
Studie proveditelnosti získání a využití tepelné energie z bazénové vody pro vytápění v Aquaparku Děčín

Zadavatel:

Magistrát města Děčín
Mírové náměstí 1175/5, 405 38 Děčín IV

Zhotovitel:

ASIO NEW spol. s r.o.
Kšírova 552/45, Horní Heršpice, 619 00 Brno

Zpracovali:

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA (Dipl. S.E. Delft)
Ing. Jakub Raček, Ph.D.
Ing. Martin Šrámek

**prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
(Dipl. S.E. Delft)**

V Brně 09/2020

Obsah

1. Vstupní informace	5
2. Úvod do problematiky získávání tepla z odpadních vod	8
2.1 Princip tepelného čerpadla	11
2.1.1 Tepelná čerpadla vzduch/voda	14
2.1.2 Tepelná čerpadla země/voda	15
2.1.3 Tepelná čerpadla voda/voda	16
2.2 Centralizované systémy	17
2.2.1 Tepelný výměník ve stokovém systému	18
2.2.2 Metoda sewer mining	23
2.2.3 Tepelný výměník na ČOV	24
2.3 Decentralizované systémy	24
2.3.1 Vertikální decentralizované systémy	26
2.3.2 Horizontální decentralizované systémy	26
2.4 Využití tepelné energie	27
2.4.1 Přehřev TUV	27
2.4.2 Topení a chlazení v budovách	28
2.5 Výběr lokality pro získání a následné využití tepelné energie	28
2.5.1 Účel rekuperace	28
2.5.2 Teplota odpadních vod	29
2.5.3 Průtok, množství a typ odpadních vod	29
2.5.4 Prostorové nároky	31
2.5.5 Nutnost obsluhy a provozní náklady	32
2.6 Legislativní požadavky	32
2.6.1 Popis problému v rámci využívání teplé užitkové vody	36
3. Stanovení množství získané energie	38
3.1 Přenos tepla	38
3.1.1 Přenos tepla prouděním	38
3.1.2 Přenos tepla sáláním	39
3.2 Tepelná energie	39

3.3	Příklad výpočtu tepelné energie	40
3.3.1	Zisk tepelné energie – centralizovaný systém.....	41
3.3.2	Zisk tepelné energie – decentralizovaný systém.....	43
4.	Hospodaření s dešťovou vodou	45
4.1	Úvod do teorie hospodaření s dešťovou vodou	45
4.2	Legislativa a technické předpisy spojené s hospodařením s dešťovou vodou 48	
4.3	Kvalita dešťové vody	52
4.4	Požadavky na kvalitu dešťové vody využívané k závlaze	55
4.5	Možnosti hospodaření s dešťovou vodou	57
4.6	Předčištění dešťových vod	58
4.6.1	Usazovací šachta	60
4.6.2	Filtrační podokapový hrnec.....	61
4.6.3	Okapový filtr	62
4.6.4	Filtrační koš.....	62
4.6.5	Odlučovač lehkých kapalin	63
4.7	Retence dešťových vod.....	64
4.7.1	Suché retenční nádrže (poldry)	65
4.7.2	Protierozní nádrže	66
4.7.3	Retenční nádrže s biotopem.....	67
4.7.4	Decentralizované retenční nádrže	67
4.7.5	Retence na zelených střechách a střechách zadržujících vodu.....	68
4.7.6	Voštinové bloky	69
4.7.7	Zásobní nádrže	70
4.8	Vsakování dešťových vod.....	71
5.	Zhodnocení stávajícího stavu s ohledem na získání tepla	73
5.1	Obecný popis zájmové lokality	73
5.2	Místní šetření.....	75
5.3	Technické parametry	77
6.	Koncepční návrh pro získání tepla z odpadní vody	80

6.1	Zimní stadion Děčín	81
6.1.1	Zimní stadion Děčín – potřeba energií	81
6.1.2	Zimní stadion Děčín – koncepční návrh	82
6.2	ZŠ a MŠ Děčín, Březová	85
6.2.1	ZŠ a MŠ Děčín, Březová – potřeba energií	85
6.2.2	ZŠ a MŠ Děčín, Březová – koncepční návrh	86
6.3	Zimní stadion Děčín společně s ZŠ a MŠ Děčín, Březová	88
7.	<i>Orientační stanovení investičních nákladů</i>	90
7.1	Zimní stadion Děčín	90
7.2	ZŠ a MŠ Děčín, Březová	91
8.	<i>Propočet ekonomické návratnosti</i>	93
8.1	Zimní stadion Děčín	93
8.2	ZŠ a MŠ Děčín, Březová	94
9.	<i>Návrh opatření pro hospodaření s dešťovou vodou v areálu Aquaparku Děčín</i>	95
9.1	Koncepční návrh	95
9.1.1	Návrh objemu retenční nádrže AN1	96
9.1.2	Návrh objemu retenční nádrže AN2	97
9.1.3	Návrh objemu retenční nádrže AN3	98
9.1.4	Návrh objemu retenční nádrže AN4	99
9.2	Propočet investičních nákladů	100
10.	<i>Závěr, doporučení</i>	102
	<i>Použitá literatura</i>	103

1. VSTUPNÍ INFORMACE

Předmětem zakázky je vypracování studie proveditelnosti ve věci využití odpadní bazénové vody pro vytápění. Studie je zaměřena mimo jiné pro vyčíslení aktuálních finančních úspor provozem Aquaparku Děčín, a to využitím/prodejem odpadní vody pro vytápění přilehlého Zimního stadionu a Základní školy s Mateřskou školou. Bazénová odpadní voda je děčínským aquaparkem vypouštěna bez využití do řeky Ploučnice, a to v množství cca 510 000 m³·rok⁻¹, při teplotě 25 °C. Předkládaná zpráva řeší následující:

- úvod do problematiky pro získávání tepelné energie z odpadních vod (OV);
- stanovení množství získané energie;
- hospodaření s dešťovou vodou;
- zhodnocení stávajícího stavu s ohledem na získání tepla z OV pro předmětnou lokalitu;
- koncepční návrh pro získání tepla z OV;
- orientační stanovení investičních nákladů;
- propočet ekonomické návratnosti;
- závěr, doporučení.

Zpracovatelé: prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA (Dipl. S.E. Delft)
 soudní znalec pro obor stavebnictví odvětví vodní stavby
 soudní znalec pro obor vodní hospodářství odvětví čistota vod
 autorizovaný inženýr pro vodohospodářské stavby
 autorizovaný inženýr pro technologická zařízení staveb
 e-mail: hlavinek.p@fce.vutbr.cz

Ing. Jakub Raček, Ph.D.
soudní znalec v oboru stavebnictví, odvětví inženýrské stavby
soudní znalec v oboru stavebnictví, odvětví stavby vodní
soudní znalec v oboru vodní hospodářství, odvětví inženýrské
stavby
soudní znalec v oboru projektování, odvětví inženýrské stavby
autorizovaný inženýr pro stavby vodního hospodářství a
krajinného inženýrství
autorizovaný inženýr pro technologická zařízení staveb

autorizovaný stavebný inžinier pro vodohospodárske stavby pro
Slovensko
e-mail: racek.j@fce.vutbr.cz

Podklady poskytnuté zadavatelem:

- Diplomová práce s názvem „Potenciální úspory při navrhování a provozování bazénu a koupališť“, Tomáš Prokůpek, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, České vysoké učení technické v Praze, 12/2014;
- Písemná zpráva o energetickém auditu objektu Plaveckého areálu Děčín, vypracoval Mgr. Jiří Pospíšil a Ing. Oldřich Pixa, 12/2008;
- Výkresová dokumentace společnosti BFB studie s.r.o., stavba „Krytý plavecký bazén 25 m s vodními atrakcemi Děčín“, vypracoval Ing. Bolcha, 05/2000;
- Výkresová dokumentace skutečného provedení stavby „Rozšíření plaveckého areálu Děčín – Staré m., I. etapa – Stavba protipovodňové zdi, vypracovala společnost DZ Intact s.r.o., Dr. Ing. Daneš, MBA, 04/2010;
- Technická zpráva Posouzení návrhu vytápění krytého plaveckého bazénu ul. Oblouková – Ploučnická, Děčín III, vypracoval David Šašek, 12/2007;
- Výkres v CAD – Blokové schéma projektu „Vytápění bazén hala DC“ zadání pro prováděcí projekt, 12/2008;
- Studie ekonomiky provozu, porovnání alternativ vytápění haly krytého bazénu Děčín III, Obloukova ulice, vypracovala společnost RETO spol. s r.o., Ivan Vepřek, 11/2008;
- Protokol o provedení měření průběhů teplot v prostorách strojovny TČ v objektu plaveckého bazénu Děčín, vypracovala společnost RETO s.r.o., Ing. David Vepřek, 01/2010;
- Excel s názvem „provozní náklady.xls“ zahrnující mimo jiné: spotřeba elektrické energie pro roky 2011-2015, spotřeba páry pro roky 2011-2014, spotřeba pitné vody pro roky 2012-2014, roční spotřeba termální vody v množství 580 000 m³ a 1 m³ je za 3,- Kč;
- Vybrané výkresy z projektové dokumentace „Krytý plavecký bazén 25 m s vodními atrakcemi, vypracovala společnost Atelier Přípeř, Ing. Josef Duben, 04/2008;
- Zkušební protokol č. 36353 (rozbor vody) z vrtané studny DC-1 pro bazén pod zámkem, hloubka 420 m, rok hloubení 1978, 2004;

- Výkresová část z projektové dokumentace „Krytý plavecký bazén 25 m s vodními atrakcemi Děčín“, vypracovala společnost BFB studio, s.r.o., Ing. Bolcha, 03/2000;
- Excel s názvem „SPOTŘEBY_2011_2019.xls“ zahrnující mimo jiné informace o spotřebách a ceny pro roky 2011-2019 za elektrickou energii, termo, voda hala, voda Pesle, vrt DC4, limity;
- Excel s názvem „SPOTŘEBY_energií_2011-2019.xls“ zahrnující mimo jiné informace o spotřebách a ceny pro roky 2011-2019 za elektrickou energii, termo, voda hala, voda Pesle, vrt DC4, limity;
- Emailová korespondence ve věci využití vody jako skrápěcí voda pro kondenzátor na zimním stadioně, informace z emailu ze dne 22.05.2020 „1. Skrápěcí voda pro kondenzátor je uzavřený systém a voda stéká do nádrže pod schody, voda pro kondenzátor má být chemicky upravena a musí se udržovat stanovená hodnota PH včetně úroveň vodivosti. 2. Teplota výstupní vody je velmi proměnná a to dle venkovní teploty, podle provozních podmínek (režim suchý provoz nebo se skrápěním) a na jaký výkon běží frekvenční měnič ventilátorů kondenzátoru. Teplota je v rozmezí +2°C - +30°C. Z mého pohledu a dlouholetých zkušeností nedoporučuji jakýkoliv zásah do tohoto funkčního systému.“ Email od Roman Frász;
- Excel s názvem „Kopie - vyúčtování Termo el. energie SČVK 2019.xls“ pro Zimní stadion, zahrnující mimo jiné spotřebu elektrické energie pro roky 2011 – 2019, dále pak vytápění a ohřev vody pro roky 2011 – 2019, spotřeb vody (vodné a stočné) pro roky 2010 – 2019;
- Vybrané výkresy Zimního stadiónu z projektové dokumentace „Současný stav zimního stadionu Děčín – Staré město“, vypracovala společnost Projekt projekty staveb, Václav Kortus, 04/2006;
- Základní škola a Mateřská škola Děčín III, faktury za spotřebované teplo od TERMO Děčín, a.s. za roky 2018 a 2019;
- Základní škola a Mateřská škola Děčín III, faktury za vodné a stočné za pitnou vodu, dále pak stočné za srážkovou vodu od Severočeské vodovody a kanalizace, a.s.;
- Skeny vypraných výkresů z původní projektové dokumentace Základní školy a Mateřské školy.

2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA Z ODPADNÍCH VOD

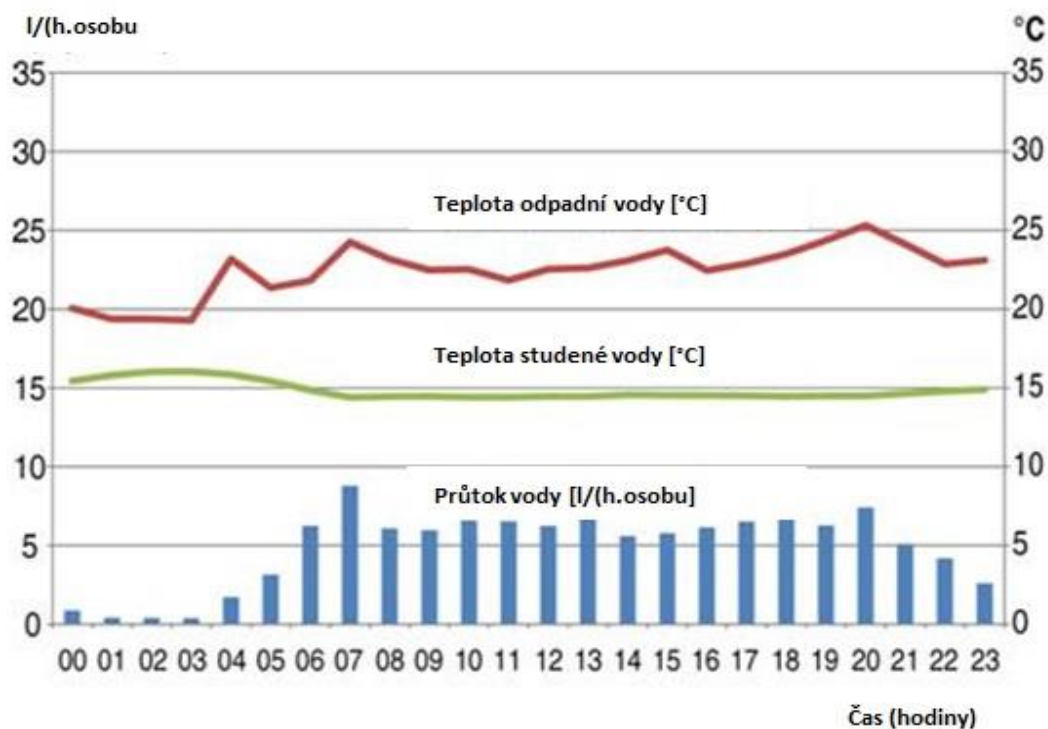
V českých domácnostech je použito na ohřev vody přibližně 20 % celkové roční spotřeby energie, z toho 63 % energie patří vytápění a zbylých 17 % je spotřeba elektrické energie na osvětlení, vaření, praní a ostatní potřeby [1]. Spalování fosilních paliv pro výrobu energie však urychluje globální oteplování. Tepelná energie se tedy stává stále cennějším zdrojem. Využití obnovitelné energie je nejlepším řešením pro úsporu fosilních zdrojů, pro snížení nebo vyloučení emisí oxidu uhličitého a zpomalení klimatických změn. Rekuperace tepla, tedy zpětné získávání tepelné energie, je v posledních dvou desetiletích využívána zejména jako nástroj pro snížení potřebné energie pro vytápění. Budovy provedené nebo opravené dle pasivního standardu jsou schopny díky své precizní tepelné obálce a technologii rekuperace tepla při větrání eliminovat náklady na vytápění. Získávání tepla je tedy v poslední době zaměřena na potřebu energie pro ohřev vody. [2]

Rekuperace tepla z odpadních vod je tedy s ohledem na životní prostředí a ekonomické hledisko efektivní řešení získávání tepelné energie [3]. Dle evropského profilu odběru teplé vody a dalších měření je většina energie pro ohřev vody v domácnostech potřebná pro sprchování nebo koupání. Tímto procesem vznikají odpadní vody s teplotou až 38 °C [4]. Odvedením odpadních vod do stokového systému je energie odvedena a tudíž ztracena. Rekuperace tepelné energie nabízí tuto „ztracenou“ energii využít k současnému přehřívání studené vody, a tímto pak prakticky snížit potřebu tepelné energie pro ohřev teplé užitkové vody v objektu. Celkový energetický zisk je tedy přímo úměrně roven spotřebě energie k ohřevu vody. V současnosti je rekuperaci tepla z odpadní vody v České republice (ČR) nakloněn i Státní fond životního prostředí ČR, který svým dotačním programem „Nová zelená úsporám“ podporuje aplikaci tepelných výměníků v rodinných a bytových domech.

Odpadní voda je zdrojem tepelné energie, jejíž potenciál není v dnešní době širokou veřejností zcela využíván. Teplota ve stokovém systému je poměrně stálá v průběhu roku. Zásadní teplotní výkyvy nastávají v létě, kdy odpadní voda dosahuje maximálních teplot i přes 20 °C a v zimě, kdy jsou teploty odpadní vody nejnižší, je teplota v průměru mezi 10 °C až 15 °C. [5]

Na Obr. 1 je znázorněna teplota odpadní vody v závislosti na spotřebě vody během pracovního dne. Tato data byla získána monitoringem spotřeby a teploty studené vody a teploty odpadní vody v rezidenčním domě v německém městě Düren. Rezidenční dům obývalo 19 rezidentů v osmi bytových jednotkách. Monitoring probíhal v období

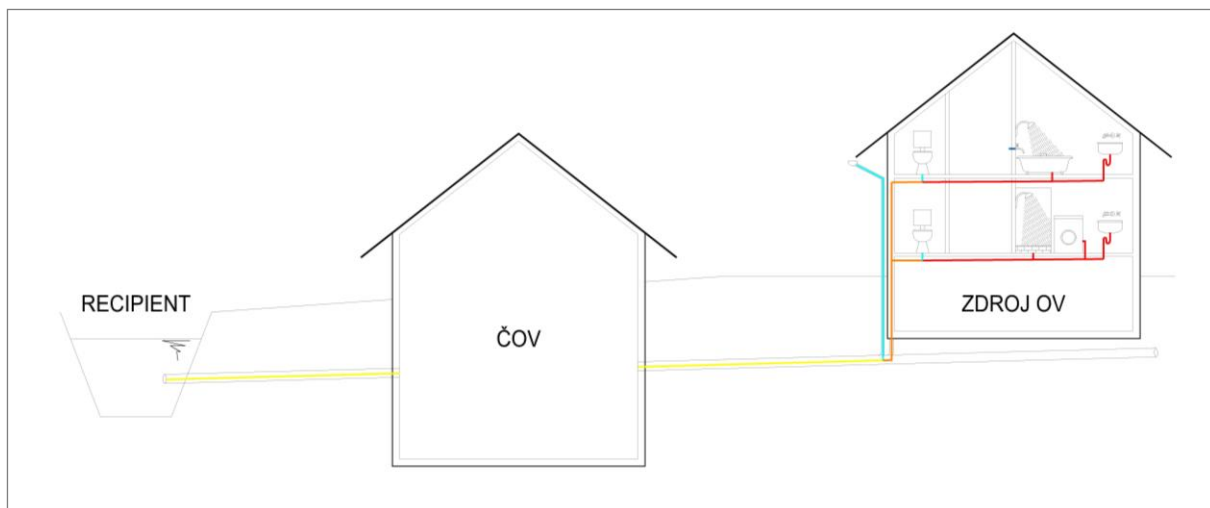
od května 2012 do července 2012. Průměrná teplota odpadní vody přes den byla 22,5 °C, nejvyšší průměrná teplota byla naměřena během denních špiček. Během ranní špičky (7–8 hod.) dosáhla teplota odpadní vody průměrně 24,3 °C a během večerní špičky (20–21 hod.) dokonce 25,3 °C.



Obr. 1 Teplota odpadní a pitné vody v závislosti na hodinové spotřebě pitné vody během pracovního dne

Odpadní voda z domácností může být tedy nákladově efektivním zdrojem tepelné energie. Průměrné spotřebiště, zejména při sprchování a koupání, vypustí do vnitřní kanalizace budov až 40 % tepelné energie vyrobené v obytných budovách. Teoreticky ochlazením 1 m³ odpadní vody lze získat 1,16 kWh tepelné energie. [2]

V místě spotřeby teplé vody, a v podstatě v místě svého vzniku, má odpadní voda svou nejvyšší tepelnou energii. Po opuštění budovy tato tepelná energie ve stokovém systému směrem na čistírnu odpadních vod (ČOV) postupně klesá (viz Obr. 2). Pokles teploty může být způsoben naředěním se studenější odpadní vodou, např. v případě jednotného stokového systému s dešťovou vodou. Teplota odpadní vody ve stokovém systému klesá o několik stupňů také během noci. Nejvýhodnějším zdrojem tepelné energie se jeví odpadní voda v místě svého vzniku, tedy v budovách. [2]



Obr. 2 Schéma průtoku tepelné energie vnitřní kanalizací, stokovým systémem až na ČOV (Legenda: červená barva – teplá voda koupelen a praček (teplota vody až 38 °C); oranžová barva – odpadní voda z koupelen a praček ochlazená odpadní vodou z toalet, žlutá barva – odpadní voda z domácností ochlazená dešťovou vodou a následnými ztrátami tepelné energie v čistících procesech na ČOV a odtoku do recipientu; modrá barva – studená odpadní voda)

Tepelnou energii z odpadní vody můžeme rozdělit dle místa spotřeby tepelné energie na ohřev (případně chlazení v rámci tepelných čerpadel):

- provozní teplé vody;
- teplé užitkové vody (TUV);
- vytápění objektu.

Termín zpětného získávání tepla z odpadní vody (ZZTOV) je v zahraniční literatuře označován jako „drain water heat recovery“. Výhodou systému ZZTOV je, že nespotřebovává žádné další pomocné energie. Pro návrh systému ZZTOV jsou důležité faktory: teplota a průtok odpadní vody. Dále je potřeba v prvopočátku návrhu koncepce rozhodnout, jestli tepelná energie bude odebírána ze stokové systému vně budovy nebo v rámci vnitřní instalace uvnitř budovy. Tudíž systémy ZZTOV lze rozdělit dle umístění výměníku a rozsáhlosti zásobování teplou vodou do dvou základních skupin systémů, konkrétně jako:

- centralizované systémy;
- decentralizované systémy.

Podle místa získání tepelné energie je možné zdroje rozdělit následovně:

- decentralizované systémy (vnitřní kanalizace):
 - v místě vzniku u zařizovacích předmětů;
 - na potrubí vnitřní kanalizace, na odtoku z budovy);

- centralizované systémy (stokový systém):
 - stokový systém;
 - na čistírně odpadních vod.

Tato kapitola je členěna na následující podkapitoly:

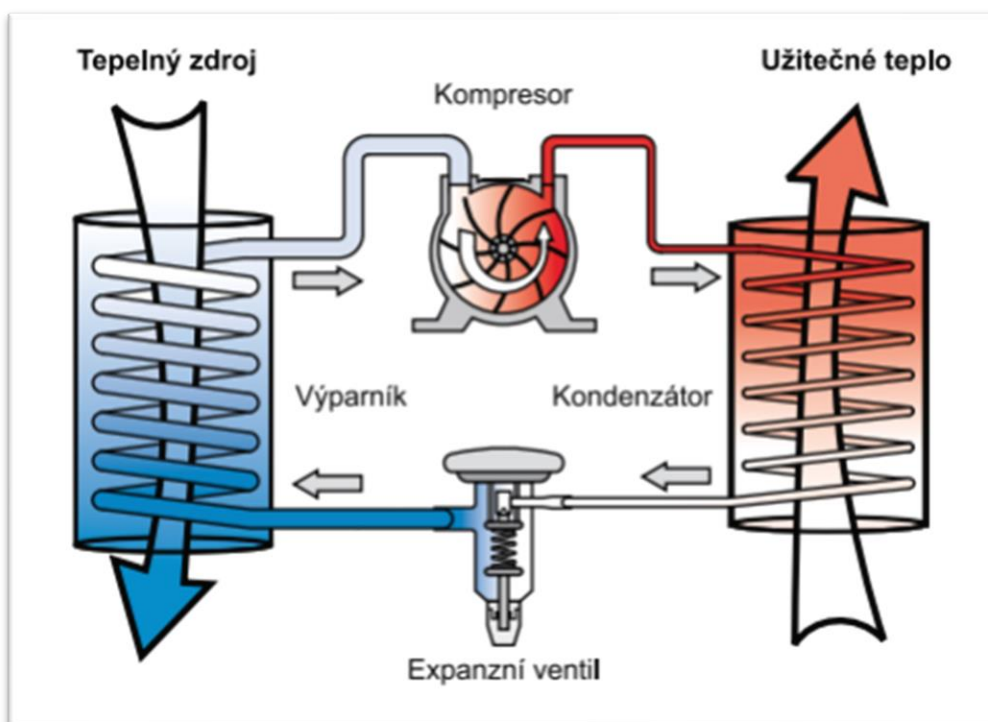
- princip tepelného čerpadla;
- centralizované systémy;
- decentralizované systémy;
- využití tepelné energie;
- výběr lokality pro získání a následné využití tepelné energie;
- hygienické požadavky.

2.1 Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo funguje na principu kompresorového okruhu. Tvoří jej čtyři základní části: kompresor, výparník, expanzní ventil a kondenzátor. Dále jej tvoří dva okruhy: primární a sekundární. Princip tepelného čerpadla „odpadní voda – voda“ je s ohledem na schéma v obrázku Obr. 3 následující:

- primární potrubí je umístěno buď v nádrži s odpadní vodou, nebo přímo ve stokovém systému. Odebírá tak odpadní vodě tepelnou energii, které předává do výparníku tepelného čerpadla. Ve vnitřním okruhu se médium (chladiivo) natlakované kompresorem značně ohřeje a předá tepelnou energii v kondenzátoru sekundárnímu potrubí, kterým se může například vytápět. Dále je médium škrveno expanzním ventilem, čímž se výrazně zchladí. Tento postup se neustále opakuje. Užitečná tepelná energie je tedy tvořena součtem energií z odpadní vody a energií vloženou do kompresoru. [6]

Využitím a instalováním tepelného čerpadla do systému ZZTOV se mnohonásobně zvýší potenciál odpadní vody. Tepelné čerpadlo se může využívat jak pro vytápění, tak i chlazení. Výkon tepelného čerpadla je charakterizován topným faktorem ($COP = \text{Coefficient of Performance}$). Je to poměr tepla předaného teplotosné látce a vynaložené (dodané) práce. Topný faktor roste s vyšší teplotou zdroje – teplotou odpadní vody. [6]



Obr. 3 Obecný princip tepelného čerpadla [6]

Obecně lze činnost tepelného čerpadla rozdělit do čtyř dějů:

- vypařování – ze vzduchu, vody nebo země je odebíráno chladivo kolující v tepelném čerpadle, čímž je vypařováno;
- komprese – kompresor tepelného čerpadla prudce stlačí plynné chladivo, čímž je zvýšena teplota plynu na přibližně 80 °C;
- kondenzace – ohřáté médium po kompresi předá ohřívané teplo vodě pomocí výměníku tepla;
- expanze – médium prochází přes expanzní ventil zpět k prvnímu výměníku.

Při výběru tepelného čerpadla je klíčová charakteristika topného faktoru COP. Topný faktor vyjadřuje poměr mezi výkonem kondenzátoru a příkonem kompresoru, jinak tedy vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií. Čím je topný faktor vyšší, tím je zařízení účinnější. Čím je nižší teplota topné vody, tím je topný faktor vyšší. Proto je výhodnější pro využití podlahové topení, kterému stačí nižší teplota vody než radiátorům. [33]

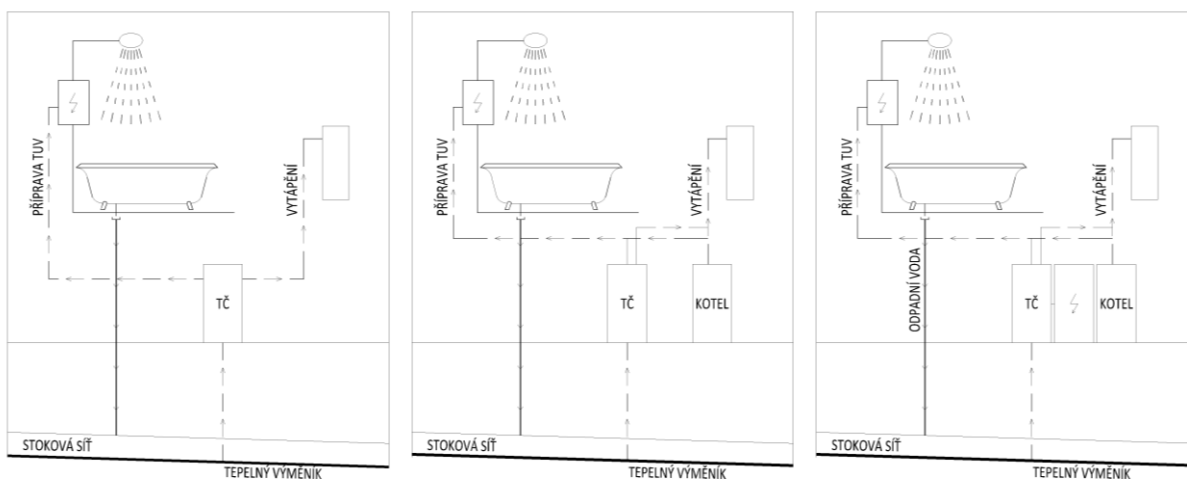
Také se lze setkat s topným faktorem označovaným SCOP (Season Coefficient of Performance), který je stanoven na základě testování tepelného čerpadla ve zkušebně za působení daných klimatických dat. [33]

SCOP udávaný pro podnebí mírného klimatického pásma uvažuje s klimatickými daty, teplota během roku neklesne pod -10°C. To je ovšem značně vzdálené podmínkám

České republiky, kde se v teplejších lokalitách počítá s teplotami $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, na většině území $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v horských oblastech dokonce $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$. [33]

Zatímco zisk tepelné energie je zajištěn za pomoci výměníků, o zpracování a dodání tepelné energie do samotného objektu se ve většině případů stará tepelné čerpadlo. Lze rozdělit tři různé způsoby výroby tepla:

- monovalentní výroba – výroba tepla pouze tepelným čerpadlem. Jedná se o využití pouze tepelného čerpadla s vyloučením použití fosilních zdrojů. K takovému systému je potřeba velké množství odpadních vod. Pokud je využito více druhů systémů vytápění v budově, lze použít dvou až čtyř kompresorových agregátů, popř. zapojit paralelně více tepelných čerpadel;
- bivalentní výroba – kombinace výroby tepla tepelným čerpadlem a kotle. Nejčastější varianta, kdy základní zdroj pro výrobu tepla tvoří tepelné čerpadlo doplněné o kotel pro pokrytí odběrových špiček. Kotel je záložní zdroj, který při výpadku odběru tepla z kanalizace, nahradí základní zdroj, tedy tepelné čerpadlo. Při normálním provozu je kotel využit pouze při odběrových špičkách. Tento způsob je levnější než monovalentní výroba;
- multivalentní výroba – kombinace výroby tepla tepelným čerpadlem a blokové tepelné elektrárny. V případě, že je požadavek na větší odběry tepla, lze využít kombinaci výroby tepla tepelným čerpadlem a blokové tepelné elektrárny, která vyrábí teplo na vytápění a elektrickou energii pro tepelné čerpadlo. Místo odpadní vody lze využít i jiné zdroje energie (podzemní voda, teplo z chladících zařízení, teplo z technologie ad.). [32]

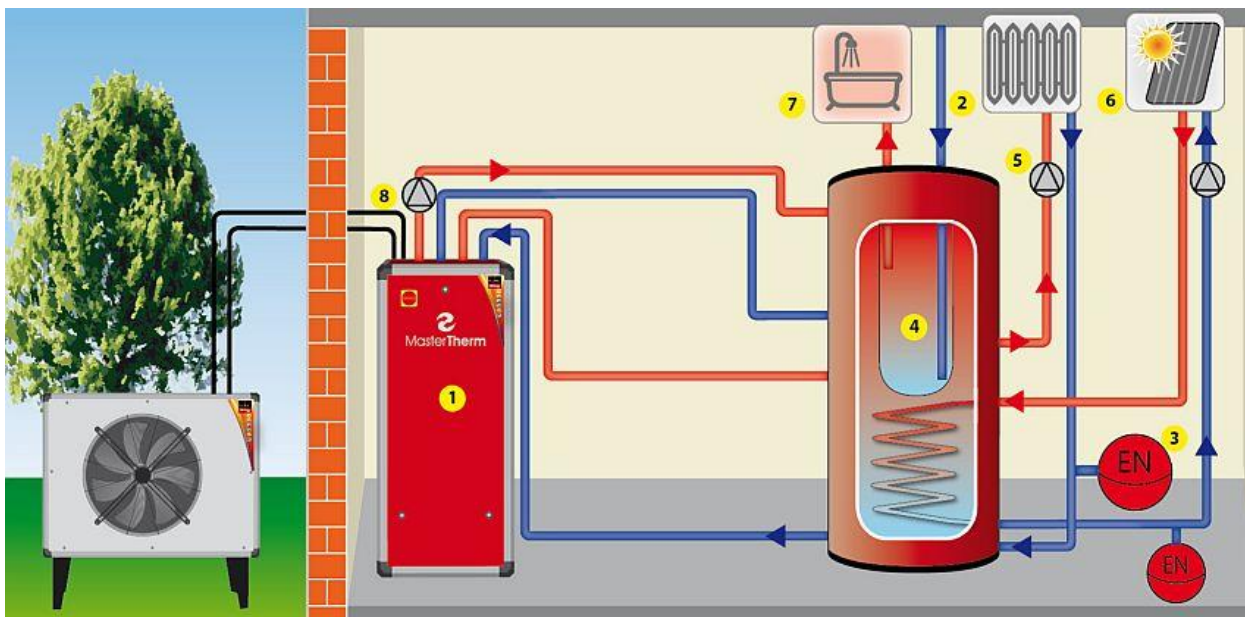


Obr. 4 Způsoby výroby tepla z odpadní vody tepelným čerpadlem (vlevo: monovalentní, uprostřed: bivalentní výroba, vpravo: multivalentní výroba)

2.1.1 Tepelná čerpadla vzduch/voda

Tento systém má mnoho výhod vyplývajících ze snadné instalace a velké univerzality. Při použití tohoto typu odpadá zemní práce, což značně snižuje pořizovací náklady. Výkon tepelného čerpadla je přímo úměrně závislý na teplotě venkovního vzduchu, tedy vzrůstá-li teplota venkovního vzduchu, roste i výkon tepelného čerpadla. Z tohoto důvodu jsou tepelná čerpadla vzduch/voda většinou provozována v bivalentním provozu, to znamená, že pod bodem bivalence (teplota kolem $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) přepíná doplňkový zdroj tepla (zpravidla elektrokotel) a tepelnou pohodu zajišťují oba zdroje současně. U některých tepelných čerpadel s frekvenčně řízenými kompresory si tepelné čerpadlo zachovává svůj výkon i při nízkých venkovních teplotách. Je to ale kompenzováno výrazně zvýšeným elektrickým příkonem. Například tepelné čerpadlo ZUBADAN má výkon 11 kW při venkovní teplotě $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ i při teplotě $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Elektrický příkon ale vyrostе z 2,6 kW při $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 5,5 kW při teplotě $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. [33]

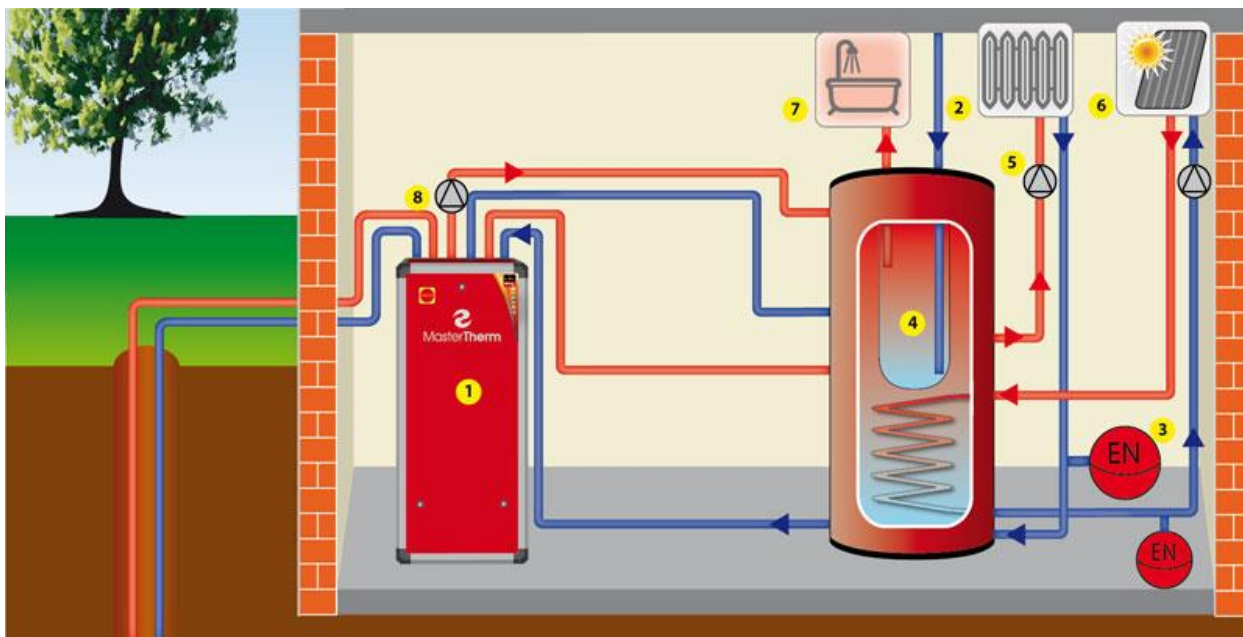
Tepelná čerpadla vzduch/voda se skládají buď ze dvou jednotek, a to venkovní a vnitřní, nebo z kompaktního provedení, kdy celé tepelné čerpadlo může stát venku, nebo uvnitř objektu. V případě děleného provedení (někdy se mu říká „split“) venkovní část nasává okolní vzduch a je většinou umístěna vedle domu nebo na střeše, vnitřní zajišťuje ohřev teplé vody a topného systému. Na trhu jsou rovněž vzduchová tepelná čerpadla pouze vnitřního provedení. U tohoto typu je nutné propojit jednotku vhodným vzduchotechnickým potrubím přes obvodovou zeď s vnějším prostředím k zajištění přívodu a odvodu využívaného venkovního vzduchu. Množství protékaného vzduchu činí řádově tisíce m^3/h . [33]



Obr. 5 Zapojení tepelného čerpadla typu vzduch/voda (Legenda: 1=tepelné čerpadlo, 2= otopná soustava, 3=expanzní nádoba, 4=vnořený zásobník TUV, 5=čerpadlo otopné soustavy, 6=solární systém, 7=výstup teplé vody; 8=oběhové čerpadlo systému)

2.1.2 Tepelná čerpadla země/voda

Tento typ tepelných čerpadel patří mezi velmi významné systémy. Vzhledem k jeho provozu vůči venkovním klimatickým podmínkám můžeme tento systém hodnotit jako nejstabilnější. Tepelná čerpadla typu země/voda jsou většinou provozována v bivalentním provozu, to znamená, že pod bodem bivalence (teplota kolem $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$) připíná doplňkový zdroj tepla (zpravidla elektrokotel) a tepelnou pohodu zajišťují oba zdroje současně. Hlavní nevýhodou tohoto systému je nutnost zemních prací při instalaci. Pro čerpání tepla ze země je potřeba zemní kolektor (horizontální kolektor), nebo geotermální vrty (vertikální kolektor). Tepelná čerpadla pracující s tímto systémem poskytují stabilní výkon a úspory, které dosahují až 80 % provozních nákladů na provoz tradičního topného systému. Zmiňovaná stabilita se projevuje i ve velmi dlouhé životnosti celého systému.

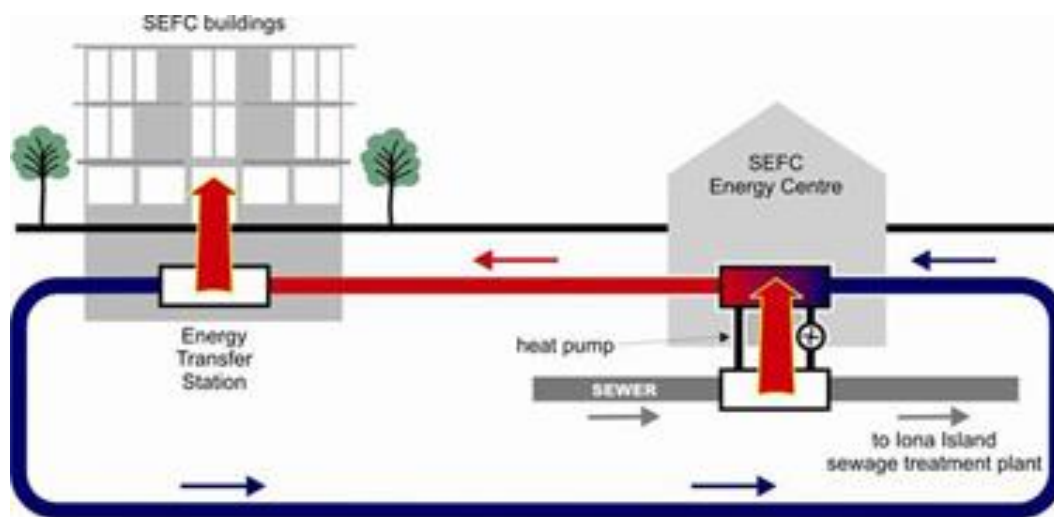


Obr. 6 Zapojení tepelného čerpadla typu země/voda (Legenda: 1= tepelné čerpadlo vč. čerpadla výparníku???, 2= otopná soustava, 3= expanzní nádoba, 4=vnořený zásobník teplé vody, 6=solární systém, 7=výstup teplé vody, 8=oběhové čerpadlo topného systému.)

2.1.3 Tepelná čerpadla voda/voda

Tepelná čerpadla typu voda/voda mají nejvyšší topný faktor ze všech zmíněných typů tepelných čerpadel. Těchto čerpadel je využíváno při získávání tepelné energie z vod podzemních, povrchových, ale i vod odpadních.

Pokud je voda odebírána a čerpána přímo do výparníku, musí projít chemickým atestem. Voda je po odebrání části tepla navracena zpět. Při využití odpadní vody dochází k ohřátí čisté vody ve výměníku a ta poté přenáší tepelnou energii do tepelného čerpadla. Ochlazená voda odtéká v tomto případě zpět do stoky. Obecně se dá říct, že systémy voda/voda jsou nejúčinnější a pokud je lze nainstalovat, tak se jim dává přednost. Změna teploty v případě odpadní či podzemní vody je velmi malá a jedná se tak o nejteplejší zdroje energie. Při čerpání vody ze studní je nutná vydatnost alespoň 0,5 l/s. Poměrně náročné je využití povrchových zdrojů. Výměníky se umísťují kvůli zamrzání pod dna nádrží nebo pod koryta řek. [32]



Obr. 7 Šíření tepla pomocí tepelného čerpadla typu voda/voda ze stokového systému [49]

2.2 Centralizované systémy

Centralizované systémy ZZTOV fungují na principu umístění výměníku přímo do stokového systému nebo umístění výměníku tepla do nádrže s odpadní vodou odebranou ze stokového systému splaškových odpadních vod (princip metody sewer mining).

Ve stokovém systému je teplota v ročním cyklu poměrně stálá. Zásadní teplotní výkyvy nastávají však v létě, kdy dosahuje maximálních teplot i přes 20 °C a v zimě, kdy jsou teploty odpadní vody nejnižší, v průměru mezi 10 °C až 13 °C. Tyto podmínky jsou ideální pro využití tepelného čerpadla. Odpadní voda bývá ve stoce ochlazená po tepelné výměně přibližně o 1 °C až 3 °C. Odpadní voda je nejteplejší po opuštění zařizovacího předmětu, kde je spotřebována teplá voda. Ve stoce se může teplá odpadní voda naředit se studenější odpadní vodou nebo za deštivých průtoků, v případě jednotného stokového systému, srážkovou (dešťovou) vodou. Teplota odpadní vody ve stokovém systému klesá o několik stupňů také během noci.

Není tedy možné jednoznačně konstatovat, který systém využití rekuperace tepla z odpadní vody je nejlepší. Na konkrétní lokalitě je nutno definovat výhody a nevýhody, nejenom s ohledem na systém rekuperace, ale i možností případné akumulace odpadní vody k následujícímu odběru tepelné energie. Ekonomicky nejzajímavější je využití energie z odpadní vody ve stokovém systému pro možnosti vytápění i chlazení. Tím by se maximálně využil energetický potenciál odpadní vody ve stokovém systému. Energie z odpadní vody by měla sloužit k pokrytí nezanedbatelných částí stálých odběrů (vytápění/chlazení a ohřev teplé užitkové vody). Na pokrytí špičkových odběrů

(např. mrazivé dny trvající pár dní v roce) by měly sloužit konvenční zařízení (např. plynové nebo elektrické kotle). Průtok odpadní vody ve stokovém systému může být někdy limitujícím faktorem. Je třeba zmínit, že průtoky ve stokovém systému musí být konstantní, ideálně s průměrným průtokem odpadní vody nad $10 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. [10] Při návrhu tepelného výměníku s instalací do stokového systému je potřeba návrh konzultovat a odsouhlasit s majitelem, ale hlavně s provozovatelem stokového systému, tak aby výměník negativně neovlivnil stavebně-technický stav vodohospodářského majetku. Dále je důležité posoudit snížení nebo zvýšení teploty odpadní vody ve vztahu ve vztahu k procesům čištění odpadních vod na ČOV.

Tato dílčí kapitola je dále rozdělena na následující podkapitoly:

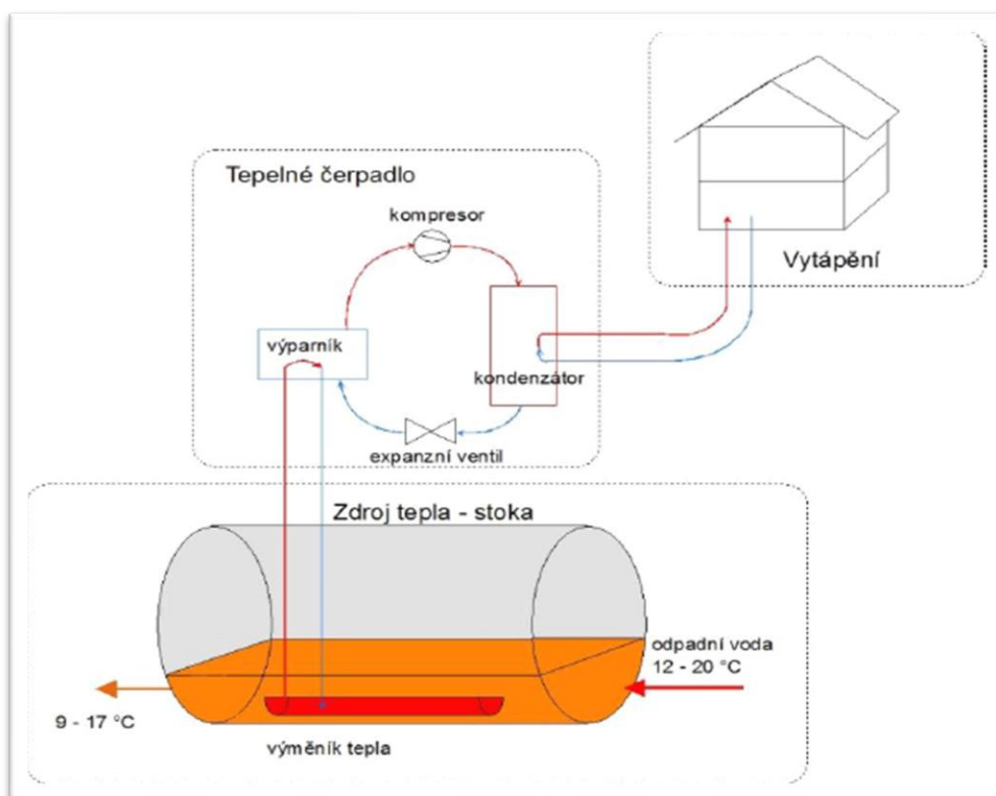
- tepelný výměník ve stokovém systému;
- metoda sewer mining.

2.2.1 Tepelný výměník ve stokovém systému

Umístění výměníku tepelné energie přímo do stokového systému je založeno na osazení potrubí se zabudovaným výměníkem tepelné energie nebo dodatečném umístění výměníku do stávajícího potrubí.

Odpadní voda ve stokovém systému má zpravidla nižší teplotu než odpadní voda přímo v budově. Teplota odpadní vody je závislá také na venkovní teplotě vzduchu a na průtoku ve stoce. Hlavní výhodou tohoto typu rekuperace je však prakticky neustálý, i když proměnlivý průtok odpadní vody ve stoce a tím pádem možnost nepřetržitého využití k rekuperaci tepelné energie. Podmínkou je správné určení lokality ke správnému fungování systému. Na okrajových částech stokových systémů s nízkým a velice proměnlivým průtokem by takového řešení mohlo být neefektivní a tím pádem ekonomicky značně nevýhodné. Vhodné se tedy jeví zejména městské kmenové stoky.

Tento systém je tedy možné využít jak na novou, tak i na stávající stokovou soustavu. Pro aplikaci výměníku tepla pro profily potrubí DN 400 – DN 1000 je nutné nahrazení úseku stávajícího stokového systému potrubím s integrovaným výměníkem tepla, pro aplikaci do potrubí o profilu větším než DN 1000 lze umístit výměník tepelné energie přímo do stávajícího potrubí. Pro efektivní využívání tepelné energie ze stokového systému je z důvodu ztrát nutná instalace systému v co nejmenší vzdálenosti od místa využití. V následujícím obrázku (Obr. 8) je znázorněna možnost využití tepelného výměníku a tepelného čerpadla k vytápění budovy.



Obr. 8 Princip tepelného čerpadla s tepelným výměníkem ve stokovém systému [30]

Tepelné výměníky ve stokovém systému tedy můžeme dále rozdělit na:

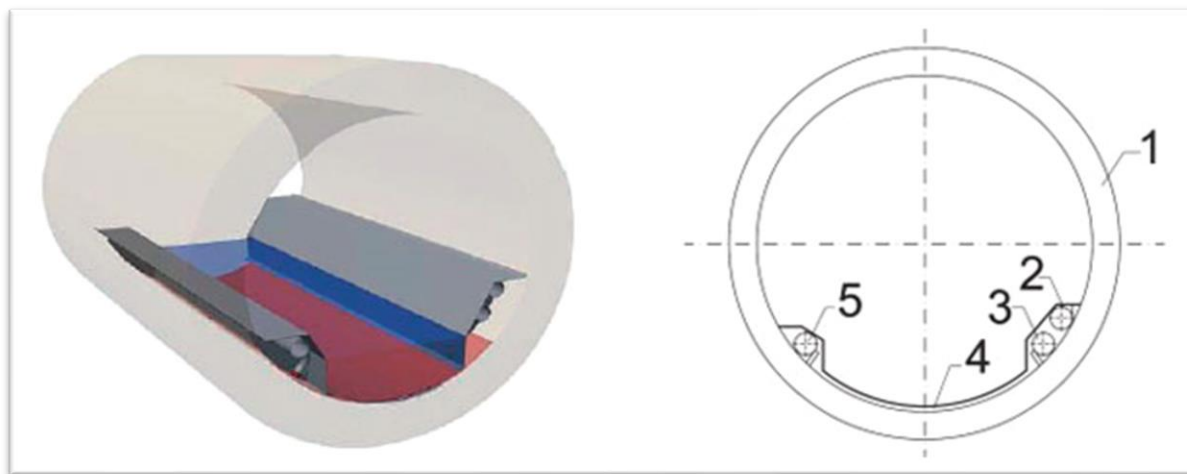
- tepelný výměník dodatečně vložený do potrubí;
- tepelný výměník integrovaný v potrubí;
- tepelný výměník integrovaný v předizolovaném potrubí.

Tepelný výměník dodatečně vložený do potrubí

Vložené výměníky jsou vyrobeny obvykle z nerezového plechu a předávají tepelnou energii do potrubí primárního okruhu tepelného čerpadla. Potrubí v tomto rekuperačním systému jsou tři: přívodní, vratné a rozdělovací. Integrované výměníky využívají teplosměnnou stěnu potrubí, skrze niž je tepelná energie předávána ocelovému potrubí odvádějící teplo k tepelnému čerpadlu.

Výměníky lze instalovat v nových i stávajících potrubích stokového systému a jsou umísťovány do dna nebo do horní hrany potrubí. Výměník tepelné energie umístěný u horní hrany je ekonomicky náročnější, avšak výhodný z hlediska kontroly a pravidelné revize. Výměník tepelné energie umístěný u horní hrany potrubí je využíván u tlakové kanalizace. Pro gravitační stokové systémy je teplosměnná plocha ve dně potrubí.

Tepelná výměna zde závisí na výšce hladiny odpadní vody v potrubí. Tyto výměníky jsou vyráběny z nerez oceli nebo z mědi v délkách 1-3 m o stykové ploše 120°. Tab. 1 uvádí tepelný výkon vložených výměníků tepelné energie do stokové sítě, kdy je teplota odpadní vody 13 °C a teplota přiváděného média určeného k ohřevu 6 °C.



Obr. 9 Tepelný výměník dodatečně vložený do potrubí [16] (Legenda: 1 – kanalizační potrubí; 2 – přiváděné studené médium; 3 – rozdělovací potrubí; 4 – teplosměnná plocha výměníku tepla; 5 – výstup ohřáté vody) [16]

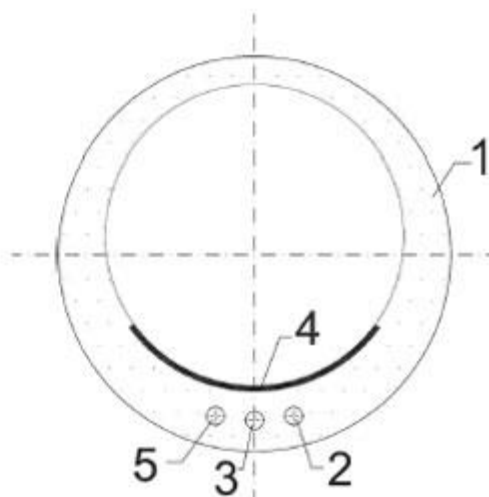
Tab. 1 Tepelný výkon na vytápění při využití vložených ocelových výměníků tepla do potrubí stokového systému při teplotě odpadní vody 13 °C, teplotě přiváděné studené vody 6°C a úhlu zatopení 120° [16] [50]

Průměr potrubí [mm]	Tepelný výkon [kW·bm ⁻¹]
1200	3,2
1400	3,7
1600	4,2
1800	4,8
2000	5,3

Tepelný výměník integrovaný v potrubí

Potrubí s integrovanými výměníky tepla se vyrábí v délkách od dvou do šesti metrů. Hlavní výhodou aplikace integrovaných výměníků je nezměňující se průtočná plocha potrubí a tím samotná kapacita stoky. Nevýhodou integrovaných výměníků je špatná přístupnost a nutnost výkopových prací při pokládce nebo kontrole a revizi. Tyto výměníky tepelné energie je také možné využít v případě pokládky nového potrubí nebo kompletní obnově stávajícího potrubí v požadovaném úseku. Teplosměnná plocha tohoto výměníku je tvořena vnitřní stěnou prefabrikovaného potrubí. [16] Výkon

tepelného výměníku je, v závislosti na množství a rychlosti vody, sklonu potrubí, znečištění apod., přibližně 2-6 kW/m² při dimenzi potrubí DN 400 – DN 800, za podmínek min. průtoku 12 l/s a délky zařízení 9 – 200 m. Ve vztahu k 1 m³ odpadní vody lze dle výrobce získat přibližně 2-3 kWh energie, tj. 1 kWh ze 420 litrů odpadní vody.

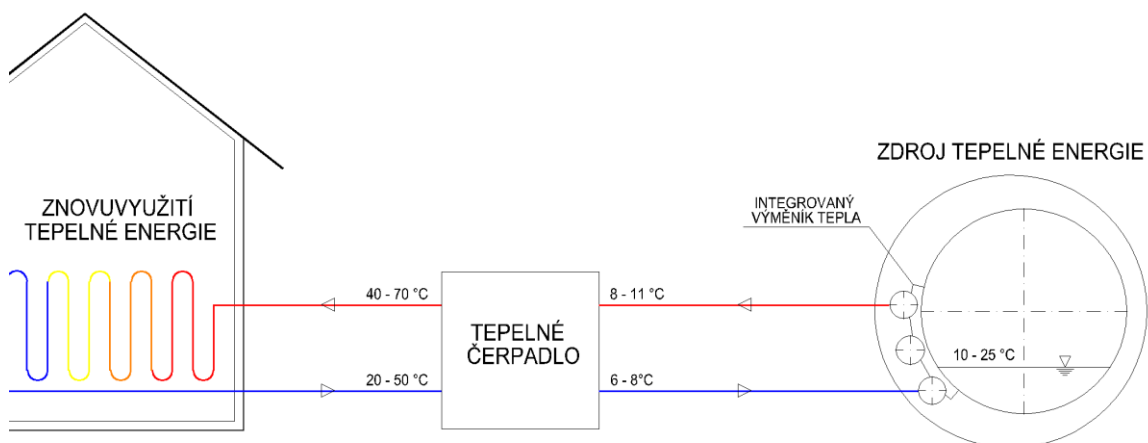


Obr. 10 Tepelný výměník integrovaný v gravitačním potrubí [16]

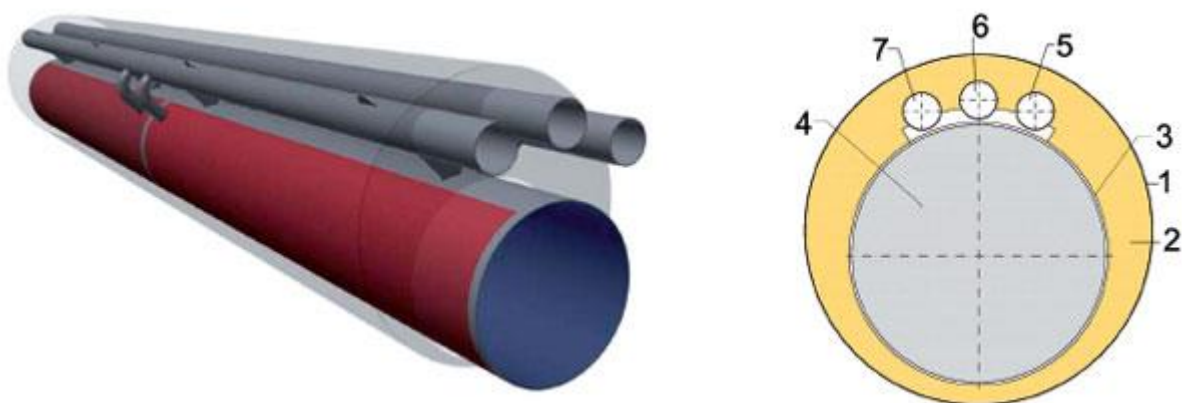
Předizolované kanalizační potrubí s integrovaným ocelovým výměníkem

Tento typ výměníků je vhodný pro gravitační i tlakové systémy, avšak jen v případě výstavby nových stokových systémů nebo při výměně starých kanalizačních potrubí. Teplosměnnou plochu výměníků tvoří samotné dvouplášťové kanalizační potrubí, které odevzdává teplo distribučnímu potrubí instalovanému v tepelné izolaci.

V případě gravitačního stokového systému jsou distribuční potrubí tepelné výměny osazována na boku ocelového kanalizačního potrubí. Přenos tepelné energie v tomto případě závisí na výšce hladiny a průtoku odpadní vody. Na Obr. 11 je znázorněno schéma zapojení předizolovaných kanalizačních výměníků. U tlakových stokových systémů jsou distribuční potrubí umístěna u horní hrany kanalizačního potrubí (Obr. 12). V Tab. 2 je uveden tepelný výkon izolovaných kanalizačních trub s integrovanými výměníky tepelné energie, kdy teplota odpadní vody je 13 °C a teplota přiváděného média určeného k ohřevu 6 °C. [16]



Obr. 11 Schéma využití tepelné energie ze stokového systému pomocí integrovaného výměníku tepla v zimním období



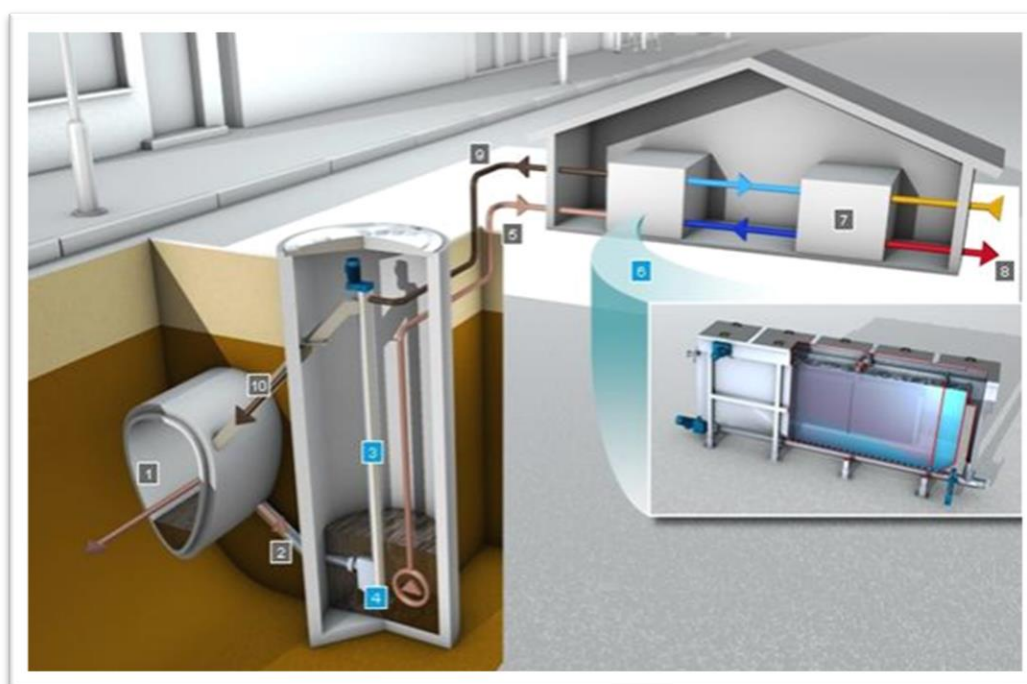
Obr. 12 Předizolované kanalizační potrubí určené do tlakového systému [16]

Tab. 2 Tepelný výkon na vytápění při využití předizolovaného kanalizačního potrubí s integrovaným výměníkem tepla při teplotě odpadní vody 13 °C, teplotě přiváděné studené vody 6°C, úhlu zatopení 120° (gravitační potrubí) [16] [50]

Průměr potrubí [mm]	Tepelný výkon [kW·bm ⁻¹]	
	Gravitační potrubí	Tlakové potrubí
200	0,6	1,6
400	1,1	3,2
600	1,6	4,8
800	2,1	6,3
1200	3,2	-

2.2.2 Metoda sewer mining

Metoda sewer mining a s ní spojené využívání tepelné energie z odpadní vody je založena na principu odběru a akumulace odpadní vody, tepelné výměně a navrácení ochlazené vody do stokového systému. Tento způsob rekuperace tepelné energie není obecně limitován sklonem kanalizačního potrubí ani průtokem odpadní vody. V rámci tohoto systému je často nutné zařadit předčištění odpadní vody před kontaktem se zařízením na výměnu tepla, a to alespoň pomocí perforovaného koše na vstupu do akumulární nádrže. Ochlazenou odpadní vodu lze při opětovném zaústění do stokového systému využít pro splach šrabků z perforovaného koše zpět do stokové sítě. [14]



Obr. 13 Tepelný výměník sewer mining od firmy HUBER [15]

Podle schéma na obrázku princip systému je následující: ze stokového systému (1) je odebírána odpadní voda navrtávkou v potrubí stokového systému (2), které je zaústěno do čerpací stanice. Odpadní voda je zde čištěna od hrubých nečistot pomocí perforovaného koše (4). Nečistoty jsou z koše odnášeny šnekovým podavačem směrem vzhůru (3). Odpadní voda zbavená hrubých nečistot a pevných látek je čerpána (5) do výměníku tepla HUBER RoWin (6). Ochlazená odpadní voda z výměníku tepla je vedena zpět do stokového systému (9). Tento proud odpadní vody je veden tak, aby odplavoval nečistoty, které byly šnekem vyneseny, zpět do

stokového systému (10). Tepelné čerpadlo (7) produkuje tepelnou energii pro vytápění nebo chlazení, které je vedeno ke spotřebitelům (8). [9]

2.2.3 Tepelný výměník na ČOV

Tepelná energie z odpadních vod může být získávána také na ČOV. Ze všech výše uvedených lokalit je právě na ČOV nejvyšší a nejkonstantnější průtok a teplota. Nevýhodou je však skutečnost, že teplota na přítoku na ČOV je ze všech uvedených variant nejnižší. Díky tomu jsou tepelná čerpadla, která jsou na ČOV často využívána, méně efektivní. Získaná tepelná energie bývá využívána přímo na ČOV, je-li tepelné energie více, je možné ji dodávat do veřejné sítě. [29]

2.3 Decentralizované systémy

Technologií pro ZZTOV v domácnostech jsou tepelné výměníky typu voda – voda, pro které je typická okamžitá předávka tepelné energie z odpadní vody přiváděnému médiu: užitkové nebo pitné vodě. Takto předebrátou vodu lze přivádět rovnou do sprchové hadice nebo ke zdroji tepla TUV. [2] Dle normy ČSN EN 1717 *Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění zpětným průtokem* [7] musí být teplosměnná plocha zařízení provedena jako dvouplášťová, čímž nedochází k negativnímu transportu znečišťující hmoty. Dvouplášťová konstrukce zajistí ochranu pitné vody před znečištěním. [2]

Odpadní voda přímo ve vnitřní kanalizaci má vyšší teplotu než odpadní voda ve stokové síti, jelikož až 60 % spotřebované vody v domácnostech je ohříváno ve sprchách, umyvadlech, myčkách na nádobí nebo pračkách. Teplota se však během dne mění v závislosti na spotřebě vody. U systémů uvnitř budov se k rekuperaci tepelné energie využívají jak šedé vody, tak vody splaškové včetně odpadní vody z toalet. [29]

Zařízení jsou tedy vhodná pro sprchování, ale není je možné aplikovat při koupelích ve vaně, kdy napouštění a vypouštění nenastává současně. Tato technologie pracuje na principu gravitace a přetlaku v systému vodovodního řadu. Nejsou tedy potřeba žádné pohyblivé části, jako jsou čerpadla, nebo směšovací ventily apod. Tyto systémy vynikají nízkou údržbou, malými požadavky na prostor. Zařízení zpravidla nemají zásobník šedých vod z důvodu vzniku tepelných ztrát při skladování tepla, rizika vzniku bakterií *Legionelly* a nižších účinností rekuperace. [2]

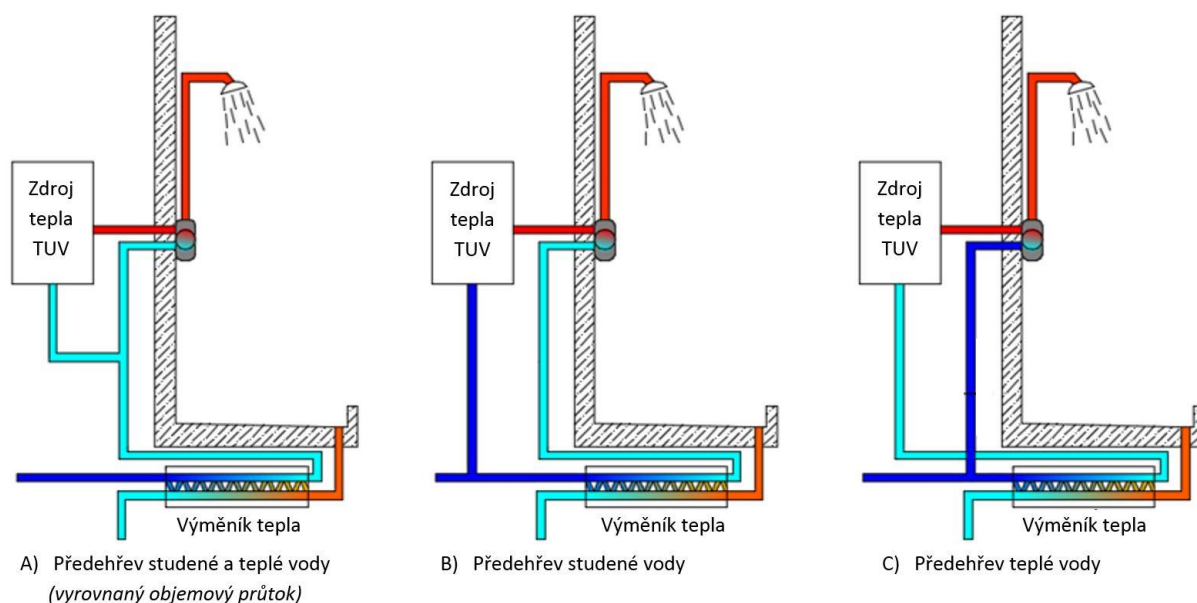
Zařízení ZZTOV je instalováno do odpadního potrubí co nejbližší za sprchový sifon, nejlépe v blízkosti směšovací sprchové baterie. Místo klasické pákové nebo kohoutové baterie je doporučováno využití termostatické sprchové baterie obsahující

termostatický článek, který automaticky reguluje poměr teplé a studené vody, jejíž teplotní úroveň se po celý proces sprchování dynamicky mění. [2]

Vzhledem k distribučním ztrátám tepelné energie jsou zařízení nejčastěji instalována přímo v koupelně jako horizontální výměníky tepla (pod sprchovou vaničku či vanu do podlahy) nebo jako vertikální výměníky tepla umístěné do instalační šachty. [2]

Z hydraulického hlediska lze zařízení ZZTOV zařadit do systému třemi způsoby přivedení přehřáté vody:

- kombinací zařazení do místa odběru studené vody a ke zdroji teplé užitkové vody (TUV) – přehřev studené a teplé vody (Obr. 14.A);
- přímo do místa odběru studené vody – přehřev studené vody (Obr. 14.B);
- do zásobníku TUV, kde je dohřívána – přehřev teplé vody (Obr. 14.C) [2].



Obr. 14 Způsoby zapojení tepelného výměníku do systému TUV

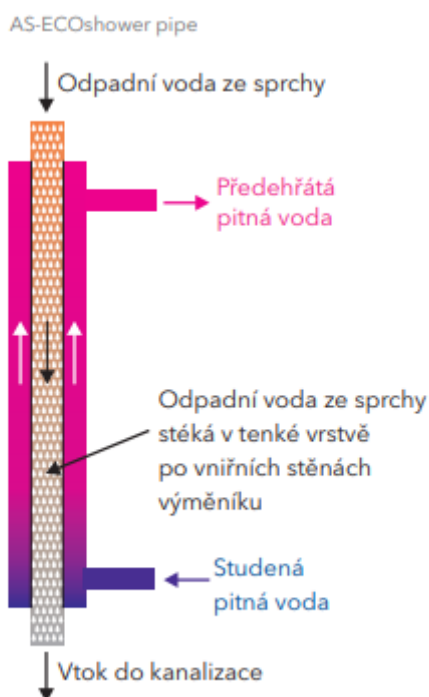
Kombinovaným zařazením výměníku tepelné energie, přehřev studené a teplé vody, do systémů ZZTOV lze dosáhnout nejvyšší možné účinnosti v případě, že je objemový průtok vyrovnaný. V opačném případě účinnost výměníku citelně klesá a je třeba přiklonit se k některé ze zbylých variant. [2]

Systémy zpětného získávání tepelné energie z odpadní vody lze rozdělit dle polohy tepelných výměníků do dvou skupin:

- vertikální;
- horizontální.

2.3.1 Vertikální decentralizované systémy

Vertikální systémy zpětného získávání tepelné energie jsou založeny na instalaci dvouplášťových měděných trubkových výměníků, jejichž středem protéká teplá odpadní voda jako tenký film po stěnách vnitřní trubky. Tento film zajišťuje přenos tepelné energie vnější straně trubky, kterou je protiproudě přiváděná studená vody do sprchy. [2] Tyto výměníky je nutné umístit výškově pod sprchovou vaničku. S délkou výměníku tepelné energie stoupá jeho účinnost, ale také prostorové nároky. Na trhu se tyto tepelné výměníky vyskytují o délkách 1,6 m a 2,2 m, čímž vzniká nutnost instalace zařízení o patro níže, což může způsobit komplikace při rekonstrukcích, především u bytových domů. Na Obr. 15 je znázorněno schéma výměny tepelné energie ve výměníku tepla AS-ECOshower pipe dodávaného společností ASIO NEW spol. s r.o. Výrobce tohoto výměníku deklaruje až 60 % účinnost tepelné výměny a úsporu při sprchování, tj. ohřátí přitékající studené vody z 10 °C na 27 °C. [11]

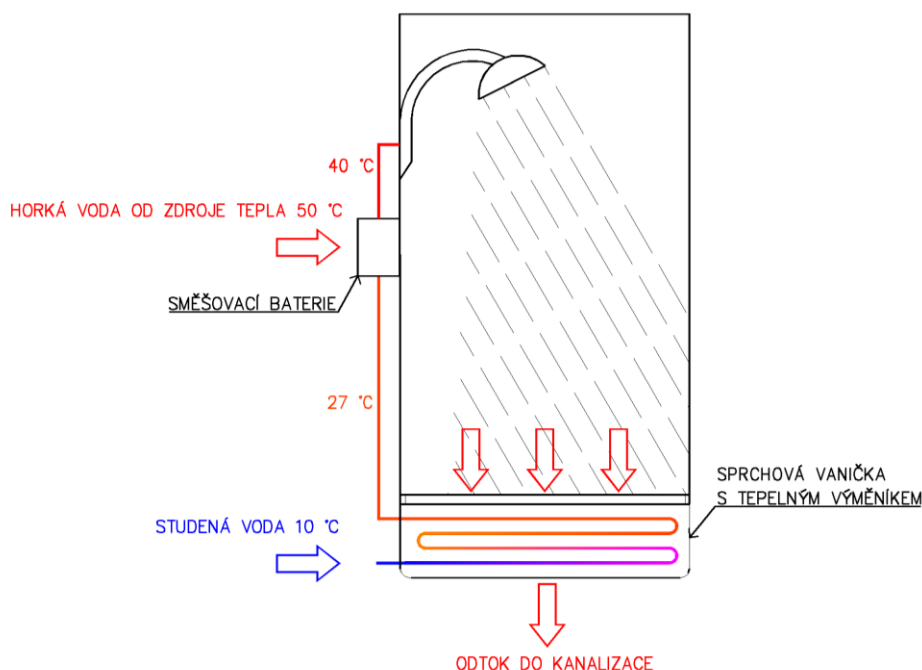


Obr. 15 Schéma tepelné výměny ve výměníku AS-ECOshower pipe [8]

2.3.2 Horizontální decentralizované systémy

V případě malých prostorových možností lze využít horizontálních systémů ZZTOV. Hlavní výhodou horizontálních výměníků je jejich umístění v rámci jednoho podlaží, a to přímo pod sprchovou vaničku, do podlahy sprchy nebo do sprchové vaničky. Na rozdíl od vertikálních modelů jsou modely horizontálních systémů technicky odlišné. [2] Rekuperace tepelné energie obsaženého v odtékající vodě ze sprchování se

uskutečňuje na principu protiproudu. Odtékající voda je odváděna přes výměník tepelné energie, přičemž její tepelná energie je předávána přiváděné studené vodě. Voda ohřátá z 10 °C na přibližně 27 °C je dále vedena do přívodu studené vody směšovací baterie, čímž je sníženo množství energie potřebné k ohřevu vody. Jako příklad horizontálního výměníku tepla lze uvést výměník AS-ECOshower tray, jehož schéma tepelné výměny je znázorněno na Obr. 16. [11]



Obr. 16 Schéma tepelné výměny výměníku AS-ECOshower tray

2.4 Využití tepelné energie

Získanou tepelnou energii z odpadních vod jsme schopni využít pro předehřev teplé užitkové vody (TUV) a v rámci tepelných čerpadel k rozvodu podlahového topení/chlazení.

2.4.1 Předehřev TUV

Předehřev TUV je alternativa využití tepelné energie z odpadní vody s energetickým ziskem, který je tím větší, čím je větší spotřeba teplé vody. Požití výměníku může také přispět k volbě menšího objemu zásobníkového ohřívače a tím, mimo jiné, snížit tepelné ztráty zásobníku do okolí. Jde tedy o okamžité využívání vypouštěného tepla do kanalizace prostřednictvím sprchových (horizontálních, vertikálních) výměníků

tepla nebo o centrální akumulaci a rekuperaci teplé odpadní vody pro předehřev vody. Předehřátá voda je dále dohřívána na požadovanou teplotu.

Zařízení ZZTOV se dá kombinovat se všemi druhy přípravy TUV. V případě 120 l zásobníku ohříváče vody je přibližně 25 % energie potřebné k přípravě TUV je využito k udržování zásobníku v nahřátém stavu. Přibližně 5 % této energie připadá ztrátám vedení tepla a zbylých 70 % tvoří užité teplo. [2]

2.4.2 Topení a chlazení v budovách

Teplo získané pomocí systému ZZTOV lze využít také pro vytápění, a to především v nízkoenergetických budovách k nízkoteplotnímu vytápění a vysokoteplotnímu chlazení. Tyto systémy využívají tepelná čerpadla pro celoroční provoz systémů techniky prostředí, jejichž společným znakem je vytápěcí plocha zabudovaná ve stavební konstrukci, čímž lze dosáhnout významné akumulační schopnosti a tepelné setrvačnosti této plochy.

2.5 Výběr lokality pro získání a následné využití tepelné energie

Při výběru vhodného místa pro získání a následného využití tepelné energie je vyhodnocováno několik faktorů, kterými jsou zejména:

- účel rekuperace:
 - předehřev TUV,
 - topení a chlazení,
 - kombinace předehřevu TUV s topením/chlazením objektu;
- teplota odpadních vod;
- průtok, množství a typ odpadních vod;
- prostorové nároky;
- nutnost obsluhy a provozní náklady.

2.5.1 Účel rekuperace

V případě využívání tepelného potenciálu odpadní vody pro předehřev TUV je vhodné využití centralizovaných i decentralizovaných systémů. V tomto případě záleží na dispozici a charakteru objektu, s nímž je spojeno množství a průtok odpadních vod.

Pro rodinné nebo malé bytové domy je vhodné využití jak sprchových výměníků, tak spojení akumulace odpadní vody s tepelnou výměnou. V případě využívání společných prádelen je však výhodnější varianta s akumulací odpadní vody z důvodu velkého množství teplé šedé odpadní vody. Podobná situace je v případě využití tepelných výměníků v hotelech s privátními koupelnami nebo větších bytových

domech. V případě, že by součástí těchto objektů byly také bazény, wellness nebo již zmíněné prádelny, je vhodnější využití centralizovaných systémů rekuperace tepla z odpadní vody.

V případě využívání rekuperace tepla z odpadní vody pro vytápění nebo chlazení objektu je výhodnější aplikovat některý z centralizovaných systémů tepelné výměny. Využití sprchových tepelných výměníků pro tyto účely by znamenalo vyšší tepelné ztráty.

Pro využití kombinovaného přístupu znovu využití tepelné energie z odpadní vody je výhodné využít centralizovaného systému rekuperace tepelné energie odpadní vody v kombinaci s dohřevem předeřáté studené vody pro následné využití jako teplé užitkové vody.

2.5.2 Teplota odpadních vod

Tab. 3 znázorňuje teplotu odpadních vod z domácností dle původu odpadní vody. Z tabulky a obrázku Obr. 2 (kapitola 3) je zjevné, že teplota odpadních vod od jejího zdroje k ČOV klesá. Tepelná ztráta je zapříčiněná nejen vedením, ale také klimatickými vlivy, dešťovými událostmi (v případě jednotné kanalizace), uložením a geologickými vlivy, mimořádnými událostmi (haváriemi) atp.

Tab. 3 Teplota odpadních vod z domácností dle zdroje

Druh OV	Zdroj OV	Teplota
splašková	veřejná kanalizace	10–20 °C
šedá	neseparovaná	-
	koupelny	18–38 °C
	kuchyně	-
	praní	28–32 °C
černá	toalety	15–26 °C

2.5.3 Průtok, množství a typ odpadních vod

Produkce odpadních vod je charakterizována spotřebou pitné vody. Množství odpadní vody lze stanovit na základě počtu obyvatel a občanské vybavenosti spotřebiště, provozu průmyslového objektu nebo jiného velkoodběratele ve spotřebišti.

Pro stanovení produkce odpadní vody od obyvatelstva lze použít následující vztahy:

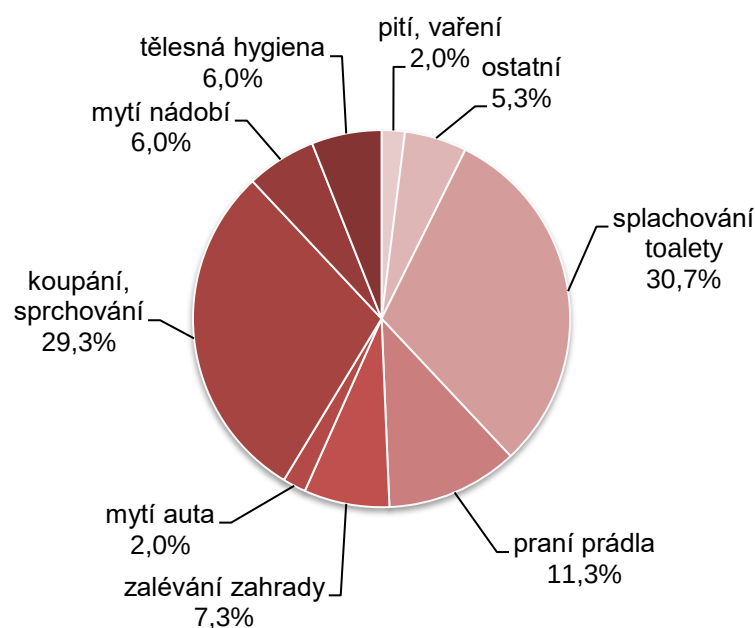
$$Q_{24} = q_{spec} \times PO \quad (2.1)$$

$$Q_m = Q_p \times k_d \quad (2.2)$$

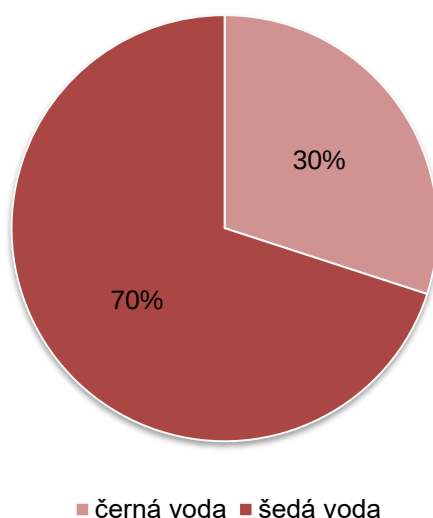
$$Q_h = Q_m \times k_h \quad (2.3)$$

- kde: Q_{24} - průměrný denní průtok odpadní vody [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$];
 q_{spec} - specifická potřeba vody [$\text{l} \cdot \text{osoba}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$];
 PO - počet zásobovaných obyvatel [-];
 Q_m - maximální denní průtok odpadní vody [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$];
 k_d - koeficient denní nerovnoměrnosti [-];
 Q_h - maximální hodinová potřeba vody [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$];
 k_h - koeficient maximální hodinové nerovnoměrnosti [-].

V případě využití pouze šedé odpadní vody pro rekuperaci tepelné energie je stanoveno množství odpadní vody procentuálním poměrem k průměrnému dennímu průtoku odpadní vody na základě procentuálního rozdělení v obrázcích Obr. 17 a Obr. 18.



Obr. 17 Podrobné rozdělení průměrné denní potřeby vody v domácnosti dle činností [4]



Obr. 18 Porovnání produkce šedé a černé vody v domácnostech [4]

Klíčovým faktorem ve výběru lokality pro rekuperaci tepelné energie z odpadní vody je také typ odpadní vody, který je úzce spjat nejen její teplotou. Každý ze systémů rekuperace tepelné energie zahrnuje různé stavební náklady, které lze využít také pro systémy využití odpadní vody jako zdroje. Zejména v případě využití centralizovaného systému rekuperace tepelné energie z šedé vody s akumulací lze přečištěnou šedou vodu dále využít např. ke splachování toalet nebo zemědělské zavlažování. Při návrhu systému využití šedých vod je potřeba uvažovat s navazující potřebou bílé vody. V případě nadbytku bílé vody by se takto připravená bílá voda z šedé vody nespotřebovala a čištění šedé vody by neúnosně navyšovalo provozní náklady. V opačném případě by nedostatek bílé vody šel vyřešit dodávkou vody z veřejného vodovodu nebo doplněním systému o sběr a čištění dešťové vody.

2.5.4 Prostorové nároky

Při výběru lokality pro získání tepelné energie z odpadních vod je třeba zohlednit potřebu prostorových nároků. Zejména v případě aplikace decentralizovaných výměníků tepelné energie je nutné zahrnout do návrhu technologie také investiční náklady stavebního charakteru pro osazení výměníků tepelné energie do vnitřních rozvodů objektu nebo koupelnových vaniček a podlah.

V případě využívání tepelné energie pomocí centralizovaného systému, tedy akumulace odpadní vody s následnou tepelnou výměnou, je nutné zahrnout do návrhu

také prostorové nároky akumulční nádrže, prostor pro manipulaci s technologiemi a pro samotnou obsluhu systému. Akumulační nádrž musí být opatřena bezpečnostním přepadem do kanalizace.

2.5.5 Nutnost obsluhy a provozní náklady

Decentralizované vertikální systémy jsou výhodné také pro svou pasivní instalaci, tudíž pro bezúdržbový provoz. U vertikálních systémů nevzniká nutnost čištění v návaznosti na jejich konstrukci, která zabraňuje usazování nečistot v potrubí a tím odpadá uživatelská nutnost čištění. Oproti vertikálním výměníkům tepelné energie se u horizontálních výměníků očekává pravidelná údržba a čištění vtokové vaničky od nečistot (např. od vlasů). V případě nedodržování tohoto doporučení dochází ke snižování účinnosti tepelné výměny, proto je vhodné využívat horizontální výměníky tepelné energie v objektech v soukromém vlastnictví např. hotelech, kde je k těmto úkonům pověřena zaškolená obsluha. V případě využití např. v bytovém domě s trvale žijícími obyvateli není možné zajistit pravidelné čištění sprchových vaniček uživatelem nebo pověřením pracovníkem kontroly. Kontrola pověřeným pracovníkem není vhodná zejména z důvodu narušování spokojenosti obyvatel bytového domu nebo z pohledu vysokých provozních nákladů na pracovníka.

Tab. 4 Potenciál tepelných zisků v rámci pilotní lokality revitalizovaných bytových domů [18]

Revitalizované bytové domy Jenfelder Au (610 ubytovacích jednotek; 1830 obyvatel); Hamburk; Německo	Produkce odpadní vody [l·obyvatele ⁻¹ ·den ⁻¹]	Produkce šedé vody [l·den ⁻¹]	Potenciál tepelných zisků [%]
centralizovaný systém	100 - 150	60 - 90	69
decentralizovaný systém (nevyrovnaný tok)			25
decentralizovaný systém (vyrovnaný tok)			41

2.6 Legislativní požadavky

Technologií pro ZZTOV v domácnostech jsou tepelné výměníky, pro které je typická okamžitá předávka tepelné energie z odpadní vody přiváděnému médiu, užitkové nebo pitné vodě. Takhle předeřátou vodu lze přivádět rovnou do sprchové hadice nebo ke zdroji tepla TUV. [14] Dle normy ČSN EN 1717 Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění

zpětným průtokem [15] musí být teplosměnná plocha zařízení provedena jako dvouplášťová, čímž nedochází k žádnému přenosu hmoty.

Tomuto požadavku vyhovují decentralizované systémy, vertikální i horizontální, jejichž samotná konstrukce zajistí ochranu pitné vody před znečištěním. [14] Systémy využívající akumulaci odpadní vody k rekuperaci tepelné energie tvoří komplex několika zařízení, proto je nutné, aby byly při instalaci provedeny těsnostní zkoušky, a především dodrženy požadavky normy ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace, která platí pro navrhování, provádění, zkoušení a provoz gravitačních systémů vnitřní kanalizace. Tato norma se používá společně s ČSN EN 12056-1 až -5 a ČSN EN 752, jejichž požadavky doplňuje.

Současná legislativa však nestanovuje, jak by se mělo s odpadními vodami nakládat, v normě je uvedeno pouze „Pro navrhování a provádění vnitřní kanalizace je nutno uvažovat co nejnižší spotřebu vody a energie při zohlednění hygienických a funkčních požadavků.“

Norma tedy vybízí k šetrnému hospodaření, přesto nestanovuje žádné konkrétní požadavky. V České republice bohužel v současné době neexistuje platný zákon, vyhláška ani předpis, o který by se opětovné využívání odpadní vody mohlo opřít. Aktuálně (od července 2018) je vydána evropská norma EN 16941-1 „Systémy pro využití nepitné vody na místě – Část 1: Systémy pro využití dešťových vod“. V budoucnu bude mít EN 16941 také část 2, která se bude týkat využití šedých vod, tedy splaškových odpadních vod bez fekálií. Práce na přípravě ČSN 75 6780 „Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích“, jež se připravovala v technické normalizační komisi TNK 95 Kanalizace, byly pozastaveny.

V případě spojení systému rekuperace tepelné energie z odpadní vody se systémem znovuvyužití odpadní vody jako zdroje vody pro zavlažování je nutné dodržet předpis *Legislativní usnesení Evropského parlamentu ze dne 12. února 2019 o návrhu nařízení Evropského parlamentu a Rady o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody (COM(2018)0337 – C8-0220/2018 – 2018/0169(COD))*, který uvádí hodnoty znázorněné v Tab. 5 definující mezní limitní hodnoty recyklovaných odpadních vod pro zemědělské zavlažování.

Tab. 5 Mezní limitní hodnoty recyklovaných odpadních vod pro zemědělské zavlažování [34][35]

Třída kvality Recyklované OV	Orientační odpovídající čištění	Mezní hodnota				
		E.coli [KTJ/100 ml]	BSK ₅ ³⁾ [mg/l]	NL ³⁾ [mg/l]	Zákal [NTU]	Jiné
A	Sekundární čištění, filtrace a dezinfekce	≤ 10 nebo pod mez detekce	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: <1000 KTJ/l v případě rizika aerosolizace ve sklenicích. Střevní paraziti (vajíčka) ≤1 pro zavlažování pastvin nebo pícnin, Salmonela: nepřítomna
B	Sekundární čištění a dezinfekce	≤ 100	25 ^{*)}	35 ¹⁾ (60 ²⁾ *)	-	
C	Sekundární čištění a dezinfekce	≤ 1 000	25 ^{*)}	35 ¹⁾ (60 ²⁾ *)	-	
D	Sekundární čištění a dezinfekce	≤10 000	25 ^{*)}	35 ¹⁾ (60 ²⁾ *)	-	

Pozn.: 1) hodnoty pro počet EO nad 10 000; 2) hodnoty pro počet EO 2 000-10 000;

^{*)} Hodnoty dle Směrnice Rady 91/271/EHS ze dne 21. května 1991 o čištění městských odpadních vod (Úř. věst. L 135, 30.5.1991, s. 40).

V zahraničí však existují i další platné normy zabývající se tematikou znovuvyužití odpadní vody, konkrétně vody šedé, jedná se tyto příslušné normy [20] [21]:

- Evropská norma EN 16941-2 On-site non-potable water systems –Part 2: Systems for the use of treated greywater [22];
- Britská norma BS 8525-1:2010 Greywater systems: Code of practice [23];
- Britská norma BS 8525-2:2011 Greywater systems: Domestic greywater treatment, equipment. requirements and test methods [24].

V zahraniční literatuře se mimo tyto předpisy lze setkat s řadou příruček a doporučení k využívání šedých vod, a to zejména **s ohledem na kvalitu využívané bílé vody**. Následující tabulka uvádí srovnání doporučených hodnot znečištění vyskytujících se v bílé vodě pro splachování toalet ve vybraných zemích.

Tab. 6 Srovnání doporučené kvality bílé vody ve vybraných zemích

Ukazatel	Měrná jednotka	Spojené království ¹	Německo ²	Austrálie ³	Kanada ⁴	USA ⁵	WHO ⁶
Suspendované látky	mg·l ⁻¹	-	-	<10.0*	≤10.0***	-	≤10.0
BSK ₅	mg·l ⁻¹	-	<5.0 (BOD ₇)****	<10.0*	≤10.0***	≤10.0	≤10.0
CHSK _{Cr}	mg·l ⁻¹	-	-	-	-	-	-
N _{NH4+}	mg·l ⁻¹	-	-	-	-	-	-
P	mg·l ⁻¹	-	-	-	-	-	-
pH	[-]	5.0-9.5	-	-	-	6.0 - 9.0	-
Zákal	NTU	<10.0	-	-	≤2.0**	≤2.0	-
Celkové koliformy	KTJ·100ml ⁻¹	1000	-	<10.0*	-	-	-
Escherichia coli	KTJ·100ml ⁻¹	250	<100	-	≤200	-	-
Pseudomonas aeruginosa	KTJ·100ml ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Enterokoky	KTJ·100ml ⁻¹	100	<1	-	-	-	-

Pozn:

*) <10.0 mg·l⁻¹ (90% vzorků) and <20.0 mg·l⁻¹ (max)

**) ≤2.0 mg·l⁻¹ (medián) and <5.0 mg·l⁻¹ (max)

***) ≤10.0 mg·l⁻¹ (medián) and <20.0 mg·l⁻¹ (max)

****) <5.0 mg·l⁻¹ pro (BSKD₇) odpovídá 4.27 mg·l⁻¹ (BSK₅) podle kalkulace dle Chudoby (1991)

1) Spojené Království: British Standard BS 525-2:2011

2) Německo: Service Water Reused for Toilet Flushing

3) Austrálie: Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines

4) Kanada: Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing

5) USA: EPA Guidelines for Water Reuse

6) WHO: Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes

Závazné limity v teplé vodě pro ukazatele bakterie Legionella jsou stanoveny pouze pro ubytovací a zdravotnická zařízení. Výrobci teplé vody pro bytové domy nemají ze

zákona povinnost kvalitu této vody sledovat s výjimkou výrobců teplé vody pro osobní hygienu zaměstnanců. Pro ukazatel *Legionella* spp. je pro teplou vodu v bytových domech stanovena pouze doporučená (nezávazná) hodnota, jejíž překročení není porušením právního předpisu. Hygienických stanicím tedy nepřísluší ukládat nápravná opatření ani výrobcí teplé vody, ani vlastníkoví objektu.

Výrobce teplé vody neodpovídá za nedodržení hygienického limitu ukazatele jakosti teplé vody způsobené vnitřním vodovodem nebo jeho údržbou. Má však povinnost informovat odběratele o nevyhovující jakosti vody a o dostupných opatřeních, které by vedly k odstranění problému.

Při výskytu *Legionelly* ve vnitřních rozvodech bytových objektů musí zjednat nápravu vždy vlastník objektu [25].

2.6.1 Popis problému v rámci využívání teplé užitkové vody

Bakterie rodu *Legionella* se přirozeně vyskytují ve vodním prostředí. Optimální rozvoj *legionelly* je při teplotě vody mezi 35 °C a 45 °C, prokazatelně přežívá i teplotu 60 °C. Tolerance k vyšší teplotě umožňuje této bakterii množit se ve špatně konstruovaných nebo neudržovaných rozvodech teplé vody, kde dochází k tvorbě usazenin nebo stagnaci vody, rizikové jsou staré, neošetřované sprchové hlavice, perlátory apod., zanesené vodním kamenem.

K nákaze může dojít vdechnutím vodního aerosolu (mikroskopických kapének) obsahujícího *legionelly*. Aerosol vzniká dopadem, vířením nebo rozstříkáváním vody. Zdravotní riziko spočívá zejména ve vdechnutí kontaminované vody (např. při sprchování), kdy u osob s výrazně oslabeným imunitním systémem (HIV/AIDS, rakovina, chronická onemocnění) může dojít při masivním výskytu této bakterie ve vodě k rozvoji zápalu plic. Děti nejsou ohroženou skupinou.

Preventivní opatření doporučená např. hygienickou stanicí Hlavního města Prahy

- pro prevenci výskytu je důležitá regulace teploty teplé vody v rozvodech;
- teplota teplé vody na kohoutcích by měla být minimálně 50 °C, optimálně alespoň 55 °C;
- s tím souvisí odpojení slepých ramen a málo využívaných potrubí či zásobníků vody a kvalitní izolace potrubí;
- výměna starých a zanesených rozvodů;
- při zjištění výskytu bakterie je vhodné prováděná opatření předem konzultovat s odborníky;

- termodezinfekce (opakované přehřívání dodávané teplé voda na minimálně teplotu 70 °C);
- speciální ochranná dezinfekce např. chlorovými preparáty či biocidními přípravky;
- každý uživatel může ve svém bytě provést opatření ke snížení výskytu této bakterie, a to odtáčením teplé vody před jejím použitím, proplachováním sprchových růžic, výtokových kohoutků a perlátorů a pravidelným odstraňováním v nich přítomných usazenin. V neposlední řadě je možné starou sprchovou hlavici používanou mnoho let dezinfikovat chlorovými preparáty nebo nahradit novou;
- vyšší pozornost by měly uvedenému problému věnovat osoby s výrazně oslabenou imunitou. [25]

Bakteriální znečištění rodem Legionella z pohledu využití šedých vod

Hlavními možnostmi opětovného použití šedé vody jsou splachování toalet a zavlažování zahrad, které produkují aerosoly. Potenciální riziko tedy vyplývá právě z možnosti přenosu „inhalačních patogenů“ typu Legionella. Výzkum realizovaný v Izraeli [26] v rámci využití upravené šedé vody byl zaměřen na posouzení kvality šedých vod v rodinných domech. V souvislosti s možným výskytem Legionelly byly stanoveny fyzikálně chemické a mikrobiologické parametry.

Střední koncentrace bakterie Legionella pneumophila izolované ze systému zásobování pintou vodou byly $6,4 \cdot 10^{-2} \text{ KTJ} \cdot \text{l}^{-1}$ (ve studené vodě), resp. $5,9 \cdot 10^{-3} \text{ KTJ} \cdot \text{l}^{-1}$ (v teplé vodě). Aplikací stejné ISO normy byly stanoveny střední koncentrace bakterie Legionella pneumophila $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ KTJ} \cdot \text{l}^{-1}$ (pro šedé vody surové), $2,4 \cdot 10^{-4} \text{ KTJ} \cdot \text{l}^{-1}$ (pro šedé vody upravené) a $5,7 \cdot 10^{-3} \text{ KTJ} \cdot \text{l}^{-1}$ (pro šedé vody upravené chlorací).

Zatímco počet legionel v pitné vodě představoval v létě sezónní charakter s vysokými koncentracemi, jeho počty v šedé vodě představovaly téměř inverzní obraz. Úprava šedé vody vedla k 95% poklesu počtu legionel. Mezi koncentracemi legionelly v pitné vodě a šedými vodami upravenými chlorací nebyl zjištěn žádný významný rozdíl. Tato zjištění ukazují, že pokud jde o Legionellu, opakované použití ošetřené chlorované šedé vody by představovalo riziko, které je velmi podobné riziku spojenému s použitím pitné vody pro jiná „nepitné“ účely.

3. STANOVENÍ MNOŽSTVÍ ZÍSKANÉ ENERGIE

Pro porovnání efektivity aplikace výměníků tepelné energie je využívána hodnota účinnosti tepelné výměny. Nejvyšší možné účinnosti tepelné výměny je možné dosáhnout při vyrovnaném průtoku protiproudých kapalin. Výrobci obvykle udávají účinnosti svých výrobků pro vyrovnaný objemový průtok a za stacionární situace, tj. za situace, kdy se omezeně projevuje snížení účinnosti dynamickými jevy, jako je postupné prohřívání sprchové soustavy nebo stále se měnící teplota výstupní přehřáté vody. V realitě je však toto omezení podstatné.

$$\eta_{stac} = \frac{T_1 - T_0}{T_t - T_0} \quad (3.1)$$

kde T_1 - teplota přehřáté vody na výstupu z výměníku [°C];
 T_0 - teplota studené vody na vstupu do výměníku [°C];
 T_t - teplota odpadní vody na vstupu do výměníku [°C]. [2]

3.1 Přenos tepla

Tepelná výměna spočívá v samovolném šíření tepla z místa o vyšší teplotě do míst s nižší teplotou dle druhého termodynamického zákona. Na základě fyzikálních principů a prostředí lze rozeznat přenos tepla vedením, prouděním a sáláním. [28]

V případě vedení tepla předávají částice část své střední energie z oblasti s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou prostřednictvím vzájemných srážek částicím. Při tomto procesu se však částice nepřemísťují, ale kmitají kolem svých rovnovážných poloh. Šíření tepla vedením je typické zejména pro tělesa z pevných látek, jejichž různé části mají rozdílné teploty. Pro šíření tepla v kapalinách a plynech je uplatňován přenos tepla prouděním, při kterém dochází ke změně hustoty, spojený s šířením tepla vedením. Přenos tepla zářením spočívá ve vysílání záření a jeho následném pohlcování, jež vede ke zvýšení vnitřní energie látky, která záření absorbuje. [42]

3.1.1 Přenos tepla prouděním

K přenosu tepelné energie prouděním dochází při styku kapaliny (nebo plynu) s pevnou stěnou. Při tom dochází k ochlazování nebo ohřívání tenké vrstvy tekutiny u stěny (podle toho, je-li teplota stěny vůči tekutině vyšší nebo nižší). Vzniklý rozdíl teplot vrstev pak způsobuje přirozené proudění. Mechanismem výměny tepelné energie u konvekce je mísení molekul tekutiny o různé teplotě. Obecně lze rozlišit:

- konvekci nucenou (vyvolanou ventilátorem, čerpadlem, povětrnostními podmínkami apod.);

- konvekci přirozenou (vlivem změny hustoty v závislosti na teplotě). [28] [42]

Intenzitu sdílení tepelné energie prouděním popisuje Newtonův zákon. Přenos tepelné energie konvekci je značně složitější než přenos tepelné energie vedením. Při proudění tekutiny je potřeba uvažovat současně rovnici kontinuity, pohybovou rovnici a okrajové podmínky teplotních a rychlostních polí. Pro řešení konvekce je využívána teorie podobnosti, která umožňuje získat rozložení teplotních polí, nebo přímo součinitel přestupu tepla α . [28]

$$Q' = A \cdot \alpha \cdot (t_f - t_w) \quad (3.2)$$

kde Q' - teplo [J];

A - styková plocha [m²];

α - součinitel přestupu tepla [W·m⁻²·K⁻¹];

t_f - teplota proudící kapaliny [°C];

t_w - teplota stykové plochy (stěny) [°C]. [28]

3.1.2 Přenos tepla sáláním

Sálání souvisí se změnami vnitřní energie tělesa a následně těleso vydává záření. Toto záření je pak vysíláno ve formě elektromagnetických vln do prostoru, který těleso obklopuje. Dopadne-li toto záření na nějaké jiné těleso a dojde-li k pohlcení tohoto záření, zvýší se vnitřní energie tohoto tělesa. Sálání je přirozená vlastnost těles a můžeme říci, že při něm každé těleso vysílá záření. Dopadne-li toto záření na jiné těleso, je částečně pohlceno, část se odráží a část prochází tělesem. Pohlcené záření způsobuje zvýšení vnitřní energie tělesa, odražené záření dopadá na jiná tělesa a procházející záření přechází na jiná tělesa. Pohltivost a odrazivost záření u tělesa závisí především na jakosti povrchu a také na barvě povrchu. [28]

$$q' = \sigma \cdot T^4 \quad (3.3)$$

kde q' - teplo [J];

σ - Stefan-Boltzmanova konstanta [W·m⁻²·K⁻⁴];

T - absolutní teplota tělesa [K]. [28]

3.2 Tepelná energie

Stupeň ochlazení/oteplení surové odpadní vody ve stokovém systému musí být vždy posouzen. Teplota odpadní vody, která přitéká na ČOV, by podle Swiss Energy

neměla být nižší než 10 °C. Celkové ochlazení by obvykle nemělo překročit 0,5 °C [14].

$$\Delta T = \frac{W_{OP}}{c \cdot \rho \cdot Q} \quad (3.4)$$

$$W_{OP} = c \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T \quad (3.5)$$

Kde: ΔT - ochlazení odpadní vody [°C];

W_{OP} - množství odebraného tepla (výkon) [kW];

c - měrná tepelná kapacita vody, 4,186 [kJ·kg⁻¹·°C⁻¹];

ρ - objemová hmotnost vody (pro 10 °C), 0,999701 [kg·l⁻¹];

Q - průtok odpadní vody [l·s⁻¹].

Z rovnice (3.4) vyplývá, že ochlazení odpadní vody je dáno především odebíráním tepelné energie. Avšak se zvyšujícím se průtokem odpadní vody zchlazení odpadní vody značně klesá. Množství odebraného nízko potenciálního tepla pro tepelné čerpadlo je tedy ovlivňováno průtokem odpadní vody. Při vysokém průtoku můžeme ze stokového systému odebírat stovky kW tepelné energie při minimálním poklesu teploty odpadní vody. Rovnice (3.5) je pro výpočet maximální energie pro zadaný teplotní rozdíl.

Pomocí následujících vztahů lze vypočítat energii dodanou přiváděnému médiu a spotřebu (úsporu) energie při zavedení systému rekuperace tepla [27]:

$$E = m \cdot c_{wh} \cdot (t_1 - t_2) \quad (3.6)$$

$$m = \rho \cdot V \quad (3.7)$$

$$c_{wh} = \frac{c}{3600} \quad (3.8)$$

Kde: c_{wh} - měrná tepelná kapacita vody přepočtená na W·h·kg⁻¹·°C⁻¹;

$(t_1 - t_2)$ - rozdíl teploty předehřáté vody a teploty vody na vstupu [°C];

m - hmotnost vody (pro 10 °C) [kg·l⁻¹];

V - objem předehřáté vody [l];

E - energie dodaná přiváděnému médiu [Wh].

3.3 Příklad výpočtu tepelné energie

V této kapitole jsou uvedené dva modelové případy využití tepelné energie a postup výpočtu zisku tepelné energie. Výpočet centralizovaného zisku tepelné energie

uvažuje využití metody sewer mining na kmenové stoce „C“ města Brna. Variantně výpočet decentralizovaného zisku tepelné energie uvažuje osazení vertikálních výměníků tepelné energie v rámci vnitřních rozvodů bytového domu.

3.3.1 Zisk tepelné energie – centralizovaný systém

Využitím metody sewer mining je uvažováno s teoretickým průměrným odběrem $200 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ bočním potrubím DN 300 do nově vytvořené čerpací jímky a s předpokládaným ochlazením odpadní vody ve stoce „C“ o 1°C . Tab. 7 znázorňuje průměrnou teplotu odpadní vody v brněnské stoce „C“.

Tab. 7 Průměrná teplota odpadní vody ve stoce "C" (T_p = průměrná teplota)

Období (měsíc/rok)	T_p [$^\circ\text{C}$]
02/2015	11,9
04/2015	13,8
08/2015	18,4
10/2015	16,5

Pro výpočet výkonu systému rekuperace a jednotlivého výměníku tepelné energie byly použity vztahy (3.4)(3.5). Dosazením následujících hodnot do těchto vztahů lze získat celkový výkon rekuperačního systému při průměrné teplotě odpadní vody $15,15^\circ\text{C}$:

$$\Delta T = 15,15 - 11 = 4,15^\circ\text{C}$$

$$c = 4,186 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\rho = 0,9997 \text{ kg}\cdot\text{l}^{-1}$$

$$Q = 200 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$W_{OP} = c \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T$$

$$W_{OP} = 4,186 \cdot 0,9997 \cdot 200 \cdot 4,15 = 3468,4 \text{ kW}$$

Kde: c - měrná tepelná kapacita vody [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$];

ΔT - ochlazení odpadní vody [$^\circ\text{C}$];

ρ - objemová hmotnost vody [$\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$];

Q - průtok odpadní vody [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$];

W_{OP} - množství odebraného tepla (výkon) [kW].

Energie dodaná přiváděnému médiu a úspora systému rekuperace tepelné energie byla vypočtena ze vztahů (3.6)(3.7)(3.8). Dosazením výše uvedených hodnot do vztahů lze získat velikost výsledné energie přenosu tepla během jednoho dne:

$$\rho = 0,9997 \text{ kg.l}^{-1}$$

$$V = 17\,280\,000 \text{ l}$$

$$c_{Wh} = \frac{c}{3600} = \frac{4,186}{3600}$$

$$(t_1 - t_2) = 11 - 10$$

$$E = \rho \cdot V \cdot c_{Wh} \cdot (t_1 - t_2)$$

$$E = (17\,280\,000 \cdot 0,9997) \cdot \frac{4,186}{3600} \cdot (11 - 10)$$

$$E = 20\,086 \text{ kWh} = 20,1 \text{ MWh}$$

Kde: c_{Wh} - měrná tepelná kapacita vody přepočtená na $\text{W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$;

$(t_1 - t_2)$ - rozdíl teploty předehřáté vody a teploty vody na vstupu [$^\circ\text{C}$];

ρ - objemová hmotnost vody [$\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$];

V - objem předehřáté vody během jednoho dne [l]

E - energie dodaná přiváděnému médiu – objemu pitné vody během jednoho dne [Wh].

3.3.2 Zisk tepelné energie – decentralizovaný systém

Bytový dům čítá 270 bytů, pro které je v návaznosti na členitost těchto bytových jednotek uvažována celková obsazenost 636 obyvateli. Pro potřeby výpočtu byla zvolena hodnota specifické potřeby vody na základě občanské vybavenosti spotřebiště $q_{spec}=120 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$. Pro celý obytný soubor činí průměrná denní potřeba vody $76 \cdot 360 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$.

Pro jednotlivé bytové jednotky je v rámci rekuperace tepelné energie z odpadní vody navržen jeden vertikální výměník tepelné energie, konkrétně ECOshower Pipe 15. Pro nátok teplého média do výměníku jsou v návrhu uvažovány šedé odpadní vody z koupelen o teplotě 38°C , které vznikají spotřebou při sprchování. Šedá voda stéká v tenké vrstvě po vnitřních stěnách výměníků, kde předává teplo protiproudě přiváděné pitné vodě. Přiváděná pitná voda má teplotu 10°C . Výrobce Wager Solar deklaruje 66,2% účinnost předání tepla přiváděné studené vodě. Přiváděná studená voda je v tomto případě předehřata na hodnotu $28,53^\circ\text{C}$ dle vztahu (3.1). Takto předehřátá přiváděná pitná voda je zaústěna do průtokového elektrického ohřívače, kde je dohřívána na požadovanou teplotu a dále využívána jako zdroj TUV.

Pro výpočet výkonu systému rekuperace a jednotlivého výměníku tepelné energie byly použity vztahy (3.4)(3.5). Dosazením následujících hodnot do těchto vztahů lze získat celkový výkon rekuperačního systému pro obytný soubor:

$$\Delta T = 38 - 28,53 = 9,47^\circ\text{C}$$

$$c = 4,186 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\rho = 0,9997 \text{ kg} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$Q = Q_p = \frac{76260 \cdot 0,7}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 0,6186 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$W_{OP} = c \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T$$

$$W_{OP} = 4,18 \cdot 0,9997 \cdot 0,6186 \cdot 9,47 = 24,49 \text{ kW}$$

Kde: c_{wh} - měrná tepelná kapacita vody [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$];

ΔT - ochlazení odpadní vody [$^\circ\text{C}$];

ρ - měrná hmotnost vody [$\text{kg} \cdot \text{l}^{-1}$];

Q - průtok odpadní vody [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$];

W_{OP} - množství odebraného tepla (výkon) [kW].

Výkon výměníku pro jednotlivé bytové jednotky je přibližně $W_{OP} = \frac{24,49}{270} = 0,091$ kW.

Energie dodaná přiváděnému médiu vztažená na jedno koupání a úspora systému rekuperace tepla byla vypočtena ze vztahů (3.6)(3.7)(3.8). Lze konstatovat, že množství vody 29,3 % z q_{spec} , tedy 35,16 l, je voda určená ke koupání a sprchování. Dosazením výše uvedených hodnot do vztahů lze získat výslednou energii přenosu tepelné energie při jednom koupání:

$$\rho = 0,9997 \text{ kg.l}^{-1}$$

$$V = 35,16 \text{ l}$$

$$c_{wh} = \frac{c}{3600} = \frac{4,186}{3600}$$

$$(t_1 - t_2) = (28,53 - 10)$$

$$E = \rho \cdot V \cdot c_{wh} \cdot (t_1 - t_2)$$

$$E = (35,16 \cdot 0,9997) \cdot \frac{4,186}{3600} \cdot (28,53 - 10)$$

$$E = 0,757 \text{ kWh.}$$

Kde: c_{wh} - měrná tepelná kapacita vody přepočtená na $W \cdot h \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$;

$(t_1 - t_2)$ - rozdíl teploty předehřáté vody a teploty vody na vstupu [$^\circ C$];

ρ - objemová hmotnost vody [$kg \cdot l^{-1}$];

V - objem předehřáté vody pro jedno koupání [l]

E - energie dodaná přiváděnému médiu – objemu pitné vody pro jedno koupání [Wh].

4. HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU

4.1 Úvod do teorie hospodaření s dešťovou vodou

Základním principem HDV je přiblížit se v maximální míře přirozenému vodnímu cyklu v přírodě. V povodích s přirozeným vegetačním krytem se infiltruje až 50 % objemu dešťové vody dopadající na povrch území, pouze 10 % reprezentuje povrchový odtok. V centrálních částech městských sídel tvoří povrchový odtok až 55 % objemu dešťové srážky, který odečte dešťovými vpusti do kanalizace. [54]



Obr. 19 Porovnání odtoku srážkových vod [55]

Stávajícím konvenčním způsobem používaným na většině území ČR je odvést dešťovou vodu co nejrychleji do recipientu, kterým je buď kanalizace, nebo vodní tok. Nejčastěji je dešťová voda odváděna jednotnou stokovou sítí, to znamená, že se na čistírnu odpadních vod (ČOV) odvádí jak vody splaškové, tak i vody dešťové. Při přívalových srážkách jsou tyto odpadní vody (OV) následně odděleny v odlehčovacích komorách, kdy se část mírně znečištěné vody odvádí do vodního recipientu. Tato odlehčená OV způsobí ve vodním recipientu hydraulický náraz a šok látkovým zatížením podle druhu povrchu, ze kterého je voda odváděna. Konvenční způsob odvodnění je udržitelný pouze do určité míry urbanizace území. S rostoucí urbanizací v městských aglomeracích roste i množství dešťových vod odváděných do kanalizace. Nejen urbanizace má vliv na střídající se povodně způsobené přívalovými dešti a extrémními obdobími sucha. Za posledních 20 let se změnil charakter přívalových srážek vlivem změn klimatu. Dříve se přívalové srážky vyskytovaly obvykle v tradičně nejdeštivějších měsících roku, jako jsou červen a červenec, ale už se objevují i na jaře a na podzim. Srážky přicházejí po delších obdobích sucha a jsou intenzivnější. [55, 56]

Konvenční způsoby městského odvádění způsobují problémy:

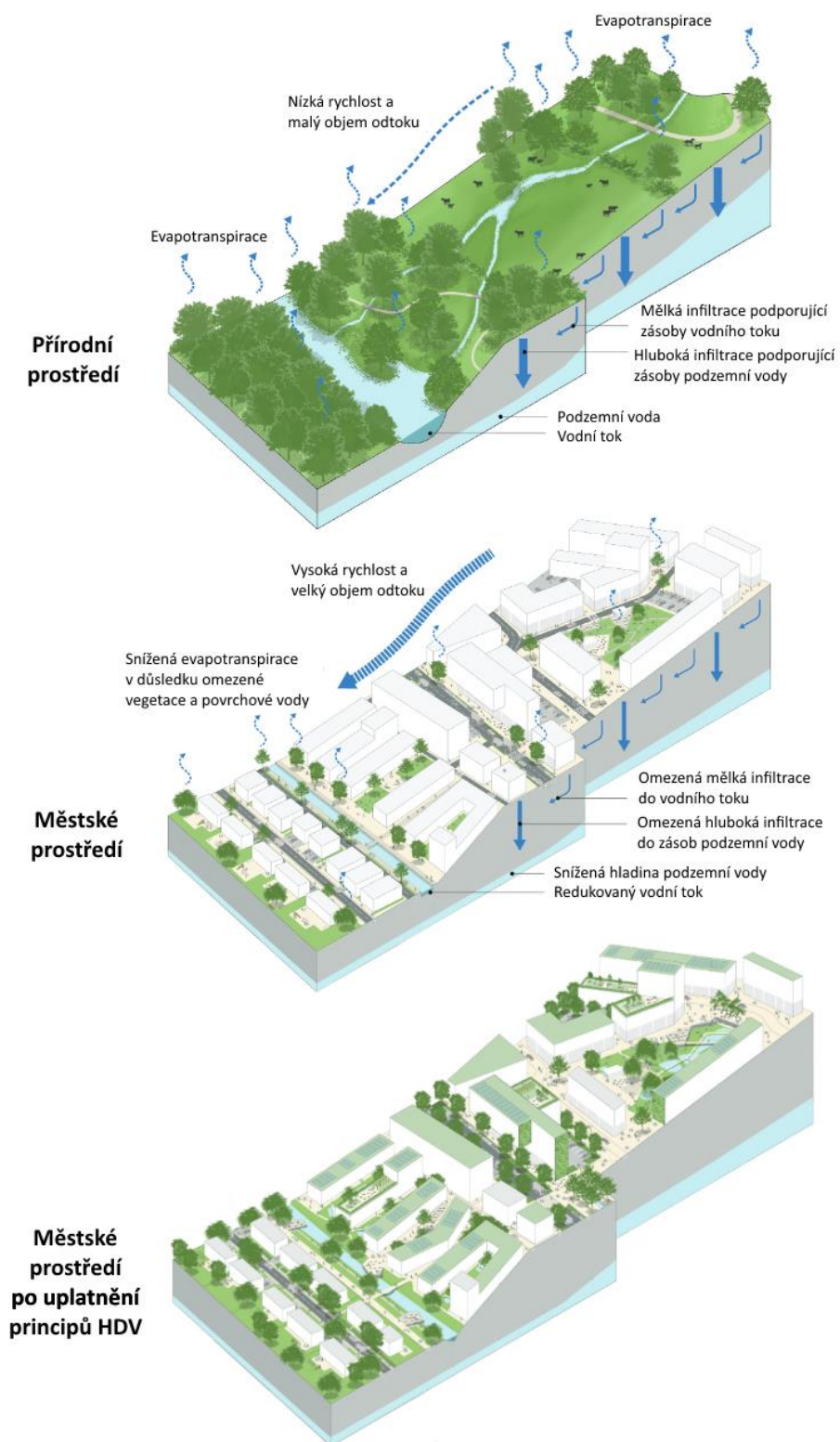
- nedostatečná obnova podzemní vody vsakováním;
- znečišťování vodních zdrojů a recipientů látkami splavenými ze zpevněných ploch, změna režimu přirozeného cyklu vody;
- překročení kapacity stokového systému, přechod do tlakového režimu proudění s vystoupáním vody do úrovně sklepních prostorů, či přímo výtoku na terén prostřednictvím revizních šachet a uličních vpustí;
- estetického charakteru, neustálé zvyšování podílu zpevněných ploch v městských sídlech. [55, 57]

Novým řešením je decentralizovaný systém odvodnění. Hlavní myšlenkou je, aby se se srážkovou vodou nakládalo v místě jejího vzniku a zabránilo se tomu, aby srážkové vody otekly z pozemku se stejnou intenzitou, se kterou na pozemek spadly. V případě vhodných podmínek se upřednostňuje vsakování do podzemí, což má příznivý vliv na doplňování zdrojů podzemních vod. Ne vždy je umožněno vsakování, a proto se musí přikročit k lokální retenci. Vody akumulované v retenčních objektech se regulovaným odtokem rovnoměrně vypouští do kanalizace. I tento způsob odvodnění má pro vodní hospodářství měst obrovský význam. [56]

Zadržování dešťových vod a podpora jejich vsakování vede ke snížení objemu a maxim povrchového odtoku v urbanizovaném území, což má řadu ekonomických i ekologických přínosů:

- využíváním akumulované dešťové vody jako vody užitkové se snižuje potřeba pitné vody;
- snižování celkového objemu odvedeného množství dešťové srážky vede zároveň ke snižování nákladů na investice a provoz městského odvodnění;
- zadržením vody v terénu se zvýší výpar alepší mikroklima v urbanizovaných oblastech;
- zadržováním a vsakováním dešťových vod se snižuje objem povrchového odtoku, a tím se snižuje hydraulické a látkové zatížení vodních recipientů;
- vsakováním do podzemí se obnovuje zásoba podzemních vod;
- ochrana obyvatel a majetku před povodněmi;
- podpora přirozeného režimu vodních toků;
- zlepšení místního ekosystému a biologické rozmanitosti;
- zkvalitnění městského prostředí a zlepšení jeho estetického vzhledu vegetací;

- městské prostředí se lépe vyrovnává se změnami klimatu;
- zvýšení povědomí obyvatel o přínosech HDV. [54, 58, 59, 60]



Obr. 20 Dopady urbanizace na povodí [58]

4.2 Legislativa a technické předpisy spojené s hospodařením s dešťovou vodou

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

Vodní zákon neuvádí pojem srážkové ani dešťové vody jako samostatnou kategorii. Obecná definice srážkové vody je označována jako voda, která má původ v atmosférických srážkách, která nedopadla na zemský povrch. Po dopadu na zemský povrch se tato voda označuje za povrchovou vodu.

Povrchové vody dále upravuje § 2 odstavec 1 takto: *„Povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu; tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních.“*

Vodní zákon § 5 odstavec 3 nařizuje každému stavebníkovi, nejen pro nové stavby, ale též pro změny staveb a změny užití staveb, hospodařit se srážkovou vodou na svém pozemku takto:

„Při provádění staveb nebo jejich změn nebo změn jejich užívání jsou stavebníci povinni podle charakteru a účelu užívání těchto staveb je zabezpečit zásobováním vodou a odváděním, akumulací nebo čištěním odpadních vod s následným vypouštěním do vod povrchových nebo podzemních odpadních vod z nich v souladu s tímto zákonem a zajistit vsakování nebo zadržování a odvádění povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby (dále jen „srážkové vody“) v souladu se stavebním zákonem. Bez splnění těchto podmínek nesmí být povolena stavba, změna stavby před jejím dokončením, užívání stavby ani vydáno rozhodnutí o dodatečném povolení stavby nebo rozhodnutí o změně v užívání stavby.“ [61]

Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území

Tato vyhláška vymezuje zneškodňování srážkových vod a je prováděcí vyhláškou k § 43 stavebního zákon a týká se tedy územního plánování. Stanoví v § 20 odstavci 5c, že:

„Vsakování nebo odvádění srážkových vod ze zastavěných ploch nebo zpevněných ploch, pokud se neplánuje jejich jiné využití; přitom musí být řešeno:

1. přednostně jejich vsakování, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, není-li možné vsakování,

2. jejich zadržování a regulované odvádění oddílnou kanalizací k odvádění srážkových vod do vod povrchových, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, nebo

3. není-li možné oddělené odvádění do vod povrchových, pak jejich regulované vypouštění do jednotné kanalizace.“

Podle § 21 odstavce 3 je vsakování na pozemcích staveb pro bydlení splněno (§ 20 odstavec 5c), jestliže poměr výměry části pozemku schopné vsakování dešťové vody k celkové výměře pozemku činí v případě:

„a) samostatně stojícího rodinného domu a stavby pro rodinnou rekreaci nejméně 0,4,

b) řadového rodinného domu a bytového domu 0,3.“ [62]

Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby

Podle § 6 odstavce 4 stavby, z nichž odtékají povrchové vody, vzniklé dopadem atmosférických srážek (dále jen „srážkové vody“), musí: „Mít zajištěno jejich odvádění, pokud nejsou srážkové vody zadržovány pro další využití. Znečištění těchto vod závadnými látkami nebo jejich nadměrné množství se řeší vhodnými technickými opatřeními. Odvádění srážkových vod se zajišťuje přednostně zasakováním. Není-li možné zasakování, zajišťuje se jejich odvádění do povrchových vod; pokud nelze srážkové vody odvádět samostatně, odvádí se jednotnou kanalizací.“ [63]

Ačkoli by se mohlo zdát, že vyhlášky 501/2006 Sb. a 268/2009 Sb. říkají ve vztahu k HDV téměř totéž, zásadní rozdíl je v tom, pro koho jsou obě sdělení určena. Zatímco vyhláška č. 268/2009 Sb., ukládá stavebníkovi povinnost dodržovat principy HDV, první jmenovaná vyhláška ukládá obci povinnost vymezit stavební pozemek tak, aby stavebník měl možnost se podle svých povinností zachovat. Stavební pozemek vymezuje stavební úřad v rámci rozhodnutí o umístění stavby. Již v rámci územního plánování je proto obec povinna myslet i na HDV tak, aby i budoucí stavební pozemky byla schopna správně vymezit podle stavebního zákona a jeho prováděcích předpisů. [64]

Zákon 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích

Podle § 8 odstavce 4 má majitel stokové sítě povinnost umožnit připojení srážkových vod na kanalizace.

„Vlastníci vodovodů nebo kanalizací, jakož i vlastníci vodovodních řadů, vodárenských objektů, kanalizačních stok a kanalizačních objektů provozně souvisejících, jsou

povinni umožnit napojení vodovodu nebo kanalizace jiného vlastníka, pokud to umožňují kapacitní a technické možnosti.“

V § 12 odstavci 1 je uvedeno: *„Kanalizace musí být navrženy a provedeny tak, aby negativně neovlivnily životní prostředí...Současně musí být zajištěno, aby bylo omezováno znečišťování recipientů způsobované dešťovými přívaly. [65]*

Politika územního rozvoje ČR

Politika územního rozvoje ČR stanovuje rámcové úkoly pro navazující územně plánovací činnost a pro stanovování podmínek pro předpokládané rozvojové záměry s cílem zvyšovat jejich přínosy a minimalizovat jejich negativní dopady.

Pro účely HDV je nejdůležitější odstavec 25:

„Vytvářet podmínky pro preventivní ochranu území a obyvatelstva před potenciálními riziky a přírodními katastrofami v území (záplavy, sesuvy půdy, eroze, sucho atd.) s cílem minimalizovat rozsah případných škod. Zejména zajistit územní ochranu ploch potřebných pro umísťování staveb a opatření na ochranu před povodněmi a pro vymezení území určených k řízeným rozlivům povodí. Vytvářet podmínky pro zvýšení přirozené retence srážkových vod v území s ohledem na strukturu osídlení a kulturní krajinu jako alternativy k umělé akumulaci vod. V zastavěných územích a zastavitelných plochách vytvářet podmínky pro zadržování, vsakování i využívání dešťových vod jako zdroje vody a s cílem zmírňování účinků povodní.“ [66]

Plán hlavních povodí ČR

V druhém plánovacím období (2015–2021) byl Plán hlavních povodí ČR nahrazen Národními plány povodí ČR.

Obečným cílem státní politiky v oblasti vod je vytvořit podmínky pro udržitelné hospodaření s omezeným vodním bohatstvím České republiky, které umožní sladit požadavky ochrany a vodních ekosystémů, při současném zohlednění opatření ke snížení škodlivých účinků vod.

Dílním cílem je podporovat snižování nepříznivých vlivů urbanizace území, zemědělského a lesního obhospodařování krajiny na zásoby vody, podporovat obnovu ekologické stability krajiny a integrovaný přístup k ochraně vod a hospodaření s vodou.

Zapojit ostatní sektory hospodářství včetně obcí a veřejné správy na úrovni krajů, aby byl zajištěn integrovaný přístup k řešení výhledových potřeb a požadavků na vody,

zejména pro dlouhodobý výhled, kdy se předpokládá, že se budou výrazněji projevovat důsledky předpokládaných klimatických změn. [67]

Směrnice 2000/60/ES

Základním dokumentem, který ustanovuje rámec pro činnost v oblasti vodní politiky Evropského společenství je právě tato směrnice. Rámcová směrnice vodní politiky se vztahuje na veškeré vodstvo – vnitrozemské povrchové vody, podzemní vody, brakické a pobřežní vody. Celoevropsky zavádí princip integrovaného přístupu pro záležitosti spojené s kvalitou a kvantitou vody a s problematikou povrchových a podzemních vod

„Politika Společenství pro životní prostředí má přispět k prosazování cílů zachování, ochrany a zvýšení kvality životního prostředí, při uvážení a rozumném využívání přírodních zdrojů a má být založena na principu předběžné opatrnosti, na principech přijímání preventivních opatření, nápravy škod na životním prostředí prvotně u zdroje a na principu, že znečišťovatel platí.“ [68, 69]

ČSN 75 9010 – Vsakovací zařízení srážkových vod

Jako první vešla v únoru 2012 v platnost norma ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod, která prošla v nedávné době dvěma změnami (srpen 2017, listopad 2017). Tento technický předpis určuje pravidla návrhu, výstavby a provozu povrchových a podzemních vsakovacích zařízení. Dále popisuje rozsah a způsob realizace geologického průzkumu za účelem zjištění podmínek pro vsakování srážkových vod, postupy, příklady a výpočty retenčních objemů vsakovacích zařízení a přináší aktualizovanou tabulku návrhových úhrnů srážek v České republice.

Tato norma ovšem problematiku systémů HDV řeší jen částečně a bohužel nesystémově. Předpis je zaměřen čistě na vsak srážkových vod na jednotlivých pozemcích a zcela opomíjí fakt, že odvodnění každé stavby musí být uvažováno v kontextu s okolím a se stávajícím systémem odvodnění širší oblasti. Norma opomíjí skutečnost, že HDV je komplexní systém sestávající z mnoha způsobů, jak pozemky bezpečně odvodnit, zahrnuje množství opatření, která lze aplikovat v podstatě za všech místních podmínek. [70]

Norma obsahuje dnes již zastaralé a zcela nevyhovující podmínky pro návrh:

- max. doba k prázdnění vsakovacích objektů je 3 dny;
- pouze pro vsakování, neřeší systém HDV a odvodnění;
- vsakovací objekty řeší bezpečnostní přelivy nesystémově;
- orientační geologický průzkum. [71]

TNV 75 9011 – Hospodaření se srážkovými vodami

Tato norma z března 2013 reaguje na současné trendy a předpisy v oblasti vodního a stavebního práva a zabývá se způsoby nakládání se srážkovými vodami odtékajícími z povrchu urbanizovaného území. Jedná se o návod pro návrh a provoz odvodnění urbanizovaného území způsobem blízkým přírodě. Norma se podílí na naplňování vodohospodářské politiky ČR, jejímž smyslem je zajištění trvale udržitelného rozvoje.

Norma řeší nakládání se srážkovými vodami zejména na pozemku stavby (decentrální způsob odvodnění), ale jsou uvedena i centrální opatření, která jsou řazena za opatření decentrální tak, aby byl vytvořen funkční systém přírodě blízkého odvodnění. V této normě jsou uvedena také opatření pro snížení (případně prevenci vzniku) srážkového odtoku. [70]

Obsahuje klíčové návrhové parametry pro dimenzování systémů i objektů HDV:

- max. specifický odtok 3 l (s·ha)^{-1} ;
- retenční objekty i pro podmínky, kdy není možné DV vsakovat;
- prázdnění objemu retenčních objektů nemá přesáhnout 24 h pro návrhový déšť;
- bezpečnostní přelivy. [71]

4.3 Kvalita dešťové vody

Kvalita dešťové vody závisí na využívání daného území, reliéfu a meteorologických podmínkách lokality. Nejhuře jsou na tom oblasti s frekventovanou automobilovou dopravou a průmyslové oblasti. Dešťová voda po průchodu atmosférou vykazuje pH přibližně 5,6. To je způsobeno látkami obsaženými ve vzduchu, např. CO_2 , SO_2 , NO .

Znečištění již zachycené dešťové vody je rozděleno podle jeho původu:

- rozpuštěné a nerozpuštěné látky v atmosférických srážkách;
- znečištění, které se nahromadí na povrchu území během bezdeštného období a během dešťové události je odváděno s dešťovou vodou;
- znečištění, které vzniká při kontaktu dešťové vody s materiály na povrchu území. [59]

Stanovení velikosti znečištění v dešťovém odtoku je závislé na délce bezdeštného období, množství a intenzitě atmosférických srážek a objemu dešťového odtoku. Vyšší koncentrace znečišťujících látek jsou obsaženy na začátku odtoku, to je důsledkem toho, že na začátku deště je vyplavováno atmosférické znečištění a rovněž je mobilizována suchá depozice a vytvořené produkty koroze od posledního deště. Tento jev se nazývá efekt „prvního splachu“. Oddělení prvního splachu (1–3 mm deště) vede zpravidla k podstatnému snížení látkového zatížení v zachycené dešťové vodě. Na znečištění dešťového odtoku mají velký vliv škodlivé látky v atmosféře. Neboť látky obsažené v atmosféře mohou být přenášeny na velké vzdálenosti a ve vodě se projevují i v méně zatížených oblastech.

Kyseliny a kyselinotvorné látky (kyselina sírová, dusičná, chlorovodíková) pocházející převážně z antropogenních zdrojů znečištění převažují nad zásaditými látkami (uhličitán vápenatý a hořečnatý, amoniakální dusík) pocházejícími především z přirozeného prostředí. Zdrojem kyselin jsou obzvlášť sloučeniny síry (SO_2 a H_2S) a sloučeniny dusíku (N_2O , NO , NO_2) ze spalování fosilních paliv, z výfukových plynů motorových vozidel a mikrobiální denitrifikací v půdě i ve vodě. Sloučeniny chloru vznikají ze spalování umělých hmot s obsahem PVC (městské a průmyslové spalovny). Zdrojem zásaditých látek je jednak zemědělství (amonné ionty v hnojivech) a přirozené pozadí (uhličitany). K ostatním látkám patří především těžké kovy (emise z průmyslu a spaloven), organické látky (především uhlovodíky z výfukových plynů motorových vozidel) a rostlinné živiny (např. fosfor a amonné ionty). [59]

Dlouhodobým sledováním znečištění srážkových vod v ČR můžeme sledovat postupné snižování koncentrací těchto znečišťujících látek, viz následující tabulka.

Tab. 8 *Průměrné složení srážkových vod v ČR (kraj Vysočina, okres Pelhřimov, Salačova Lhota) [72]*

Ukazatel	Jednotka	2011	2015	2016	2017	2018
pH	-	5,4	5,6	5,5	5,4	5,6
Na ⁺	mg/l	0,26	0,25	0,14	0,16	0,14
K ⁺	mg/l	0,38	0,59	0,26	0,12	0,30
NH ₄ ⁺	mg/l	0,71	1,66	0,93	0,53	0,98
Mg ²⁺	mg/l	0,11	0,11	0,06	0,06	0,07
Ca ²⁺	mg/l	0,49	0,47	0,34	0,29	0,28
Mn	ug/l	11,67	15,32	26,33	20,92	10,64
Zn	ug/l	39,75	12,73	8,50	12,33	8,91
Pb	ug/l	0,62	0,58	0,53	0,58	0,50
Cd	ug/l	0,06	0,10	0,03	0,03	0,02
Ni	ug/l	-	1,18	0,41	1,40	2,38
F ⁻	ug/l	11,50	11,36	10,92	12,83	11,27
Cl ⁻	mg/l	0,31	0,36	0,31	0,30	0,33
NO ₃ ⁻	mg/l	1,96	2,16	1,58	1,80	1,91
SO ₄ ²⁻	mg/l	1,71	1,56	1,06	0,98	1,17

Ke znečištění srážkové vody dochází během deště vymýváním látkového znečištění ze vzduchu a stékáním vody po různých materiálech, na které dešťová voda dopadá. Kvalita vody je závislá na druhu povrchu. Opotřebováním stavebních materiálů se mohou například uvolňovat (vlivem stárí a povětrnostních podmínek) částice krytiny střech, cihel, betonu, kovů, barev, skla apod. Střechy jsou znečištěny také organickými látkami, např. pyl, listí, ptačí trus, choroboplodné zárodky a další. Nežádoucí látky se též uvolňují při kontaktu se střešními žlaby a svody, jedná se především o barvy a kovy (měď, chrom, zinek). Při vyšších požadavcích na čistotu dešťového odtoku je nutné volit náhradu stávajících materiálů za inertní materiály, nebo zvolit vyšší stupeň předčištění srážkové vody. Významný vliv na kvalitu dešťového odtoku má také automobilová doprava, aplikace soli v zimním období, vegetace, odpadky a fekální znečištění. [59, 73]

Tab. 9 Orientační klasifikace znečištění srážkových vod z hlediska znečištění nerozpuštěnými látkami, těžkými kovy a uhlovodíky [74]

Typ plochy	Míra znečištění srážkových vod	
- Vegetační střechy - Střechy z inertních materiálů - Střechy s plochou neošetřených kovových částí do 50 m² - Komunikace pro chodce a cyklisty - Málo frekventovaná parkoviště osobních aut - Málo frekventované pozemní komunikace (příjezdy k domům)		nízká
- Střechy s plochou neošetřených kovových částí 50 m² až 500 m² - Středně frekventované pozemní komunikace - (Vysoce) frekventovaná parkoviště (osobní auta a autobusy)		střední
- Střechy s plochou neošetřených kovových částí nad 500 m² - Vysoce frekventované pozemní komunikace - Plochy u skladišť, manipulační plochy - Komunikace zemědělských areálů - Parkoviště nákladních aut		vysoká

4.4 Požadavky na kvalitu dešťové vody využívané k závlaze

ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu je platná norma pro hodnocení a použití vody k doplňkové závlaze. Norma nestanovuje požadavky na jakost vody s ohledem na její stálost při dopravě a na její účinky na potrubí, jakož i na podrobná zařízení lokalizovaných závlah. [75]

Voda se z hlediska doplňkové závlahy dělí na tři třídy:

- I. třída – vody vhodné k závlaze;
- II. třída – vody podmíněčně vhodné k závlaze;
- III. třída – vody nevhodné k závlaze. [75]

Voda I. třídy je použitelná k závlaze všech zemědělských a lesních kultur bez jakéhokoliv omezení. Voda II. třídy je použitelná k závlaze za předpokladu, že budou pro každou lokalitu stanovena podle stupně a charakteru znečištění vody, místních podmínek, způsobu závlahy apod. zvláštní opatření. Je třeba evidovat zejména závlahové množství a složení závlahové vody pro bilanci vstupu cizorodých látek do půdy. Voda III. třídy je použitelná k závlaze buď jen po takové úpravě, kterou získá kvalitu vody vhodné nebo podmíněně vhodné nebo je použitelná k závlaze podle podmínek pro závlahu OV. Ukazatele, které se používají ke klasifikaci vody podle její

jakosti se dělí na 4 kategorie: A–fyzikální, B–chemické, C–biologické, D–ukazatele radioaktivity. Nejvýše přípustné hodnoty ukazatelů jsou uvedeny v následující tabulce [75]

Tab. 10 Nejvýše přípustné hodnoty (NPH) ukazatelů jakosti jednotlivé třídy [75]

Ukazatel	Jednotka	Třída		
		I	II	III
		Voda vhodná	Voda podmíněně vhodná	Voda nevhodná
A. Fyzikální ukazatele				
1. Teplota vody (t)	°C	35	40	>40
B. Chemické ukazatele				
2. Reakce vody (pH)	-	5 až 8,5	4,5 až 9	<4,5 a >9
3. Rozpuštěné látky (RL105)	mg·l ⁻¹	800	1200	>1200
4. Chloridy (Cl ⁻)	mg·l ⁻¹	300	400	>400
5. Sírany (SO ₄ ²⁻)	mg·l ⁻¹	250	300	>300
6. Hliník (Al)	mg·l ⁻¹	10	20	>20
7. Arsen (As)	mg·l ⁻¹	0,05	0,1	>0,1
8. Bor (B)	mg·l ⁻¹	0,5	1	>1
9. Kadmium (Cd)	mg·l ⁻¹	0,01	0,02	>0,02
10. Kobalt (Co)	mg·l ⁻¹	0,5	1	>1
11. Chrom celkový (Cr)	mg·l ⁻¹	0,2	0,5	>0,5
12. Měď (Cu)	mg·l ⁻¹	0,5	2	>2
13. Mangan (Mn)	mg·l ⁻¹	3	5	>5
14. Molybden (Mo)	mg·l ⁻¹	0,2	0,4	>0,4
15. Nikl (Ni)	mg·l ⁻¹	0,1	0,2	>0,2
16. Olovo (Pb)	mg·l ⁻¹	0,05	0,1	>0,1
17. Rtuť (Hg)	mg·l ⁻¹	0,005	0,01	>0,01
18. Selen (Se)	mg·l ⁻¹	0,02	0,05	>0,05
19. Vanad (V)	mg·l ⁻¹	0,1	0,5	>0,5
20. Zinek (Zn)	mg·l ⁻¹	1	2	>2
21. Železo (Fe)	mg·l ⁻¹	10	100	>100

22. Kyanidy celkové (CN)	mg·l ⁻¹	0,4	0,5	>0,5
23. Tenzidy aniontové (MBAS)	mg·l ⁻¹	2	4	>4
24. Fenoly těkající s vodní parou	mg·l ⁻¹	0,2	0,5	>0,5
25. Uhlovodíky C ₁₀ – C ₄₀	mg·l ⁻¹	0,1	0,3	>0,3
26. Polychlorované bifenyly	mg·l ⁻¹	50	100	>100
C. Biologické ukazatele				
27. Koliformní bakterie	KTJ·ml ⁻¹	100	1000	>1000
28. Fekální koliformní bakterie	KTJ·ml ⁻¹	10	100	>100
29. Enterokoky	KTJ·ml ⁻¹	10	100	>100
30. Salmonelly	-	neprokazatelné v 500 ml	neprokazatelné v 200 ml	neprokazatelné v 100 ml
31. Infekční stadia parazitů člověka a domácích zvířat	-	neprokazatelné v 1000 ml	neprokazatelné v 1000 ml	neprokazatelné v 1000 ml
32. Kolifágy	PFU·l ⁻¹	10 ²	10 ⁴	>10 ⁴
33. Testy klíčivosti na semenech rostlin	h/k	1	1	>1
D. Ukazatele radioaktivity				
34. Celková objemová aktivita beta mimo tritia	mBq·l ⁻¹	1500	-	>1500
35. Radium 226	mBq·l ⁻¹	200	-	>200
36. Uran	μg·l ⁻¹	50	-	>50

4.5 Možnosti hospodaření s dešťovou vodou

Hospodaření s dešťovou vodou ve stávající zástavbě

Je nutné vytvořit vhodné podmínky a motivaci k HDV, protože v současnosti se za odvádění srážkových vod z obytné zástavby a zpevněných ploch neplatí stočné. Tato

povinnost je dána majitelům objektů sloužící k podnikatelské činnosti a objektům ve vlastnictví města. Hlavním důvodem zapojením se do HDV je snížení poplatku za odvádění dešťové vody a snížení provozních nákladů na čištění OV na ČOV. Možnost realizovat zařízení pro HDV je závislá na stávající struktuře oblasti (centrum města, městské obytné a smíšené oblasti, městské obytné oblasti, samostatně stojící rodinné domky, obchodní a průmyslové oblasti). [59, 71]

Hospodaření s dešťovou vodou na nových stavbách

Naopak u novostaveb lze již dopředu uvažovat se zapojením do konceptu HDV podle platného územního plánu. Srážkový odtok z nově urbanizovaných území nesmí představovat pro stávající stokovou síť a vodoteče ohrožení v podobě náhlého zvýšení množství odváděných dešťových vod či znečištění oproti stavu před urbanizací. Výsledný návrh HDV by měl obsahovat doporučení nebo návrh koncepčních opatření, jimiž by se městská část měla řídit a podle nichž postupovat. Možná protiopatření:

- snižovat podíl nepropustných ploch použitím polopropustných a propustných materiálů;
- odvádět vodu způsobem podporující její infiltraci a zajistit, aby byl snížen odtok srážkových vod na úroveň přirozeného odtoku;
- akumulovat dešťovou vodu v nádržích a následně ji používat jako vodu užitkovou;
- zasakovat srážkové vody na pozemcích rodinných domů;
- pro odvádění srážkové vody z pozemků používat průlehy, příkopy a žlaby podporující vsakování do půdy;
- před vyústěním z dešťové kanalizace nebo odlehčovacích komor instalovat usazovací nádrže na splaveniny;
- při odvádění dešťové vody z parkovišť a odstavných ploch použít separátor ropných látek. [59]

4.6 Předčištění dešťových vod

Při čištění srážkových vod se používají dva procesy, a to filtrace a sedimentace. Volba typu čistící technologie závisí na druhu znečištění a účelu použití. V případě využívání dešťové vody k závlaze rostlin či mytí auta postačí pouze jednoduché mechanické způsoby čištění. Voda určená na praní vyžaduje kvalitnější filtrace.

Sedimentace probíhá buď v retenční nádrži na dešťovou vodu, nebo v usazovací nádrži předřazené před akumulací nádrží. Filtrace se rozlišuje na interní a externí. Interní filtry jsou umístěny přímo uvnitř nádrže a obsahují jeden přítok a odtok vyčištěné vody a možnost napojení přepadového sifonu na odtok přebytečné vody. Zatímco

externí filtry se napojují mezi okapový svod a jímku, kde se voda vyčistí a dále odtéká akumulární jímky. [76]

Tab. 11 Způsoby předčištění srážkových vod při vsakování a účinnost pro různé druhy znečištění dle TNV 75 9011 [74]

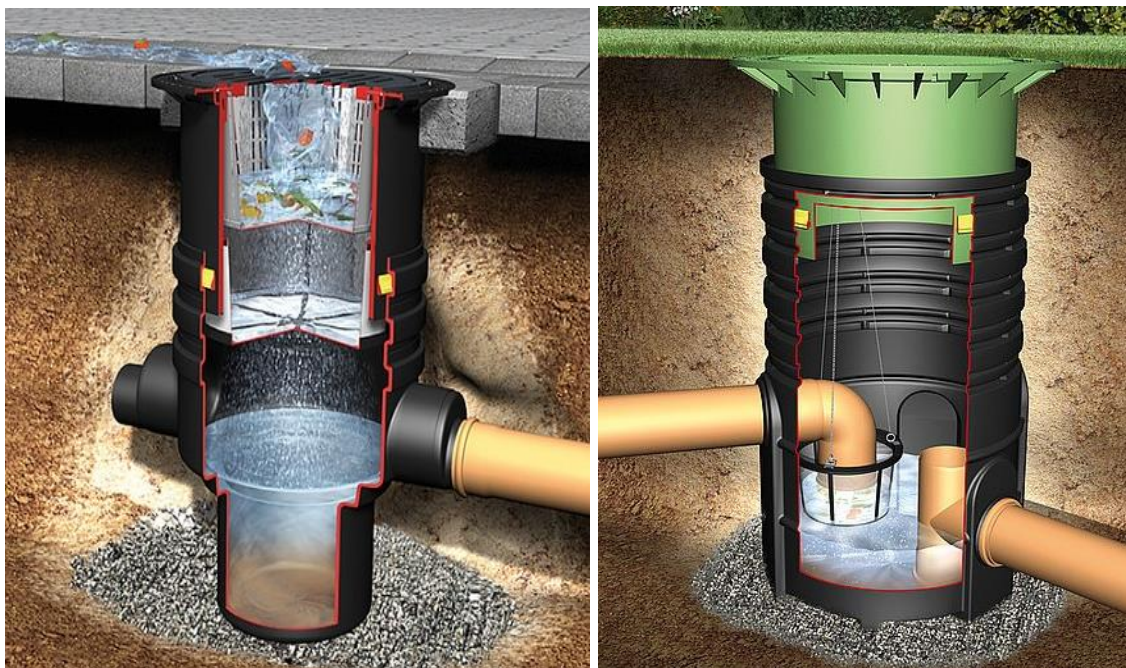
Způsob čištění	Zařízení	Hrubé nečistoty, splaveniny	Jemné částice	Těžké kovy a jejich nerozp. sloučeniny	Uhlovodíky (minerální oleje, ropné látky)	Organické látky (nepatřící k jemným či hrubým částicím)	Živiny
Zachycení hrubých nečistot	Vtokové mřížky	++	--	--	--	--	--
	Lapače listí	++	--	--	--	--	--
	Česle	++	--	--	--	--	--
	Síta	+, o	--	--	--	--	--
Vsakování přes zatravněnou humusovou vrstvu (filtrace, adsorpce, biologické čištění)	Průlehy Průlehy-rýhy Vsakovací nádrže	++	++	++	++	++	++
Gravitační separace látek (sedimentace pevných částic a vyplavání lehkých látek)	Kalové jímky Usazovací nádrže	++	++	++	++	--	--
	Odlučovače lehkých kapalin s kalovou jímkou	++	++	+	++	--	--
Filtrace mechanická	Pískové a štěrkové filtry	++	++	+	--	--	+
	Geotextilie	++	++	+	--	--	--
Filtrace přes adsorpční materiál	Aktivní uhlí, koks	o	o	++	++	++	--
	Zeolity	o	o	++	++	+	--
	Hydroxidy železa a hliníku	o	o	++	--	--	--
	Adsorbenty olejů	--	--	--	++	--	--
++ vhodné + podmíněčně vhodné o ve spojení s dalšími opatřeními - spíše nevhodné -- nevhodné							

Tab. 12 Doporučená opatření pro předčištění srážkových vod z různých typů ploch [74]

Typ plochy	Opatření
Vegetační střechy	není nutné
Střechy z inertních materiálů	
Střechy s plochou neošetřených kovových částí do 500 m ²	
Komunikace pro chodce a cyklisty	
Málo frekventovaná parkoviště osobních aut	
Málo frekventované pozemní komunikace (příjezdy k domům)	jednoduché mechanické předčištění – kalová jámka s nornou stěnou pro zadržení lehkých kapalin; pokud možno doplnit o filtraci
Středně frekventované pozemní komunikace	
Vysoce frekventovaná parkoviště (osobní auta a autobusy)	filtrace přes zatravněnou humusovou vrstvu nebo filtrace přes adsorbenty těžkých kovů
Střechy s plochou neošetřených kovových částí nad 500 m ²	
Vysoce frekventované pozemní komunikace	náročnější mechanické předčištění – odlučovač lehkých kapalin, usazovací nádrž s nornou stěnou; pokud možno doplnit o filtraci, případně filtrace přes adsorpční materiály
Plochy u skladišť, manipulační plochy	
Komunikace zemědělských areálů	
Parkoviště nákladních aut	

4.6.1 Usazovací šachta

Usazovací šachta se používá při malých přívalech vody s vysokým podílem usaditelných látek. Osazení šachet není prostorově náročné. Plovoucí a lehké látky jsou zachyceny na norné stěně. Nevýhodou mohou být vznikající víry na nátoku, kterým se však dá zabránit osazením zarážecí desky. Usazené látky se vybírají ruční mechanizací. Šachty mohou být betonované na místě, z betonových prefabrikovaných skruží nebo z plastu. [59]



Obr. 21 Usazovací šachta s filtračním košem [77, 78]

4.6.2 Filtrační podokapový hrnec

Je určen pro filtraci vody z jednoho okapového svodu. Ukládá se do země na vrstvu betonu nebo štěrku. Materiál filtru je ze silnostěnného polypropylenu. Filtrace je zajišťována průtokem vody přes plastové síto, na kterém je umístěna 50 mm vrstva filtračního materiálu (kamenivo). Mezi kamenivem a filtračním sítkem je umístěna filtrační vložka z netkané textilie. Přefiltrovaná voda je vhodná na zavlažování, na doplňování rybníčků nebo na vsakování. [73]



Obr. 22 Filtrační podokapový hrnec [73]

4.6.3 Okapový filtr

Je součástí okapového svodu. Filtrace probíhá přes nerezové sítko. V letním období protéká voda skrz sítko do akumulční nádrže a v zimním období se filtr uzavře a veškerá voda odtéká do kanalizace. Filtry jsou samočisticí a nevyžadují pravidelnou údržbu. [73]



Obr. 23 Okapový filtr [73, 79]

4.6.4 Filtrační koš

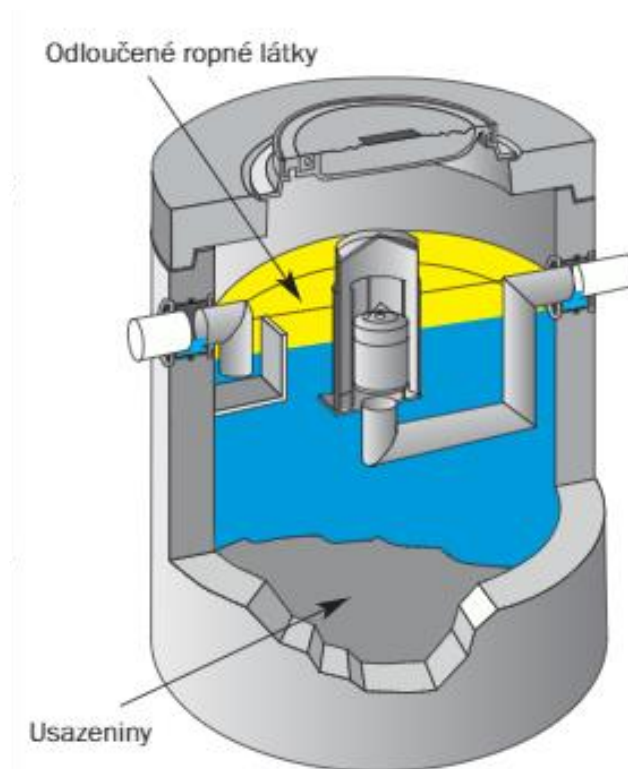
Košíčková filtrace zajistí 100% výtěžnost přefiltrované vody, neboť na rozdíl od samočisticích filtrů proteče veškerá voda skrz filtr do nádrže. Filtrační jednotka je tvořena plastovým sítkem o velikosti otvorů 0,35 mm. Zemní filtry mají 3 předpřipravené otvory, dva nad úrovní síta a jeden při dně. Otvory nad sítem lze je použít jako nátok a přepad do kanalizace nebo jako dva nátoky ze dvou okapových svodů. Nevýhodou je nutná údržba filtru. [73]



Obr. 24 Filtrační koš v tělese filtru [79, 80]

4.6.5 Odlučovač lehkých kapalin

Lehké kapaliny jsou nerozpustné a nezmýdelnitelné látky s hustotou do $0,95 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, např. motorový benzín, motorová nafta, topný olej a jiné oleje minerálního původu. Odlučovače lehkých kapalin se navrhují při odvádění srážkových vod z frekventovaných komunikací, parkovišť a průmyslových ploch. Odlučovače lehkých kapalin obsahují kalový prostor, odlučovací prostor a v některých případech i adsorpční prostor. V odlučovacím prostoru dochází k odloučení lehké kapaliny od srážkové vody gravitací a koalescencí (splývání disperzních částic ve větší celky) a k jejímu skladování. [81]



Obr. 25 Filtrační koš v tělese filtru [82]

4.7 Retence dešťových vod

Okamžitý a neřízený odtok dešťové vody způsobuje problémy ve stokové síti, na ČOV a v recipientu. Může docházet i k zaplavování zasakovacích objektů, pokud množství přitékající dešťové vody převyšuje vsakovací schopnost. V případech, kdy nelze zasakovat dešťovou vodu z důvodu nevhodných hydrogeologických podmínek či umístění lokality v ochranném pásmu se přistupuje k retenci a následném vypouštění vody do kanalizace nebo recipientu. Vypouštění probíhá prostřednictvím škrtících ventilů, kde je regulována velikost odtoku. Retenci dešťových vod lze řešit pomocí ochranných retenčních nádrží, nebo se řeší decentralizovaně na jednotlivých nemovitostech. [59, 83]

Retenční nádrže nahrazují přirozené retenční vlastnosti krajiny a podporují evaporaci, která má pozitivní vliv na mikroklima v okolí nádrže. Je kladen důraz na životní prostředí a napodobování přirozených přírodních útvarů v krajině. Nádrže plní též funkci estetickou a zachycují smyv. Retenční nádrže mohou být povrchové nebo podzemní, suché nebo mokré. Každá nádrž musí být vybavena bezpečnostním přelivem, který bez problému převede vyšší průtok, než je návrhová srážka. [59]

Retenční dešťové nádrže nemusí být vždy přírodního charakteru. V řadě velkých měst jsou vytvořeny tzv. „vodní náměstí“ formováním zpevněných ploch. Jedná se o nádrž vytvořenou v centru města sloužící jako např. hřiště, shromažďovací prostor nebo místo setkávání. Dešťová voda je voda sváděna systémem žlabů do této nádrže, kde je zadržena a po skončení srážkové události řízeně odtéká do kanalizace.



Obr. 26 Vodní náměstí ve městě Tiel v Nizozemsku [84]

Ochranné retenční nádrže lze rozdělit z hlediska funkčního využití na:

- suché retenční nádrže;
- retenční nádrže s přesně vymezeným ochranným prostorem;
- protierozní nádrže;
- dešťové nádrže;
- infiltrační výtopové nádrže;
- nárazové nádrže;
- retenční kanál. [59]

4.7.1 Suché retenční nádrže (poldry)

Suché nádrže slouží primárně k zachycení objemu srážky a ke snížení maximálních průtoků vzniklé povodně. Po průchodu povodňové vlny se nádrž řízeným odtokem vyprazdňuje. Suché nádrže navíc zasakují vodu do dna a břehů, avšak množství této vody je v porovnání s celkovým objemem nádrže minimální. Suché nádrže se navrhují převážně s vegetačním pokryvem. V bezdeštném období se nádrž využívá k lesnickým účelům (louky, výsadba rychle rostoucích dřevin). [59, 85]



Obr. 27 Suché retenční dešťová nádrž [86]

4.7.2 Protierozní nádrže

Protierozní nádrže mají dvě hlavní funkce – transformaci povodňové vlny s následným vypouštěním do recipientu a zachycení povrchového smyvu zeminy. Nádrž částečně umožňuje vsakování do dna, a tím zlepšuje stav podzemních vod v okolí. Nádrže jsou nejčastěji navrhovány jako suché se zatravněním. [87]



Obr. 28 Protierozní nádrž v Hustopečích [87]

4.7.3 Retenční nádrže s biotopem

Jde o kombinaci jezírka a biotopu rozděleného na více částí. Část objemu slouží k sedimentaci nečistot, mělká část s rostlinami slouží k biologickému čištění a hluboká část je určená ke koupání. Jednou z nevýhod je možné zvýšení koncentrace mikroorganismů ve vodě při vyšší teplotě vody (přes 24 °C). [88]



Obr. 29 Retenční nádrž ve formě koupacího jezírka s biotopem [89]

4.7.4 Decentralizované retenční nádrže

Slouží ke krátkodobému zachycení dešťového odtoku přímo na nemovitosti a následnému řízenému vypouštění do recipientu. Tyto objekty nejsou nákladné na výstavbu, avšak jsou náročné na plochu a údržbu. Je vhodné kombinovat retenční nádrže spolu se zasakovacími objekty. Nezbytnou součástí každé retenční nádrže je bezpečnostní přeliv, který je zaústěn do zasakovacího objektu, povrchových vod nebo jednotné kanalizace. [88, 90]

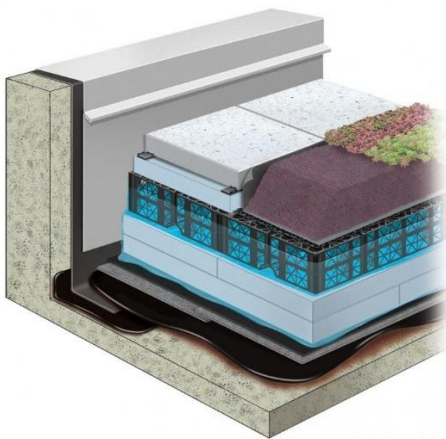


Obr. 30 Retenční nádrž [91]

4.7.5 Retence na zelených střechách a střechách zadržujících vodu

Střechy s rostlinným pokryvem mají retenční účinek, zadržená voda se odpařuje a přebytečná voda odtéká se zpožděním do kanalizace. Zelené střechy plní také funkci estetickou, zlepšují mikroklima, ochrannou, protipožární a také izolační (tepelná a zvuková). Také dochází k mechanickému a biologickému čištění vlivem prostupu vody vegetační a půdní vrstvou. Nevýhodou zelených střech jsou vyšší investiční a provozní náklady, intenzivní péče o rostliny v prvních letech výstavby. [92]

Modré střechy mají stejný retenční účinek jako střechy zelené, avšak výplň tvoří štěrky nebo plastové bloky. Tyto střechy v zásadě netvoří rostlinný pokryv, ale mohou být kombinovány s vegetační střechou, kdy retenční objem slouží jako závlaha pro vegetaci. V případě využívání vody jako užitkové je vhodné zvážit mechanické předčištění. [58]



Obr. 31 *Modrá střecha z plastových bloků (vlevo) [93] a modrá střecha se zásobníky vyplněnými štěrkem v New Yorku [94]*

4.7.6 Voštinové bloky

Plastové bloky jsou moderním řešením retence srážkových vod v podzemí. Uvnitř bloků jsou formou voštin vytvořeny dutiny, kterými protéká voda a tím se zpomalí odtok dešťové vody. Bloky mají až 3× větší retenční objem než štěrkové lože. Akumulační schopnost těchto bloků dosahuje 90–100 % využitelného objemu. V případě retence s řízeným odtokem se plastové bloky zabalí do vodonepropustné folie. Při dostatečném krytí jsou bloky únosné při zatížení automobilovou dopravou. Obdobnou variantou mohou být retenční tunely, které však nelze skládat na sebe. Na českém trhu existuje mnoho výrobců např. Asio, Nicoll, Mea a další. [95]



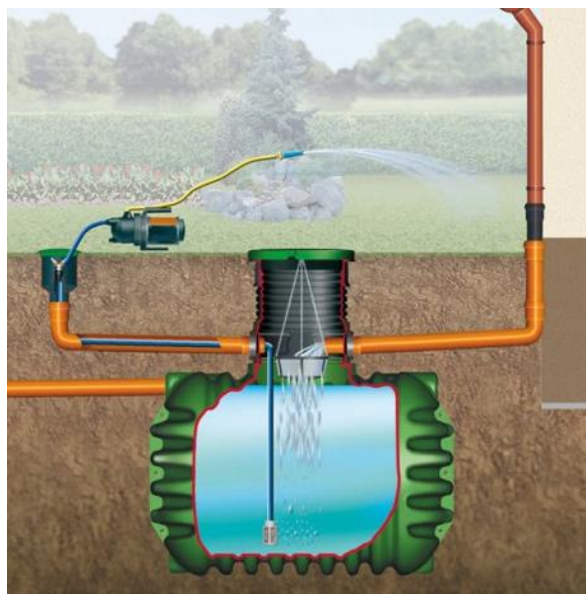
Obr. 32 *Plastový vsakovací tunel GARANTIA [96]*



Obr. 33 Plastové bloky AS-NIDAPLAST [95]

4.7.7 Zásobní nádrže

Optimální umístění dešťové nádrže je pod zemí v nezámrazné hloubce, kde nedochází k velkému kolísání teplot, a kde není vystavena slunečnímu záření. Velikost nádrže se volí dle velikosti odvodňované plochy a předpokládané spotřebě dešťových vod. Nádrž je vždy vybavena přítokem a bezpečnostním přepadem. Materiál nádrže se odvíjí od její velikosti a umístění, používají se nádrže plastové, betonové, sklolaminátové a ocelové. Před samotnou akumulací dešťové vody je nutné tuto vodu mechanickým filtrem předčistit. Některé nádrže jsou vybaveny filtrem hrubých nečistot v závislosti na výrobci. V případě mimořádných požadavků na kvalitu srážkové vody je možné do systému zařadit jemný filtr nebo UV filtr. Možnosti filtrace jsou uvedeny v kap. **Chyba! N**
enalezen zdroj odkazů. Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..



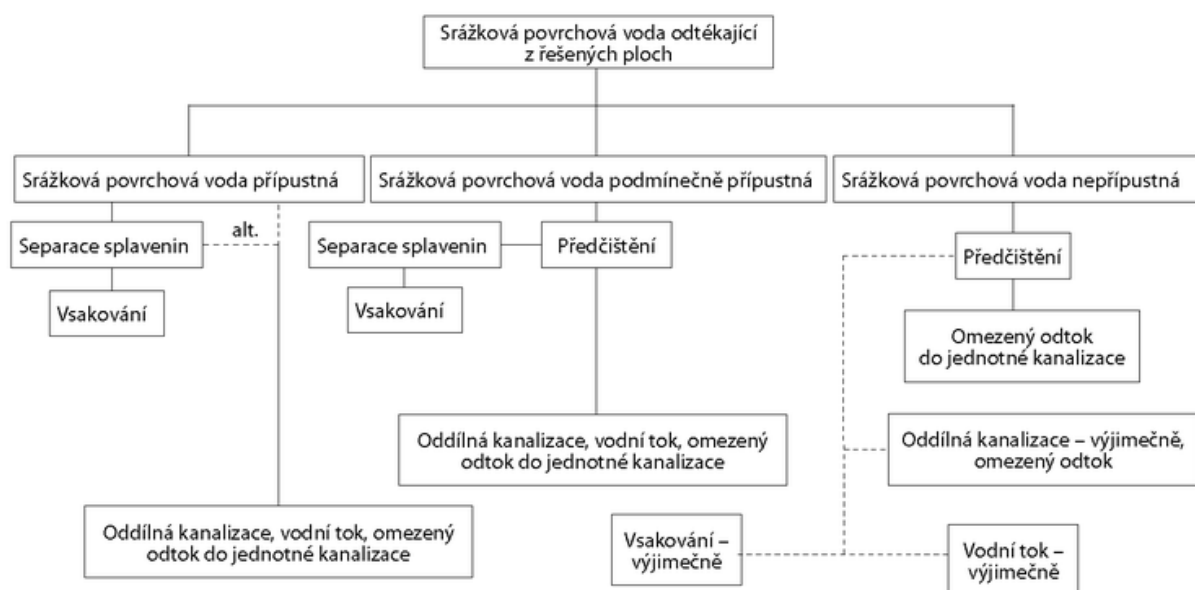
Obr. 34 Nádrž na dešťovou vodu AS-REWA ER ECO od firmy ASIO (vlevo) [97] a ukázka instalace nádrže pro zálivku zahrady (vpravo) [98]

4.8 Vsakování dešťových vod

Vsakování je nejvhodnější způsob odvádění srážkových vod a je upřednostněno před retencí s následným zpomaleným odtokem a přímým odváděním srážkových vod do kanalizace. Vsakovací objekty zadržují vodu a následně ji infiltrují do půdních vrstev, a tím se obohacují zásoby podzemní vody a částečně se obnovuje vodní bilance před urbanizací krajiny.

Zasakování dešťových vod má mnoho výhod, které se projeví na snížení nákladů na investice a provoz ČOV. Na ČOV je přiváděno větší množství znečišťujících látek, které se lépe odstraňují než z vod naředených dešťovou vodou. Majitelé velkých průmyslových a nákupních areálů mohou využitím vsakovacích objektů ušetřit na poplatcích za odvádění dešťových vod do jednotné kanalizace. [88]

Podle koncentrace znečištění se srážkové povrchové vody ze zpevněných ploch a střech rozdělují do dvou kategorií, a to srážkové povrchové vody přípustné a srážkové povrchové vody podmíněčně přípustné. Přípustné srážkové povrchové vody je dovoleno vsakovat přes vegetační vrstvu bez předchozího předčištění. U podmíněčně přípustných srážkových vod je nutno navrhnout fyzikální předčištění podle druhu znečištění a typu vsakovacího objektu. [99]

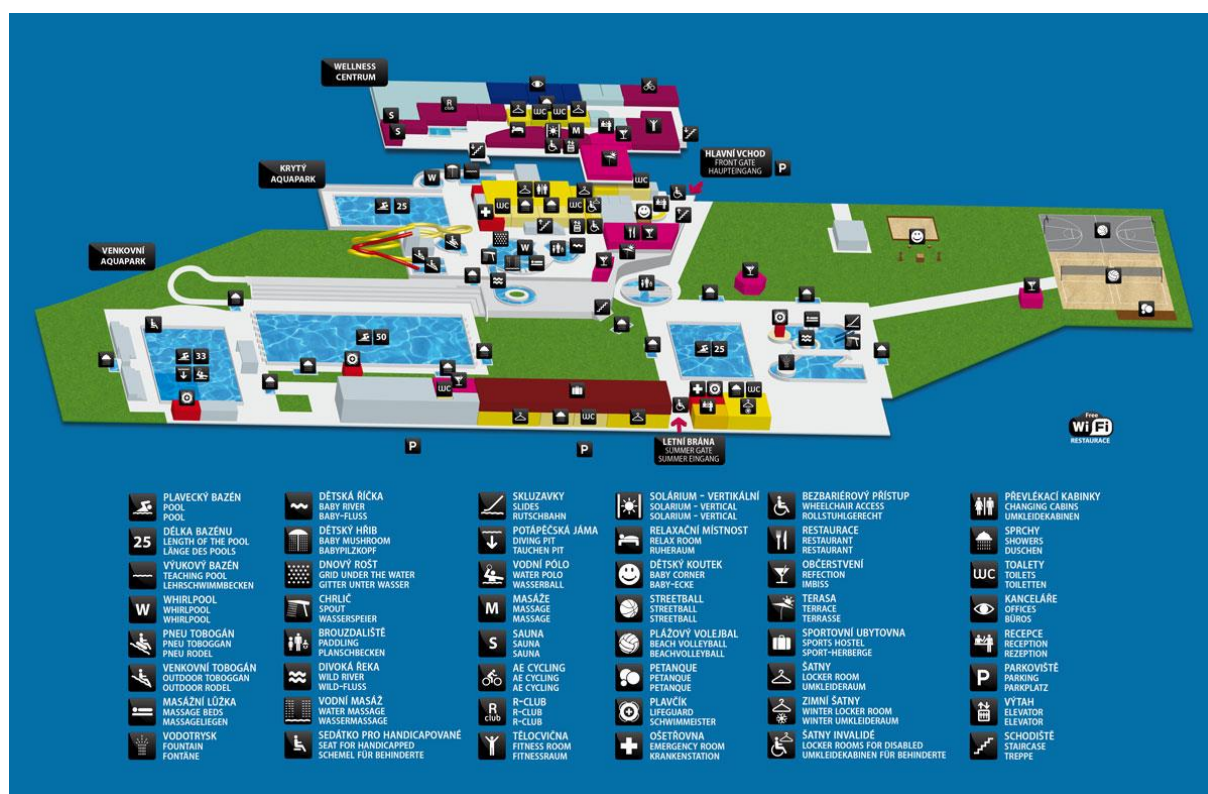


Obr. 35 Schéma postupu při odvádění srážkových vod [100]

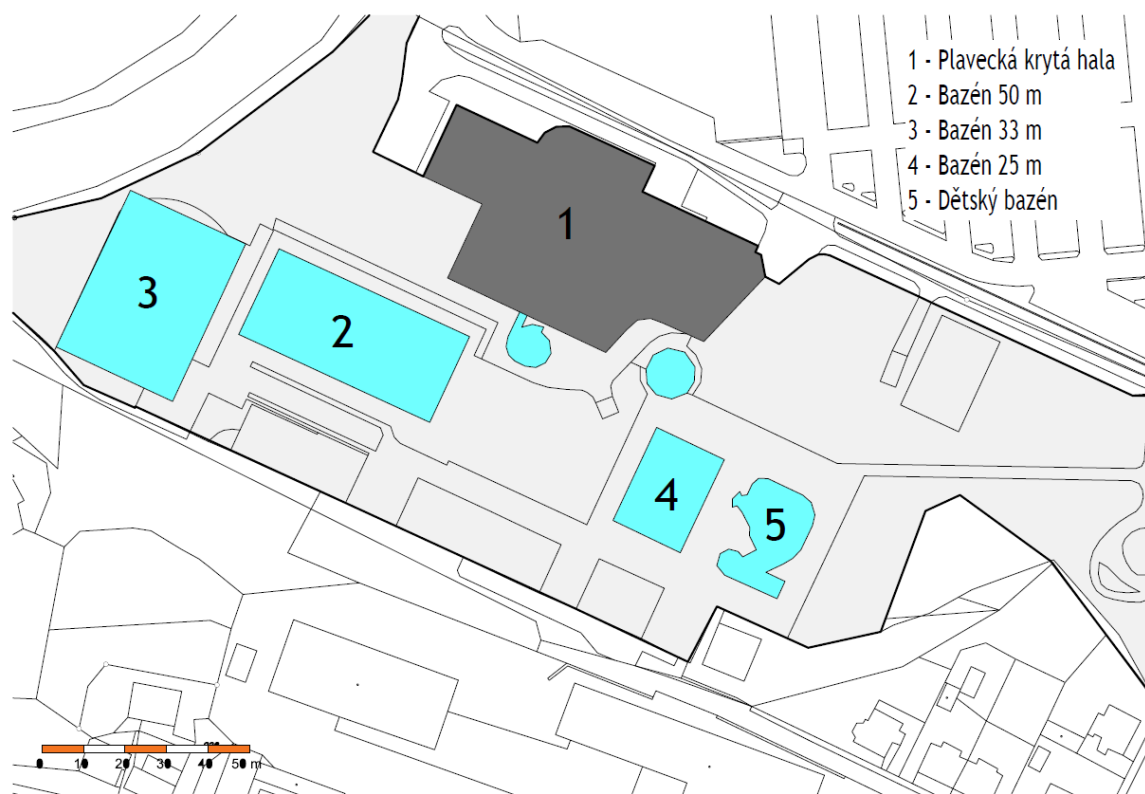
Zásady navrhování vsakovacích zařízení jsou řešeny v rámci technických norem TNV 75 9011 [74] a ČSN 75 9010 [99], jejichž dodržování musí být uplatněno při navrhování těchto zařízení. Mezi hlavní technická kritéria při volbě způsobu zasakování patří:

- geologické a hydrogeologické podmínky (vhodnost pro zasakování);
- množství srážkové vody, které je třeba vsáknout (závisí na velikosti a charakteru odvodňované plochy a hydrologických podmínkách);
- kvalita vody, která má být vsakována;
- lokální podmínky a prostorové uspořádání staveniště i širšího okolí stavby;
- architektonické začlenění do urbanizovaného území;
- nároky na budoucí provoz a údržbu, dlouhodobou udržitelnost opatření;
- ekonomické nároky na realizaci opatření. [101]

Účinnost vsakování je závislá na znečištění povrchového odtoku, na složení a zhutnění půdy, na velikosti vsakovací plochy a maximální hladině podzemní vody. Obsah organických látek v půdě zvyšuje rychlost infiltrace a snižuje náchylnost půdy proti zhutnění. Přítomnost vegetačního krytu ovlivňuje schopnost půdního povrchu vsakovat oproti povrchovému odtoku. Povrchy bez vegetačního krytu mají poloviční rychlost infiltrace. Travní porosty s různou druhovou diverzitou se vyznačují lepší infiltrační schopností, především díky různé hloubce prokořenění. [70]



Obr. 37 Orientační mapa areálu Aquaparku Děčín [52]



Obr. 38 Schematická situace Aquaparku Děčín [53]

5.2 Místní šetření

Místní šetření bylo provedeno dne 05.05.2020 ve věci zakázky pro vypracování studie proveditelnosti ve věci využití odpadní bazénové vody pro vytápění a využití vody pro Aquapark, přilehlý zimní stadion a základní školu. V současnosti je bazénová odpadní voda vypouštěna bez většího využití do řeky Ploučnice

Na jednání bylo mimo jiné prodiskutováno následující:

- současný povolený odběr z vrtu je cca 630.000 m³·rok⁻¹;
- odběr i vypouštění do řeky je kontinuální, vypouštěná voda má průměrně cca 25 °C;
- sprchování a splachování toalet je prováděno vyčištěnou vodou z bazénu;
- v Aquaparku není komplexní řídicí systém pro technologické vodní procesy;
- na odtoku vody do řeky není měření, teplota vypouštěné vody do řeky je proměnná podle ročního období (až cca 26,5 °C);
- na zvážení je možnost zalévání odpadní vodou přilehlou zeleň, případně využít dešťovou vodu ze střech;
- v zimním stadionu je voda ze sněžné jámy využívána zpět pro výrobu ledu, roztápění sněžné jámy je zbytkovým teplem z kompresorů;
- v rámci místního šetření byla pořízena fotodokumentace dílčích částí Aquaparku a Zimního stadionu, vybrané fotografie jsou na následujících fotografiích.



Obr. 39 Fotografie z místního šetření, pohled do strojovny úpravy vody v Aquaparku Děčín



Obr. 40 Fotografie z místního šetření, pohled do strojovny úpravy vody v Aquaparku Děčín



Obr. 41 Fotografie z místního šetření, pohled na venkovní 50m bazén, v pozadí plavecká krytá hala



Obr. 42 Fotografie z místního šetření, pohled na plaveckou krytou halu



Obr. 43 Fotografie z místního šetření, pohled na příslušenství zhlaví vrtu v Aquaparku Děčín



Obr. 44 Fotografie z místního šetření, pohled na příslušenství zhlaví vrtu v Aquaparku Děčín



Obr. 45 Fotografie z místního šetření, pohled do strojovny úpravy vody s vrtem v Aquaparku Děčín



Obr. 46 Fotografie z místního šetření, pohled do strojovny úpravy vody s vrtem v Aquaparku Děčín



Obr. 47 Fotografie z místního šetření, pohled na venkovní 33m bazén



Obr. 48 Fotografie z místního šetření, pohled na venkovní 33m bazén



Obr. 49 Fotografie z místního šetření, pohled na odtokové odpadní potrubí zaústěné do řeky Ploučnice



Obr. 50 Fotografie z místního šetření, pohled na výustní odtokové odpadní potrubí do řeky Ploučnice

5.3 Technické parametry

Zdrojem teplé vody je termální voda o teplotě až 32 °C, která je čerpána z vrtu pod předmětným areálem. Termální vrt DC4 je hluboký 473 m, povolený odběr z vrtu je 47 l·s⁻¹, reálné využití je dle dostupných informací cca 20,55 l·s⁻¹, respektive 630 000 m³·rok⁻¹. V technologické části je na úpravě vody prováděno odvětrání pro eliminaci radonu a části oxidu uhličitého společně s vodní párou. Současně probíhá oxidace železa, zoxidované železo v podobě hydroxidu železitého je z vody odstraněno na pískových filtrech. Na konci úpravny vody je instalováno dezinfekční zařízení zajišťované roztokem chlornanu sodného.



Obr. 51 Orientační zákres vrtu a úpraven vody trubicí trasou upravené vody v ortofotomapě

V Aquaparku Děčín jsou v současné chvíli instalovaná tepelná čerpadla, nutný provozní výkon je dle dostupných informací 150,4 kW, dodávka nízkopotenciálního tepla (NTP) v objemu $9,75 \text{ kWh} \cdot \text{den}^{-1}$ ve výkonu 592 kW. Množství odebírané termální vody je takto stanoveno na $3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, tj. $259,2 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ při vychlazení na teplotu 10°C . Instalovaný výkon je 345 kW prostřednictvím 5 kusů tepelných čerpadel, tedy $5 \times 69 \text{ kW}$. Topný faktor celého zařízení je 4,98 a elektrický příkon soustrojí pak 70 kW.

Stávající tepelná čerpadla zásobují teplem následující:

- teplovodní topení otopnými tělesy;
- podlahové vytápění zejména mokrých provozů;
- výměníky tepla vzduchotechniky;
- výměník pro ohřev sprchové vody.

Na topný systém jsou stávající tepelná čerpadla připojena přes akumulční nádrže nebo přímo, s akumulací v systému přes hydraulické vyrovnávače topných okruhů. Pro napájení tepelných čerpadel slouží jímka upravené termální vody, která je napouštěna z jednotlivých jímek pro daný provoz. Pokud teplota nebo objem jímky je nedostatečný, pak termální voda putuje rovnou do tepelných čerpadel.

Výměníky tepla pro vzduchotechniku jsou napojena z primárního rozdělovače teplé vody ve dvou strojovnách a suterénu. Teplotní spád systému je $65/50^\circ \text{C}$.

Podlahové topení zajišťuje pouze ohřívání podlahy, jelikož vnitřní teplota v bazénové hale je 28 °C. Teplotní spád systému pro podlahové topení je 45/32 °C a instalovaný výkon je 45 kW.

Pro ohřev vody pro sprchy je instalován deskový výměník pro ohřev na 40 °C a v okruhu pitné vody pro kuchyně a umyvadla jsou osazeny průtokové elektrické ohřívače.

6. KONCEPČNÍ NÁVRH PRO ZÍSKÁNÍ TEPLA Z ODPADNÍ VODY

Dle zadání je studie zaměřena mimo jiné pro vyčíslení aktuálních finančních úspor provozem Aquaparku Děčín, a to předáním/prodejem tepelné vody obsažené v odpadní vodě pro vytápění přilehlého Zimního stadionu a Základní školy. Bazénová odpadní voda je děčínským aquaparkem vypouštěna bez využití do řeky Ploučnice, a to v množství cca 510 000 m³·rok⁻¹, při teplotě cca 25 °C.

V současné chvíli je zpoplatněn odběr vody z vrtu DC4 ve výši 3,0 Kč bez DPH za m³, což v případě odebrané a do řeky Ploučnice vypuštěné odpadní vody v množství 469 250 m³ za rok 2019 (průměrně 540 000 m³·rok⁻¹ za poslední roky) představuje částku 1 407 750 Kč bez DPH. Maximální limit pro odběr vody z vrtu DC4 je 54 360 m³ měsíc, respektive 20,3 l·s⁻¹. Spotřeby elektrické energie, termální energie, vody pro halu, vodu Pesle a odběr z vrtu pro rok 2019 jsou zřejmé z následující tabulky.

Tab. 13 Aquapark Děčín, přehled spotřeby elektrické energie, termální energie, vody pro halu, vodu Pesle a odběr z vrtu pro rok 2019 (zdroj zadavatel)

Měsíc	El.energie - MWh	Termo GJ	Voda hala m ³	Voda Pesle m ³	Vrt DC4 m ³
leden	160,97	0,00	38,94	21,87	48 240
únor	157,62	6,82	35,84	13,35	39 500
březen	176,02	4,24	48,29	31,50	41 000
duben	133,17	0,15	178,38	26,30	36 260
květen	136,69	0,00	103,97	56,07	50 040
červen	142,92	2,99	75,68	32,57	24 280
červenec	153,66	0,00	75,51	102,39	30 960
srpen	154,83	0,00	91,07	43,16	25 730
září	86,29	0,00	69,46	37,33	47 580
říjen	136,55	0,00	66,85	19,65	37 730
listopad	148,24	0,00	76,55	41,99	41 440
prosinec	164,62	0,00	77,34	14,61	46 490
Celkem za rok	1751,56	14,20	937,88	440,79	469 250
Cekem za rok v Kč bez DPH	2 802 660 Kč	14 914 Kč	80 470 Kč	19 157 Kč	1 407 750 Kč

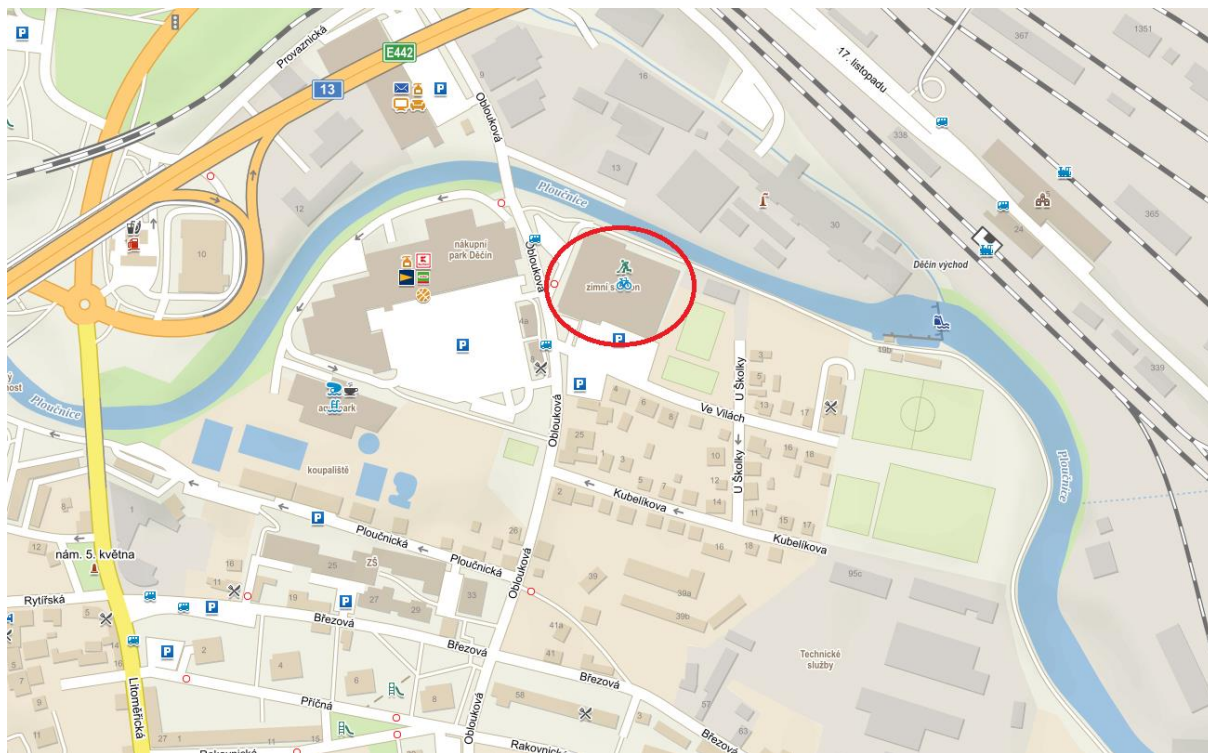
Pokud budeme uvažovat min. vypouštění odpadních vod v množství 469 250 m³·rok⁻¹ pro rok 2019 (viz předcházející tabulka), pak z tohoto množství při ochlazení o 3 °C je možné přes tepelná čerpadla voda/voda získat cca 7 500 GJ tepelné energie za rok. Avšak dalším zapojením sestavy tepelných čerpadel je možné vodu opět zchladit a

získat opět další tepelnou energii. Teoreticky je možné vodu ochlazovat až na 6 °C, což ale s ohledem na vypouštění takto ochlazené vody do recipientu nevhodné.

Na základě místního šetření, které proběhlo dne 05.05.2020 za účasti zástupců zadavatele, byly prohlédnuty prostory Zimního stadionu Děčín, dále pak bylo diskutováno potenciální využití pro Základní a mateřskou školu ZŠ a MŠ Děčín, Březová. V následujících kapitolách jsou zpracovány informace o spotřebách tepelné energie a vody. Následně je proveden koncepční návrh získávání a využití tepelné energie prostřednictvím tepelných čerpadel voda/voda.

6.1 Zimní stadion Děčín

Zimní stadion Děčín je situován ve středu města Děčín, v blízkosti nákupního parku Děčín a také Aquaparku Děčín, viz následující situační schéma.



Obr. 52 Poloha Zimního stadionu Děčín [51]

6.1.1 Zimní stadion Děčín – potřeba energií

Spotřeby vody (vodné a stočné) Zimního stadionu Děčín pro rok 2019 jsou zřejmé z následující tabulky. Taktéž spotřeba tepelné energie pro vytápění Te a tepelné energie pro přípravu teplé vody Tv pro rok 2019.

Tab. 14 Zimní stadion Děčín, přehled spotřeby vody, tedy vodné a stočné pro rok 2019 (zdroj zadavatel)

	Vodné v Kč	Množství v m ³	Stočné v Kč	Množství v m ³	Celkem s DPH
leden	18 189	413,0	32 130	758,9	57 867
únor	11 146	252,0	20 670	488,2	36 586
březen	13 534	306,0	23 314	550,6	42 373
duben	3 627	82,0	14 544	343,5	20 896
květen	4 688	106,0	15 560	367,5	23 285
červen	3 361	76,0	13 218	312,2	19 066
červenec	16 232	367,0	27 325	645,4	50 091
srpen	24 282	549,0	33 960	802,1	66 978
září	25 123	568,0	34 407	812,6	68 458
říjen	19 019	430,0	29 993	708,4	56 363
listopad	13 313	301,0	23 102	545,6	41 878
prosinec	10 438	236,0	17 850	421,6	32 531
celkem	162 954	3 686,0	286 073	6 756,6	516 372

Tab. 15 Zimní stadion Děčín, přehled spotřeby vody pro vytápění Te v GJ a pro přípravu teplé vody Tv v GJ pro rok 2019 (zdroj zadavatel)

	Te, vytápění v GJ	Tv, teplá voda v GJ	Celkem
leden	389,65	10,35	400,00
únor	329,25	8,35	337,60
březen	331,70	9,00	340,70
duben	0,00	22,59	22,59
květen	68,81	3,39	72,20
červen	0,00	25,50	25,50
červenec	0,00	29,70	29,70
srpen	0,00	34,10	34,10
září	130,71	4,99	135,70
říjen	210,33	8,58	218,90
listopad	270,98	7,73	278,70
prosinec	326,23	9,28	335,50
celkem	2 057,65	173,54	2 231,19

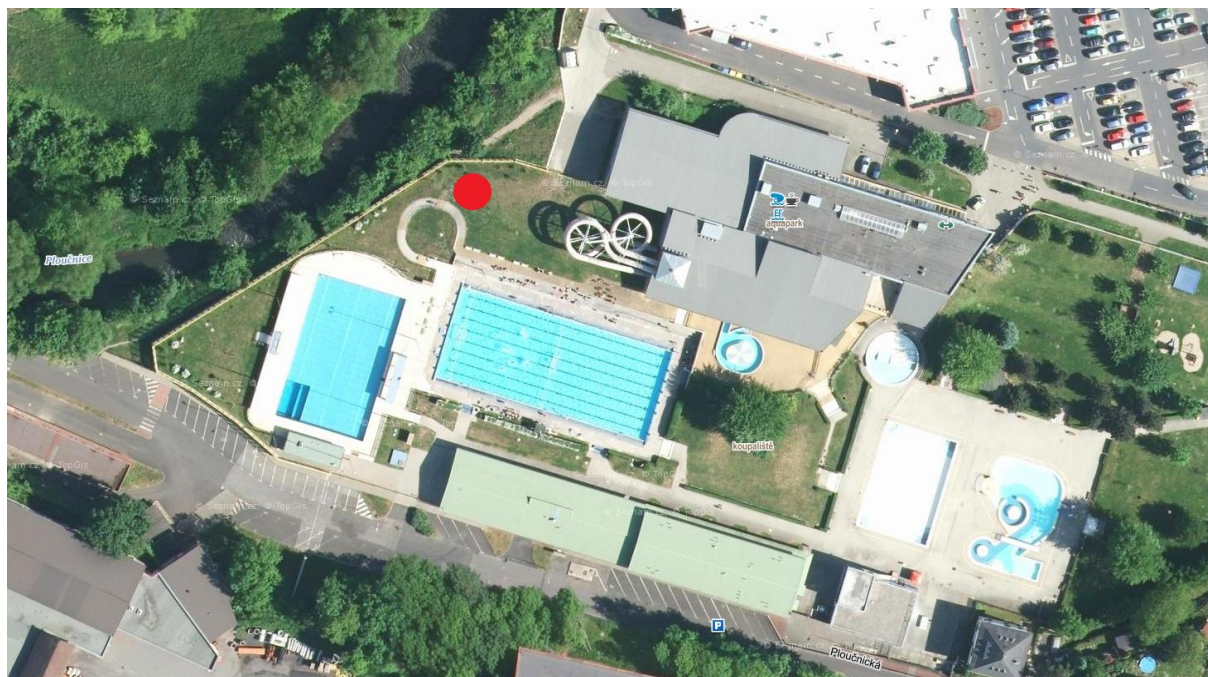
6.1.2 Zimní stadion Děčín – koncepční návrh

Na základě místního šetření ze dne 05.05.2020 se potenciálně atraktivní jevílo použití přebytečné odpadní vody z Aquaparku pro skrápění kondenzátoru pro výrobu chladu. Avšak stávající skrápěcí voda pro kondenzátor tvoří uzavřený systém s požadavky na technologickou kvalitu, tudíž ze strany zadavatele nebylo doporučeno zasahovat do tohoto systému. Dále pak jako málo atraktivní se jevílo využití odpadní vody pro

potřeby sprchování nebo splachování WC, a to z důvodu nutnosti nutného zásahu do stávajících rozvodů ZTI, tedy do vnitřní kanalizace a do vnitřního vodovodu.

Jako atraktivní řešení se jeví využití tepelné energie z Aquaparku Děčín pro topení (Te pro rok 2019 ve výši 2 057 GJ) a přípravu teplé vody (Tv pro rok 2019 ve výši 173 GJ) v Zimním stadionu Děčín, tedy celkem 2 231 GJ pro rok 2019.

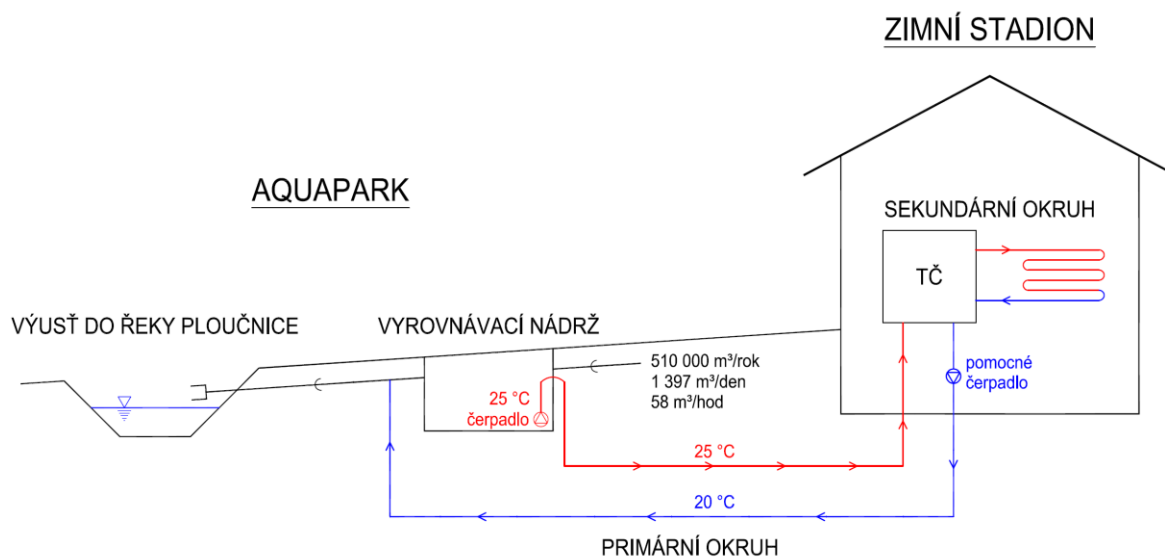
V areálu Aquaparku Děčín bude vybudována v prostoru odtokového odpadního potrubí vyrovnávací nádrž 50 m³, do které bude umístěno ponorné čerpadlo. Čerpadlo bude vybaveno frekvenčním měničem a bude přečerpávat odpadní vody o teplotě 25 °C teplovodním potrubím z polyetylénu PE s vnější izolací z výroby. Potrubí PE bude přivedeno do prostor Zimního stadionu, kde se vybuduje sestava tepelných čerpadel. Je uvažováno s teplotou 25 °C ve vyrovnávací nádrži, pále pak s teoretickou tepelnou ztrátou 2 °C ve výtlačném potrubí, tj. teplota odpadní vody u tepelných čerpadel je uvažována 23 °C. Tepelná čerpadla odeberou tepelnou energii a odpadní voda ochlazená o cca 5 °C na 20 °C bude v rámci primárního okruhu s pomocným druhým čerpadlem putovat tlakově zpět v souběhu s přívodním potrubím z PE do areálu Aquaparku a bude vypouštěna do řeky Ploučnice prostřednictvím stávajícího výustního objektu. Primární okruh čerpadel bude v celkové délce cca 780 m, z toho přívodní potrubí teplé vody v délce cca 390 m a vratné potrubí ochlazené vody v délce cca 390 m. Sekundární okruh bude připojen na sestavu nových tepelných čerpadel a bude určen pro vytápění Zimního stadionu v zimních měsících.



Obr. 53 Orientační poloha pro umístění uvažované vyrovnávací nádrže na odtoku odpadní vody v areálu Aquaparku Děčín [51]



Obr. 54 Orientační trasa trubního vedení primárního okruhu z navržené vyrovnávací nádrže Aquaparku Děčín do budovy Zimního stadionu Děčín



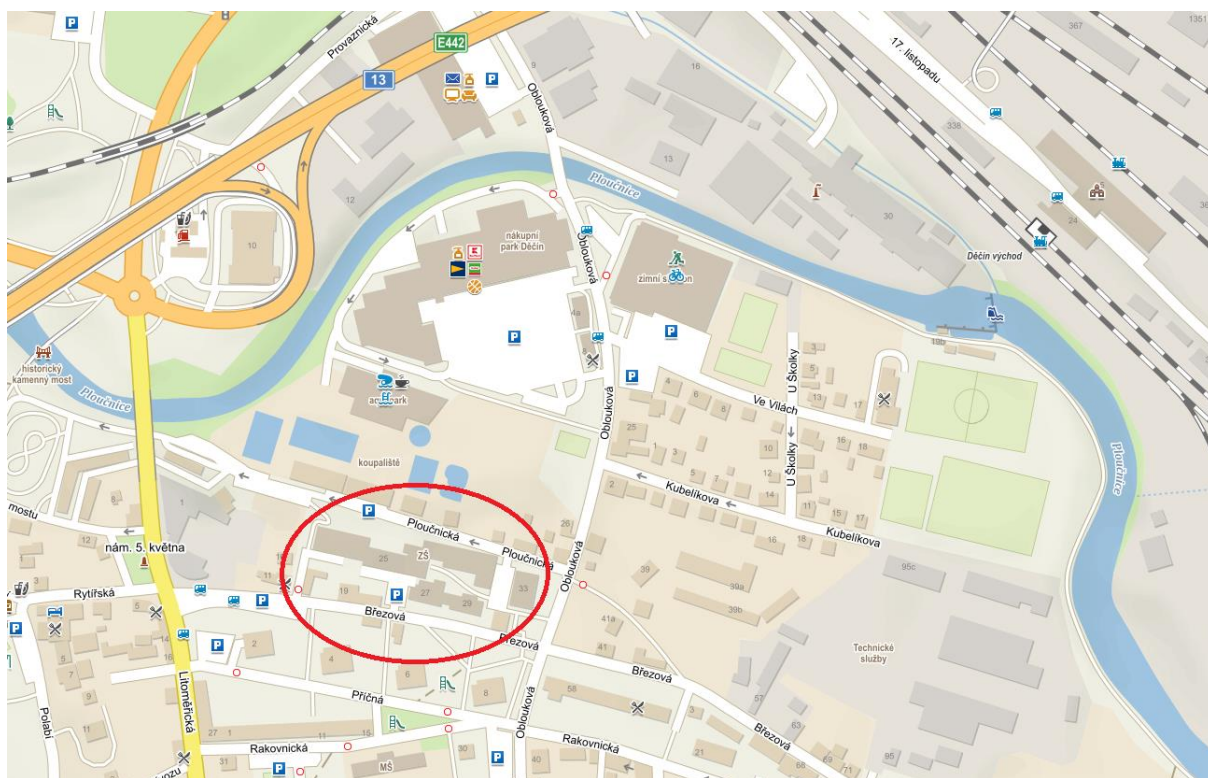
Obr. 55 Technologické schéma koncepčního návrhu pro Zimní stadion Děčín

Pro návrh tepelných čerpadel s umístěním v prostorách Zimního stadionu Děčín je potřeba provést rekapitulaci zjištěných skutečností a samotný návrh řešení:

- celková potřeba tepelné energie je 2 231 GJ (pro rok 2019);
- v lednu 2019 byla potřeba tepelné energie 400 GJ, což představuje cca 13 GJ·den⁻¹,
- **z toho vychází 3,6 MWh·den⁻¹, tedy 150 kWh·hod⁻¹** (poznámka: přepočet 1 MWh = 3,6 GJ, respektive 1 GJ = 0,2778 MWh), **tudíž pro využití tepelné energie pro pokrytí 100 % požadovaného odběru je potřeba navrhnout 2 kusy tepelných čerpadel (každý po 80 kW) voda/voda zapojených v kaskádě s celkovým výkonem 160 kW.**

6.2 ZŠ a MŠ Děčín, Březová

ZŠ a MŠ Děčín, Březová je situována ve středu města Děčín, v blízkosti nákupního parku Děčín a také Aquaparku Děčín, viz následující situační schéma.



Obr. 56 Poloha ZŠ a MŠ Děčín, Březová [51]

6.2.1 ZŠ a MŠ Děčín, Březová – potřeba energií

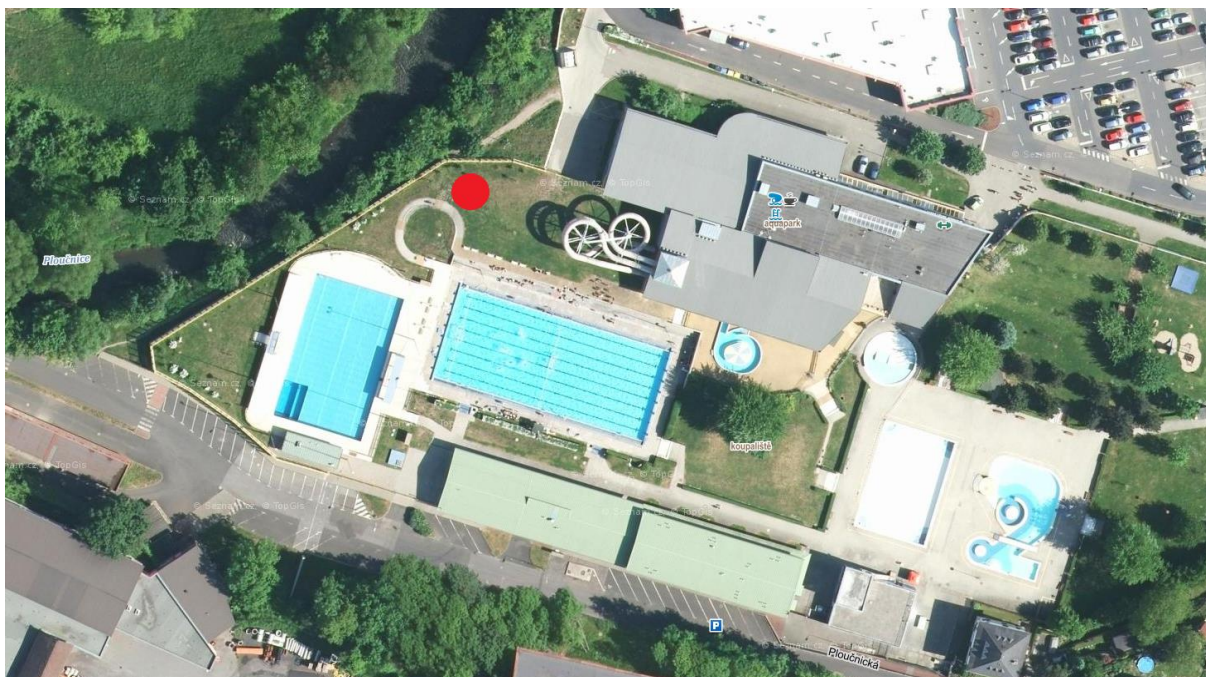
Spotřeby vody (vodné a stočné) ZŠ a MŠ Děčín, Březová byly za fakturované období 03/2018 až 03/2019 ve výši 321 m³, což celkem tvořilo náklad 27 594 Kč bez DPH za vodné a stočné.

Potřeba tepelné energie ZŠ a MŠ Děčín, Březová byly za rok 2018 **celkem 3 023 GJ za cenu 1 670 209 Kč bez DPH**, z toho Te pro vytápění bylo 2 660 GJ a Tv pro přípravu teplé vody bylo 363 GJ. Pro rok 2019 to bylo **celkem 3 103 GJ za cenu 1 481 307 Kč bez DPH**.

6.2.2 ZŠ a MŠ Děčín, Březová – koncepční návrh

Jako atraktivní řešení se jeví využití tepelné energie z Aquaparku Děčín pro topení (Te pro rok 2018 ve výši 2 660 GJ) a přípravu teplé vody (Tv pro rok 2018 ve výši 363 GJ) v ZŠ a MŠ Děčín, Březová, tedy celkem 3 103 GJ pro rok 2019, respektive 3 023 pro rok 2018.

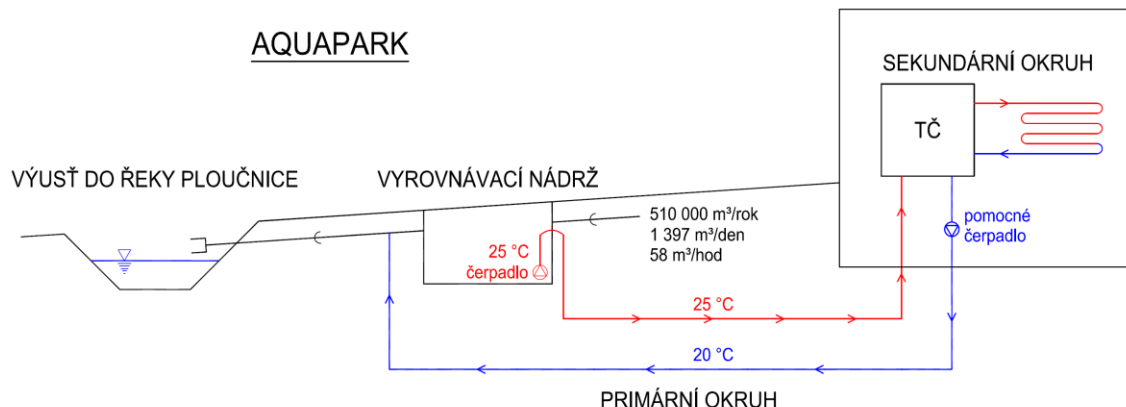
V areálu Aquaparku Děčín bude vybudována v prostoru odtokového odpadního potrubí vyrovnávací nádrž 50 m³, do které bude umístěno ponorné čerpadlo. Čerpadlo bude vybaveno frekvenčním měničem a bude přečerpávat odpadní vody o teplotě 25 °C teplovodním potrubím z polyetylénu PE s vnější izolací z výroby. Potrubí PE bude přivedeno do prostor ZŠ a MŠ Děčín, Březová, kde se vybuduje sestava tepelných čerpadel. Je uvažováno s teplotou 25 °C ve vyrovnávací nádrži, pále pak s teoretickou tepelnou ztrátou 2 °C ve výtlačném potrubí, tj. teplota odpadní vody u tepelných čerpadel je uvažována 23 °C. Tepelná čerpadla odeberou tepelnou energii a odpadní voda ochlazená o cca 5 °C na 20 °C bude v rámci primárního okruhu s pomocným druhým čerpadlem putovat tlakově zpět v souběhu s přívodním potrubím z PE do areálu Aquaparku a bude vypouštěna do řeky Ploučnice prostřednictvím stávajícího výustního objektu. Primární okruh čerpadel bude v celkové délce cca 440 m, z toho přívodní potrubí teplé vody v délce cca 220 m a vratné potrubí ochlazené vody v délce cca 220 m. Sekundární okruh bude připojen na sestavu nových tepelných čerpadel a bude určen pro vytápění ZŠ a MŠ Děčín, Březová v zimních měsících.



Obr. 57 Orientační poloha pro umístění uvažované vyrovnávací nádrže na odtoku odpadní vody v areálu Aquaparku Děčín [51]



Obr. 58 Orientační trasa trubního vedení primárního okruhu z navržené vyrovnávací nádrže Aquaparku Děčín do budovy ZŠ a MŠ Děčín, Březová



Obr. 59 Technologické schéma koncepčního návrhu pro ZŠ a MŠ Děčín, Březová

Pro návrh tepelných čerpadel s umístěním v prostorách ZŠ a MŠ Děčín, Březová je potřeba provést rekapitulaci zjištěných skutečností a samotný návrh řešení:

- celková potřeba tepelné energie je 3 023 GJ (pro rok 2018);
- pro leden byla pouze odhadnuta potřeba tepelné energie na cca 600 GJ, což představuje cca 20 GJ·den⁻¹,
- **z toho vychází 5,5 MWh·den⁻¹, tedy 229 kWh·hod⁻¹** (poznámka: přepočít 1 MWh = 3,6 GJ, respektive 1 GJ = 0,2778 MWh), **tudíž pro využití tepelné energie pro pokrytí 100 % požadovaného odběru je potřeba navrhnout 3 kusy tepelných čerpadel (každý po 80 kW) voda/voda zapojených v kaskádě s celkovým výkonem 240 kW.**

6.3 Zimní stadion Děčín společně s ZŠ a MŠ Děčín, Březová

Tato třetí varianta uvažuje se společným vybudováním vyrovnávací nádrže 50 m³, do které budou umístěna ponorná čerpadla, jež budou dodávat teplou odpadní vodu na tepelná čerpadla umístěná v Zimním stadionu, pak také v ZŠ a MŠ Děčín, Březová. Celková potřeba tepelné energie by byla 400 GJ + 600 GJ = 1 000 GJ pro měsíc leden.

Pokud bychom uvažovali 510 000 m³·rok⁻¹, což je 42 500 m³·měsíc leden pak vychází teoretická energie 680 GJ obsažená v odpadní vodě na tepelných čerpadlech voda/voda s ochlazením o 3 °C, což nepokryje potřebu 1 000 GJ. Pak by tedy uvažovat

o zpětném (dalším) využitím odváděné vody a nechat protéct tuto teplou odpadní vodu opět přes tepelná čerpadla, tedy 18 m³ odpadní vody o teplotě 25 °C pro tepelné čerpadlo voda/voda o výkonu 80 kWh.

7. ORIENTAČNÍ STANOVENÍ INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ

Na základě zjištěných skutečností popsaných v předchozích kapitolách této zprávy je provedeno orientační stanovení investičních nákladů ve dvou variantách, a to pro Zimní stadion Děčín a pro ZŠ a MŠ Děčín, Březová.

Návrh tepelných čerpadel voda/voda a stanovení investičních nákladů stavby byl konzultován s Ing. Bártkem ze společnosti TEPELNÁ ČERPADLA MORAVA s.r.o. se kterým má společnost ASIO spolupráci.

7.1 Zimní stadion Děčín

Následující tabulka sumarizuje náklady na provedení opatření pro získávání a využití tepelné energie pro vytápění a ohřev Tv pro Zimní stadion Děčín. V rámci investičních nákladů byly stanoveny také náklady na zpracování projektové dokumentace pro územní rozhodnutí, stavební povolení a pro provádění stavby.

Tab. 16 Zimní stadion Děčín, orientační propočet investičních nákladů stavby

Ozn.	Popis	Měrná jednotka	Počet měrných jednotek	Cena za měrnou jednotku v Kč bez DPH	Cena celkem v Kč bez DPH
Primární okruh					
1	Tlakové potrubí PE100 d 160 mm vč. izolace	bm	780	1 500	1 170 000
2	Tvarovky, armatury na primárním okruhu	kpl	1	250 000	250 000
3	Vyrovnávací nádrž 50 m3 vč. zemních prací	kus	1	300 000	300 000
4	Zemní práce	bm	780	1 200	936 000
Celkem za výše uvedené v Kč bez DPH					2 656 000
Systém tepelných čerpadel pro sekundární okruh					
5	Tepelné čerpadlo voda/voda (např. B0/W35 - 80,3/22,5/3,6) výkon 80 kW	kus	2	700 000	1 400 000
6	Deskový výměník s instalací před tepelná čerpadla	kus	2	60 000	120 000
7	Elektrokotel (jako záložní zdroj)	kus	1	28 000	28 000
8	Akumulační nádoba o objemu 2000 litrů	kus	1	53 500	53 500
9	Přípravné sady primár (např. GEO 280)	kus	1	30 000	30 000
10	Přípravné sady sekundár (např. GEO 280)	kus	1	25 000	25 000
11	Čerpadlo sekundár	kus	1	35 000	35 000
12	Čerpadlo primár	kus	1	56 000	56 000
13	Třícestný rozdělovací ventil	kpl	2	23 000	46 000
14	Čerpadlo na okruh vyrovnávací nádrže	kpl	1	160 000	160 000
15	MaR	kpl	1	60 000	60 000
16	Zásobník teplé vody 1000 l	kus	4	100 000	400 000
Celkem za výše uvedené v Kč bez DPH					2 413 500
Ostatní náklady					
17	Ostatní a vedlejší rozpočtové náklady (zařízení staveniště, komplexní a individuální zkoušky, zaškolení obsluhy, provozní řád, projektová dokumentace skutečného provedení stavby apod.)	ks	1	300 000	300 000

18	Projekční příprava, zpracování projektové dokumentace pro územní rozhodnutí, pro stavební povolení a pro provádění stavby, zpracování kontrolního položkového rozpočtu a soupisu stavebních prací, dodávek a služeb	ks	1	400 000	400 000
Celkem za výše uvedené v Kč bez DPH					3 925 500
Cena celkem za primární okruh v Kč bez DPH					2 656 000
Cena celkem za systém TČ v Kč bez DPH					2 413 500
Cena celkem za ostatní náklady Kč bez DPH					700 000
Cena celkem za výše uvedené v Kč bez DPH					5 769 500

S ohledem na výše uvedenou tabulku lze konstatovat, že celková orientační cena za vybudování primárního okruhu, systému tepelných čerpadel pro sekundární okruh s odhadem vedlejších a ostatních rozpočtových nákladů a kompletní projekční přípravy je pro využití tepelné energie z odpadní vody pro Zimní stadion Děčín odhadnuta na cca 5,8 mil. Kč bez DPH.

7.2 ZŠ a MŠ Děčín, Březová

Následující tabulka sumarizuje náklady na provedení opatření pro získávání a využití tepelné energie pro vytápění a ohřev Tv pro ZŠ a MŠ Děčín, Březová. V rámci investičních nákladů byly stanoveny také náklady na zpracování projektové dokumentace pro územní rozhodnutí, stavební povolení a pro provádění stavby.

Tab. 17 ZŠ a MŠ Děčín, Březová, orientační propočet investičních nákladů stavby

Ozn.	Popis	Měrná jednotka	Počet měrných jednotek	Cena za měrnou jednotku v Kč bez DPH	Cena celkem v Kč bez DPH
Primární okruh					
1	Tlakové potrubí PE100 d 160 mm vč. izolace	bm	440	1 500	660 000
2	Tvarovky, armatury na primárním okruhu	kpl	1	250 000	250 000
3	Vyrovnávací nádrž 50 m3 vč. zemních prací	kus	1	300 000	300 000
4	Zemní práce	bm	440	1 200	528 000
Celkem za výše uvedené v Kč bez DPH					1 738 000
Systém tepelných čerpadel pro sekundární okruh					
5	Tepelné čerpadlo voda/voda (např. B0/W35 - 80,3/22,5/3,6) výkon 80 kW	kus	3	700 000	2 100 000
6	Deskový výměník s instalací před tepelná čerpadla	kus	3	60 000	180 000
7	Elektrokotel (jako záložní zdroj)	kus	1	28 000	28 000
8	Akumulační nádoba o objemu 2000 litrů	kus	1	53 500	53 500
9	Přípravné sady primár (např. GEO 280)	kus	1	30 000	30 000

10	Přípravné sady sekundár (např. GEO 280)	kus	1	25 000	25 000
11	Čerpadlo sekundár	kus	1	35 000	35 000
12	Čerpadlo primár	kus	1	56 000	56 000
13	Třícestný rozdělovací ventil	kpl	2	23 000	46 000
14	Čerpadlo na okruh vyrovnávací nádrže	kpl	1	160 000	160 000
15	MaR	kpl	1	80 000	80 000
16	Zásobník teplé vody 1000 l	kus	4	100 000	400 000
Celkem za výše uvedené v Kč bez DPH					3 193 500
Ostatní náklady					
17	Ostatní a vedlejší rozpočtové náklady (zařízení staveniště, komplexní a individuální zkoušky, zaškolení obsluhy, provozní řád, projektová dokumentace skutečného provedení stavby apod.)	ks	1	400 000	400 000
18	Projekční příprava, zpracování projektové dokumentace pro územní rozhodnutí, pro stavební povolení a pro provádění stavby, zpracování kontrolního položkového rozpočtu a soupisu stavebních prací, dodávek a služeb	ks	1	400 000	400 000
Celkem za výše uvedené v Kč bez DPH					4 825 500
Cena celkem za primární okruh v Kč bez DPH					1 738 000
Cena celkem za systém TČ v Kč bez DPH					3 193 500
Cena celkem za ostatní náklady Kč bez DPH					800 000
Cena celkem za výše uvedené v Kč bez DPH					5 731 500

S ohledem na výše uvedenou tabulku lze konstatovat, že celková orientační cena za vybudování primárního okruhu, systému tepelných čerpadel pro sekundární okruh s odhadem vedlejších a ostatních rozpočtových nákladů a kompletní projekční přípravy je pro využití tepelné energie pro ZŠ a MŠ Děčín, Březová, odhadnuta na cca 5,7 mil. Kč bez DPH.

8. PROPOČET EKONOMICKÉ NÁVRATNOSTI

Na základě zjištěných skutečností popsaných v předchozích kapitolách tohoto odborného posouzení je provedeno orientační stanovení propočtu prosté ekonomické návratnosti ve dvou variantách, a to pro Zimní stadion Děčín a pro ZŠ a MŠ Děčín, Březová.

V rámci provozních nákladů je uvažováno se spotřebou elektrické energie pro čerpání odpadních vod, pro tepelná zařízení a další související funkční prvky s požadavky na elektrickou energii, dále pak náklady na pravidelný základní servis strojů a minimální osobní náklady na základní kontrolu zařízení.

Ve stanovení prosté návratnosti není uvažováno s odpisy, vývojem cen za elektrickou energii a za tepelnou energii, režii výrobními a správními, diskontní sazbou a s tím související inflací, diskontem apod.

Životnost strojních, respektive technologických částí tepelných čerpadel a souvisejících příslušenství je možné odhadnout s ohledem na příznivé konstantní teplotní podmínky (teplota odpadní vody je stálá po celý rok) na 20 až 25 let. Stavební část vodovodního výtlaku má životnost cca 40 let.

V kalkulacích je uvažováno s cenou 550 Kč bez DPH za 1 GJ tepelné energie, dále pak s konstantní cenou 2,50 Kč bez DPH za 1 kWh elektrické energie. Je uvažováno s konstantním zdražováním tepelné energie a elektrické energie o 2 % každý rok.

8.1 Zimní stadion Děčín

Dle výše uvedeného je provedeno další upřesnění okrajových podmínek pro výpočet prostého propočtu ekonomické návratnosti pro Zimní stadion Děčín:

- topný faktor tepelných čerpadel ... 5,0
- výkon jednoho tepelného čerpadla ... 80 kW
- celkový výkon tepelných čerpadel, celkem 2 kusy ... 160 kW
- příkon elektrické energie jednoho tepelného čerpadla ... 16 kW
- celkový příkon elektrické energie tepelných čerpadel, celkem 2 kusy ... 32 kW
- elektrický příkon čerpadla pro čerpání OV z vyrovnávací nádrže ... 5 kW
- celkový příkon elektrické energie ... 37 kW
- spotřeba tepelné energie ... 2 231 GJ, tj. 619 600 kWh

S ohledem na výše uvedené okrajové podmínky prostá návratnost navrženého systému pro Zimní stadion Děčín je po 7 letech, orientační úspora po 10 letech provozu je cca 4,4 mil. Kč bez DPH.

8.2 ZŠ a MŠ Děčín, Březová

Dle výše uvedeného je provedeno další upřesnění okrajových podmínek pro výpočet prostého propočtu ekonomické návratnosti pro ZŠ a MŠ Děčín, Březová:

- topný faktor tepelných čerpadel ... 5,0
- výkon jednoho tepelného čerpadla ... 80 kW
- celkový výkon tepelných čerpadel, celkem 3 kusy ... 240 kW
- příkon elektrické energie jednoho tepelného čerpadla ... 16 kW
- celkový příkon elektrické energie tepelných čerpadel, celkem 3 kusy ... 48 kW
- elektrický příkon čerpadla pro čerpání OV z vyrovnávací nádrže ... 5 kW
- celkový příkon elektrické energie ... 53 kW
- spotřeba tepelné energie ... 3 023 GJ, tj. 839 722 kWh

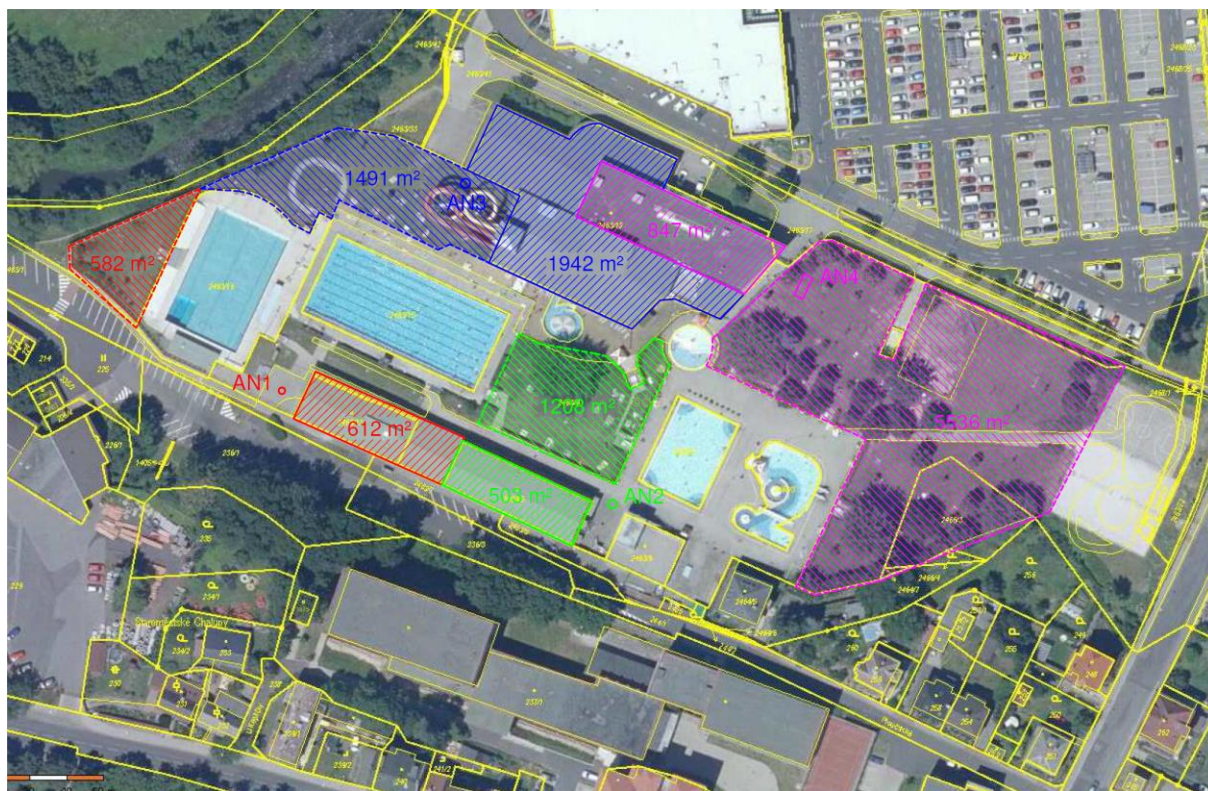
S ohledem na výše uvedené okrajové podmínky prostá návratnost navrženého systému pro ZŠ a MŠ Děčín, Březová je po 6 letech, orientační úspora po 10 letech provozu je cca 7,4 mil. Kč bez DPH.

9. NÁVRH OPATŘENÍ PRO HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU V AREÁLU AQUAPARKU DĚČÍN

Na základě místního šetření, které proběhlo dne 05.05.2020 za účasti zástupců zadavatele, byla zmíněna možnost využití srážkové, respektive dešťové vody z přilehlých stávajících budov v areálu Aquaparku Děčín pro závlahu stávajících zelených, zatravněných ploch v samotném areálu Aquaparku Děčín.

9.1 Koncepční návrh

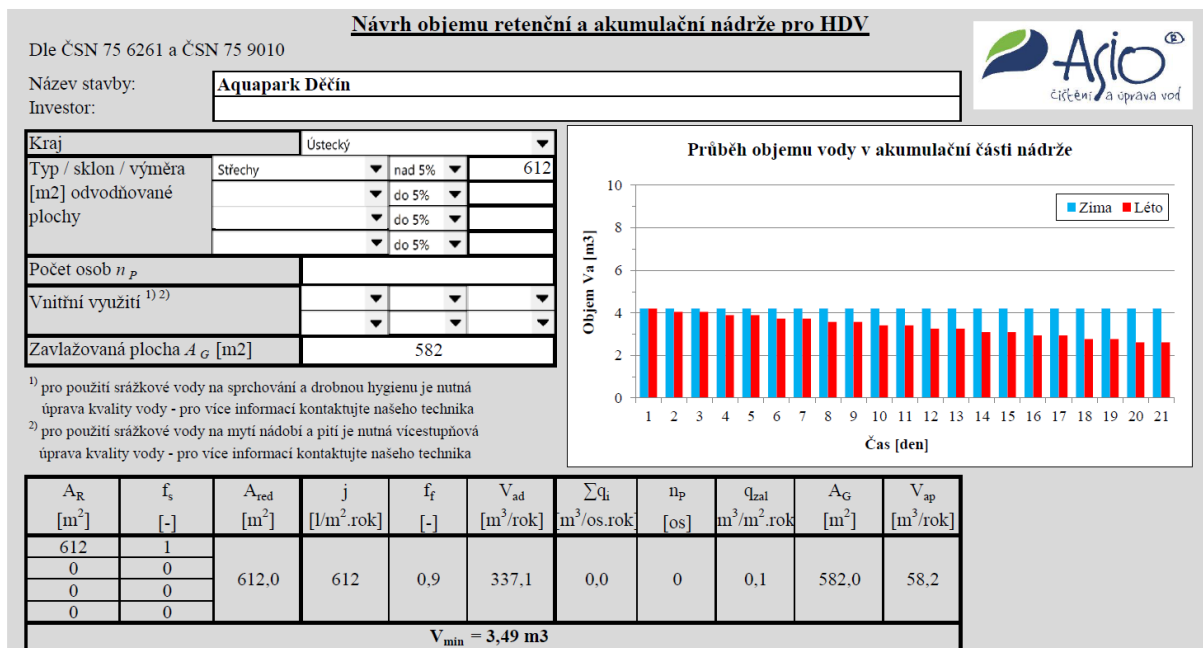
Je uvažováno se zachycením dešťových vod ze stávajících střech a s vybudováním celkem 4 kusů podzemních retenčních nádrží o různých objemech s následným využitím takto zachycené vody pro závlahu přilehlých travnatých ploch. Lokalizace střech, retenčních nádrží a ploch pro zalévání je zřejmé z následujícího situačního zákresu.



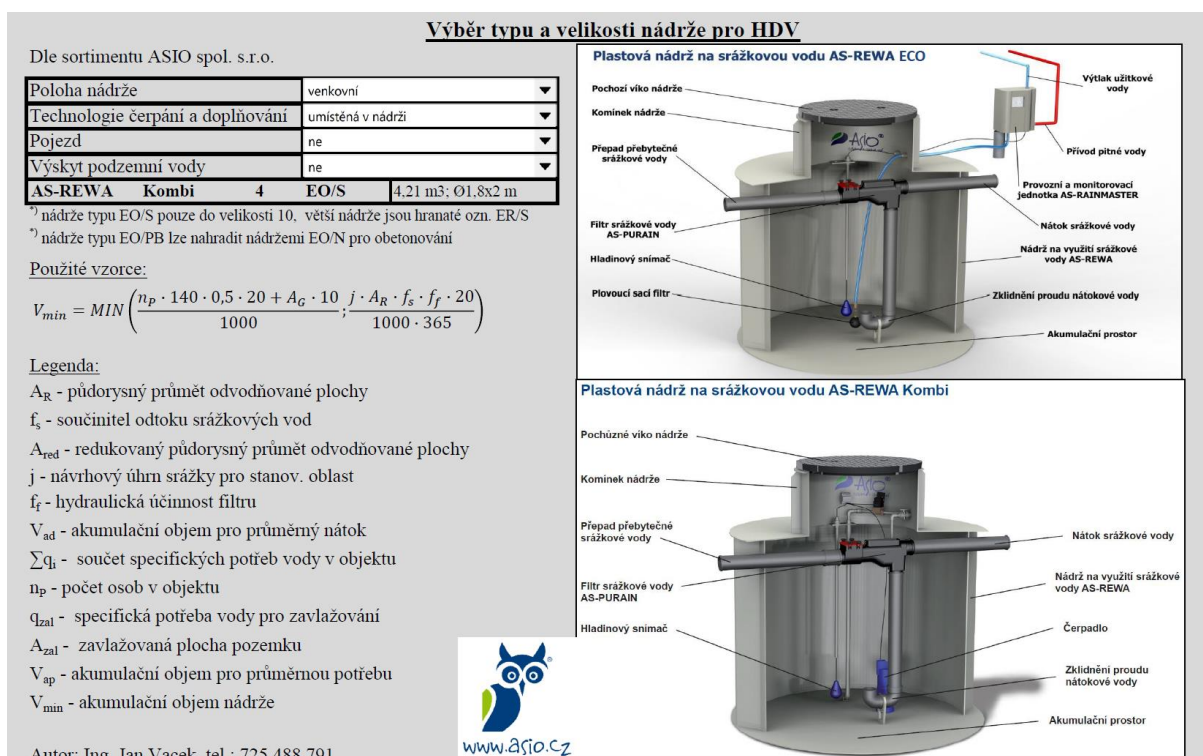
Obr. 60 Aquapark Děčín: lokalizace střech, retenčních nádrží a ploch pro závlahu zachycenou dešťovou vodou, legenda: červená barva AN1, zelená barva s AN2, modrá barva s AN3, fialová barva s AN4

9.1.1 Návrh objemu retenční nádrže AN1

Na následujících obrázcích je výstup z programu společnosti ASIO zaměřený na návrh objemu retenční a akumulační nádrže pro hospodaření s dešťovou vodou s následným výběrem typu a velikosti nádrže pro AN1.



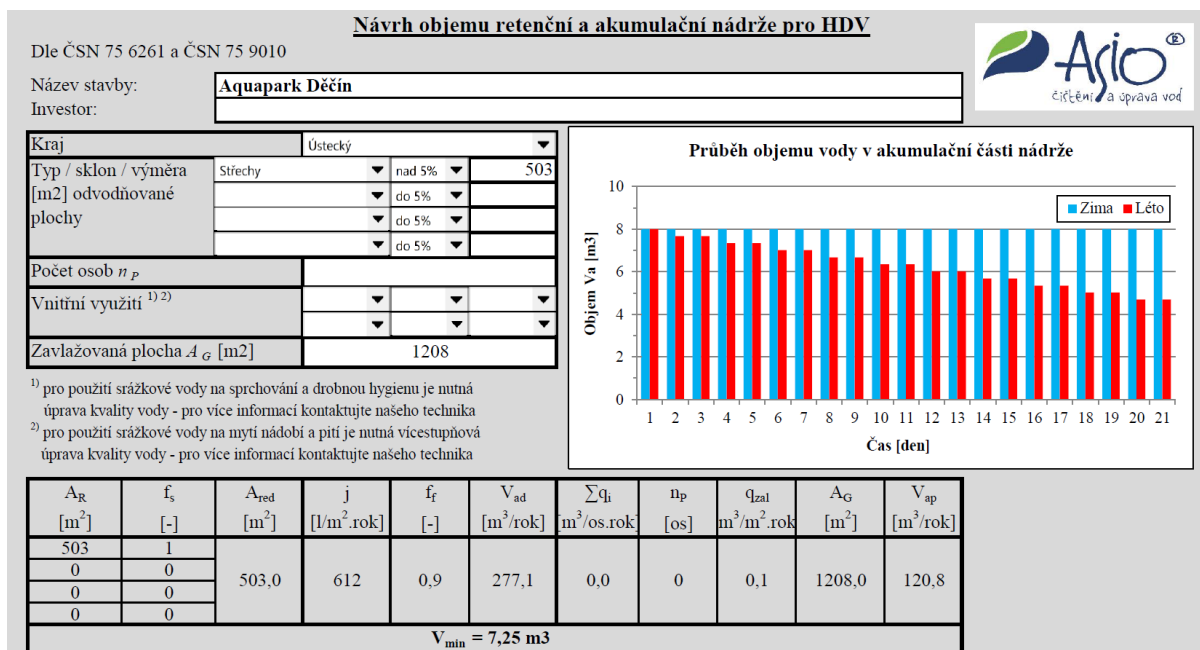
Obr. 61 Aquapark Děčín: návrh objemu retenční a akumulační nádrže AN1



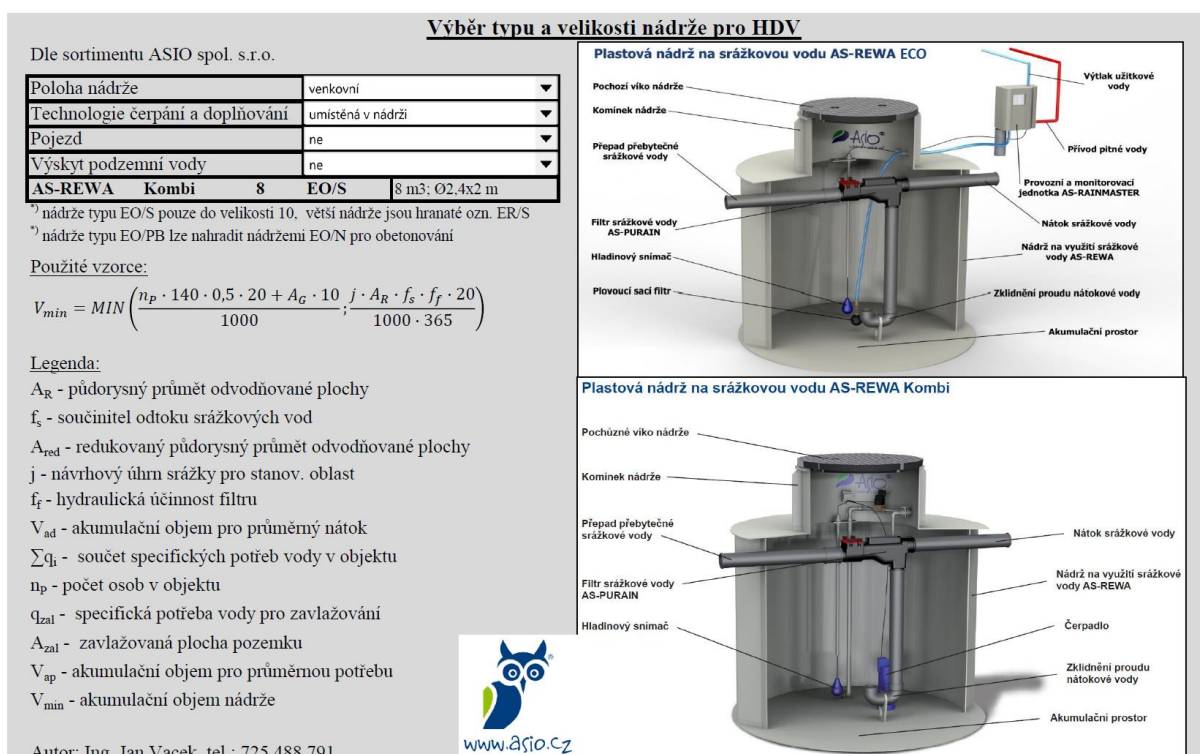
Obr. 62 Aquapark Děčín: výběr typu a velikosti nádrže AN1

9.1.2 Návrh objemu retenční nádrže AN2

Na následujících obrázcích je výstup z programu společnosti ASIO zaměřený na návrh objemu retenční a akumulční nádrže pro hospodaření s dešťovou vodou s následným výběrem typu a velikosti nádrže pro AN2.



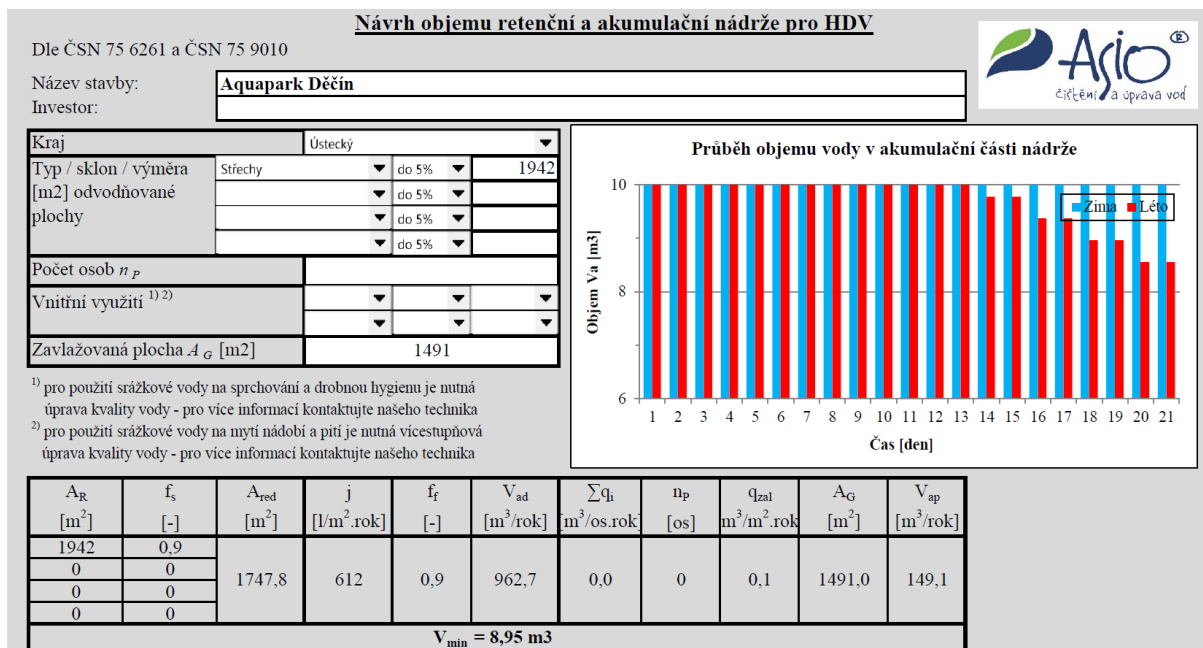
Obr. 63 Aquapark Děčín: návrh objemu retenční a akumulční nádrže AN2



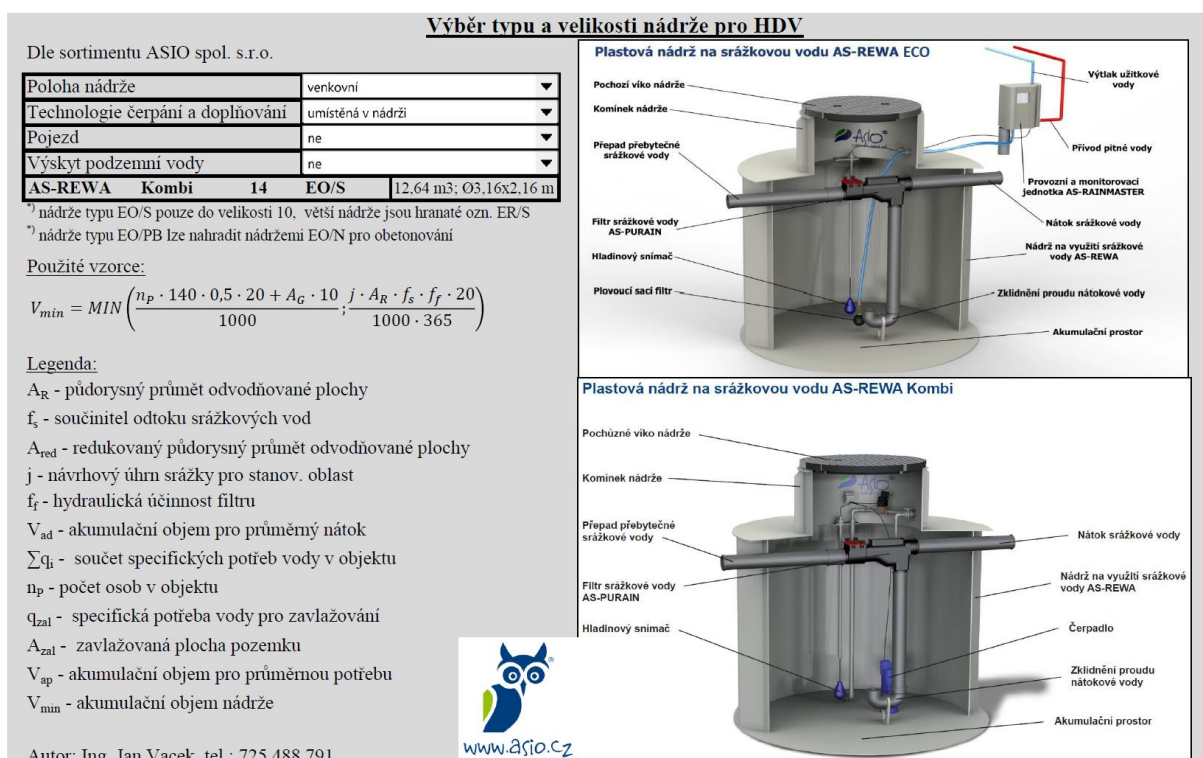
Obr. 64 Aquapark Děčín: výběr typu a velikosti nádrže AN2

9.1.3 Návrh objemu retenční nádrže AN3

Na následujících obrázcích je výstup z programu společnosti ASIO zaměřený na návrh objemu retenční a akumulační nádrže pro hospodaření s dešťovou vodou s následným výběrem typu a velikosti nádrže pro AN3.



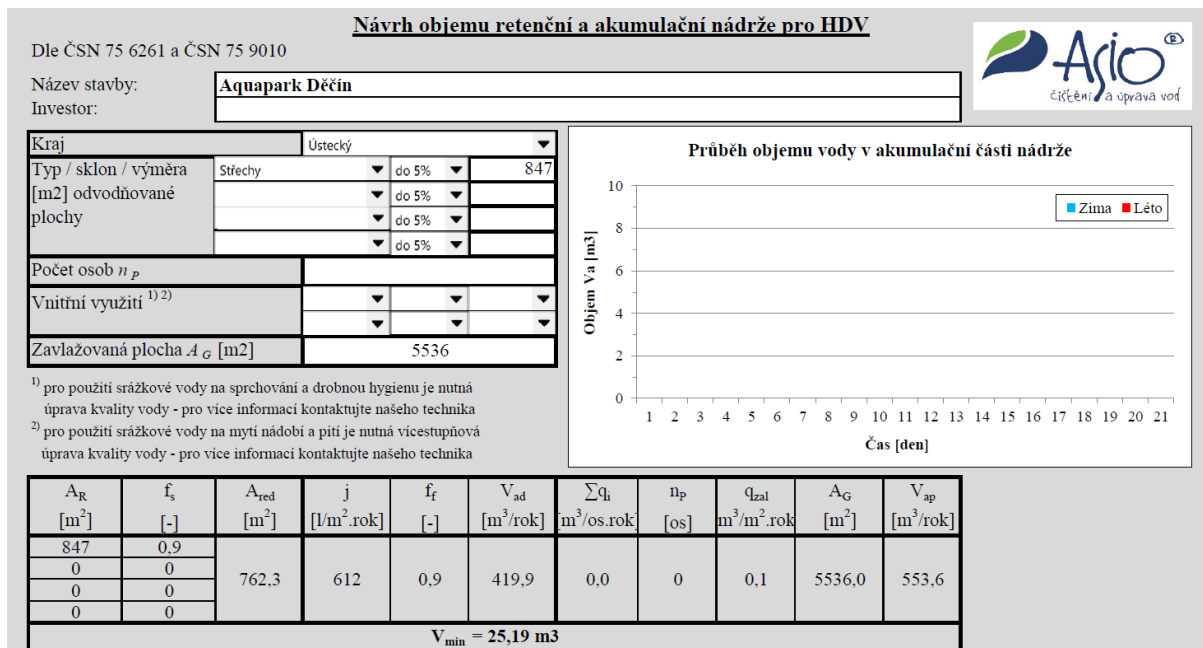
Obr. 65 Aquapark Děčín: návrh objemu retenční a akumulační nádrže AN3



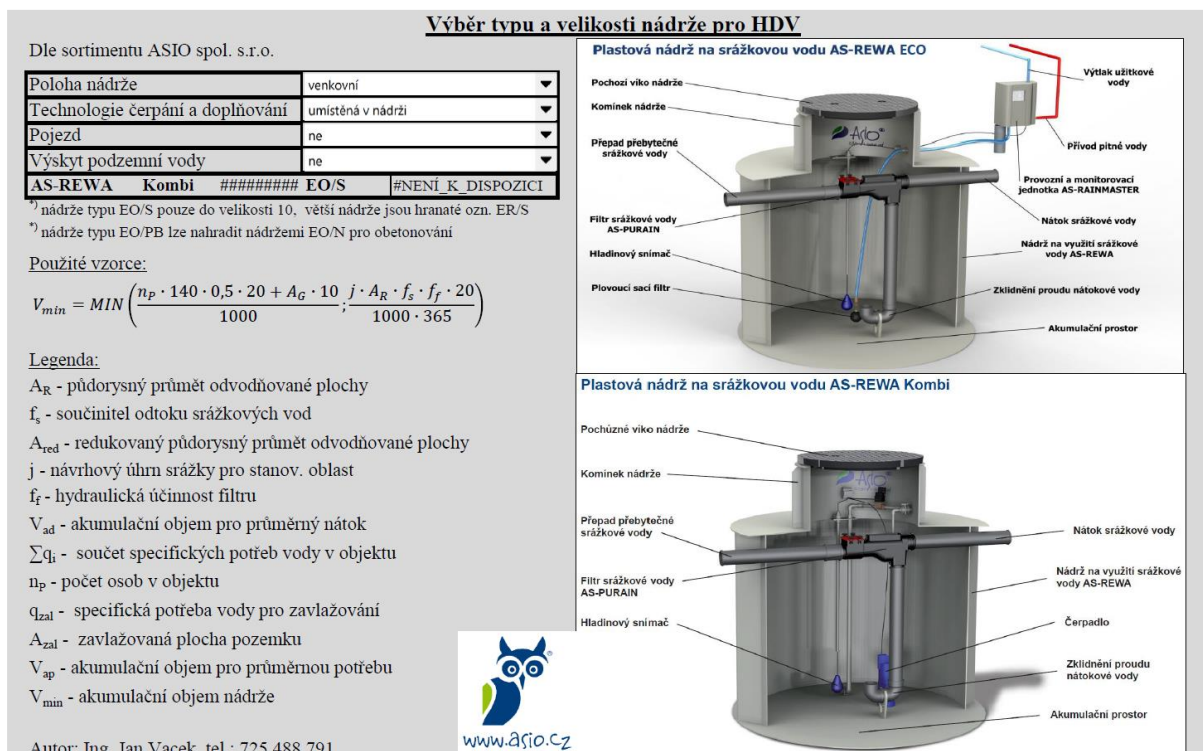
Obr. 66 Aquapark Děčín: výběr typu a velikosti nádrže AN3

9.1.4 Návrh objemu retenční nádrže AN4

Na následujících obrázcích je výstup z programu společnosti ASIO zaměřený na návrh objemu retenční a akumulační nádrže pro hospodaření s dešťovou vodou s následným výběrem typu a velikosti nádrže pro AN4.



Obr. 67 Aquapark Děčín: návrh objemu retenční a akumulační nádrže AN4



9.2 Propočet investičních nákladů

AS-REWA Kombi je komplexně vystrojená nádrž na dešťovou vodu, která zajišťuje filtraci srážkové vody, její akumulaci, čerpání do rozvodu a doplňování pitné vody do systému v případě nedostatku srážek.

V rámci propočtu investičních nákladů je uvažováno s dodávkou retenčních pozemních, válcových, samonosných akumulačních nádrží AN1 až AN4 pro hospodaření s dešťovou vodou. Nádrže jsou určeny pro uložení do výkopu na podkladní desku s následným zásypem zeminou. Maximální násyp zeminy na stropu nádrže je 300 mm. Nádrže obsahují následující vystrojení:

- nátokové hrdlo a hrdlo bezpečnostního přepadu (DN 150);
- spádový filtr mechanických nečistot AS-PURAIN PR-150, resp. DN 200;
- ponorné tlakové čerpadlo (ponorná vodárna), typ EASY DEEP 1200 - standardně o výkonu 95 l/min. s tlakovým spínačem. Čerpadlo při poklesu tlaku v systému na cca 2,6 barů (např. po otevření kohoutku) automaticky sepne a po uzavření kohoutku po dosažení maximálního tlaku automaticky vypne. Výše uvedený typ čerpadla EASY DEEP 1200, resp. jeho vhodnost použití bude třeba posoudit s ohledem na místní podmínky (množství čerpané vody, hloubka sání a výška výtlačku, tlakové ztráty);
- elektromagnetický ventil pro doplňování vody z jiného zdroje (např. ze studny, vodovodu). Dopouštění vody do nádrže jen v případě nedostatku dešťových srážek - dopustí se jen minimální hladina vody;
- elektrický rozvaděč.

Následující tabulka rekapituluje investiční náklady za dodávku retenčních nádrží AN1 až AN4. V ceně nejsou zahrnuty náklady za dopravu, stavební práce, montážní práce, elektrické zapojení, zpracování projektové dokumentace se zajištěním příslušného povolení, rozvod vody pro závlahu travnatých ploch.

Tab. 18 ZŠ a MŠ Děčín, Březová, orientační propočet investičních nákladů stavby

Ozn.	Popis	Měrná jednotka	Počet měrných jednotek	Cena za měrnou jednotku v Kč bez DPH	Cena celkem v Kč bez DPH
Primární okruh					
1	Dodávka retenční nádrže AN1,AS-REWA KOMBI 4 EO s technologií pro využití dešťových vod	kpl	1	70 000	70 000
2	Dodávka retenční nádrže AN2,AS-REWA KOMBI 8 EO s technologií pro využití dešťových vod	kpl	1	85 000	85 000
3	Dodávka retenční nádrže AN3,AS-REWA KOMBI 10 EO s technologií pro využití dešťových vod	kpl	1	150 000	150 000
4	Dodávka retenční nádrže AN4,AS-REWA KOMBI 25 ER s technologií pro využití dešťových vod	kpl	1	350 000	350 000
Celkem za výše uvedené v Kč bez DPH					655 000

S ohledem na výše uvedenou tabulku lze konstatovat, že celková cena za dodávku 4 kusů retenčních nádrží AN1 až AN4 s technologickým vybavením pro využívání dešťových vod je cca 0,65 mil. Kč bez DPH.

10. ZÁVĚR, DOPORUČENÍ

Aplikace výměníků tepelné energie, a tedy systémů zpětného získávání tepelné energie z odpadní vody je považováno nejen za příznivý ekologický přístup ke zdrojům energie, ale i za efektivní investiční záměr, a to z důvodu až 20leté životnosti zařízení tepelných výměníků a ekonomické návratnosti investice.

Centralizované systémy rekuperace tepelné energie jsou vhodné k ekologickému vytápění budov v okolí odběru energie tepelné energie z odpadních vod. Decentralizované systémy rekuperace tepelné energie jsou určeny zejména pro znovuvyužití tepelné energie z odpadní vody přímo v místě jejího vzniku, tedy v domácnostech.

V rámci studie byly koncepčně navrženy a ekonomicky posouzeny systémy využití tepelné energie z odpadní vody z Aquaparku pro topení a ohřev teplé vody pro Zimní stadion Děčín, tak také pro ZŠ a MŠ Děčín, Březová prostřednictvím vybudování vyrovnávací nádrže v areálu Aquaparku, primárního okruhu se systémem tepelných čerpadel voda/voda.

Celková orientační cena za vybudování primárního okruhu, systému tepelných čerpadel pro sekundární okruh s odhadem vedlejších a ostatních rozpočtových nákladů a kompletní projekční přípravy je pro využití tepelné energie z odpadní vody pro Zimní stadion Děčín odhadnuta na cca 5,8 mil. Kč bez DPH. Prostá návratnost navrženého systému pro Zimní stadion Děčín je po 7 letech, orientační úspora po 10 letech provozu je cca 4,4 mil. Kč bez DPH.

Celková orientační cena za vybudování primárního okruhu, systému tepelných čerpadel pro sekundární okruh s odhadem vedlejších a ostatních rozpočtových nákladů a kompletní projekční přípravy je pro využití tepelné energie pro ZŠ a MŠ Děčín, Březová, odhadnuta na cca 5,7 mil. Kč bez DPH. Prostá návratnost navrženého systému pro ZŠ a MŠ Děčín, Březová je po 6 letech, orientační úspora po 10 letech provozu je cca 7,4 mil. Kč bez DPH.

Dále pak součástí této zprávy byl komplexní návrh na hospodaření s dešťovou vodou pro závlahu zelených ploch v areálu Aquaparku s vyčíslením investičních nákladů za dodávku 4 kusů retenčních nádrží AN1 až AN4 s technologickým vystrojením pro využívání dešťových vod ve výši cca 0,65 mil. Kč bez DPH.

V Brně 09/2020, kolektiv autorů

POUŽITÁ LITERATURA

1. PREdistribuce [online]. Praha, 2018. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/>
2. ŠEVELA, Pavel. Zpětné získávání tepla z odpadní vody - ZZTOV: Principy a doporučení pro plánování pro lokální jednotky. In: Asionále 2018 [online]. 12.4.2018, s. 10
3. Innovative System for Heat Recovery from Wastewater. In: HUBER Technology - waste water solution [online]. [cit. 2018-10-02]. Dostupné z: www.huber.de
4. RAČEK, Jakub. Metodika návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Brno, 2016. 198 s., 2 přílohy, Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D.
5. ALEKSEIKO, Leonid N., Viacheslav V. SLESARENKO a Alexander A. YUDAKOV. Combination of wastewater treatment plants and heat pumps. Pacific Science Review [online]. 2014, 16(1), 36-39. DOI: 10.1016/j.pscr.2014.08.007. ISSN 12295450. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1229545014000084>
6. Water2Energy: Využijte energii z vody. In: *Veoliavoda* [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.veoliavoda.cz/czech-republic-water/ressources/files/1/35727,Water-2-Energy-complete-CZ.pdf>
7. ČSN EN 1717. Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění zpětným průtokem. 2002.
8. NOVÁČEK, Petr. Rekuperace tepla z odpadních vod jako alternativa vytápění a klimatizace budov. In: SDRUŽENÍ OBORU VODOVODU A KANALIZACÍ ČR. Provoz vodovodu a kanalizací 2017: Sborník referátů. Ostrava, 2017, s. 188-190.
9. BŘINDOVÁ, Romana. Využití tepla odpadních vod. Praha, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Praze, fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.
10. GFX Technology. US EPA. [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.gfxtechnology.com/>
11. *Asio: čištění a úprava vod* [online]. Brno: ASIO NEW, spol. s r.o. Dostupné z: www.asio.cz
12. ALEKSEIKO, Leonid N., Viacheslav V. SLESARENKO a Alexander A. YUDAKOV. Combination of wastewater treatment plants and heat pumps. Pacific Science Review [online]. 2014, 16(1), 36-39. DOI: 10.1016/j.pscr.2014.08.007.

ISSN 12295450. Dostupné z:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1229545014000084>

13. SEYBOLD, Christopher a Marten F BRUNK. REHVA. *In-house waste water heat recovery*. KASAG LANGNAU AG. Germany. Dostupné z:
http://www.rehva.eu/fileadmin/REHVA_Journal/REHVA_Journal_2013/RJ_issue_6/P.18/18-21_Seybold_RJ1306.pdf
14. SCHMID, Felix. *SEWAGE WATER INTERESTING HEAT SOURCE FOR HEAT PUMPS AND CHILLERS*. In: [online]. 2008. vyd. Zürich, Switzerland: SwissEnergy Agency for Infrastructure Plants [cit. 2014-04-13]. Dostupné z:
<http://www.scribd.com/doc/123320392/SEWAGE-WATER-INTERESTING-HEAT-SOURCE-FOR-HEAT-PUMPS-AND-CHILLERS> British Standard BS 8525-1:2010. Greywater systems – Part 1: Code of practice. UK: BSI, 2010.
15. HUBER SE. ROTAMAT® RoK 4: Pumping Stations Screen. Industriepark Erasbach A1 · D-92334 Berching. Dostupné z:
http://www.huberco.cz/fileadmin/01_products/01_screens/01_rotamat_screens/10_rok4/pro_rok4_en.pdf
16. PERÁČKOVÁ, J.: Spätné získavanie tepelnej energie z kanalizačných systémov. In: TZB Haustechnik. roč. 17, 2009, č. 7, s. 40–42.
17. PETRÁŠ, Dušan. Nízkoteplotní vytápění / vysokoteplotní chlazení: integrovaná soustava s akumulacním jádrem. *TZB-info.cz* [online]. 19.11.2002. Dostupné z:
<https://www.tzb-info.cz/1218-tzb-2002-nizkoteplotni-vytapeni-vysokoteplotni-chlazen-integrovana-soustava-s-akumulacnim-jadrem>
18. Jörg Londong at all.: Heat recovery potential of domestic grey water in the pilot project Jenfelder Au in Hamburg. EWA 17th International Symposium IFAT 2014, Munich, Germany 5. - 9. May 2014
19. BARTONÍK, Adam; HOLBA, Marek; VRÁNA, Jakub; OŠLEJŠKOVÁ, Monika; PLOTĚNÝ, Karel: Šedé vody – možnosti využití jejich energetického potenciálu a způsoby jejich čištění a znovuvyužití. *Vodní hospodářství*, 2012, roč. 62., č. 2, s. 60-65. ISSN: 1211- 0760.
20. KETTNEROVÁ, M. (2018). Případová studie využití srážkových a šedých vod v budově základní školy. České Vysoké Učení Technické V Praze - katedra technických zařízení budov.
21. KOŽÍŠEK, F. (2017). Jak by měli hygienici přistupovat k návrhům na využití vyčištěných odpadních vod? Retrieved from <https://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/16277-jak-by-meli-hygienici-pristupovat-k-navrhum-na-vyuziti-vycistenych-odpadnich-vod-dil-i>

22. Evropská norma EN 16941-2 On-site-potable water system – Part 2: Systems for the use of treated greywater, German and English version prEN 16941-2:2017. (2017)
23. Britská norma BS 8525-1:2010: Greywater systems – Part 1: Code of practice. BSI British Standards (2010)
24. Britská norma BS 8525-2:2011: Greywater systems – Part 2: Domestic greywater treatment equipment. Requirements and test methods. BSI British Standards (2011)
25. PROBLEMATIKA LEGIONEL V TEPLÉ VODĚ BYTOVÝCH DOMŮ
http://www.hygp Praha.cz/dokumenty/problematika-legionel-v-teple-vode-bytovych-domu-2833_2833_475_1.html
26. Blanky M., Rodríguez-Martínez S., Halpern M., Friedler E.: Legionella pneumophila: From potable water to treated greywater; quantification and removal during treatment. Science of The Total Environment. 533, 2015, Pages 557-565
27. REINBERK, Zdeněk. Výpočet doby ohřevu teplé vody [online]. In: . TZB.INFO. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-vypocet-doby-ohrevu-teple-vody>
28. HRABOVÁ, K., Zpětné získávání tepla v TZB. Brno, 2016. 92 s., 12 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D
29. ŠEBEK Josef Znovuvyužití odpadní vod ze stokové sítě. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
30. TLAŠEK, Miroslav. *Využití tepla z odpadní vody*. Brno, 2014. 65 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
31. Stránský, D., Kabelková, I., Jelínek, M., Bareš, V. a Šťastná, G. (2014). Vývoj tepelných výměníků pro získávání tepla z odpadní vody v kanalizaci a výběr vhodných míst jejich instalace. Vodní hospodářství 64(8), 40-43
32. ŽÁČEK, J., Energetické využití odpadních vod. Brno, 2016. 85 s., 5 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
33. Abeceda Čerpadel [online]. 2019. Dostupné z: www.abeceda-cerpadel.cz
34. Minimální požadavky na opětovné využívání vody ***I. In: 2019. Evropský Parlament, 2019, COM(2018)0337 – C8-0220/2018 – 2018/0169(COD). Dostupné

- také
z: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/seance_pleniere/textes_adoptes/provisoire/2019/02-12/0071/P8_TA-PROV\(2019\)0071_CS.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/seance_pleniere/textes_adoptes/provisoire/2019/02-12/0071/P8_TA-PROV(2019)0071_CS.pdf)
35. SMĚRNICE RADY ze dne 21. května 1991 o čištění městských odpadních vod. In: . 1991, 91/271/EHS. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=CS>
 36. *Alpha innotec* [online]. Česká republika, 2019. Dostupné také z: www.alpha-innotec.cz
 37. *Rabtherm ®: Energy systems* [online]. Švýcarsko, 2019. Dostupné také z: www.rabtherm.com
 38. *HUBER Technology: Waste Water Solution* [online]. Německo, 2019. Dostupné také z: www.huber.de
 39. *HEITECH: ČR s.r.o.* [online]. Česká republika, 2016. Dostupné také z: www.heitech.cz
 40. *WAGNER SOLAR* [online]. Německo. Dostupné také z: www.wagner-solar.com
 41. *Power-Pipe: Waste Water Heat Recovery Systems* [online]. UK, 2017. Dostupné také z: www.powerpipehr.co.uk
 42. *GRUBER, Josef. Základní zákony termodynamiky* [online]. 1999. Dostupné z: http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/td/td_teach.pdf
 43. *CASE STUDY: WASTEWATER HEAT RECOVERY: SYSTEM TYPE: Heat Exchangers, Coils, Controls, Piping, Pumps* [online]. In: . Solution Dynamics, 2016, s. 2. Dostupné z: http://www.sol-dyn.com/CASE_STUDY_WASTEWATER_HEAT_RECOVERY.pdf
 44. *MA, Hongting, Lihui YIN, Xiaopeng SHEN, Wenqian LU, Yuexia SUN, Yufeng ZHANG a Na DENG. Experimental study on heat pipe assisted heat exchanger used for industrial waste heat recovery. Applied Energy* [online]. 2016, 169, 177-186 [cit. 2019-06-07]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.02.012. ISSN 03062619. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261916301350>
 45. *SAKAL: technologie pro úspory energií* [online]. Česká Republika, 2019. Dostupné také z: www.sakal-overt.cz
 46. *Zypho: Shower Heat Recovery* [online]. Portugalsko, 2018. Dostupné také z: www.zypho.eu
 47. Arnell, Magnus & Lundin, Emma & Jeppsson, Ulf. (2017). Sustainability Analysis for Wastewater Heat Recovery – Literature Review. 10.13140/RG.2.2.27365.91364.
 48. KRUTIL, Jaroslav a Milada KOZUBKOVÁ. Modelování přestupu tepla ve výměnících - sbírka příkladů: studijní opora. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2011. ISBN 978-80-248-2712-4.
 49. *Wit and Wisdom of an Engineer: Covering the environment, engineering, technology, and economics* [online]. 2018. Dostupné také z: <http://witandwisdomofanengineer.blogspot.com/>

50. KASAG Swiss AG [online]. Švýcarsko, 2020. Dostupné také z: www.kasag.com
51. Mapové podklady [online]. Dostupné také z: www.mapy.cz
52. Mapa areálu Aquaparku Děčín [online]. Dostupné také z: <http://www.aquaparkdecin.cz/mapa-arealu/>
53. PROKŮPEK Tomáš. Diplomová práce s názvem „Potenciální úspory při navrhování a provozování bazénu a koupališť“, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, České vysoké učení technické v Praze, 12/2014
54. STRÁNSKÝ, David, Ivana KABELKOVÁ, Jiří VÍTEK a Milan SUCHÁNEK. Podklad pro koncepci nakládání s dešťovými vodami v urbanizovaných územích [online]. 2007. Asociace čistírenských expertů České republiky, b.r. [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: http://www.jvprojektvh.cz/photo/sekce/file/2007-12-01_JVPVH.pdf
55. VÍTEK, Jiří, David STRÁNSKÝ, Ivana KABELKOVÁ, Vojtěch BAREŠ a Radim VÍTEK. Hospodaření s dešťovou vodou v ČR [online]. Praha: 01/71 ZO ČSOP Konikleč, 2015 [cit. 2019-07-10]. ISBN 978-80-260-7815-9.
56. VÍTEK, Jiří. Odvodňování urbanizovaných území podle principů udržitelného rozvoje. Urbanismus a územní rozvoj [online]. XI. 2008, (4) [cit. 2019-09-12]. Dostupné z: http://www.jvprojektvh.cz/photo/sekce/file/2008-06-09_JVPVH.pdf
57. VACKOVÁ, Michaela. Hospodaření s dešťovou vodou ve městech. In: XVIII. Vědecká konference doktorandů: sborník textů [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta architektury, 2014, s. 213-218 [cit. 2019-07-10]. ISBN 978-80-214-4994-7. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/51951>
58. BALLARD WOODS, B., S. WILSON, H. UDALE-CLARKE, S. ILLMAN, T. SCOTT, R. ASHLEY a R. KELLAGHER. The SuDS Manual [online]. CIRIA, 2015 [cit. 2019-09-05]. ISBN 978-0-86017-759-3. Dostupné z: https://www.ciria.org/Memberships/The_SuDs_Manual_C753_Chapters.aspx
59. HLAVÍNEK, Petr, Petr PRAX a Jiří KUBÍK. Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území [online]. Brno: ARDEC, 2007 [cit. 2019-07-10]. ISBN 80-860-2055-X.
60. NOVOTNÁ, Jitka, Miroslav LUBAS a Ivana KABELKOVÁ. Možnosti řešení vsaku dešťových vod v urbanizovaných územích v ČR [online]. Brno: Ministerstvo životního prostředí, 2015 [cit. 2019-09-11]. Dostupné z: http://www.povis.cz/mzp/132/vsak_destovych_vod.pdf
61. ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 254/2001 Sb. In: Zákony pro lidi.cz [online]. b.r., © AION CS 2010-2019 [cit. 17. 7. 2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
62. ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 501/2006 Sb. In: Zákony pro lidi.cz [online]. b.r., © AION CS 2010-2019 [cit. 17. 7. 2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-501>
63. ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 268/2009 Sb. In: Zákony pro lidi.cz [online]. b.r., © AION CS 2010-2019 [cit. 17. 7. 2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268>

64. NEHASIL, Ondřej. Hospodaření s dešťovou vodou v obcích (3) [online]. ČSOP Koniklec [cit. 2019-07-17]. Dostupné z: <https://www.pocitamesvodou.cz/hospodareni-s-destovou-vodou-v-obcich-3/>
65. ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 274/2001 Sb. In: Zákony pro lidi.cz [online]. b.r., © AION CS 2010-2019 [cit. 17. 7. 2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>
66. Politika územního rozvoje České republiky, ve znění Aktualizace č. 1 [online]. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2015 [cit. 2019-07-17]. ISBN 978-80-7538-006-7.
67. Plán hlavních povodí České republiky [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2007 [cit. 2019-07-17]. ISBN 978-80-7084-632-2. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/18971/PlanHlavPov_schvaleny_vladou1_1_.pdf
68. STRÁNSKÝ, David, Vojtěch BAREŠ a Ivana KABELKOVÁ. Hospodaření se srážkovými vodami: právní prostředí, technické normy, motivační nástroje [online]. b.r. [cit. 2019-07-18]. Dostupné z: <https://www.pocitamesvodou.cz/wp-content/uploads/2015/01/Hospodareni-se-srazkovymi-vodami-2017.pdf?x58580>
69. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES. In: . 2000. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0060&from=CS>
70. VÍTEK, Jiří. Hospodaření se srážkovými vodami – Cesta k modrozelené infrastruktuře [online]. JV PROJEKT VH, 2018 [cit. 2019-07-18]. Dostupné z: http://www.adaptacesidel.cz/data/upload/2019/05/hdv_cesta_k_mzi.pdf
71. VÍTEK, Jiří. Principy a zásady koncepce a strategie odvodnění MČ Praha 12 [online]. Praha: MŽP, 2014 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: https://www.pocitamesvodou.cz/wp-content/uploads/2015/06/P12_Strategie-HDV_2015-01.pdf?x58580
72. Český hydrometeorologický úřad [online]. b.r. [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz>
73. DVOŘÁKOVÁ, Denisa. Využívání dešťové vody (I) - kvalita a čištění. Tzb-info [online]. 2007 [cit. 2019-07-22]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cisteni>
74. TNV 75 9011. Hospodaření se srážkovými vodami. Praha. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011__brezen_2013.pdf: Ministerstvo zemědělství, 2013.
75. ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1992.
76. DUFKA, Jaroslav a Zdeňka DŘEVOJÁNKOVÁ. Srážkové vody – 2. část. Topenářství instalace [online]. 2017. 2017(7), 66–69 [cit. 2019-07-24]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/casopis/7-detail-2660>
77. GRAF Settling Filter Shaft. In: BARR [online]. [cit. 2019-09-27]. Dostupné z: <https://www.barrplastics.com/graf-settling-filter-shaft.html#.XY3AWS4zZaQ>

78. Externí filtrační šachty [online]. b.r. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://zaloha.belis.cz/externi-filtracni-sachty.html>
79. Okapový filtr. In: Elkoplast [online]. [cit. 2019-07-24]. Dostupné z: <https://www.shop.elkoplast.cz/sberac-destove-vody-s-filtrem-na-rychlomontaz>
80. KRÁSENSKÝ, Tomáš. Dešťová voda nad zlato [online]. b.r. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.chatar-chalupar.cz/destova-voda-nad-zlato/>
81. STRÁNSKÝ, David. Technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob: Srážkové vody a urbanizace krajiny. Profesis [online]. ČKAIT, 2019 [cit. 2019-09-10]. Dostupné z: <https://www.protesis.cz/parser/go/4c7a692f314e323970395457314363374d68677a376863533050422f36326137375857537463764f30316c4835584f5937415643336e475a7a6a506464727358#a>
82. Odlučovače ropných látek a tuků [online]. ACO, b.r. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/110889246-Odlucovace-ropnych-latek-a-tuku.html>
83. STRÁNSKÝ, David. Koncepce hospodaření s dešťovou vodou v ČR: Současný stav [online]. b.r. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228619080_Koncepce_hospodareni_s_destovou_vodou_v_CR_Soucasny_stav
84. Water Square Tiel opens [online]. [cit. 2019-08-13]. Dostupné z: <https://worldlandscapearchitect.com/water-square-tiel-opens/#.XVJwz-MzZaQ>
85. DUFKA, Jaroslav a Zdeňka DŘEVOJÁNKOVÁ. Srážkové vody – 3. část. Topenářství instalace [online]. 2017. 2017(8), 58–60 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/casopis/8-detail-3122>
86. Suchá retenční nádrž. In: Pinterest [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/463800461604013541/>
87. Ochrana proti vodní erozi. Vúmop, v.v.i. [online]. 2019 [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: https://encyklopedie.vumop.cz/index.php/OCHRANA_PROTI_VODN%C3%8D_EROZI#Protierozn.C3.AD_n.C3.A1dr.C5.BEe
88. KREJČÍ, Vladimír. Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup. Brno: Noel 2000, 2003. ISBN 80-860-2039-8.
89. Koupací jezírko [online]. [cit. 2019-08-13]. Dostupné z: <https://www.chatar-chalupar.cz/koupaci-jezirko/>
90. STRÁNSKÝ, David. Srážkové vody a urbanizace krajiny: TP 1.20.1 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2012. Metodické a technické pomůcky k činnosti autorizovaných osob. ISBN 978-808-7438-282.
91. KABELKOVÁ, Ivana. Příklady dobré praxe hospodaření s dešťovou vodou v Rakousku. Tzb-info [online]. [cit. 2019-08-13]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/16646-priklady-dobre-praxe-hospodareni-s-destovou-vodou-v-rakousku>

92. MIFKOVÁ, Tatiana. Retence dešťových vod I. Tzb-info [online]. 2009 [cit. 2019-09-05]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/6053-retence-destovych-vod-i>
93. DRENALL HEXAGONIQ - Modrá střecha [online]. [cit. 2019-09-05]. Dostupné z: <https://www.alliq.cz/hospodareni-s-vodou/drenall-hexagoniq-modra-strecha-drenazni-panel/>
94. Green Infrastructure Options to Reduce Flooding [online]. Office for Coastal Management, 2015 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://coast.noaa.gov/data/docs/digitalcoast/gi-econ.pdf>
95. Vsakovací blok AS-NIDAPLAST. Asio [online]. c2011-2019 [cit. 2019-09-05]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/as-nidaplast>
96. Vsakovací tunel GARANTIA. ENVI-PUR [online]. b.r. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://shop.envipur.cz/vsakovaci-tunely/vsakovaci-tunel-garantia/>
97. Nádrže na dešťovou vodu AS-REWA. Asio [online]. [cit. 2019-09-17]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/as-rewa>
98. Podzemní nádrž na dešťovou vodu Cristall 1600 l. Dešťové nádrže [online]. b.r. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.destovenadrze.cz/eshop/podzemni-nadrz-na-destovou-vodu-cristall-1600-l-detail>
99. ČSN 75 9011. Vsakovací zařízení srážkových vod. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
100. ŽABIČKA, Zdeněk. Technická řešení vsakovacích zařízení. Tzb-info [online]. 2011 [cit. 2019-09-11]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/8010-technicka-reseni-vsakovacich-zarizeni>
101. Vsakování srážkových vod: Metodická pomůcka Ministerstva pro místní rozvoj [online]. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2019 [cit. 2020-01-27].