW}	průtok odpadní vody [l/s]
	$\Delta\theta$	průměrný teplotní rozdíl [K]

Pokles teploty odpadní vody vlivem rekuperace je třeba odhadnout, protože v rámci iteračního plánovacího procesu podléhá neustálým změnám. Za počáteční hodnotu se mohou brát 3 °K. Množství tepla využitelné tepelným čerpadlem je dáno vztahem [48]

$$Q_{T\check{c}} = Q_{VT} \times \left(\frac{SPF}{SPF - 1} \right) \quad 3.6-2$$

Nebo [48]

$$Q_{T\check{c}} = Q_{VT} \times \left(\frac{COP}{COP - 1} \right) \quad 3.6-3$$

kde	Q_{VT}	je tepelný výkon výměníku tepla [W]
	$Q_{T\check{c}}$	tepelný výkon tepelného čerpadla [W]
	SPF	sezonní výkonové číslo tepelného čerpadla [-]
	COP	okamžité výkonové číslo tepelného čerpadla [-]

V případě konkrétního projektu je nutné zjistit také přesné hydraulické poměry. Ty se mohou určit na základě denního, měsíčního a ročního hydrogramu z průměrného denního průtoku odpadních vod (to odpovídá přibližně průtoku v době mezi 10. a 16. hod.). Za noční útlum se považuje časové rozpětí od 24. do 5. hod., kdy má průtok odpadní vody nejnižší hodnoty. Vzhledem k požadované dlouhodobé životnosti, resp. dlouhodobému využití tepelného čerpadla, je vhodné si ověřit, zda mají zjištěné parametry dlouhodobou platnost. Ve střednědobém horizontu může totiž odpadní vodu významně ovlivnit několik faktorů. Při provozu energetického systému na rekuperaci tepla z odpadní vody jsou potom rozhodující především ty změny, které vedou ke snížení průtoku nebo teploty odpadních vod v místě odběru tepla. [48]

Tepelný výkon výměníku tepla závisí na jeho účinné ploše, průměrném teplotním rozdílu mezi teplotou teplonosné kapaliny výměníku (sekundární okruh) a teplotou odpadní vody (zdroj tepla) a na součiniteli prostupu tepla. [48]

Platí, že: [48]

$$Q_{VT} = U \times A_{VT} \times \Delta\theta \quad 3.6-4$$

kde Q_{VT} je tepelný výkon výměníku tepla [W]

U součinitel prostupu tepla [W/(m²×K)]

A_{VT} účinná plocha výměníku tepla [m²]

$\Delta\theta$ průměrný teplotní rozdíl [K]

Součinitel prostupu tepla závisí na různých veličinách (nepředstavuje materiálovou konstantu), jako jsou typ materiálu, tloušťka materiálu či proudění tekutin ve výměníku tepla. Teoretická hodnota součinitele prostupu tepla se u nerezové oceli pohybuje v rozpětích od 0,6 do 0,9 kW/(m². K). Dobré hodnoty prostupu tepla se dosahují především v protiproudých výměnících tepla. [48]

Pokles teploty odpadní vody vlivem odběru tepla na rekuperaci v kanalizačním potrubí závisí na tepelném výkonu výměníku tepla (Q_{VT}), tj. na tom, kolik tepla lze s výměníkem extrahovat z odpadní vody, na průtoku odpadní vody (Q_{WW}), na objemové hmotnosti odpadní vody (ρ) a na měrné tepelné kapacitě odpadní vody (c). Platí, že čím vyšší je průtok odpadní vody, tím nižší je pokles teploty odpadní vody. [48]

Výpočet poklesu teploty odpadní vody se určí jako: [48]

$$\Delta\theta = \frac{Q_{VT}}{c \times \rho \times Q_{WW}} \quad 3.6-5$$

kde $\Delta\theta$ je pokles teploty odpadní vody [K]

Q_{VT} tepelný výkon výměníku tepla [W]

C měrná tepelná kapacita odpadní vody [kJ/(kg×K)]; při teplotě 0 až 20 °C se počítá s hodnotou 4,19

ρ hustota odpadní vody [kg/l]; při teplotě 0 až 20 °C se počítá s hodnotou 1,0

Q_{WW} průtok odpadní vody [l/s]

Změna teploty odpadní vody dále po směru toku lze určit pomocí rovnice: [51]

$$\Delta\theta_2 = (Q_1 \times \Delta\theta_1)/Q_2 \quad 3.6-6$$

kde $\Delta\theta_2$ je pokles teploty odpadní vody [K]

$\Delta\theta_2$ teplota odpadní vody [K]

Q_1 průtok odpadní vody

Q_2 průtok odpadní vody

Z uvedeného vyplývá, že při zvýšení průtoku odpadní vody se zvýší i výkon výměníku tepla, a to bez toho, že by byl pokles teploty odpadní vody menší než 1 °K. Při správném výběru lokality na realizaci energetických systémů na rekuperaci tepla z kanalizace je velmi důležité dbát: [48]

- Na krátkou vzdálenost mezi spotřebitelem (administrativa, bazény, průmyslové provozy, více rodinných domů) a umístěním zpětného získávání tepla,

- na teplotu odpadní vody (pokud je to možné, měla by být konstantní na úrovni přibližně 10 až 15 °C, případně vyšší),
- na minimální průtok odpadní vody na úrovni 10 l/s,
- na minimální průměr kanalizačního potrubí DN 1000 (pro dodatečnou instalaci výměníků), resp. min. průměr DN 400 při prefabrikovaných kanalizačních prvcích s integrovanými výměníky,
- na nízkou teplotu vytápěcí vody (vytápěcí systém v objektu), rekuperační systém je třeba navrhnout jako bivalentní,
- na dostatečné tlakové poměry v potrubním rozvodu,
- na průtok odpadní vody, jeho změny, nečistoty v různých úsecích, jakož i na teplotu odpadní vody (mají velký význam při návrhu, proto se musí stanovit předem),
- na průtokovou rychlost odpadní vody v potrubí (měla by být co nejvyšší, min. 1,0 m/s, aby se nečistoty (biofilm) neusazovaly na dně potrubí),
- na znečištění výměníku tepla (určí se průběžnou kontrolou výstupních údajů — objemový průtok okruhu, teplota přívodní a vratné vody v okruhu výměníku, teplota odpadní vody v kanalizaci)

4 STUDIE ZPRACOVÁNÍ TEPELNÉ ENERGIE ZE STOKOVÉHO SYSTÉMU PŘI MĚSTSKÉM PLAVECKÉM STADIONU LUŽÁNKY

4.1 VSTUPNÍ INFORMACE

Diplomová práce představuje zpracování tepelné energie ze stokového systému při Městském plaveckém stadionu Lužánky na adrese Sportovní 486/4, 602 00 Brno. Předkládaná práce řeší následující:

- Zhodnocení stávajícího stavu s ohledem na získání tepla z OV pro předmětnou lokalitu stávajícího a budoucího plaveckého stadionu Lužánky,
- koncepční návrh pro získání tepla z OV,
- orientační stanovení investičních nákladů,
- orientační propočet ekonomické návratnosti,
- závěr.

4.2 SEZNAM PŘÍLOH

1. Situace širších vztahů	M1:1000
2. Situace katastru nemovitostí	M1:500
3. Technologické schéma	-

4.3 VSTUPNÍ PODKLADY

- Skutečná měsíční spotřeba elektrické energie, tepla a vody včetně fakturace, a to za roky 2013 až 2018,
- údaje o návštěvnosti za roky 2013 až 2018,
- projektová dokumentace „Stavba 25 metrového bazénu MPS Lužánky“ přistavovaného objektu (dále jako „projektová dokumentace“).

4.4 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

4.4.1 Popis zájmové oblasti

Dle zadání od zadavatele bude na vymezených pozemcích v Brně, k.ú. Ponava, na ulici Sportovní viz zájmová lokalita na Obr. 4.4-1, probíhat rekonstrukce plaveckého stadionu Za Lužánkami a výstavba nového krytého bazénu v přilehlém parku. V této studii bude v zájmovém území posouzena možnost vytápění stávajícího objektu, který bude rekonstruován, a navržené přístavby pomocí tepelných čerpadel typu voda/voda využívajících jako zdroj energie pro vytápění/chlazení odpadní vodu ze stoky C vedoucí souběžně s ulicí Sportovní.

4.4.2 Obsah plánované rekonstrukce a výstavby

Součástí rekonstrukce je změna dokončené stavby Městského plaveckého stadionu (MPS) Lužánky a přístavba nové bazénové haly a stavební úpravy stávajícího plaveckého stadionu. Pro přístup návštěvníků do nového bazénu bude sloužit stávající hlavní vstup MPS Lužánky ve 2. NP.

Stavební úpravy stávajícího MPS Lužánky zahrnují budování výtahu a propojovacího železobetonového schodiště, v 1. NP se týkají budování nového hygienického technického zázemí pro nově přistavovaný 25 m bazén, úpravy podlah, bourání příček, úpravy schodišťového ramene, nové instalace a rozvody. Ve 2. NP se úpravy týkají vstupní haly a šaten – nové podlahy, pokladny, turnikety, svítidla, podhledy, povrchy.

Navrhovaná přístavba je řešena jako jednopodlažní objekt se šikmou střechou, svislé nosné konstrukce jsou navrženy v kombinaci obvodových monolitických železobetonových stěn tloušťky 500 mm, na jejichž zhlaví budou uloženy střešní vazníky a vnitřních ocelových sloupů kruhového průřezu.

Podle projektové dokumentace bude vytápění nového objektu napojeno na stávající horkovodní přípojku v plaveckém stadionu DN 100, přípojka je vyhovující i pro přístavbu. Dle návrhu bude objekt vytápěn teplovzdušným vytápěním doplněným vytápěním podlahovým. Zázemí objektu bude vytápěno podlahovým vytápěním a otopnými tělesy. Ohřev TV bude centrální.

Nyní navrhované řešení vytápění počítá se zdrojem tepla z horkovodu, provozovaným společností Teplárny Brno a.s., který zajišťuje dodávku tepla i do stávajícího objektu. Součástí novostavby je kompaktní předávací stanice s tepelnými výměníky o výkonu cca 700 kW.

Stávající objekt je v současné době vytápěn pomocí CZT, tento zdroj tepla bude využit jako 100 % rezerva v případě výpadku odpadových výměníků a pro pokrytí špičkových odběrů. Projektová dokumentace navrhované přístavby počítá s vytápěním pomocí CZT, tento zdroj bude opět využit jako 100 % rezerva a pro pokrytí špičkových odběrů.

4.4.3 Trasa a dotčené pozemky pro realizaci vytápění za pomoci odpadních vod

V rámci této výzkumné zprávy je zpracován návrh alternativního zásobování teplem a chladu plánovaného rekonstruovaného stávajícího plaveckého stadiónu a plánované nové přístavby. Jako zdroj tepelné energie se předpokládá odpadní voda z kmenové stoky C.

Navržená trasa je vedena přes pozemky ve vlastnictví statutárního města Brna, v katastrálním území Ponava [611379]. Na parcele číslo 604/33 je navrženo napojení na stávající stoku, ze které budou odpadní vody gravitačně přivedeny do kruhové podzemní čerpací stanice odpadních vod (OV). Odtud budou odpadní vody výtlačkem převedeny pod místní komunikací (parcelní číslo 604/3) do tepelných výměníků umístěných v budově stávajícího plaveckého stadionu.

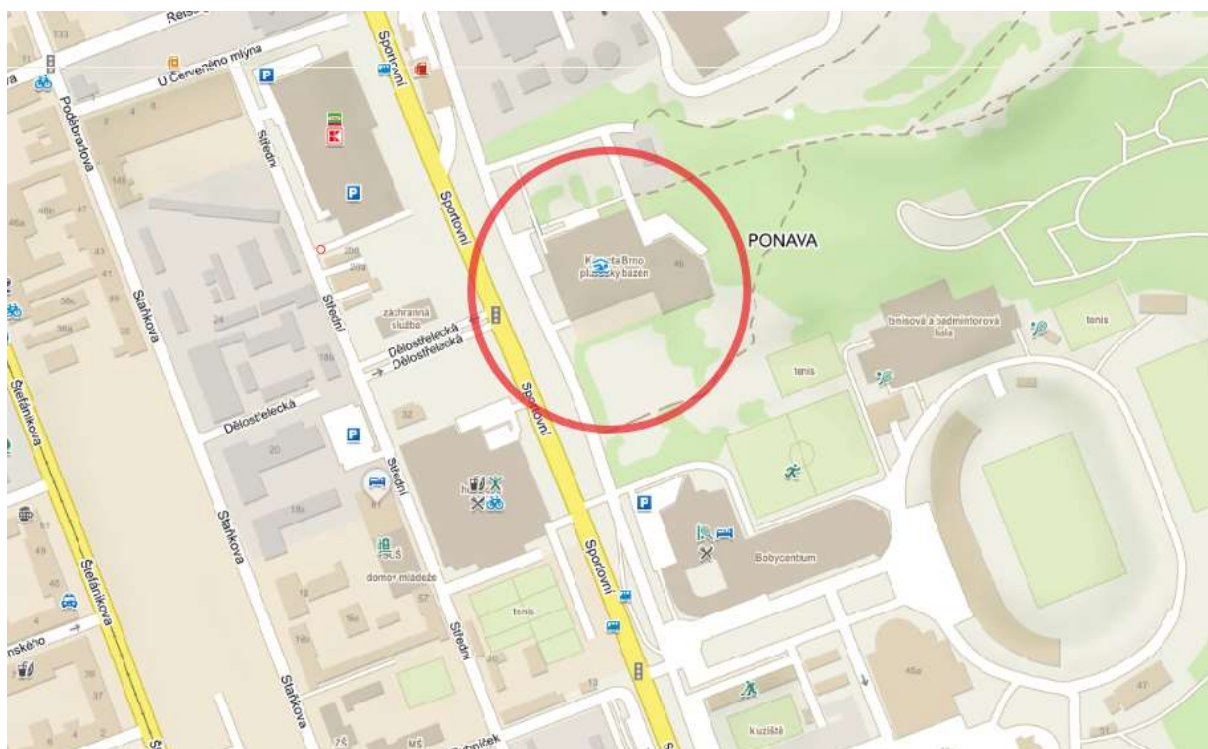
Alternativně je možné provést napojení na stoku na parcele č. 604/18, zde je také možné umístit čerpací stanici OV. Dále by byly odpadní vody vedeny do objektu přes parcely číslo 604/3 a 604/5.

Na parcelách číslo 604/33, 604/18 a 604/5 jsou dle katastru nemovitostí vedena omezení vlastnického práva. Vedení trasy a dotčené parcely jsou zřejmé z přílohy č.2 Situace katastru nemovitostí.

Tab. 4.4-1 Dotčené parcely dle návrhu a dotčené parcely dle alternativního vedení trasy

Stávající návrh trasy			
č. parcely	Vlastník	Způsob využití	Omezení vl. práva
604/33*	Statutární město Brno	Manipulační plocha	Podle listiny
604/3	Statutární město Brno	Ostatní komunikace	-
604/6	Statutární město Brno	Zeleň	-
Alternativní návrh trasy			
č. parcely	Vlastník	Způsob využití	Omezení vl. práva
604/18*	Statutární město Brno	Jiná plocha	Vedení
604/3	Statutární město Brno	Ostatní komunikace	-
604/5*	Statutární město Brno	Zeleň	Zřizování a provozování vedení

* Na parcele je vedeno věcné břemeno



Obr. 4.4-1 Zájmová oblast

4.4.4 Dotčené sítě

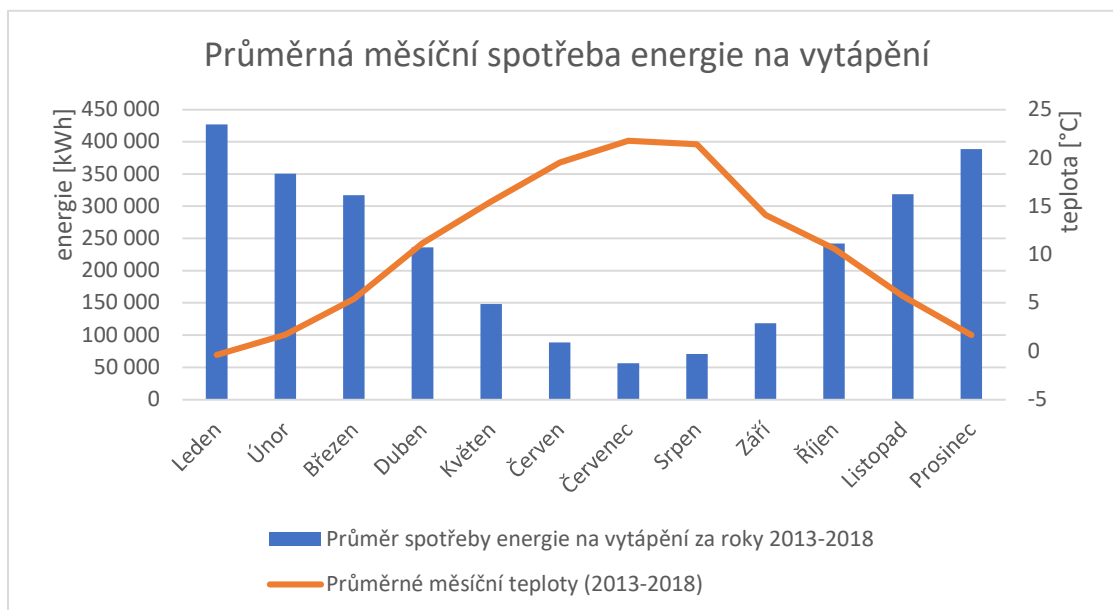
Na pozemcích, na nichž má být umístěna vlastní navrhovaná stavba čerpací stanice (ČS), se v současné době nacházejí inženýrské sítě, jejichž poloha bude ověřena a zdokumentována v navazující projektové dokumentaci pro územní rozhodnutí.

4.4.5 Zhodnocení potřeby tepelné energie

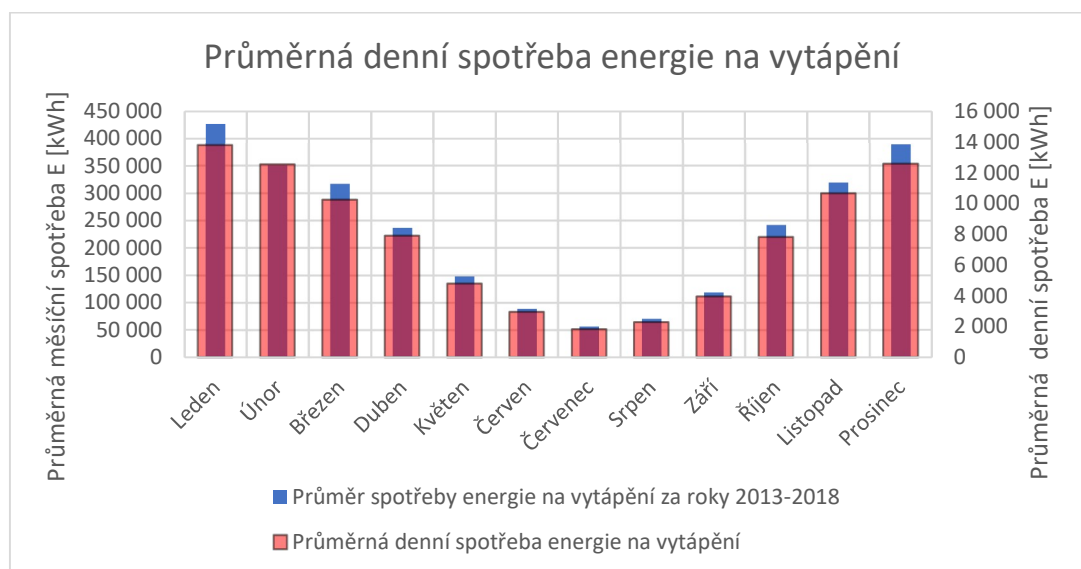
4.4.5.1 Stávající objekt městského plaveckého stadionu (MPS)

Pro zhodnocení energetické náročnosti budovy městského plaveckého stadionu (MPS) pro vytápění byla využita data o skutečné spotřebě energie na vytápění za roky 2013 až 2018.

Zprůměrováním hodnot byla dopočítána průměrná potřeba energie v jednotlivých měsících pro vytápění.



Graf 4.4-1 Skutečná měsíční spotřeba energie na vytápění stávajícího objektu Městského plaveckého stadionu Lužánky



Graf 4.4-2 Skutečná denní spotřeba energie na vytápění stávajícího objektu Městského plaveckého stadionu Lužánky

Energeticky nejnáročnějším obdobím jsou chladné měsíce, kdy je potřeba více energie pro vytápění. V současném stavu není součástí objektu systém pro chlazení budovy, potřeba energie pro chlazení není tedy v těchto datech zahrnuta. Při rekonstrukci se počítá s návrhem systému pro chlazení budovy z důvodu příliš vysokých teplot v objektu MPS během teplých měsíců. Dle upřesnění požadavku zadavatele je uvažováno s budoucí potřebou chladu pro měsíce květen až září. Pro chlazení budovy budou sloužit nově navržené tepelné výměníky posuzované v této výzkumné zprávě. Pro stanovení potřebné energie na chlazení bylo odhadem předpokládáno 50 % využití maximálního výkonu výměníků, a to pro stávající objekt i pro přístavbu.

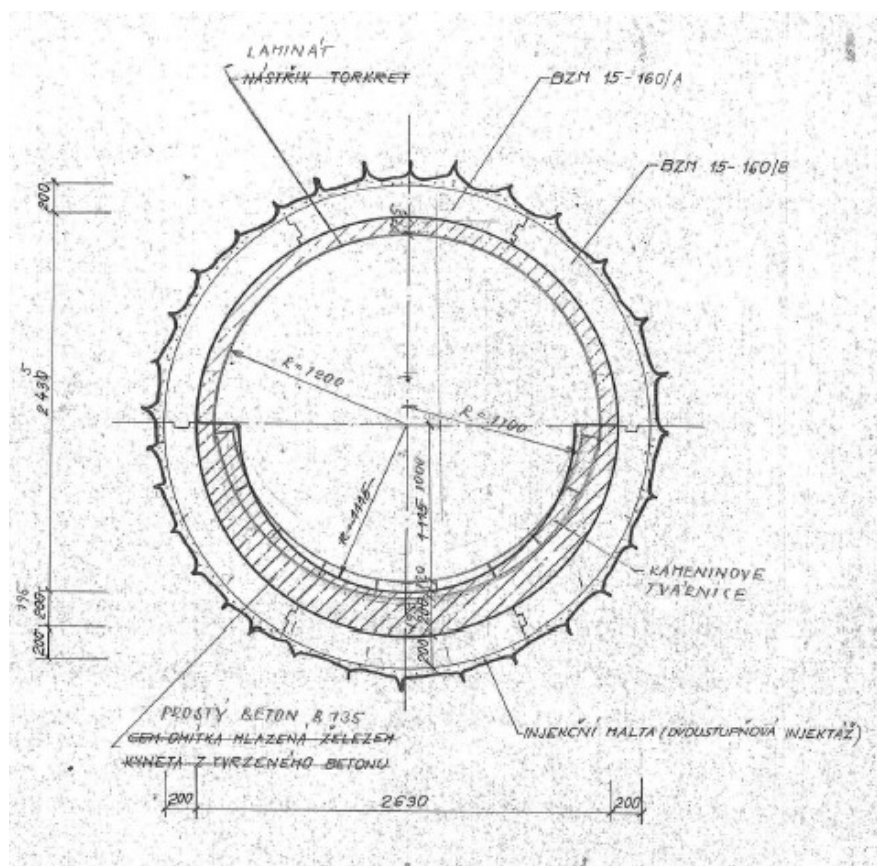
4.4.5.2 Přístavba MPS

Energetická náročnost přistavovaného objektu byla převzata z projektové dokumentace „Stavba 25 metrového bazénu MPS Lužánky“ pro vydání územního rozhodnutí a stavebního povolení, generálním projektantem je Centropjekt Group a.s., Štefánikova 167, 760 01 Zlín. Potřebný maximální přípojný topný výkon dle dokumentace je 574 kW, celková potřeba tepla je odhadována na 1395 MWh/rok.

Projektová dokumentace nepočítá se systémem pro chlazení budovy. Pro chlazení budovy budou sloužit nově navržené tepelné výměníky. Pro stanovení potřebné energie na chlazení bylo odhadem předpokládáno do 50 % využití maximálního výkonu výměníků, a to pro stávající objekt i pro přístavbu.

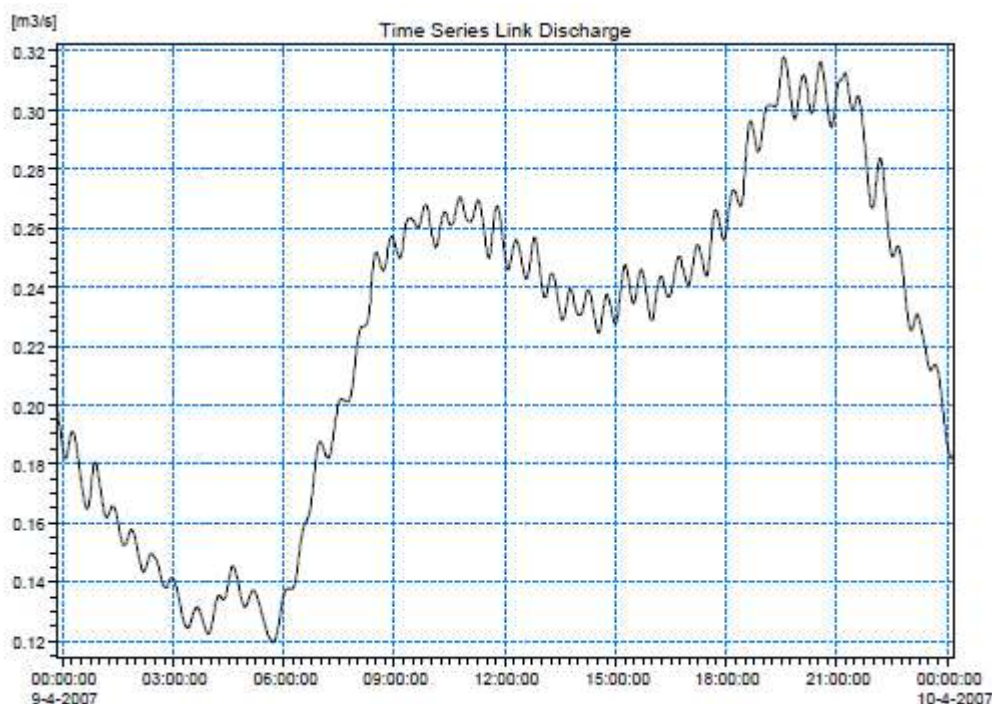
4.4.6 Zdroj odpadních vod

V rámci této práce je uvažováno, že odpadní vody budou gravitačně svedeny do čerpací stanice OV z kmenové stoky C vedoucí souběžně s ulicí Sportovní. Tato stoka je tvořena železobetonovými tvárnicemi, na ně navazuje vrstva prostého betonu, který je pokryt laminátem. Dno stoky je vyskládáno tvárnicemi z kameniny. Potrubí je po obvodu pokryto jílocementovou injekční směsí. Výplň styčných a ložných spár je provedena tmelem a mikroasbestem, viz řez stoky na Obr. 4.4-2. Dle informací od provozovatele stoky Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. (BVK, a.s.) stoka není v dobrém stavebně-technickém stavu.



Obr. 4.4-2 Vzorový příčný řez stokou C v předmětné lokalitě u objektu MPS [BVK, a.s.]

Průměrný bezdeštný průtok OV ve stoce se dle podkladů provozovatele sítě BVK, a.s. pohybuje okolo 215 l/s. Množství OV je dostačující pro správnou funkci tepelných výměníků. Výrobce tepelných výměníků Huber udává pro jeho tepelné výměníky řady RoWin 8 minimální kontinuální průtok odpadní vody 5 l/s, maximální průtok na jeden výměník je 32 l/s. [49] Průměrný průtok odpadních vod ve stoce byl stanoven dle podkladů od BVK, a.s., viz Graf 4.4-3.



Graf 4.4-3 Denní bezdeštný průtok ve stoce [BVK, a.s.]

Dle připomínky BVK a.s. bude v rámci navržené akce měřeno množství odebrané energie z OV, které bude fakturováno s ohledem na ztížené provozování stokového systému. Cenu za odebranou tepelnou energii je potřeba ze strany zadavatele této výzkumné zprávy probrat s vlastníkem stokového systému (Statutární město Brno) a provozovatelem stokového systému a ČOV Modřice (BVK, a.s.). Množství odebrané tepelné energie bude měřeno teplotními čidly, jež jsou součástí řízení technologie výměníků a zároveň bude měřeno průtočné množství OV průtokoměry. Maximální hodnota odebrané teploty z OV bude posouzena technologem ČOV vzhledem k aktivačním procesům na ČOV Modřice.

Vzhledem k možnosti tvoření ucpávek na gravitační výusti OV ze systému zpět do stoky C je dle požadavků BVK a.s., počítáno s instalací odstříkovací trysky pro rozplavení případných ucpávek ve vratce do stokového systému. Napojení provozního vodovodu pro funkci odstříku bude provedeno v prostorech pro výměníky a přivedeno potrubím PE63, viz přílohy. V rámci navazující projektové dokumentace je potřeba posoudit možnost instalace vizuální kontroly odběrného potrubí a vratky např. prostřednictvím kamery.

4.4.7 Ochlazení/oteplení odpadní vody

Předáváním tepelné energie z OV do budovy dochází ke změně teploty těchto OV. Při vytápění objektu je OV ochlazována, při chlazení objektu teplota OV narůstá. Změna teploty může mít

nepříznivý vliv na procesy čištění v čistírně odpadních vod. Dle rovnice 3.6-5 bylo orientačně dopočítáno ochlazení/oteplení odpadní vody odebrané z kmenové stoky. Ochlazení/oteplení odpadní vody v kmenové stoce C za zaústěním odebraných OV z technologie kalových výměníků a změna teploty vody na čistírně odpadních vod byly dopočítány dle vzorce 3.6-6.

Pro výpočet změny teploty OV na čistírně odpadních vod byla využita data o průměrném průtoku OV čistírnou dle dostupných informací na webu BVK, a.s. [50]

Tab. 4.4-2 Pokles teploty OV při vytápění SO a NO

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U_{\text{výměníku}}$ [kW]	500	500	500	600	600	700	700	700	700	600	600	500
$\Delta T_{\text{odběr}}$ [°C]	1,24	1,24	1,24	1,49	1,49	1,74	1,74	1,74	1,74	1,49	1,49	1,24
ΔT_{stoky} [°C]	0,56	0,56	0,56	0,67	0,67	0,78	0,78	0,78	0,78	0,67	0,67	0,56
$\Delta T_{\text{čOV}}$ [°C]	0,027	0,027	0,027	0,033	0,033	0,038	0,038	0,038	0,038	0,033	0,033	0,027

Tab. 4.4-3 Zvýšení teploty OV při chlazení SO a NO

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U_{\text{výměníku}}$ [kW]	0	0	0	0	153	204	255	255	204	0	0	0
$\Delta T_{\text{odběr}}$ [°C]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,51	0,63	0,63	0,51	0,00	0,00	0,00
ΔT_{stoky} [°C]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,23	0,28	0,28	0,23	0,00	0,00	0,00
$\Delta T_{\text{čOV}}$ [°C]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,011	0,014	0,014	0,011	0,000	0,000	0,000

Při vytápění/chlazení objektu nedojde k výraznému ovlivnění teploty OV přitékajících na čistírnu odpadních vod (ČOV), maximální hodnoty ochlazení OV na přítoku na ČOV dosahují 0,038 °C. Početnější využití tepelné energie z OV by však mohlo mít výrazný vliv na proces čištění.

4.5 KONCEPČNÍ NÁVRH PRO ZÍSKÁNÍ TEPLA Z OV

V rámci odborného posouzení je přistoupeno k zohlednění nejmodernějších vědeckých poznatků v oblasti technologie čištění OV, prognózy rozvoje území a ve vazbě na dosažení maximální ekonomické efektivity. V této studii je koncepčně posouzen zisk tepla/chladu pomocí odebírání tepelné energie z OV. Pro získání tepelné energie z OV byla ve studii uvažována technologie od společnosti Huber, tepelné výměníky řady RoWin.

4.5.1 Odběrný objekt

V místě odběru OV bude vybudována nová kanalizační šachta čtvercového půdorysu přístupná vrchním poklopem pro možnost revize místa napojení odběrného a vratného potrubí. Z důvodu předpokládaného výskytu většího množství splavenin bude ve stěně šachty vybudována dlužová stěna, která bude sloužit pro manuální regulaci přelivné výšky OV. V tomto prostoru budou také vsazeny ručně čištěné hrubé česle pro zachycení plovoucích nečistot.

V místě vyústění OV (společně se shrabky z mechanického předčištění) zpět do kanalizační stoky C bude v kanalizační šachtě umístěna odstřikovací tryska pro rozplavení ucpávek napojená na tlakový vnitřní vodovod v plaveckém stadionu Lužánky.

Po vybudování kanalizační šachty bude tato šachta převedena do majetku Statutárního města Brna a předána do provozování provozovateli BVK, a.s.

4.5.2 Čerpací stanice OV a její vystrojení

Předpokládá se zaústění přívodního (napojovacího) potrubí DN 300 do nově vytvořené čerpací stanice OV. Objekt čerpací stanice je navržen jako spouštěná studna o vnitřním průměru 3,0 m s konstrukční hloubkou cca 11,5 m, tloušťky stěny 500 mm.

Čerpací stanice OV bude hloubena jako spouštěná studna od povrchu terénu. Na terén bude osazen břit z ocelového plechu, vyztužený trojúhelníkovými výztuhami. Na tyto výztuhy bude přivařena svislá výztuž, vnější obvod bříty bude přesazen o 100 mm přes plášť studny. Pro betonáž stěn bude na břit osazeno kruhové bednění, zemina pod břitem bude postupně těžena drapákem se současným betonováním stěn. Síla stěn je navržena 500 mm. Ocelové bednění bude posouváno směrem nahoru s postupující betonáží, vzniklý prostor mezi vnějším pláštěm a zeminou se vyplní štěrkopískovým obsypem. Podkladní betonová deska je navržena v tloušťce 300 mm, dno nádrže bude vytvořeno z ocelového plechu tl. 10 mm. Na ocelovém dně se provede opět železobetonová deska z vodostavebního betonu tl. 300 mm. Na dně bude provedeno vybetonování šikmých náběhů směrem k čerpadlům.

V jímce bude umístěn prvek mechanického předčištění. Kvůli kompaktnosti a snadné instalaci do omezených prostorů zde bude umístěno čištěné síto s vertikálním odstraňováním a odvodňováním shrabků. Jde o robustní, na údržbu nenáročné zařízení, které je čištěno automaticky. K odstranění nerozpuštěných látek dojde na povrchu válcového síta v závislosti na perforaci. Kartáče čistí perforovaný koš a dopravník dopravuje shrabky směrem nahoru. V této fázi dochází k odstraňování a odvodňování shrabků zároveň. Shrabky jsou dále „vyvrhovány“ do odtokového potrubí (vratka) nerez DN 300 a odtud vedeny do gravitační stoky odvádějící OV z výměníků zpět do kmenové stoky. Pro případné čištění je navrhnut čistící kus. Přítoková komora je otevřená a slouží rovněž jako obtok. Hlavní výhodou je, že celý systém může být zatopen. Celá konstrukce je vyrobena z nerezové oceli 304L, nebo materiálu podobné kvality mořené v kyselině (kromě vzduchotechniky a hadic).

Mechanicky předčištěná OV dále stéká po spádovaném betonu k čerpadlům. Pro návrh čerpadel je nutné stanovit počáteční údaje, čerpané množství se odvíjí od maximálního nátoku na tepelné výměníky. Výrobce Huber pro svoje tepelné výměníky řady RoWin 8 uvádí maximální průtok 32 l/s, při instalaci tří výměníků je maximální průtok 96 l/s. Čerpadla by byla osazena frekvenčním měničem, DN výtlaku je navrženo o průměru 250 mm.

K vyčerpání OV jsou navrženy dvě kalová ponorná čerpadla z šedé litiny, osazená na patkové koleno a vodící tyče. Do toho prostoru je spádována celá jímka. Obě čerpadla musí být osazena frekvenčními měniči, které jsou naprogramovány tak, aby na výměník nikdy neteklo více než 90 l/s. Čerpadla se v provozu střídají. Při bezdeštném průtoku systém udržuje konstantní provozní hladinu: změnou frekvence, při zachování nastavené provozní hladině, umožní regulaci v rozsahu 3–90 l/s. Čerpadlo (v provozu je vždy pouze jedno, druhé je rezerva) v tomto režimu přizpůsobuje svůj výkon přítoku. Pokud však klesne přítok pod určitou hodnotu (cca 6 l/s), nelze již snižovat průtok čerpadla snižováním otáček a při čerpání se začne hladina snižovat, až se dosáhne minimální (a vypínací) provozní hladiny. Hladina poté vystoupá na maximální provozní hladinu a čerpadlo se znovu sepne.

Jiný provozní režim bude při dešti, při zvýšené hladině ve stoce se začne zvyšovat hladina i v čerpací jímce a čerpadlo začne čerpat větší množství. Do průtoku cca 90 l/s se nemusí snižovat průtok čerpadlem, při max. provozní hladině by však mohl průtok čerpadlem překročit max. průtok výměníkem (průtok může být v tomto případě cca 100 l/s, a proto bude snížena frekvence, aby průtok čerpadlem nepřekročil max. průtok $3 \cdot 32 \text{ l/s} = 96 \text{ l/s}$).

Celkový provozní objem činí cca 34,0 m³. Čerpadla budou v provozu při dostatečném přítoku celý den. Střídat se budou podle časového spínače tak, aby jedno čerpadlo pracovalo 1/3 času a druhé 2/3 času. Dá se tak předejít situaci, kdy by se obě čerpadla odstavila z důvodu poruchy zároveň. K manipulaci s čerpadly se využijí poklopy, při manipulaci je čerpadlo vedeno po vodicích tyčích za pomoci řetězu.

Přístup do čerpací stanice bude zajištěn horními poklopy, všechny vodotěsné a pachotěsné. Odvětrání bude zajišťovat vzduchotechnické potrubí. Rozváděcí skříň pro čerpadla, automatické systémové řízení a měření a regulace se bude nacházet v objektu koupaliště.

V navazující projektové dokumentaci pro územní rozhodnutí bude potřeba zvážit osazení výkonnějšího třetího, havarijního čerpadla pro možnost přečerpání OV včetně sedimentů vytvořených ve dně čerpací stanice OV.

4.5.3 Kanalizační výtlak do tepelných výměníků

Samotný výtlak DN 250 začíná za patkovým kolenem. Čerpaná OV dále pokračuje nerezovým potrubím přes zpětnou klapku a šoupě ke společné části potrubí (protože bude v provozu vždy pouze jedno z dvojice čerpadel, tak není potřeba zvyšovat průměr společného výtlaku). Dále dochází k rozdělení průtoku do tří větví. Výtlak přechází do vnitřního průměru 200 mm. Na každé větvi je osazen indukční průtokoměr DN 100 s požadovanými uklidňujícími délkami. Těsně před výtokem do výměníku je osazeno nožové šoupě DN 200.

4.5.4 Tepelné výměníky

Tepelný výměník bude fungovat po celý rok, a to jak pro chlazení, tak i vytápění objektu. Uvažuje se umístění tepelných výměníků do stávající strojovny MPS. Hmotnost jednoho výměníku je cca 2,4 tuny bez vody, s vodou jeden výměník váží do 10 tun. U tepelných výměníků s velkým výkonem se vyplatí využít tepelná čerpadla i pro chlazení. K návrhu chlazení byla použita průměrná teplota OV ve stoce ve všech měřených měsících. Součinitel prostupu tepla byl dodán od výrobce Huber, stejně jako účinná plocha výměníku. Dále byl vypočítán tepelný výkon tepelného čerpadla s odhadnutou hodnotou chladicího faktoru.

Je uvažováno se třemi výměníky RoWin 8, skládající se z vinutého potrubí DN 20 připevněného na nerezový rám v nádrži výměníku. Celá konstrukce je vyrobena z nerezové oceli 304L nebo materiálu podobné kvality mořené v kyselině (kromě vzduchotechniky a souvisejících hadic). Maximální obsah kyseliny sírové ve vzduchu může být 6 ppm.

4.5.5 Odtokové potrubí

Odtokové potrubí tvoří tři potrubí z nerez oceli DN 250, kterými odtéká OV a sedimentující nerozpuštěné látky z výměníku tepelné energie. Hlavní odtokové potrubí z nerez oceli DN 300, do kterého se tři potrubí DN 250 napojují. Potrubí musí být položeno v minimálním sklonu. Aby

nedocházelo k ulpívání nerozpuštěných látek na stěnách potrubí, umisťují se na odtokovém, a přítokovém potrubí čisticí kusy. Za systémem mechanického předčištění přechází nerezové potrubí do vyšších sklonů, aby došlo k splachu shrabků z mechanického předčištění.

4.6 STANOVENÍ NÁKLADŮ

4.6.1 Propočet investičních nákladů s ohledem na navržené technické řešení

Na základě koncepčního návrhu je možné stanovit orientační propočet investičních nákladů, viz následující tabulka Tab. 4.6-1. Tabulka specifikuje investiční náklady na napojení a přípojné potrubí OV ze stoky, kanalizační šachtu, přípojovací potrubí v zemi, výstavbu čerpací stanice OV, nadzemní úpravu čerpací stanice jako poklopy a prostupy, technologické vystrojení (mechanické předčištění, výměníky, potrubí, armatury, funkční prvky), MaR, telemetrii, strojní elektroinstalace, dílčí stavební elektroinstalace, dále ostatní a vedlejší náklady stavby. **Součástí ceny nejsou investiční náklady na sekundární okruh vytápění/chlazení čerpadel, podlahové topení, vzduchotechniku apod.** Je uvažováno pouze s přepojením primárního okruhu na stávající primární/sekundární okruh výměníků.

Tab. 4.6-1 Orientační propočet investičních nákladů pro získání tepelné energie z OV bez primárního a sekundárního okruhu tepelných čerpadel

Ozn.	Popis	Měrná jednotka	Počet měrných jednotek	Cena za měrnou jednotku v Kč bez DPH	Cena celkem v Kč bez DPH
Stavební část					
1	Zemní práce pro obnažení stoky, stavba kanalizační šachty včetně řešení nátoky (dlužová stěna, česle) napojení DN 300, zásyp stoky, lokální úpravy terénu	kpl	1	1 000 000	1 000 000
2	Čerpací stanice bez vystrojení (stavební část)	kpl	1	1 000 000	1 000 000
3	Gravitační kanalizační potrubí PP DN 300	bm	80	10 000	800 000
4	Kanalizační výtlač PE 315	bm	64	10 000	640 000
5	Provozní vodovod PE 63 (souběh s kan. potrubím)	bm	77	2 500	192 500
6	Připojení NN do čerpací stanice	bm	10	2 000	20 000
Technologická část					
7	Propojovací potrubí primárního a sekundárního okruhu pro topení a chlazení v suterénu stávajícího bazénu	ks	1	500 000	500 000
8	Nožový uzávěr DN 300 se zemní teleskopickou soupravou	ks	2	45 000	90 000
9	Nožové šoupátko DN 300 s elektropohonem	ks	1	75 000	75 000
10	Strojní svislé česle bez lisování shrabků.	ks	1	450 000	450 000
11	Ponorné kalové čerpadlo (čerpací stanice) odpadních vod	ks	2	210 000	420 000
12	Kladkostroj s elektropohonem a pojezdovou kočkou	ks	1	39 000	39 000
13	Zpětná klapka přírubová se šikmým sedlem, DN 250	ks	2	35 000	70 000
14	Nožový uzávěr, DN 250, ruční ovládání	ks	2	30 000	60 000

15	Automatický od a zavzdušňovací ventil	ks	1	25 000	25 000
16	Indukční průtokoměr DN 100.	ks	3	35 000	105 000
17	Nožový uzávěr DN 200 s elektropohonem ovládání	ks	3	45 000	135 000
18	Výměník tepla	ks	3	3 500 000	10 500 000
19	Řotační lamelové dmychadlo	ks	3	25 000	75 000
20	Zpětná klapka přírubová se šikmým sedlem, DN 300	ks	1	40 000	40 000
21	Pístový kompresor s tlakovou nádobou	ks	1	30 000	30 000
22	Nožový uzávěr DN 300 s pneupohonem	ks	1	49 000	49 000
23	Čistící kus přírubový DN 300, litina	ks	1	59 000	59 000
24	Potrubi nerez	kpl	1	250 000	250 000
25	MaR, telemetrie, strojní elektroinstalace, dílčí stavební elektroinstalace	kpl	1	250 000	250 000
Ostatní náklady					
26	Blíže nespecifikovaný montážní a těsnící materiál určený pro kompletní namontování technologických zařízení	kg	1	100 000	100 000
27	Ostatní a vedlejší rozpočtové náklady (zařízení staveniště, komplexní a individuální zkoušky, zaškolení obsluhy, provozní řád, projektová dokumentace skutečného provedení stavby apod.)	ks	1	800 000	800 000
28	Projekční příprava	-	-	-	700 000
Cena celkem za stavební část v Kč bez DPH					3 652 500
Cena celkem za technologickou část v Kč bez DPH					13 222 000
Cena celkem za ostatní náklady Kč bez DPH					1 600 000
Cena celkem za výše uvedené v Kč bez DPH					18 474 500

Investiční náklady stavby je možné zpřesnit až po vypracování projektové dokumentace pro územní rozhodnutí. Další zpřesnění je možné až po vypracování projektové dokumentace pro stavební povolení a po vypracování projektové dokumentace pro provádění stavby se zpracováním kontrolního položkového rozpočtu stavby v aktuální cenové hladině RTS nebo URS.

4.6.2 Vstupní informace týkající se ekonomické návratnosti

4.6.2.1 Skutečná spotřeba tepla pro vytápění stávajícího objektu

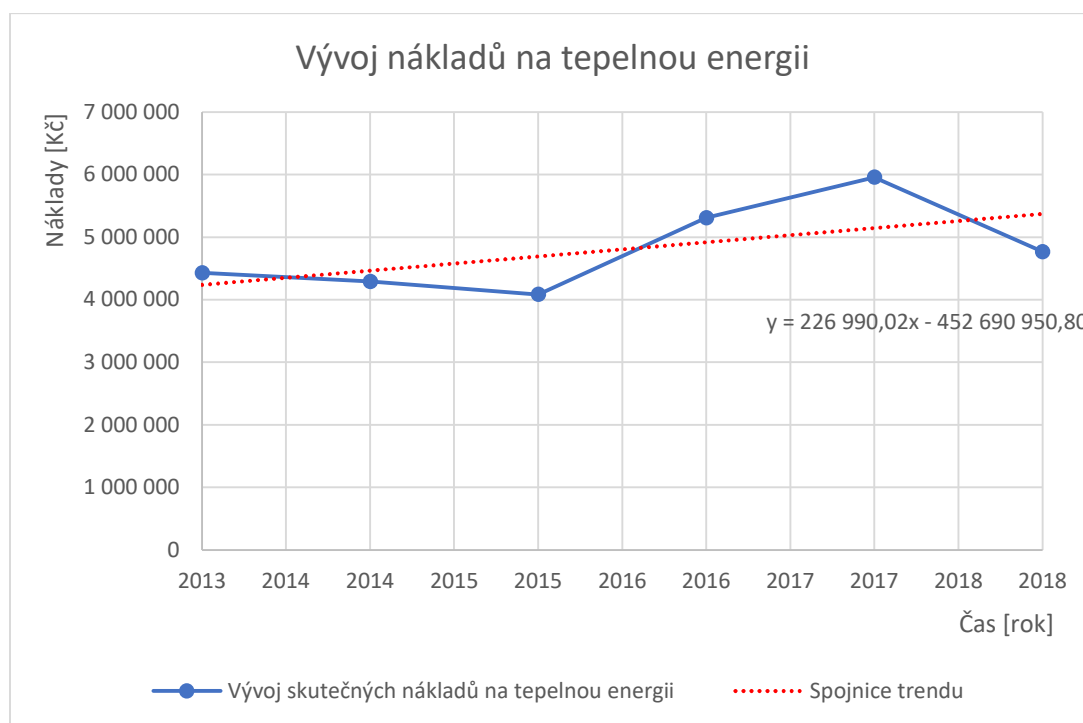
Pro výpočet ekonomické návratnosti byla využita data o skutečné spotřebě tepla za roky 2013 až 2018 a data o nákladech za teplo pro stávající MPS. Z těchto dat byla vypočítána průměrná spotřeba tepelné energie v jednotlivých měsících, její cena a maximální tepelný výkon. Pro výpočet nákladů na vytápění pomocí CZT byly využity skutečné náklady na vytápění za roky 2013 až 2018.

Tab. 4.6-2 Skutečná spotřeba tepelné energie a její cena pro stávající MPS (průměr za roky 2013 až 2018)

Měsíc	Skutečná spotřeba E na vytápění [GJ]	Skutečná spotřeba E na vytápění [kWh]	Průměrná denní spotřeba E na vytápění [kWh/den]	Maximální výkon [kW]	Fakturace [Kč bez DPH]
Leden	1 536	426 739	13 766	574	742 956
Únor	1 262	350 545	12 519	522	594 434
Březen	1 141	316 976	10 225	426	553 347
Duben	851	236 375	7 879	328	405 191
Květen	534	148 207	4 781	199	254 714
Červen	319	88 630	2 954	123	149 555
Červenec	203	56 359	1 818	76	94 257
Srpen	255	70 842	2 285	95	122 955
Září	426	118 445	3 948	165	229 471
Říjen	871	241 917	7 804	325	419 936
Listopad	1 148	318 840	10 628	443	557 280
Prosinec	1 400	388 914	12 546	523	683 338
Σ=	9 946	2 762 789			4 807 436

Tab. 4.6-3 Skutečná spotřeba tepelné energie a její cena v letech pro stávající MPS

Rok	Spotřeba [MWh]	Náklady [Kč bez DPH]	Náklady [Kč/kWh]
2018	2 777	4 770 624	1,72
2017	3 491	5 958 245	1,71
2016	3 032	5 312 298	1,75
2015	2 323	4 085 407	1,76
2014	2 446	4 290 050	1,75
2013	2 508	4 427 989	1,77
ø=		4 807 436	1,74



Graf 4.6-1 Vývoj nákladů na tepelnou energii ve stávajícím objektu MPS

Stávající skutečná potřeba tepla pro MPS je 2763 MWh/rok, což představuje finanční objem cca 4807 tis. Kč bez DPH/rok. S těmito údaji je dále kalkulováno v navazujících ekonomických propočtech.

Vývoj nákladů v Graf 4.6-1 byl zohledněn při výpočtu návratnosti investice, kde byly dle trendu vývoje nákladů navyšovány náklady na vytápění, a to jak pro CZT, tak pro OV. Náklady byly navyšovány průměrně o 2,7 % procenta ročně.

4.6.2.2 Potřeba tepla pro přístavbu

Energetická náročnost přistavovaného objektu byla převzata z projektové dokumentace „Stavba 25 metrového bazénu MPS Lužánky“ pro vydání územního rozhodnutí a stavebního povolení, generálním projektantem je Centropjekt Group a.s., Štefánikova 167, 760 01 Zlín. Potřebný maximální přípojný topný výkon dle dokumentace je 574 KW, celková potřeba tepla je odhadována na 1395 MWh/rok.

4.6.2.3 Potřeba chladu pro SO a NO

V současné době neexistuje ve stávajícím objektu systém pro chlazení a projektová dokumentace pro přístavbu nepočítá s chlazením objektu, nicméně dle požadavku zadavatele budou plánované tepelné výměníky primárním zdrojem chladu pro obě stavební části, a to pro měsíce květen až září. Pro stanovení potřebné energie na chlazení bylo odhadem předpokládáno do 50 % využití maximálního výkonu výměníků, a to pro stávající objekt i pro přístavbu.

4.6.2.4 Shrnutí

Energie na vytápění stávajícího objektu (SO)	2 763 MWh/rok
Energie na vytápění nového objektu (NO)	1 395 MWh/rok
Energie pro chlazení SO a NO	782 MWh/rok

Celková potřeba energie na vytápění	4 158 MWh/rok
Celková potřeba energie na chlazení	782 MWh/rok

Podíl SO na celkové potřebě energie na vytápění 66 %

Podíl NO na celkové potřebě energie na vytápění 34 %

4.6.2.5 Ostatní informace

Není nutné řešit zábor místa v objektu MPS na úkor moderní technologie s výměníky, ekonomický dopad je minimální. Ve stávající budově se momentálně nachází volný prostor, který by mohl být využit pro umístění výměníků. Jedná se o prostor stávající strojovny.



Obr. 4.6-1 Volný prostor pro umístění výměníků ve stávající strojovně MPS

4.6.3 Výkon výměníků a využitelnost energie v budově pro vytápění a chlazení

Tab. 4.6-4 Porovnání potřeby objektu s výkony tepelných výměníků

Stoka (měsíc a teplota), odhad teploty ve stoce		Maximální souběžná potřeba tepelného výkonu v kW pro vytápění a chlazení objektu za měsíc		Orientační teoretický max. výkon výměníků za měsíc	Dopočítaný průměrný výkon výměníků za měsíc*	Dopočítaná teoretická využitelnost energie (85 %)
Měsíc	Průměrná teplota ve stoce [°C]	pro topení [kW]	pro chlazení [kW]	[kW]	[kW]	[kW]
Leden	12,5	863	0	500	458	390
Únor	11,8	785	0	500	458	390
Březen	11,8	641	0	500	458	390
Duben	13,5	494	0	600	550	468
Květen	14,8	300	153	600	550	453
Červen	16,8	185	204	700	642	389
Červenec	17,8	114	255	700	642	369
Srpen	18,2	143	255	700	642	398
Září	18,7	248	204	700	642	452
Říjen	17,2	489	0	600	550	468
Listopad	15,3	666	0	600	550	468
Prosinec	13,6	787	0	500	458	390
Průměr	15,2	476	89	600	550	418
Celkem (MWh) za rok		4158	782	5256	4818	3666

*6 hodin pojednou 2 výměníky a 18 hodin pojednou 3 výměníky

4.6.4 Náklady na vytápění SO a NO pouze pomocí CZT

Stávající objekt (SO)

Roční spotřeba tepla pro vytápění	2 762 789 kWh
Potřeba špičkového tepelného výkonu	574 kW
Skutečné náklady na vytápění	4 807 436 Kč/rok (bez DPH)

Přístavba (NO)

Roční potřeba tepla pro vytápění	1 395 000 kWh
Potřeba špičkového tepelného výkonu	574 kW
Odhad ceny za 1 kWh	1,74 kWh
Odhadované náklady na vytápění	2 430 774 Kč/rok (bez DPH)

Celkové náklady na vytápění SO a NO při pokrytí 100 % spotřeby pomocí CZT	7 238 209 Kč/rok bez DPH
--	---------------------------------

4.6.5 Náklady na vytápění pomocí energie z odpadních vod (EOV) a CZT pro pokrytí špičkových odběrů

Ve stávajícím objektu (SO) se počítá se zachováním centrálního zdroje vytápění, v projektové dokumentaci nově navrženého objektu (NO) je podrobně popsán systém pro vytápění pomocí centrálního zdroje tepla (CZT), který bude napojen na přívod ve stávajícím objektu. V případě vytápění obou objektů pomocí energie z odpadních vod (EOV) bude CZT sloužit jako 100 % rezerva v případě výpadku a pro pokrytí špičkových odběrů.

Podle rozdílu zisku energie z OV a potřeby energie v jednotlivých měsících byl stanoven podíl CZT na celkovém tepelném výkonu, průměrně je to 20 % z celkové potřeby tepla ročně.

Všechny ekonomické ukazatele jsou v této výzkumné zprávě uvedeny v Kč bez DPH, pokud není upřesněno jinak.

Tab. 4.6-5 Stanovení průměrného podílu CZT na celkovém tepelném výkonu

Měsíc	Maximální zisk energie pro TČ z výměníků [kWh]	Skutečná spotřeba TE pro SO [kWh]	Potřeba TE pro NO [kWh]	Celková potřeba TE [kWh]	Procento pokrytí potřeby TE pomocí CZT [%]
Leden	289 850	426 739	215 471	642 211	55
Únor	261 800	350 545	176 999	527 544	50
Březen	289 850	316 976	160 049	477 024	39
Duben	336 600	236 375	119 352	355 727	5
Květen	336 873	148 207	74 833	223 041	0
Červen	278 818	88 630	44 751	133 381	0
Červenec	274 536	56 359	28 457	84 816	0
Srpen	296 331	70 842	35 770	106 611	0
Září	323 202	118 445	59 806	178 251	0
Říjen	347 820	241 917	122 150	364 067	4
Listopad	336 600	318 840	160 990	479 831	30
Prosinec	289 850	388 914	196 372	585 286	50

Ø= 20

Vstupní údaje

Cena za 1 kWh z CZT	1,74	Kč/kWh
Cena el. energie za vysoký tarif	2,25	Kč/kWh
Cena el. energie za nízký tarif	2,25	Kč/kWh
Cena odebrané energie ze stoky dle BVK, a.s.*	0,30	Kč/kWh
Topný faktor COP pro vytápění	4,0	–

Stávající objekt

Roční náklady na vytápění z CZT (pokrytí 20 %)	941 345	Kč/rok
Roční náklady na vytápění z EOV (pokrytí 80 %)	1 916 957	Kč/rok
Roční náklady na vytápění z CZT + EOV	2 858 302	Kč/rok

Roční spotřeba tepelné energie z CZT	540 230	kWh/rok
Roční spotřeba elektrické energie na provoz tep. čerpadel (TČ)	555 640	kWh/rok

Nově navržený objekt

Roční náklady na vytápění z CZT (pokrytí 20 %)	475 308	Kč/rok
Roční náklady na vytápění z EOVS (pokrytí 80 %)	967 919	Kč/rok
Roční náklady na vytápění z CZT + EOVS	1 443 227	Kč/rok

Roční spotřeba tepelné energie z CZT	272 775	kWh/rok
Roční spotřeba elektrické energie na provoz tep. čerpadel (TČ)	280 556	kWh/rok

*) jedná se pouze o odhad zpracovatelů této výzkumné zprávy, který nebyl konzultován se Statutárním městem Brnem ani s provozovatelem BVK, a.s.

Shrnutí

Celková roční spotřeba el. energie SO a NO na provoz TČ	836 196	kWh/rok
Celková roční spotřeba energie CZT SO a NO	813 005	kWh/rok
Náklady na vytápění SO a NO pomocí CZT	1 416 653	Kč/rok
Náklady na vytápění SO a NO pomocí EOVS	2 884 876	Kč/rok
Celkové náklady na vytápění SO+NO	4 301 529	Kč/rok

Celkové náklady na vytápění zahrnují náklady na vytápění pomocí kombinace CZT a EOVS pro oba objekty (SO + NO).

4.6.6 Náklady na chlazení SO a NO

Výměníky tepelné energie z OV jsou primárním a jediným zdrojem chladu pro oba objekty SO a NO.

Cena el. energie za vysoký tarif	2,25	Kč/kWh
Cena el. energie za nízký tarif	2,25	Kč/kWh
Cena odebrané energie ze stoky dle BVK, a.s.*	0,30	Kč/kWh
Topný faktor COP pro chlazení	6,6 –	

Procento pokrytí	100	%
Roční spotřeba el. energie na provoz TČ	118 459	kWh

Roční náklady na chlazení SO a NO pomocí OV	266 533	Kč/rok
--	----------------	---------------

*) jedná se pouze o odhad zpracovatelů této výzkumné zprávy, který nebyl konzultován se Statutárním městem Brnem ani s provozovatelem BVK, a.s.

4.6.7 Provozní náklady pro provoz výměníků tepla

4.6.7.1 Náklady na elektrickou energii

Tab. 4.6-6 Spotřeba elektrické energie jednotlivých strojů tepelných výměníků

Stroj	Pi kW	Provozní hodiny	ks	Spotřeba celkem kWh/den
elektropohon nožovky	0,2	0,1	1	0,02
mech. předčištění	1,5	2,0	1	3,00
čerpadlo provoz Qmax	7,8	18,0	1	140,40
čerpadla provoz noc	6,5	6,0	1	39,00
elektropohon nožovky	0,2	0,2	3	0,11
výměník tepla Qmax	1,2	4,5	3	15,80
výměník tepla noc	1,2	1,5	2	3,51
dmychadla výměníky Qmax	1,8	18,0	3	97,20
dmychadla výměníky noc	1,8	6,0	2	21,60

Celkem spotřeba elektřiny za den v kWh: 320,63

Roční spotřeba elektrické energie	117 030	kWh/rok
Cena el. energie za vysoký tarif	2,25	Kč/kWh
Cena el. energie za nízký tarif	2,25	Kč/kWh
Měsíční platba za hl. jistič	5 000	Kč
Náklady na el. energii pro provoz kalových výměníků (KV)	323 318	Kč/rok

4.6.7.2 Náklady na pravidelnou údržbu systému

Servis strojních částí (vč. čerpadel), 1 krát za rok	30 000	Kč/rok
Ruční pročištění nátok ze stoky, 4 krát za rok	12 000	Kč/rok
Pravidelná údržba čerpadel, navíc 1 krát za rok	7 000	Kč/rok
Celková cena za rok provozu	49 000	Kč/rok

4.6.7.3 Odpisy

Technologická část

Investiční cena 1 čerpadla	210 000	Kč
Investiční cena technologie mimo čerpadla	12 802 000	Kč
Odpisy pro čerpadla (5 let)	42 000	Kč/rok
Odpisy na technologické prvky (20 let)	640 100	Kč/rok

Stavební část

Celková investiční cena	3 652 500	Kč/rok
Odpisy pro stavební část (60 let)	60875	Kč/rok

Celkové odpisy za rok provozu 742 975 Kč/rok

4.6.7.4 Mzdy

Přímé mzdy za rok, úvazek 20 %	60 000 Kč/rok
Ostatní osobní náklady (soc. a zdr. poj.) 34 %	20 400 Kč/rok

Celkové náklady na mzdy 80 400 Kč/rok

4.6.7.5 Shrnutí

Provozní náklady výměníků tepla (bez odpisů)	452 718 Kč/rok
Provozní náklady výměníků tepla (s odpisy)	1 195 693 Kč/rok
Investiční náklady	18 474 500 Kč/rok

Provozní náklady tepelných výměníků zahrnují náklady na mzdy, náklady na pravidelnou údržbu a náklady na elektrickou energii potřebnou pro provoz technologických částí. Provozní náklady tepelných výměníků s odpisy jsou navýšené o celkové odpisy technologické a stavební části systému za rok.

4.7 ORIENTAČNÍ DOBA NÁVRATNOSTI

Orientační doba návratnosti byla stanovena pomocí prosté doby návratnosti a pomocí výpočtu čisté současné hodnoty NPV. Prostá doba návratnosti neuvažuje s odpisy za technologickou a stavební část.

Tab. 4.7-1 Prostá doba návratnosti (bez uvažování odpisů)

Dotace	Vyprodukovaná energie ze stoky	Potřeba energie	Celkové investiční náklady	Provozní náklady OV vč. TČ a CZT (bez odpisů)	Odhad ročních nákladů na tepelnou energii z CZT	Úspora za rok	Návratnost v letech
	[MWh]	[MWh]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]
Bez dotace	3 662	4 940	18 474 500	4 754 248	7 238 209	2 483 962	7
50 %	3 662	4 940	9 237 250	4 754 248	7 238 209	2 483 962	4

Roční úspora při vytápění v kombinaci CZT a EOv činí 2,48 mil. Kč bez DPH. Úsporou rozumíme rozdíl nákladů na vytápění pouze pomocí CZT a nákladů na vytápění v kombinaci CZT a EOv. Náklady na vytápění jsou ve výpočtu prosté doby návratnosti v čase neměnné, v nákladech na vytápění pomocí OV není počítáno s odpisy za technologickou a stavební část. Podílem roční úspory na vytápění a celkovými investičními náklady je odhadnuta návratnost investice. Bez dotace je předpokládaná návratnost 7 let, při pokrytí 50 % investičních nákladů dotací je předpokládaná návratnost investice do 4 let.

Čistá současná hodnota neboli NPV (z anglického Net Present Value) je jedním z nejčastěji užívaných nástrojů pro hodnocení investic. Ukazatel řeší peněžní toky (cashflow), které nám investice za dané období přinese, nebo sebere. Důležitým parametrem pro výpočet je takzvaná diskontní sazba, která zohledňuje hodnotu peněz v čase. Hodnota peněz v čase je snižována o diskontní sazbu, toto snížení může simulovat různé ekonomické vlivy, jako je například inflace,

možnost investice do jiného projektu či spoření peněz na spořicí účet. Diskontování peněžních toků obvykle probíhá na roční bázi, diskontní míra je tedy stanovena ročně. Diskont by měl být vždy vyšší než úroková sazba na spořicí účet v bance, nebo úrok u státních pokladničních poukázek. Ty lze totiž víceméně považovat za bezrizikový finanční instrument, což o libovolném projektu říci nelze.

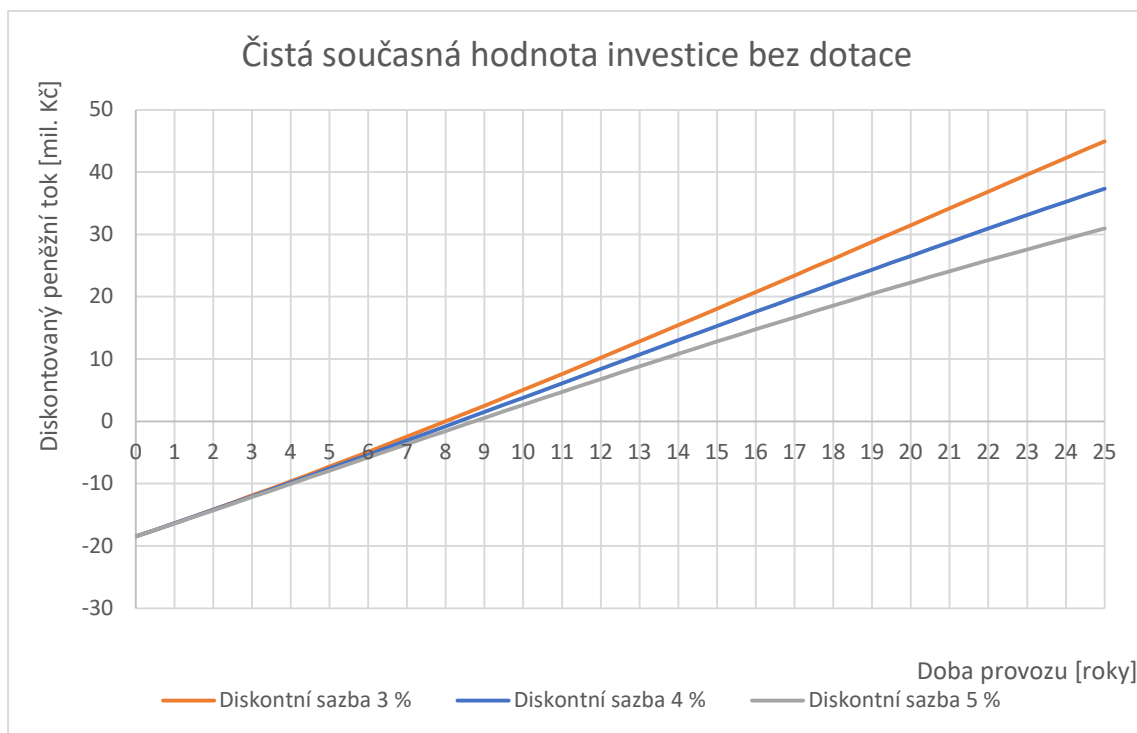
Výpočet ekonomické návratnosti pomocí ukazatele NPV je uveden v Tab. 4.7-2, a to pro diskontní sazbu 3 %, 4 % a 5 %. Diskontní sazba byla odhadnuta dle charakteru projektu. Položka CF zobrazuje peněžní tok (cashflow), v roce nula jsou to investiční náklady do projektu, každý další rok projekt přináší zisk, který je snížen o odpisy do technologické (20 let) a stavební (60 let) části projektu. Ziskem rozumíme rozdíl mezi náklady na vytápění pouze pomocí CZT a mezi náklady na vytápění pomocí kombinace CZT a EOVS. Náklady na vytápění byly ročně navyšovány dle trendu v grafu Graf 5.1. Položka DCF udává diskontovaný peněžní tok, a to pro diskontní sazbu 3 %, 4 % a 5 %.

Tab. 4.7-2 Čistá současná hodnota investice bez dotace, včetně odpisové sazby, pro diskontní sazby 3 %, 4 % a 5 %

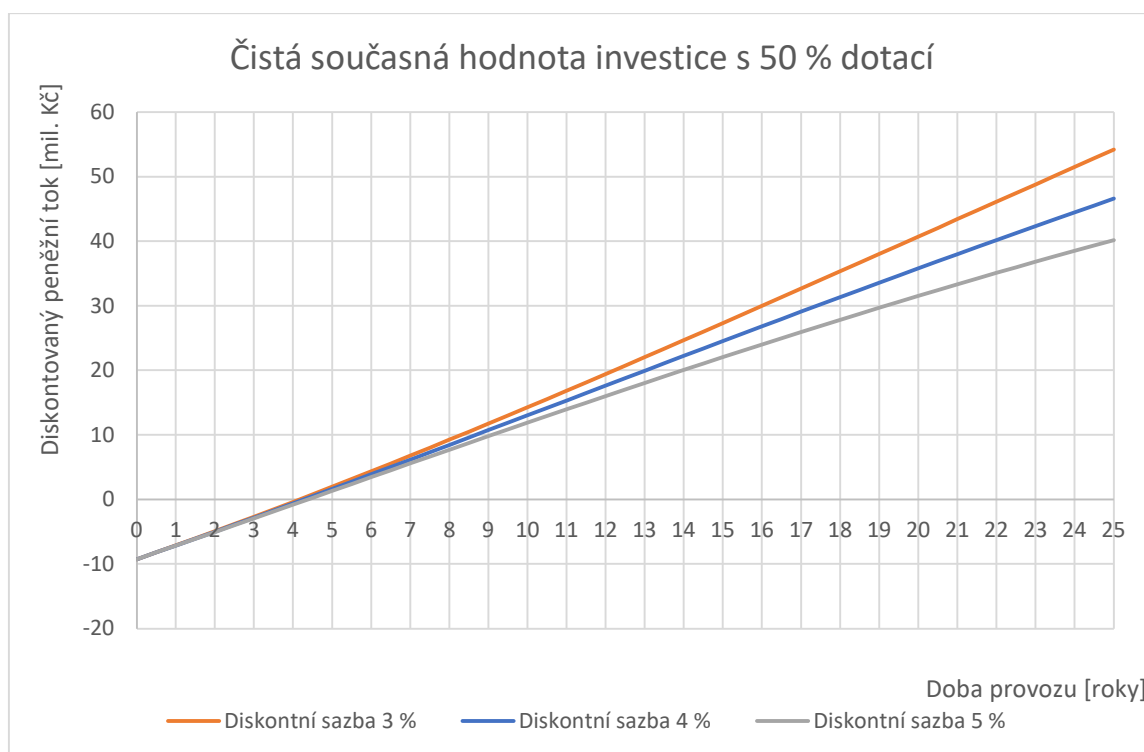
n (rok)	CF [Kč bez DPH]	DCF 3 % [Kč bez DPH]	ΣDCF 3 % [Kč bez DPH]	DCF 4 % [Kč bez DPH]	ΣDCF 4 % [Kč bez DPH]	DCF 5 % [Kč bez DPH]	ΣDCF 5 % [Kč bez DPH]
0	-18 474 500	-18 474 500	-18 474 500	-18 474 500	-18 474 500	-18 474 500	-18 474 500
1	2 198 808	2 134 765	-16 339 735	2 114 238	-16 360 262	2 094 103	-16 380 397
2	2 325 408	2 191 920	-14 147 815	2 149 971	-14 210 291	2 109 214	-14 271 183
3	2 454 190	2 245 932	-11 901 883	2 181 766	-12 028 525	2 120 022	-12 151 162
4	2 584 989	2 296 729	-9 605 154	2 209 660	-9 818 865	2 126 677	-10 024 485
5	2 717 660	2 344 277	-7 260 876	2 233 718	-7 585 147	2 129 358	-7 895 127
6	2 852 072	2 388 565	-4 872 311	2 254 034	-5 331 113	2 128 260	-5 766 867
7	2 988 108	2 429 605	-2 442 706	2 270 716	-3 060 397	2 123 592	-3 643 275
8	3 125 661	2 467 426	24 720	2 283 890	-776 506	2 115 571	-1 527 704
9	3 264 637	2 502 073	2 526 793	2 293 691	1 517 184	2 104 414	576 710
10	3 404 948	2 533 601	5 060 394	2 300 261	3 817 445	2 090 343	2 667 053
11	3 546 515	2 562 078	7 622 471	2 303 748	6 121 193	2 073 574	4 740 627
12	3 689 265	2 587 576	10 210 047	2 304 304	8 425 497	2 054 321	6 794 947
13	3 833 132	2 610 176	12 820 224	2 302 080	10 727 577	2 032 792	8 827 739
14	3 978 055	2 629 963	15 450 187	2 297 228	13 024 805	2 009 188	10 836 927
15	4 123 978	2 647 025	18 097 211	2 289 899	15 314 703	1 983 704	12 820 631
16	4 270 850	2 661 452	20 758 664	2 280 242	17 594 945	1 956 526	14 777 157
17	4 418 622	2 673 339	23 432 003	2 268 402	19 863 347	1 927 830	16 704 987
18	4 567 251	2 682 778	26 114 781	2 254 523	22 117 871	1 897 787	18 602 774
19	4 716 694	2 689 865	28 804 646	2 238 743	24 356 614	1 866 556	20 469 330
20	4 866 915	2 694 693	31 499 339	2 221 196	26 577 810	1 834 289	22 303 619
21	5 017 877	2 697 356	34 196 695	2 202 013	28 779 823	1 801 129	24 104 747
22	5 169 547	2 697 948	36 894 643	2 181 318	30 961 141	1 767 209	25 871 956
23	5 321 895	2 696 560	39 591 203	2 159 233	33 120 374	1 732 656	27 604 613
24	5 474 890	2 693 283	42 284 486	2 135 872	35 256 246	1 697 588	29 302 200
25	5 628 507	2 688 206	44 972 692	2 111 348	37 367 594	1 662 114	30 964 314

Pomocí ukazatele čisté současné hodnoty, ve kterém jsou zahrnuty odpisy na technologickou a stavení část investice a ve kterém jsou náklady na vytápění pomocí CZT a EOv meziročně navyšovány průměrně o 2,7 % dle trendu uvedeném v Graf 4.6-1, byla odhadnuta doba, po které investice začne generovat čistý zisk. Rok, kdy investice začne generovat čistý zisk udává rok návratnosti investice.

Rozdílem mezi investičními náklady a uspořenémi financemi na vytápění plynoucími z investice je odhadnut čistý zisk pro diskontní sazby 3 %, 4 % a 5 %. V tabulce Tab. 4.7-2 jsou barevně zaznačeny roky, během kterých začne investice generovat čistý zisk (bez dotace). Při diskontní sazbě 3 % začne investice generovat zisk v průběhu 8. roku, při diskontní sazbě 4 % a 5 % v průběhu 9. roku. Každý další rok je navyšován čistý zisk z investice do vytápění pomocí EOv. V případě, že projekt nebude vyžadovat neočekávané investice po dobu 25 let, dojde k uspoření nákladů na vytápění za 25 let provozu ve výši 44,97 mil. Kč bez DPH pro diskontní sazbu 3 %, 37,37 mil. Kč bez DPH pro diskontní sazbu 4 % a 30,96 mil. Kč bez DPH pro diskontní sazbu 5 %.



Graf 4.7-1 Čistá současná hodnota investice bez dotace, včetně odpisové sazby, pro diskontní sazby 3 %, 4 % a 5 %

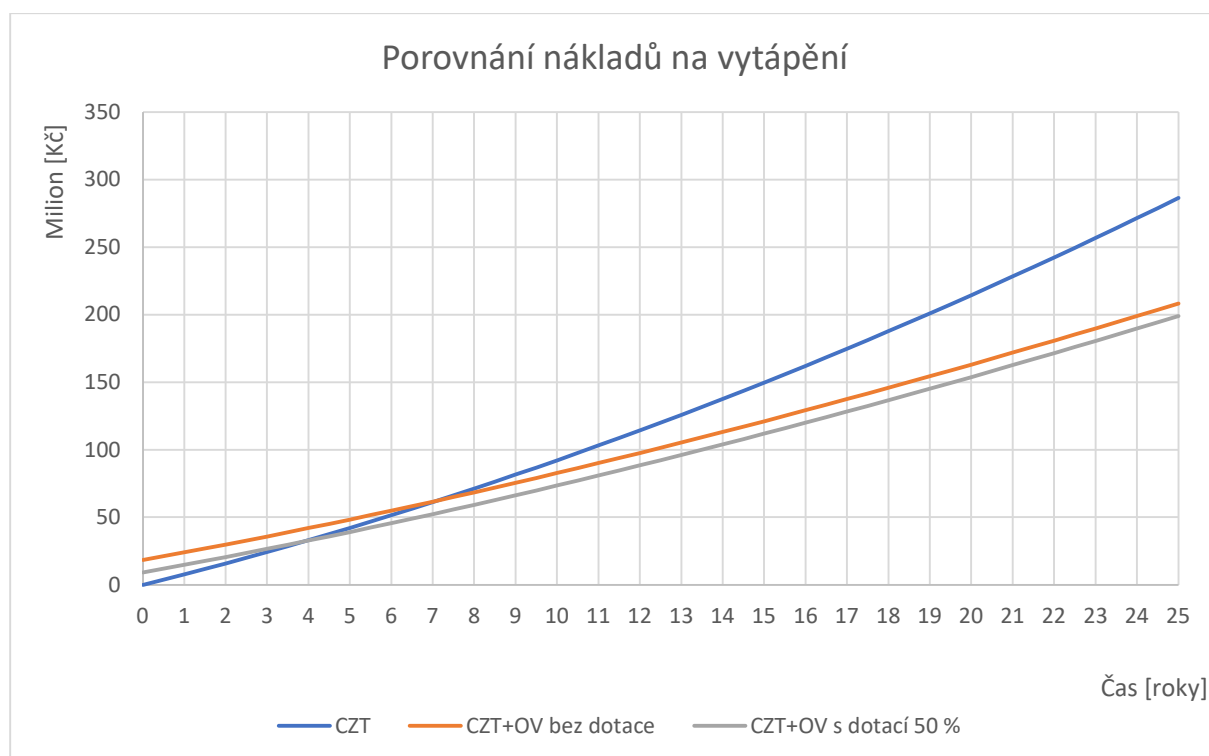


Graf 4.7-2 Čistá současná hodnota investice s 50 % dotací, včetně odpisové sazby, pro diskontní sazby 3 %, 4 % a 5 %

Hodnoty z Tab. 4.7-2 jsou graficky znázorněny v Graf 4.7-1, jde o čistou současnou hodnotu investice bez dotace.

Čistá současná hodnota investice s 50 % dotací je pak graficky znázorněna v Graf 4.7-2. Při diskontní sazbě 3 %, 4 % a 5 % začne investice generovat zisk v průběhu 5. roku, každý další rok je navyšován čistý zisk z investice do vytápění pomocí EOv. V případě, že projekt nebude vyžadovat neočekávané investice po dobu 25 let, dojde k uspořené nákladů na vytápění za 25 let provozu ve výši 54,21 mil. Kč bez DPH pro diskontní sazbu 3 %, 46,60 mil. Kč bez DPH pro diskontní sazbu 4 % a 40,20 mil. Kč bez DPH pro diskontní sazbu 5 %.

Pro orientační srovnání jsou v Graf 4.7-3 porovnány náklady na vytápění obou objektů pomocí CZT a náklady na vytápění obou objektů pomocí EOv s využitím CZT pro pokrytí špiček a jako rezervního zdroje tepla. Náklady pro provoz tepelných výměníků jsou navýšeny o odpisy technologií a stavební části, vývoj nákladů je navýšen dle trendu uvedeném v Graf 4.6-1. Jde o prosté srovnání, při kterém nebyl brán ohled na hodnotu peněžních toků v čase.



Graf 4.7-3 Srovnání nákladů na vytápění pomocí CZT a pomocí OV + CZT

Náklady na vytápění pomocí EOv jsou v roce 0 navýšeny o investiční náklady, v následujících letech jsou náklady na vytápění zvyšovány o průměrně 2,7 % jak pro CZT, tak pro EOv. Náklady na vytápění pouze pomocí CZT dosáhnou po 25 letech provozu 286,47 mil. Kč bez DPH. Náklady na vytápění pomocí CZT a EOv včetně započtení investičních nákladů bez dotace dosáhnou po 25 letech 208,41 mil. Kč bez DPH, s dotací 199,17 mil. Kč bez DPH. Lze tedy za 25 let provozu dosáhnout úspory 78,07 mil. Kč bez DPH bez dotace a 87,30 mil. Kč bez DPH s dotací. Uvažuje se, že projekt nebude vyžadovat neočekávané investice.

4.8 POSOUZENÍ PROVOZNÍCH FAKTORŮ (ENERGETICKÁ NÁROČNOST, PORUCHOVOST, SERVISNÍ NÁROKY, ATD.)

Z hlediska provozních faktorů energetické náročnosti je třeba uvažovat následující:

- energeticky nejnáročnější jsou navržená ponorná kalová čerpadla, u kterých je potřeba zvolit optimální pracovní bod čerpání;
- čerpadla je potřeba s ohledem na různý nátok navrhnout s frekvenčními měniči;
- předpokládaná spotřeba elektrické energie pro čerpání je 179,40 kWh/den;
- další energeticky náročný komponent jsou osazená dmychadla pro zajištění chodu technologie, předpokládaná energetická náročnost 118,80 kWh za den provozu.

Z hlediska provozních faktorů poruchovosti je třeba uvažovat následující:

- při výpadku elektrické energie nebo při selhání výměníků nebo při vyšším nátoku než 90 l/s, bude automaticky uzavřeno elektro soupě na přítoku a odtoku tak, aby nedošlo k přeplnění čerpací stanice OV nad maximální havarijní hladinu;

- v případě výjimečného selhání elektro šoupěte (v havarijním stavu) je možné čerpací stanici odstavit ručními uzávěry, jež budou přístupny z ulice;
- není vyloučeno riziko nepravidelného zanášení přítokového potrubí do čerpací stanice OV z kmenové stoky, toto riziko je spojeno s vniknutím zicích předmětů jako např. velké kusy dřeva, kamení, plastů apod., odstranění těchto předmětů (pokud je nezachytí česle v čerpací stanici) je možné provést jedine z kmenové stoky za účasti provozovatele stokového systému – zjištění tohoto stavu bude možné z řídicího systému technologie a prostřednictvím kamery (doporučeno v rámci zpracování projektové dokumentace DUR) zavedené do stoky (potřeba uvažovat v projektu minimálně s chráničkou pro dodatečné umístění kamery).

Z hlediska provozních faktorů a servisních nároků je třeba uvažovat následující:

- mezi nejvíce opotřebovatelné části technologie lze zařadit ponorná kalová čerpadla, je uvažováno 2krát za rok (z toho 1krát při generální pravidelné údržbě) provedení dílčího servisu čerpadel, a to při odstavení technologie po dobu cca 2 hodin;
- je potřeba 1krát ročně provést generální servis technologických částí systému, vč. čištění výměníků, odstávka na cca 8 hodin;
- nepravidelný servis, respektive mechanické ruční čištění nátokové části potrubí ve stoce, předpoklad 4krát za rok.

Z hlediska ostatních provozních faktorů je potřeba v rámci koncepce a následného návrhu projektové dokumentace pro stavební povolení uvažovat následující:

- napojení potrubí DN 300 do kmenové stoky musí být provedeno s náběhem a s výškovým odstupem, tak aby se eliminovala pravděpodobnost zanášení stoky;
- v rámci následné projektové dokumentace DUR budou navrženy dva kusy plastových chrániček PE63 pro výhledové (pokud bude potřeba) instalace kamerového systému do stoky pro sledování vizuálního stavu provozování systému a pro výhledové osazení tlakové vody pro případný ostřík nátokového a odtokového potrubí;
- v navazující projektové dokumentaci DUR je potřeba posoudit, zda čerpací stanice OV musí být opatřena vzduchotechnickým zařízením pro odtah odpadního znečištěného vzduchu, bude řešen filtr proti zápachu;
- pro systém tepelných výměníků musí být v rámci navazující projektové dokumentace DUR řešeny provozní soubory měření a regulace, dále pak telemetrické přenosy na dispečink.

5 ZÁVĚR

Rešeršní část je koncepčně rozdělena na dvě části, v první části je rozebrána problematika znovuvyužití odpadních vod odebraných z kanalizačního potrubí, druhá část práce se zabývá možnostmi získávání tepelné energie z odpadní vody (OV) tekoucí v kanalizačních potrubích.

V první části práce jsou představeny modely centralizovaného a decentralizovaného nakládání s odpadními vodami a možné výhody a nevýhody obou modelů. Tradiční centralizované modely mají dlouhou tradici a jsou investičně levnější, decentralizované modely jsou prostorově méně náročné a je možné je umístit v blízkosti bodů potřeby vody. Tato konfigurace přináší benefity v podobě kratšího vodního cyklu (ušetření nákladů na dopravu OV) a vyčištěná odpadní voda může být přímo v místě potřeby vyčištěna a použita. Rozlišujeme tři základní koncepty: opětovné použití odpadních vod přímo v místě spotřeby, shlukování domovních jednotek do větších celků a sewer mining, neboli odebrání odpadní vody ze stoky. Práce se věnuje především metodě sewer mining, při které je odebraná OV ze stoky čištěna za pomoci fyzikálních, biologických, či kombinovaných procesů. Takto vyčištěné odpadní vody je možné například přivést do domácností jako užitkovou vodu, použít ji pro závlahy městských parků, závlah v zemědělství, nebo jako užitkové vody v průmyslu.

Zkušenosti ze zahraničí ukazují, že za pomoci filtračních procesů je možné dosáhnout dostatečného odstranění znečištění z OV, aby mohla OV přijít do přímého kontaktu s obyvateli. Tyto procesy je však nutné nepřetržitě kontrolovat pomocí kontrolních mechanismů, důležitým aspektem je také vnímání veřejnosti, která by měla být řádně informována a vzdělána o možných rizicích a přínosech, které z aplikace této technologie plynou. Pokud jsou shrabky a residua z čištění odebraných odpadních vod pro sewer mining navraceny zpět do stokového systému, může mít navýšení koncentrace znečištění negativní vliv na stav potrubí. Zvýšení koncentrace má za následek silnější korozivní účinky OV na potrubí a zvyšuje se riziko vzniku zápachu.

Na konci kapitoly jsou uvedeny úspěšné projekty provedené v Austrálii, kde se čištění vod pomocí metody sewer mining začalo rychleji rozvíjet již na přelomu tohoto tisíciletí.

Druhá část rešerše se věnuje zisku tepelné energie z odpadních vod (OV). Existují tři základní modely získávání tepelné energie z OV. Decentralizovaný, kde je energie využívána přímo v místě vzniku a centralizovaný, který se dále dělí na rekuperaci tepla ze surové OV a z vyčištěné OV. Největší nevýhodou získávání tepelné energie z vyčištěných OV je vzdálenost od potenciálních odběratelů, jelikož čistírny odpadních vod se většinou nacházejí v odlehlých oblastech. Naproti tomu centralizovaná rekuperace tepelné energie ze surové odpadní vody je limitována podmínkami v kanalizační síti a změna vlastností odpadní vody má dopad na procesy čištění OV na čistírně odpadních vod. Decentralizované domovní jednotky se vyznačují vyššími operačními náklady.

V práci byl teoreticky popsán princip funkce tepelných výměníků, které se dělí na externí (instalovány mimo stoku), integrované (instalované ve stoce) a vložené do potrubí. Dále byla teoreticky popsána funkce tepelných čerpadel, pro práci s OV se nejčastěji používají tepelná čerpadla pracující na principu voda/voda.

V poslední, praktické části byla zpracována studie zpracování tepelné energie ze stokového systému při městském plaveckém stadionu Lužánky (MPS). Stadion bude procházet rekonstrukcí a bude rozšířen o další plavecký bazén umístěný v samostatném objektu.

V blízkosti zájmového objektu prochází kmenová stoka C v provozování společnosti BVK a.s. Stoka má rozměr 2810/2680 mm a je vyhotovená z kombinace keramiky a laminátu. Dle podkladů od provozovatele BVK, a.s. je v uvažovaném místě napojení dostatečný průtok OV, aby bylo možné je využít jak pro potřeby vytápění a chlazení stávajícího MPS, tak i pro uvažovanou přístavbu nového objektu (NO). Pro návrh trasování OV směrem do objektu, stejně tak jako pro návrh umístění čerpací stanice OV byly uvažovány pouze pozemky ve vlastnictví Statutárního města Brna.

Pro zhodnocení potřeby tepla byly využity podklady o skutečné spotřebě od zadavatele pro stávající objekt (SO), pro nově navržený objekt (NO) byly hodnoty převzaty z projektové dokumentace pro územní řízení a stavební povolení.

Ve stávajícím objektu se v současné době nenachází systém pro chlazení budovy a teoretická potřeba chladu byla odhadnuta. Projektová dokumentace pro nově navrhovaný objekt nepočítá se systémem pro chlazení budovy. Posuzovaný systém je reverzibilní a bude využit jak pro chlazení, tak pro vytápění SO i NO.

Koncepční návrh byl posouzen s využitím tepelných výměníků od společnosti Huber, které jsou speciálně navrženy pro práci s OV. Tepelné výměníky budou umístěny ve stávající strojovně MPS, kde je dostatek prostoru a není nutné řešit zábor místa v objektu. Při využití tepelných výměníků je současný zdroj tepla zachován jako záložní v případě výpadku, popřípadě pro vytápění v době špičkových potřeb.

Potřebná energie na vytápění stávajícího objektu (SO) je 2 763 MWh/rok, potřebná energie na vytápění nového objektu (NO) je 1 395 MWh/rok. Celková potřebná energie na vytápění SO a NO je 4 158 MWh/rok, celková potřebná energie pro chlazení SO a NO je 782 MWh/rok. Celková potřeba energie je tedy 4 940 MWh/rok. Podíl SO na celkové potřebě energie na vytápění je 66 %, podíl NO na celkové potřebě pro vytápění je 34 %.

Současné průměrné náklady na vytápění SO pouze pomocí CZT jsou 4 807 436 Kč/rok bez DPH, odhadované náklady na vytápění NO pouze pomocí CZT jsou 2 430 774 Kč/rok bez DPH. Celkové předpokládané náklady na vytápění SO a NO pouze pomocí CZT jsou 7 238 209 Kč/rok bez DPH, po připočtení nákladů na chlazení celkem **7 504 742 Kč/rok bez DPH.**

Odhadované náklady na vytápění SO v kombinaci CZT a EOv jsou 2 858 302 Kč/rok bez DPH. Odhadované náklady na vytápění NO v kombinaci CZT a EOv jsou 1 443 227 Kč/rok bez DPH. Celkové předpokládané náklady na vytápění SO a NO v kombinaci CZT a EOv jsou 4 301 529 Kč/rok bez DPH, po připočtení nákladů na chlazení celkem 4 568 062 Kč/rok bez DPH. Celkové náklady na vytápění a chlazení SO a NO pomocí kombinace CZT a EOv po připočtení provozních nákladů výměníků tepla (452 718 Kč/rok bez DPH) činí **5 020 780 Kč/rok bez DPH.**

Pro výpočet ekonomické návratnosti byla porovnávána varianta pokrytí 100 % potřeby tepelné energie pomocí CZT pro vytápění SO a NO s variantou kombinace CZT a tepelných výměníků využívajících OV. Celkové investiční náklady na získávání energie z OV činí 18 474 500 Kč

bez DPH, v této částce jsou zahrnuty náklady na technologie, náklady na stavební práce a ostatní náklady jako projekční příprava a další. Náklady na provoz systému (mzdy, údržba, elektrická energie na provoz tepelných výměníků) jsou odhadovány na 452 718 Kč/rok bez DPH, náklady na odpisy technologií a stavební části činí 742 975 Kč/rok bez DPH.

Investiční náklady stavby je možné zpřesnit až po vypracování projektové dokumentace pro územní rozhodnutí. Další zpřesnění je možné až po vypracování projektové dokumentace pro stavební povolení a po vypracování projektové dokumentace pro provádění stavby se zpracováním kontrolního položkového rozpočtu stavby v aktuální cenové hladině RTS nebo URS.

Podle výpočtu prosté doby návratnosti vychází návratnost investice bez dotací do 7 let, s dotací 50 % do 4 let. V tomto ukazateli však nejsou započítány odpisy na technologie a stavební část.

Investice byla také posouzena pomocí ukazatele čisté současné hodnoty NPV, která je velmi často užívána pro hodnocení investičních projektů. V tomto ukazateli jsou zahrnuty odpisy na technologickou a stavební část projektu a náklady na provoz jsou ročně navyšovány o průměrně 2,7 %. Peněžní toky jsou diskontovány roční sazbou 3, 4 a 5 %. **Doba návratnosti bez dotace je odhadována na 8 let pro diskontní sazbu 3 %, 9 let pro diskontní sazbu 4 % a 5 %. Doba návratnosti s dotací 50 % je odhadována na 5 let pro diskontní sazbu 3 %, 4 % a 5 %.**

Vzhledem k uvažované době životnosti technologické části 20 let (mimo čerpací techniku) a době životnosti stavební části 60 let je možné dosáhnout vytápěním za využití OV výrazných úspor v porovnání s vytápěním pouze pomocí CZT.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Desalination: Opportunities for decentralized treatment, sewer mining and effluent re-use* [online]. 1995, **1995** [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0011916496001191?token=FF8BDB181738FB5C9B21294E0B705B7875CC8D62BE99AA8AB3CF537BF2D300D69C89386404F65F83774CB4950A7B7F9A>
- [2] *Journal of Environmental Management: Sewer-mining: A water reuse option supporting circular economy, public service provision and entrepreneurship* [online]. 2018 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: www.sciencedirect.com
- [3] *GUIDELINES FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT: USE OF RECLAIMED WATER*. Australia, 2003. ISBN 0 7306 7622 6.
- [4] Waste Technologies of Australia Pty Ltd. *Flemington Racecourse Multiple Water Reuse (MWR) Sewer Mining Demonstration Project*. Australia, 2006.
- [5] *ANOXKALDNES™ MBBR* [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/mbbr/cz/>
- [6] *Darling Quarter Recycled Water Treatment Plant*. Sydney: www.veoliawaterst.com.au.
- [7] MCFALLAN, Stephen a Ian LOGAN. Barriers and drivers of new publicprivate infrastructure: Sewer Mining. In: *Construction Innovation, Brisbane* [online]. 2008 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/10893352.pdf>
- [8] Sewer mining and Pennant Hills Golf Club. In: *Permeate Partners* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://www.permeate.com.au/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=146
- [9] Water & Catchments. In: *Sydney Olympic Park* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.sopa.nsw.gov.au/Environment/Water-and-Catchments>
- [10] LISTOWSKI, Andrzej. *Recycled Water at Sydney Olympic Park* [online]. In: . [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://www.airah.org.au/Content_Files/Divisionmeetingpresentations/ACTNSW/P-P-NSW_17-02-2009-SOP.pdf
- [11] Cost-effectiveness analysis. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Cost-effectiveness_analysis
- [12] Sewer Mining Technology Trial at Flemington Racecourse. *Smart Water Fund* [online]. 2004 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://waterportal.com.au/swf/projects/item/39-sewer-mining-technology-trial-at-flemington-racecourse>
- [13] SUSTAINABILITY INITIATIVES. *Flemington* [online]. 2013 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.flemington.com.au/about-us/sustainability-initiatives>

- [14] MAKROPOULOS, C.K. *Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815208000698>
- [15] MARLENI, Nyoman. *Modeling the effects of sewer mining on odour and corrosion in sewer systems* [online]. 2014 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/261876959_Modeling_the_effects_of_sewer_mining_on_odour_and_corrosion_in_sewer_systems
- [16] ŠPINAR, Bohumil. *Využití membránové mikrofiltrace pro úpravy vody* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.wet-team.cz/files/konference/2010/PV2010%20sbornik/20-Spinar.pdf>
- [17] PŘIDAL, Jaroslav. Separační membrány a jejich průmyslové použití - dnešní trendy a vybrané moderní aplikace. *Chemické listy* [online]. 1999, 1999, **93** [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1999_07_432-440.pdf
- [18] Použití membránové separace pro čištění skládkových výluhů, jiných odpadních vod a kontaminovaných podzemních vod. In: *VŠCHT Praha, Ústav chemie ochrany prostředí* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: https://uchop.vscht.cz/files/uzel/0011054/navody_membrany_2011.pdf?redirected
- [19] Membrane Filtration. In: *Minnesota Water Works Operations Manual* [online]. 2009 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.mrwa.com/mnwaterworksmnl.html>
- [20] BROWN, Kerry. *Barriers and Drivers of New Public-Private Infrastructure: Sewer Mining* [online]. In: . 2006 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: [http://www.construction-innovation.info/images/pdfs/Research_library/ResearchLibraryA/Case_studies/2004-032-A/7\)_Case_Study_Report_-_Barriers_Drivers.pdf](http://www.construction-innovation.info/images/pdfs/Research_library/ResearchLibraryA/Case_studies/2004-032-A/7)_Case_Study_Report_-_Barriers_Drivers.pdf)
- [21] *Sídelní struktura a obyvatelstvo ČR* [online]. In: . [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js13/geograf/web/pages/02-sidelni-struktura.html>
- [22] SCHIEBERTOVÁ, Veronika. Komise navrhla minimální požadavky na opětovné použití vody. *Euroskop* [online]. 2018 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.euroskop.cz/9007/31127/clanek/komise-navrhla-minimalni-pozadavky-na-opetovne-pouziti-vody/>
- [23] BERÁNKOVÁ, Martina. *Odpadní voda – odpad nebo poklad?* [online]. In: . VUT Brno, 2017 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/16057-odpadni-voda-odpad-nebo-poklad>
- [24] *ENVI-PUR* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.envi-pur.cz/cz/>
- [25] *Ultrafiltrace vody* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.filtr-y-vodni.cz/>
- [26] GONZÁLES-VIAR, Marta. *Cost-effectiveness analysis of sewer mining versus centralized wastewater treatment: Case study of the Arga river basin, Spain* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/277970612_Cost-

- effectiveness_analysis_of_sewer_mining_versus_centralized_wastewater_treatment_Case_study_of_the_Arga_river_basin_Spain
- [27] REN, Nanqi. *Upgrading to urban water system 3.0 through sponge city construction* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11783-017-0960-4>
- [28] *Details to Hollow-Fiber-Filter module's* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://perfusecell.com/support/membrane-filter/hollow-fiber-filter/>
- [29] BALSTER, Joerg. *Spiral Wound Membrane Module* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-40872-4_1586-1
- [30] *National Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks* [online]. Canberra, 2006 [cit. 2019-05-28]. ISBN 1921173068. Dostupné z: <http://www.waterquality.gov.au/SiteCollectionDocuments/water-recycling-guidelines-full-21.pdf>
- [31] ŠRÁMKOVÁ, Michaela a Jiří WANNER. Opětovné využití vyčištěné odpadní vody. In: *Pitná voda 2010* [online]. 2010, s. 259-264 [cit. 2019-05-28]. ISBN 978-80-254-6854-8.
- [32] *SDĚLENÍ KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU, RADĚ, EVROPSKÉMU HOSPODÁŘSKÉMU A SOCIÁLNÍMU VÝBORU A VÝBORU REGIONŮ*. In: . Brusel, 2016. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/55341/63331/652354/priloha001.pdf>
- [33] MATĚJŮ, Matěj. *Energetika – vybrané pojmy (I): Obnovitelné zdroje energie v energetickém mixu* [online]. [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/9668-energetika-vybrane-pojmy-i>
- [34] SCHMID, F. *Sewage water: Interesting heat source for heat pumps and chillers* [online]. Switzerland, 2008 [cit. 2019-10-17].
- [35] JIRMUS, Ing. Vladimír a Ing. Karel PLOTĚNÝ. Recyklace vod a energie z vody. *Asio spol.- s.r.o.* [online]. [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2016/prispevky/137.pdf>
- [36] NEDOROST, Filip. *Analysis of Heat Recovery Potential from Wastewater: Case Study Hradec Králové*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce doc. Ing. David Stránský, Ph.D.
- [37] Installation Options for New Homes. In: *Renew Ability* [online]. [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <http://renewability.com/home-construction/>
- [38] *What is Energido, and how is this linked to wastewater?* [online]. [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <https://www.veolia.com/anz/our-services/our-services/energy-services/other-heat-recovery-solutions/heat-wastewater-systems>
- [39] *Chlazení domů tepelnými čerpadly* [online]. [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <https://www.gt-energy.cz/cz/chlazen-domu-tepelnymi-cerpadly>
- [41] *Výměníky rekuperace tepla z kanalizačních systémů* [online]. 2013 [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/zdravotni-technika/vymeniky-rekuperace-tepla-z-kanalizacnich-systemu>

- [42] CULHA, Oguzhan, Huseyin GUNERHAN, Emrah BIYIK, Orhan EKREN a Arif HEPBASLI. *Heat exchanger applications in wastewater source heat pumps for buildings: A key review* [online]. [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0378778815301250?token=77868A9A2330C0D8C5E7E5358E8237C3FDAB5C342A689B934E8B6D6CAD81BCFF3259879703296C2AA012666D19CD7369>
- [43] Heat pump. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pump
- [44] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [45] *Typy tepelných čerpadel* [online]. [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: http://www.kto.cz/picture/pdf/typy_tc.pdf
- [46] ABECEDA [online]. [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz>
- [47] DOC. ING. MATUŠKA, PH.D., Tomáš. *Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP* [online]. [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>
- [48] ING. BUZÁS, Veronika a doc. Ing. Jana PERÁČKOVÁ, PHD. Energetické systémy pro využití tepla z odpadní vody. *TZB HAUSTECHNIK* [online]. 2016 [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/energie/energeticke-systemy-pro-vyuziti-tepla-zodpadni-vody>
- [49] Topení a chlazení pomocí tepla z odpadní vody - HUBER ThermWin. Huber [online]. [cit. 2019-11-08]. Dostupné z: https://www.huber.cz/fileadmin/huber-cs/PDF/pro_heat_recovery_cz.pdf
- [50] ČOV Brno Modřice. *Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.* [online]. Brno [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cistení-odpadnich-vod/cov-brno-modrice/>

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.2-1 Odstranění vybraných patogenních organismů [30].....	18
Tab. 2.4-1 Výsledky studie [26].....	21
Tab. 2.6-1 Účinnost čištění [2].....	24
Tab. 2.7-1 Průtokové poměry ve stoce [15]	25
Tab. 2.9-1 Přehled využití sewer miningu v Austrálii [2].....	34
Tab. 2.9-2 Odstranění znečištění ve Flemington racecourse [4].....	38
Tab. 2.9-3 Odstranění znečištění v Darling Quarter recycled water treatment plant [6]	40
Tab. 2.9-4 Dosažené hodnoty čištění v Sydney Olympic park [10]	42
Tab. 2.9-5 Vývoj cen pitné a recyklované vody v Sydney Olympic park [10].....	43
Tab. 4.4-1 Dotčené parcely dle návrhu a dotčené parcely dle alternativního vedení trasy.....	63
Tab. 4.4-2 Pokles teploty OV při vytápění SO a NO	67
Tab. 4.4-3 Zvýšení teploty OV při chlazení SO a NO	67
Tab. 4.6-1 Orientační propočet investičních nákladů pro získání tepelné energie z OV bez primárního a sekundárního okruhu tepelných čerpadel	70
Tab. 4.6-2 Skutečná spotřeba tepelné energie a její cena pro stávající MPS (průměr za roky 2013 až 2018).....	72
Tab. 4.6-3 Skutečná spotřeba tepelné energie a její cena v letech pro stávající MPS	72
Tab. 4.6-4 Porovnání potřeby objektu s výkony tepelných výměníků.....	75
Tab. 4.6-5 Stanovení průměrného podílu CZT na celkovém tepelném výkonu	76
Tab. 4.6-6 Spotřeba elektrické energie jednotlivých strojů tepelných výměníků.....	78
Tab. 4.7-1 Prostá doba návratnosti (bez uvažování odpisů)	79
Tab. 4.7-2 Čistá současná hodnota investice bez dotace, včetně odpisové sazby, pro diskontní sazby 3 %, 4 % a 5 %	80

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1-1 Schéma konvenční ČOV [24]	14
Obr. 2.1-2 Decentralizované schéma vodního hospodářství [27]	15
Obr. 2.7-1 Koncentrace H ₂ S na vyústění z kanalizace [15]	26
Obr. 2.7-2 Vývoj koncentrace H ₂ S [15]	27
Obr. 2.7-3 Vliv na rychlost koroze [15]	28
Obr. 2.8-1 Odstranění částic v závislosti na typu filtrace [25]	29
Obr. 2.8-2 Princip funkce dutých vláken [28]	32
Obr. 2.8-3 Princip funkce spirálně vinutých modulů [29]	32
Obr. 2.9-1 Schéma zařízení [1]	35
Obr. 2.9-2 Flemington Racecourse [4]	36
Obr. 2.9-3 Flemington racecourse, schéma zařízení [4]	37
Obr. 2.9-4 Schéma zařízení v Darling Quarter [6]	39
Obr. 2.9-5 Letecký snímek Reverside Rocks [7]	41
Obr. 4.4-1 Zájmová oblast	63
Obr. 4.4-2 Vzorový příčný řez stokou C v předmětné lokalitě u objektu MPS [BVK, a.s.]....	65
Obr. 4.6-1 Volný prostor pro umístění výměníků ve stávající strojovně MPS	74

SEZNAM GRAFŮ

Graf 4.4-1 Skutečná měsíční spotřeba energie na vytápění stávajícího objektu Městského plaveckého stadionu Lužánky	64
Graf 4.4-2 Skutečná denní spotřeba energie na vytápění stávajícího objektu Městského plaveckého stadionu Lužánky	64
Graf 4.4-3 Denní bezdeštný průtok ve stoce [BVK, a.s.].....	66
Graf 4.6-1 Vývoj nákladů na tepelnou energii ve stávajícím objektu MPS.....	73
Graf 4.7-1 Čistá současná hodnota investice bez dotace, včetně odpisové sazby, pro diskontní sazby 3 %, 4 % a 5 %	81
Graf 4.7-2 Čistá současná hodnota investice s 50 % dotací, včetně odpisové sazby, pro diskontní sazby 3 %, 4 % a 5 %	82
Graf 4.7-3 Srovnání nákladů na vytápění pomocí CZT a pomocí OV + CZT.....	83

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

OV	odpadní vody
ČOV	čistírna odpadních vod
DESAR	Decentralised Sanitation and Reuse
Sb.	sbírka
BSK	Biologická spotřeba kyslíku
WHO	Světová zdravotnická organizace (World Health Organisation)
NPV	čistá současná hodnota (Net Present Value)
CEA	analýza efektivnosti nákladů (Cost Effectiveness Analysis)
CTT	konvenční třetí stupeň čištění (Conventional Tertiary Treatment)
ATT	třetí stupeň čištění s membránami (Advanced Tertiary Treatment)
HMBR	Hybrid Membrane Bioreactor
TAEC	celkové roční náklady (Total Annualized Equivalent Cost)
IC	investiční náklady (Investment Cost)
OMC	náklady na provoz a údržbu (Operational and Maintenance Cost)
CS	ušetřené náklady (Cost Savings)
EI	index efektivity (Effectiveness Index)
CER	ukazatel efektivity investice (Cost Effectiveness Ratio)
SM	sewer mining
MBR	membránový bioreaktor (Membrane Bioreactor)
g	gram
m	metr
d	den
O ₂	kyslík
l	litr
TSS	celkové nerozpuštěné látky (Total Suspended Solids)
RO	reverzní osmóza
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
UWOT	Urban Water Optioneering Tool
DN	nominální průměr
H ₂ S	sirovodík
ppm	počet částic na milion
mm	milimetr
%	procento
g	gram
Pa	Pascal
M	mega
\$	dolar

MWR	Multiple Water Reuse
μ	mikro
MBBR	Moving Bed Biofilm Reactor
UV	ultrafialové
cfu	kolonie tvořící jednotky (Colonies Forming Units)
TCU	True Colour Units
NTU	Ephelometric Turbidity Units
W	Watty
°	stupeň
C	Celsius
Φ	tepelný výkon
P	elektrický příkon
SCOP	Sezónní topný faktor čerpadla (Seasonal Coefficient of Performance)
COP	jmenovitý topný faktor
ρ	hustota
Q	průtok
Δ	rozdíl
θ, T	teplota
C	měrná tepelná kapacita
SPF	sezonní výkonové číslo tepelného čerpadla
U	součinitel prostupu tepla
A	plocha
K	Kelvin
MPS	městský plavecký stadion
NP	nadzemní podlaží
CZT	centrální zásobení teplem
PE	polyethylen
SO	stávající objekt
NO	nový objekt
bm	metr běžný
tis.	tisíc
EOV	energie odpadních vod
DUR	dokumentace pro územní rozhodnutí

SUMMARY

The theoretical part of this thesis is divided into two main parts, the first part is focused on reclamation and reutilization of raw wastewater extracted from sewers, the second part is focused on the possibilities of heat recovery from sewers.

In the first part, centralized and decentralized approaches to wastewater treatment are presented with advantages and disadvantages of each approach. Conventional centralized approaches have a long tradition in Europe and, compared to decentralized approaches, their investment costs and operation and maintenance costs are more effective. On the other hand, due to a compact configuration, decentralized approaches are bringing more possibilities for recycling and reusing wastewater. Implementing of these approaches can lead to water savings and, in the end, bring economic benefits. Decentralized approach to wastewater treatment is divided in three main concepts: in-house units, which technology, in order to save investment and operational costs, can be shared between multiple buildings and creating larger units. This thesis is mainly focused on the last concept – sewer mining. Sewer mining consists in extracting raw sewage water from sewerage. These wastewaters are cleaned using biological and physical methods and can be used for multiple purposes such as irrigation of parks, irrigation in agriculture, use in industry, or can be brought into houses and serve for non-potable use of water.

Experiences from countries such as Australia or California are showing up, that with filtration processes is possible to achieve very high effectivity in pollutant extraction, so that cleaned wastewaters can come into direct contact with residents. However, these processes carry a risk potential, which should be controlled by sophisticated methods of operational control.

Sewer mining can have also negative consequences in sewer piping. Sludge and backwash waters proceeding from filtration processes are often returned to sewer systems, causing possible harm in piping. Increase of pollution concentration in wastewater can lead to increased corrosion rate in pipeline and higher risk of odour problems. These negative consequences should be considered in the process of designing sewer mining technologies and monitored during its use.

Second part of this thesis is focused on heat energy recovery from wastewaters. Three main approaches to heat recovery from wastewaters are distinguished: decentralized, where the heat energy is extracted right at the point of water use and centralized, which is divided into two groups: heat extraction from raw wastewaters and from cleaned wastewaters. The biggest disadvantage of heat recovery from cleaned wastewater is its distance from points of demand, on the other hand, raw wastewater heat recovery is limited with conditions in sewage and with changes in sewage properties, which impact wastewater treatment processes. Decentralized in-house units are characterized by higher operational costs. A Function of elements interfering in the process of heat recovery from wastewaters, such as heat pumps, heat exchangers etc. are described in this paper.

In the last part of this thesis, economic feasibility of investing into heat recovery from sewers for heating and cooling a swimming pool building located in Brno, Czech Republic was assessed. As a source of wastewater was considered a sewer main located near the pool building. Payback periods and economical effectivity of investing into wastewater heat

recovery system was compared with centralized heat supply system, which is a very common source of heat energy in Czech Republic. Payback period was assessed using NPV (Net Present Value) formula with discount rates 3 %, 4 % and 5 %. Payback period for discount rate 3 % is 8 years, for discount rate 4 % and 5 % is 9 years. With government subsidy covering 50 % of investment cost the payback time for all above mentioned discount rates is 5 years.

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|---------------------------------|---------|
| 1. Situace širších vztahů | M1:1000 |
| 2. Situace katastru nemovitostí | M1:500 |
| 3. Technologické schéma | - |