

# **Energetická bilance bazénové technologie**

Tomáš Navrátil

---

Bakalářská práce  
2010

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš NAVRÁTIL**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Energetická bilance bazénové technologie**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii v oblasti bazénových technologií.
2. Zaměřte se na energetickou bilanci jednotlivých operací bazénové technologie.
3. Zhodnoťte finanční náklady na proces s ohledem na možnosti úsporných opatření.
4. Dosažené výsledky zhodnoťte v závěru práce.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**doc. Ing. Dagmar Janáčková, CSc.**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

**19. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**2. června 2010**

Ve Zlíně dne 15. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*vedoucí katedry*

Příjmení a jméno: NAVRÁTIL TOMÁŠ.....Obor: Technologická zařízení

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby<sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 22.5.2010



<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlášení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, apísky nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3;

(3) Da práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Obsahem práce je popis a rozdělení bazénové technologie s ohledem na její energetické nároky. Největší důraz je kladen na výpočet tepelných ztrát způsobených přestupem tepla z hladiny, ohříváním dopouštěné vody a přestupem tepla do stěn a dna bazénu. Cílem práce je definovat energeticky nejnáročnější technologický proces v úpravě bazénové vody a navrhnout příslušná úsporná opatření.

Klíčová slova:

energetická bilance, filtrace vody, přestup tepla, tepelné ztráty, chemická úprava vody, bazénová technologie

## **ABSTRACT**

The following bachelor thesis contains description and division of swimming-pool technology with regard to its energy intensity. The greatest emphasis has been put to the calculation of heat losses caused by heat transfer from the level, heating up refilled water and heat transfer to the walls and swimming-pool bottom. The aim is to define the most energy-demanding technological procedure included in the swimming-pool water treatment and propose appropriate austerity measures.

Keywords:

energy balance, water filtration, heat transfer, heat losses, chemical treatment of water, swimming-pool technology

## Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucí své bakalářské práce, doc. Ing. Dagmar Janáčové CSc., za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady, za čas a pozornost, který mi věnovala při vypracování bakalářské práce.

Zároveň chci poděkovat Jitce a Danovi, za motivaci a podporu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 BAZÉNOVÁ TECHNOLOGIE</b> .....	<b>11</b>
1.1 HISTORIE A SPOLEČENSKÁ PROSPĚŠNOST .....	11
1.2 OBECNÝ POPIS BAZÉNOVÉ TECHNOLOGIE.....	12
1.3 ROZDĚLENÍ PROCESŮ BAZÉNOVÉ TECHNOLOGIE.....	14
1.3.1 Filtrace bazénové vody .....	14
1.3.2 Chemická úprava bazénové vody.....	16
1.3.3 Ohřev bazénové vody.....	18
1.3.4 Typy tepelných zařízení pro ohřev bazénové vody.....	22
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>26</b>
<b>2 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>27</b>
2.1 FILTRAČNÍ ZAŘÍZENÍ .....	27
2.2 CHEMICKÁ ÚPRAVA VODY.....	29
2.3 OHŘEV BAZÉNOVÉ VODY.....	29
2.3.1 Výpočet tepelných ztrát bazénu A .....	30
2.3.2 Nároky na elektrickou energii ohřevu bazénu A .....	34
2.3.3 Výpočet tepelných ztrát bazénu B.....	34
2.3.4 Nároky na elektrickou energii ohřevu bazénu B .....	37
<b>3 ENERGETICKÁ BILANCE</b> .....	<b>38</b>
3.1 SHRnutí ENERGETICKÝCH NÁROKŮ .....	38
3.1.1 Nároky na pokrytí tepelné ztráty.....	38
3.1.2 Nároky na elektrickou energii .....	39
3.2 VÝPOČET PROVOZNÍCH NÁKLADŮ .....	39
3.2.1 Náklady na pokrytí tepelné ztráty bazénu .....	39
3.2.2 Náklady na spotřebu elektrické energie .....	40
3.3 NÁVRH TECHNOLOGIE S OHLEDEM NA EKONOMIKU PROVOZU.....	40
3.3.1 Technologie bazénu A .....	40
3.3.2 Technologie bazénu B .....	41
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>42</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>44</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>46</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>49</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>50</b>



## ÚVOD

Zvyšování cen energií, tlak na efektivitu výrobních a technologických procesů vede kromě větších nároků na člověka také k vyšším požadavkům na stroje a technologická zařízení. Výjimkou není ani oblast bazénových technologií a zde používaných zařízení jako jsou čerpadla, filtrační jednotky, vzduchovače, potrubní rozvody, armatury atd.

Zvyšující se účinnost zařízení chemických a technologických provozů, důslednější sledování a zároveň přesnější regulace kvalitativních parametrů upravované vody nám umožňuje dosahovat stejných a mnohdy i lepších výsledků při potřebě menších energetických a materiálových vkladů do vlastního procesu úpravy bazénové vody.

Spotřeba energie pro technologii bazénů vychází z potřeby udržet bazénovou vodu v dostatečné hygienické kvalitě a teplotě požadované pro daný typ bazénu. Hygienickou kvalitu zajistíme dávkováním vhodných chemikálií, cirkulací vody pomocí oběhových čerpadel a filtrací vody přes filtrační jednotku. Ohřev bazénové vody se volí v závislosti na dostupnosti topného média a velikosti bazénu. Je důležité říct, že náklady spojené s ohřevem bazénu patří mezi nejvyšší v celém provozu a proto je nutné důkladně zvážit, jakým způsobem budeme bazénovou vodu ohřívat a jak vysokou teplotu vody v bazénu budeme požadovat.

*Uvedených zásad je třeba dbát při každém dalším návrhu technologie pro úpravu vody v bazénech, ale i v každém dalším odvětví lidské činnosti.*

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 BAZÉNOVÁ TECHNOLOGIE

## 1.1 Historie a společenská prospěšnost

Jedny z prvních zmínek o plavání pochází z doby vzniku prvních civilizací, tedy 4000 - 2500 let před n. l. z údolí Indu a ze starověkého Egypta, kde byly při vykopávkách odkryty kamenné lázně a nalezeny předměty s kresbami zachycující postavy lidí při plavání. Je pravděpodobné, že lidé té doby připisovali péči o tělo velký význam a návštěva lázní patřila ke společenským povinnostem tehdejšího života. Ve starověku nastal velký rozmach lázeňství, kdy se šířilo z Egypta do Řecka a následně Říma, kde dosáhlo vrcholu. Množství dochovaných záznamů svědčí o velké oblibě plavání a všeobecně rozšířené popularitě této činnosti. Masážní a potní lázně, koupele ve vanách, vonné oleje, bahenní nebo rašelinové koupele a zábaly připomínají spíše současnost a rostoucí poptávku po léčebných a relaxačních procedurách, než starověk.

S nástupem křesťanství se však situace změnila. Lázně byly rušeny a zavírány, církve zakazovala nahotu a s tím spojené očištné a ozdravné koupele. V období humanismu a renesance dochází postupně k uvolnění poměrů a návratu zájmu o člověka v antickém pojetí, tedy zdravého, silného, duševně i fyzicky čistého. V 16. století byla vydána první učebnice plavání, o tři století později anglický kapitán Webb poprvé přeplaval kanál La Manche. Roku 1908 byla založena mezinárodní plavecká federace FINA (Fédération Internationale de Natation Amateur).

Stejně jako před 4000 lety i dnes je znovu kladen důraz na zdraví, sílu a čistotu člověka. S tím souvisí výstavba nových aquaparků, koupališť a lázní. Stále se zvyšující požadavky na hygienu a atraktivitu provozu, ale zároveň snaha o snížení provozních nákladů a dopadů na životní prostředí má za následek neustálý vývoj bazénových technologií a s tím souvisejících profesí.

Důležitou součástí každého návrhu bazénového provozu se tak stává výpočet energetické náročnosti navrženého zařízení s ohledem na dostupnost energetických zdrojů a rentabilitu provozu.

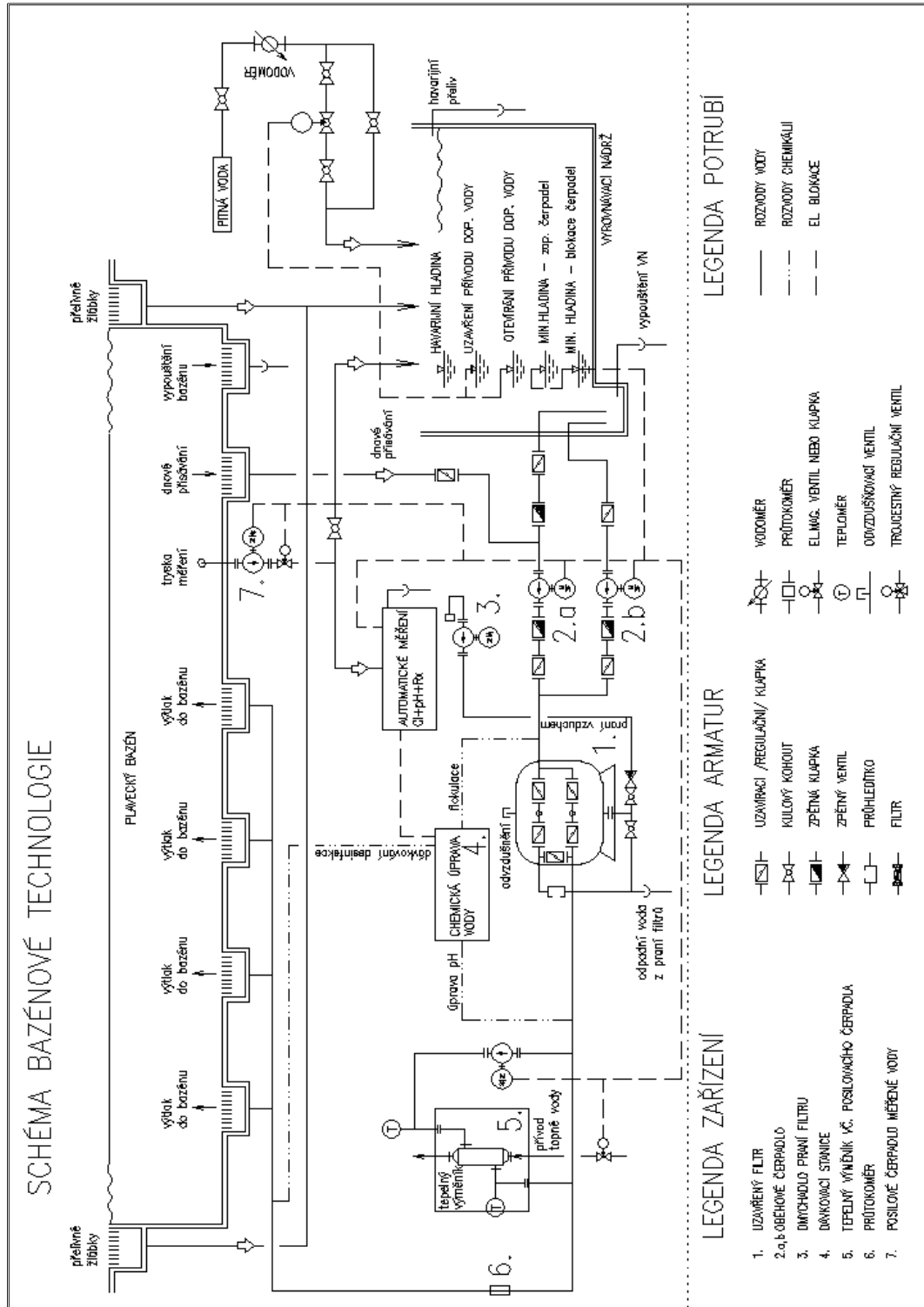
## 1.2 Obecný popis bazénové technologie

Pro zjednodušení popisu bazénové technologie bude popisována pouze technologie, která splňuje platnou vyhlášku 135/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky pro veřejné bazény. [9]

Součástí technologické úpravny vody jsou vyrovnávací nádrže, oběhová čerpadla, uzavřené tlakové filtry s vícevrstvou filtrační náplní, automatické dávkovací a měřicí zařízení chemikálií pro úpravu vody.

Cirkulace vody v bazénu je zajištěna systémem dnových rozvodů (trysek nebo kanálů), které přivádí upravenou vodu zpět do bazénu. Tento systém zajišťuje správné hydraulické poměry v bazénu a vylučuje vznik tzv. hluchých míst, které se mohou stát potencionálním zdrojem mikrobiálního znečištění. Z bazénu voda přepadává přes přelivný žlábek a samospádem teče do vyrovnávací nádrže. Vyrovnávací nádrž slouží jako zdroj vody pro praní filtrů a pro vyrovnávání hladiny vody v bazénech. Odpadní voda z praní filtrů je svedena do splaškové kanalizace, případně do záchytné nádrže, kde se po dechloraci vypouští do přílehlého recipientu. Z vyrovnávací nádrže je voda nasávána a hnána na filtr. Čerpadla jsou jedinou hnací silou v celém recirkulačním systému. Voda je odebírána také ze dna bazénu přísáváním čerpadel přes dnové vpusti. Dnové vpusti zároveň slouží pro vypouštění bazénů. Na filtru voda protéká přes filtrační lože, které je složeno zpravidla ze třech různých frakcí křemičitého písku. Pro zvýšení účinnosti filtrace se před filtrační stanicí do potrubí dávkuje flokulační činidlo, které způsobí, že velmi malé částice nečistot (mechanickou filtrací přes pískové lože nezachytitelné) se začnou shlukovat a vytvoří větší částice, tzv. vločky, které již jsou filtrací zachytitelné. Za filtrační stanicí následuje ohřev vody na požadovanou teplotu. Dále je na potrubí osazen průtokoměr k určení aktuálního průtoku vody přiváděného do bazénů. Posledním krokem před vstupem přefiltrované vody do bazénu je automatické nadávkování desinfekčního prostředku. Pro vyšší účinnost desinfekce a flokulačního přípravku se upravuje dle potřeby hodnota pH. Korekce pH se provádí za filtrem. Veškeré dávkování chemikálií je prováděno automaticky dle aktuálního vyhodnocení jednotlivých kvalitativních parametrů vody v bazénu. Automatické měřicí zařízení kontinuálně sleduje obsah desinfekčního činidla, hodnotu pH a hodnotu oxidačně - redukčního potenciálu. Měřená voda se nejčastěji odebírá přímo z bazénu, vhodnou vtokovou tryskou, a pomocí čerpadla se dopravuje do měřicí cely. V závislosti na

naměřených hodnotách se automaticky dávkuje potřebné množství chemikálií k úpravě bazénové vody. Na Obr. 1 je znázorněno obecné schéma bazénové technologie.



Obr. 1. Obecné schéma bazénové technologie

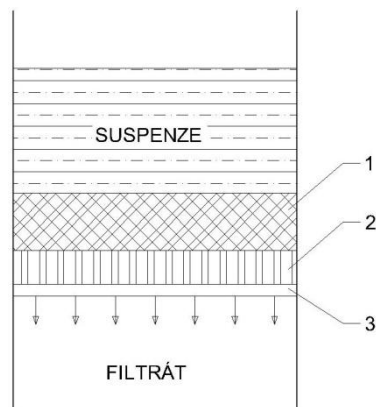
## 1.3 Rozdělení procesů bazénové technologie

### 1.3.1 Filtrace bazénové vody

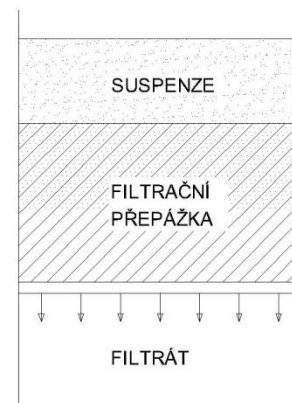
Při filtraci protéká suspenze (směs tekutiny a pevných částic) vrstvou porézního materiálu. Účelem filtrace je odloučení částic pevné fáze od tekutiny, ve které jsou rozptýleny. Při filtraci projde porézní vrstvou tekutina, ale částice se vrstvou zachytí. [1]

Podle mechanismů zachycování pevné fáze můžeme filtraci kapalin rozdělit na:

- povrchovou filtraci
- hloubkovou filtraci



Obr. 2. Povrchová filtrace.



Obr. 3 Hloubková filtrace.

Při povrchové filtraci se využívá prostého síťového efektu. Filtrační koláč (1) vzniká zachycováním částic na filtrační přepážce (2) při průchodu kapaliny porézní vrstvou. Otvory v porézní vrstvě jsou zpravidla menší než velikost oddělovaných částic, které se na porézní přepážce zachycují, zatímco kapalina vrstvou prochází. Porézní vrstva je umístěna na nosné podložce (3). Příkladem povrchového filtru využívaného při úpravě bazénové vody je filtr kartušový, který zachycuje nečistoty na papírové nebo textilní vložce. Tento typ filtru je používán pouze u rodinných bazénů s malým objemem vody. Mezi hlavní nevýhody patří rychlé zanášení otvorů v porézní vrstvě (kartuši) a s tím spojené snížení výkonu filtrace. Navíc je životnost kartuše většinou velmi krátká a nevydrží déle než jednu koupací sezónu tj. 3 měsíce. [1]

Při hloubkové filtraci probíhá separační proces uvnitř filtrační přepážky, přičemž zachycované částičky jsou mnohem menší než póry filtračního materiálu. Tloušťka

filtrační vrstvy bývá podstatně větší než při povrchové filtraci. Filtrační přepážku si můžeme představit jako velký počet zakřivených kanálků. K dosažení filtračního efektu je nutné, aby se částice, které jsou v kapalině, zachycovaly na stěnách kanálků a zůstaly tam přidržovány určitou silou. K tomu může docházet různými mechanismy - jako např. přímým kontaktem, vlivem setrvačných sil, difúze, gravitačních sil a hydrodynamických efektů. [1]

Filtrační vrstva hloubkových filtrů může být tvořena buď vrstvou zrnitého materiálu (pískové filtry), nebo kompaktním porézním materiálem (keramickými nebo skleněnými materiály). [8] Vzhledem ke způsobu práce (nutnost regenerace filtrační přepážky) jsou tyto filtry vhodné pro filtraci kapaliny s velmi malou koncentrací pevné fáze (menší než 0,1 obj. %). Žádaným produktem bývá zpravidla filtrát. Průběh filtrace u reálných zařízení bývá složitý, takže některé z mechanismů se mohou vyskytovat současně nebo následovat po sobě. Hnací silou filtrace je rozdíl tlaků před a za filtrační přepážkou. Ten může být vytvořen různými způsoby:

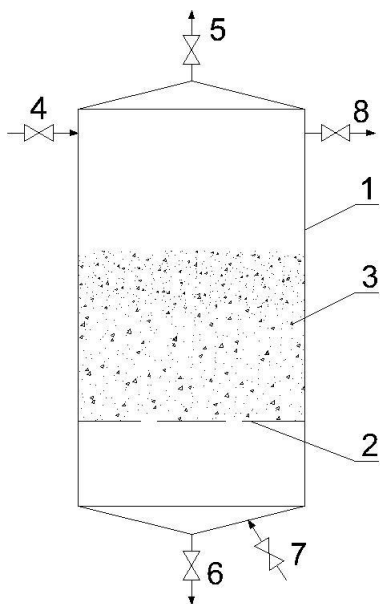
- hydrostatickým tlakem sloupce suspenze (u gravitačních filtrů),
- čerpadlem nebo tlakem plynu na hladinu suspenze (u tlakových filtrů),
- odstředivou silou (u filtračních odstředivek). [2]

V České republice jsou gravitační filtry využívány zejména pro filtraci říčních vod, úpravu pitné a průmyslové vody a dočišťování vody na čistírnách vod k redukci Biochemické spotřeby kyslíku (BSK) a Chemické spotřeby kyslíku (CHSK). Využití v oblasti bazénových technologií je velmi omezené a v praxi se s tímto způsobem filtrace vody setkáváme pouze zřídka.

Pro využití ve veřejných bazénových provozech se nejčastěji využívají hloubkové tlakové filtry s pískovou filtrační vrstvou 1 - 1,2 m, kdy rozdíl tlaků zajišťuje oběhové čerpadlo filtrace.

Schéma pískového filtru je ukázáno na Obr. č. 4. Pískový filtr 1 se používá k filtraci vody, obvykle po koagulaci nečistot vhodnými přísadami a s malou koncentrací suspendovaných částic. Filtrační přepážku 2 tvoří vrstva písku 3 uložená na kloboučkovém dně. V dolní části je hrubší písek, v horní části jemnější. Pískový filtr pracuje cyklicky. V úseku filtrace se přivádí znečištěná voda potrubím 4. Potrubí 5 slouží k odvětrání filtru, tj. k zaplnění celého filtru vodou. Voda po filtraci (filtrát) se odvádí potrubím 6. Ventily na potrubích 5,7,8 jsou přitom uzavřeny. Po naplnění filtru kalem (neúnosně klesne průtok vody filtrem)

jsou uzavřeny ventily na potrubích 4 a 6 a filtr se regeneruje promývací vodou, která vstupuje do filtru potrubím 7 a prochází filtrem v opačném směru. Při dostatečné rychlosti promývací vody se nehybná vrstva mění na fluidní vrstvu, vyznačující se pohyblivostí zrn písku a uvolněním zachyceného kalu, který se z filtru odvádí potrubím 8. Poté je filtr opět připraven k filtraci. [3]



Obr. 4. Schéma pískového filtru.

1 - pískový filtr, 2 - kloboučkové dno s odvodem kapaliny, 3 - vrstva písku, 4 - vstup znečištěné vody, 5 - odvzdušnění, 6 - výstup vyčištěné vody, 7 - vstup promývací vody, 8 - výstup kalu

### 1.3.2 Chemická úprava bazénové vody

Důležitou součástí technologického procesu úpravy bazénové vody je její chemická úprava. Pro úpravu vody ve veřejných a rodinných bazénech platí stejné zásady. Úprava vody ve veřejných provozech podléhá platným zákonům, zatímco provoz rodinných bazénů není z podstaty věci možný sledovat ani kontrolovat. Z tohoto důvodu se budeme zabývat pouze chemickou úpravou vody ve veřejných bazénech a úpravu vody rodinných bazénů zmíníme jen okrajově.

Základní rozdělení chemické úpravy vody je následující:

- desinfekce vody
- úprava a stabilizace pH
- koagulace vody
- dávkování přípravků proti tvorbě a růstu řas



Cílem *desinfekce vody* je zničení choroboplodných zárodků (bakterií a virů). Účinek procesu je závislý na fyzikálních, chemických a mikrobiologických vlastnostech vody, na druhu a dávce použitého oxidačního činidla i na zařazení procesu do celého souboru technologických procesů úpravy vody. Při úpravě vody se většinou používá chlor ve formě plynného chloru nebo kapalného použitím chlornanu sodného. [4] Velmi časté využití chloru je dáno zejména vysokou účinností, nízkou cenou a reziduálním charakterem působení volného (aktivního) chloru ve vodě. V poslední době je stále oblíbenější způsob úpravy vody chlorem vyrobeným elektrolýzou slané vody. Mezi hlavní výhody patří snadná a bezpečná manipulace s pytlí soli, která se rozmíchává ve vodě a dávkuje do bazénové vody. Průchodem slané vody elektrolyzérem dochází ke vzniku chloru a desinfekci vody. Nevýhodou tohoto způsobu jsou vyšší nároky na provozní a technologické zařízení, vzhledem ke korozivním účinkům slané vody.

Další způsoby desinfekce vody jsou ozonizace a UV záření. Tyto způsoby jsou však pouze doplňkové. UV záření nemá Vyhláškou č.135/2004 požadovaný reziduální charakter, působí pouze v místě záření a limitní koncentrace ozónu v bazénové vodě je omezena touto vyhláškou na 0,05 mg/l. Tyto způsoby desinfekce lze tedy ve veřejných provozech použít jen jako doplňující, šetřící spotřebu chloru a provozní náklady.

*Úprava a stabilizace pH* je nutná pro správnou funkci desinfekce. Přípravky na snižování pH jsou založeny na bázi kyseliny sírové. Přípravky na zvyšování pH na bázi uhličitanu sodného nebo hydroxidu sodného. Celková alkalita významně ovlivňuje stabilitu pH. Pokud je celková alkalita vysoká, bývá vysoké také pH a nedaří se snížit. Je-li celková alkalita příliš nízká, pH je nestabilní a dochází k velkým výkyvům hodnoty pH v krátkém čase. Důsledkem je neefektivní dávkování chemikálií na úpravu pH bez patřičného výsledku. Z těchto důvodů se provádí vhodnými prostředky stabilizace pH.

*Koagulace a separace suspenze* je soubor procesů sloužících k odstranění koloidních a makromolekulárních organických látek přirozeného původu z vody. Nečistoty jsou proti samovolné koagulaci stabilizovány mechanismy, které zabraňují jejich shlukování do větších celků separovatelných z vody mechanickými procesy jako je sedimentace a filtrace. Chceme-li, aby došlo ke koagulacím ve vodě přítomných nečistot, musíme tyto stabilizující mechanismy odstranit nebo alespoň potlačit. V praxi používáme přídatek koloidu s opačným znaménkem povrchového náboje, než je polarita ve vodě přítomných nečistot. Koloid nesoucí opačný povrchový náboj, než je náboj nečistot ve vodě, použitý při koagulaci, se připravuje dávkováním železité nebo hlinité soli do upravované vody. [2]

*Přípravky proti tvorbě a růstu řas* se přidávají do bazénové vody, protože chlór nezaručuje spolehlivou ochranu proti jejich růstu. Chemicky se jedná o polymerní kvartérní amoniové soli.

### 1.3.3 Ohřev bazénové vody

Energeticky nejnáročnější část technologického procesu úpravy bazénové vody je ohřev vody na požadovanou teplotu. Bilance spotřeby tepla vychází z tepelné ztráty bazénu způsobenou přestupem tepla z vodní hladiny, přestupem tepla stěnami bazénu a ohříváním přiváděné ředící a doplňovací vody. Dodávka tepla slouží k udržení požadované teploty bazénové vody. Výpočet tepelných ztrát pro venkovní a vnitřní bazén lze vypočítat několika možnými způsoby. Zde uváděný výpočet popsany metodikou [10] je určený pro účely jednotného výpočtu energetických přínosů solárních soustav podporovaných v rámci dotačních titulů ze SFŽP ČR za podpory Evropského fondu pro regionální rozvoj.

Měsíční potřeba tepla na krytí tepelné ztráty přestupem tepla z vodní hladiny vnitřního bazénu v kWh/měs.:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{p,z} = & \frac{m}{1000} \tau_p \left[ \beta_p A_b \left( p''_{v(t_{w,p})} - p_{v(t_{v,p})} \right) \frac{l_w}{3600} + \alpha_i A_b (t_{w,p} - t_{v,p}) \right] + \\ & \frac{m}{1000} (24 - \tau_p) \left[ \beta_n A_b \left( p''_{v(t_{w,n})} - p_{v(t_{v,n})} \right) \frac{l_w}{3600} + \alpha_i A_b (t_{w,n} - t_{v,n}) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

kde

$m$  je počet dní v daném měsíci

$\tau_p$  denní provozní doba bazénu [h]

$\beta_p$  součinitel přenosu hmoty pro vnitřní bazény v době provozu [kg/h.m<sup>2</sup>.Pa], uvažuje se jednotně  $\beta_p = 1,6 \cdot 10^{-4}$  kg/h.m<sup>2</sup>.Pa

$\beta_n$  součinitel přenosu hmoty pro vnitřní bazény mimo dobu provozu [kg/h.m<sup>2</sup>.Pa], pro zakrývaný bazén se uvažuje  $\beta_n = 0$  kg/h.m<sup>2</sup>.Pa pro nezakrývaný  $\beta_p = \beta_n$

$A_b$  plocha vodní hladiny bazénu [m<sup>2</sup>]

$t_{w,p}$  požadovaná teplota bazénové vody v době provozu bazénu [°C]

$t_{w,n}$  teplota bazénové vody v době mimo provoz bazénu [°C]

$t_{v,p}$  vnitřní teplota v bazénové místnosti v době provozu bazénu [°C]

$t_{v,n}$  vnitřní teplota v bazénové místnosti v době mimo provoz bazénu [°C]

$p_{v(t_w)}''$  tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny bazénu při teplotě vzduchu rovné teplotě bazénové vody  $t_w$  [Pa]

$p_{v(t_v)}$  tlak vodní páry v okolním vzduchu při teplotě  $t_v$  a vlhkosti  $\varphi_v$  [Pa]

$l_w$  výparné teplo vody [J/kg], ( $l_w = 2,5 \cdot 10^6$  J/kg)

$\alpha_i$  součinitel přestupu tepla mezi okolním prostředím a hladinou bazénu prouděním, se uvažuje  $\alpha_i = 10$  W/m<sup>2</sup>.K pro vnitřní bazény [10]

Měsíční potřeba tepla na krytí tepelné ztráty přestupem tepla z vodní hladiny venkovního bazénu v kWh/měs.:

$$\dot{Q}_{p,z} = \frac{m}{1000} \tau_p \left[ \beta_p A_b \left( p_{v(t_{w,p})}'' - p_{v(t_{es})} \right) \frac{l_w}{3600} + \alpha_e A_b (t_{w,p} - t_{es}) \right] + \frac{m}{1000} (24 - \tau_p) \left[ \beta_n A_b \left( p_{v(t_{w,n})}'' - p_{v(t_{en})} \right) \frac{l_w}{3600} + \alpha_e A_b (t_{w,n} - t_{en}) \right] - 0,85 \cdot m \cdot H_{den} \cdot A_b \quad (2)$$

kde

$m$  je počet dní v daném měsíci

$\tau_p$  denní provozní doba bazénu [h]

$\beta_p$  součinitel přenosu hmoty pro venkovní bazény v době provozu [kg/h.m<sup>2</sup>.Pa], uvažuje se jednotně  $\beta_p = 2,9 \cdot 10^{-4}$  kg/h.m<sup>2</sup>.Pa

$\beta_n$  součinitel přenosu hmoty pro venkovní bazény mimo dobu provozu [kg/h.m<sup>2</sup>.Pa], pro zakrývaný bazén se uvažuje  $\beta_n = 0$  kg/h.m<sup>2</sup>.Pa, pro nezakrývaný  $\beta_p = \beta_n$

$A_b$  plocha vodní hladiny bazénu [m<sup>2</sup>]

$t_{w,p}$  požadovaná teplota bazénové vody v době provozu bazénu [°C]

$t_{w,n}$  teplota bazénové vody v době mimo provoz bazénu [°C]

$t_{es}$  střední teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu, (den) [°C]

$t_{en}$  střední teplota venkovního vzduchu v době mimo slunečního svitu, (noc) [°C]

$p_{v(t_w)}''$  tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny bazénu při teplotě vzduchu rovné teplotě bazénové vody  $t_w$  [Pa]

$p_{v(te)}$  tlak vodní páry v okolním vzduchu při venkovní teplotě a vlhkosti v příslušné části dne [Pa]

$l_w$  výparné teplo vody [J/kg], ( $l_w = 2,5 \cdot 10^6$  J/kg)

$\alpha_e$  součinitel přestupu tepla mezi okolním prostředím a hladinou bazénu prouděním [W/m<sup>2</sup>.K], uvažuje se  $\alpha_e = 10$  W/m<sup>2</sup>.K pro venkovní bazény

$H_{den}$  energie slunečního záření dopadající na volnou hladinu bazénu [kWh/m<sup>2</sup>.den] [10]

Ve výpočtu se předpokládá udržování konstantní teploty bazénové vody během celého dne a různou teplotou okolního venkovního vzduchu během provozu v době slunečního svitu a mimo provoz v noci. Navíc v době provozu tepelným ziskem přispívá sluneční energie dopadající na vodní hladinu, pohlcená s účinností 85 %.

Měsíční potřeba tepla na ohřev přiváděné studené vody v kWh/měs.:

$$Q_{p,sv} = k \cdot \frac{V_{sv,os} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_w - t_{sv})}{3,6 \times 10^6} \quad (3)$$

kde

$k$  je počet návštěvníků v daném měsíci

$V_{sv,os}$  měrná potřeba přiváděné čisté vody na návštěvníka bazénu [m<sup>3</sup>/os.]

$\rho$  hustota vody při dané teplotě, [kg/m<sup>3</sup>]

$c$  měrná tepelná kapacita vody, [J/kg.K]

$t_{sv}$  teplota studené vody [°C]

$t_w$  teplota bazénové vody [°C] [10]

Měsíční spotřeba tepla udávaná v kWh/měsíc pro pokrytí ztráty tepla přestupem stěnami a dnem bazénu se vypočítá ze vztahu:

$$\dot{Q}_{p,p} = \frac{\alpha \cdot A_s \cdot (t_o - t_n) + 0,7 \cdot \alpha \cdot A_d \cdot (t_o - t_n)}{3,6 \cdot 10^6} \cdot 24 \cdot m \quad (4)$$

kde

$m$  je počet dní v daném měsíci

$t_o$  průměrná teplota vody v bazénu [°C]

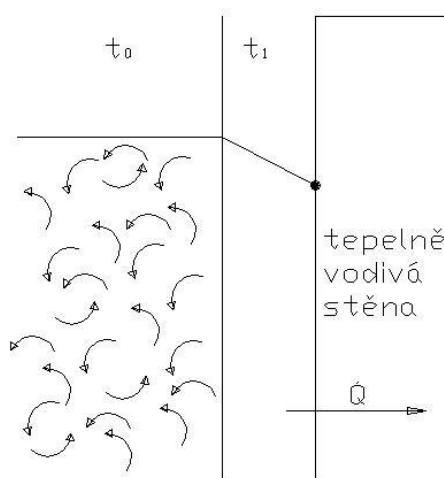
$t_n$  průměrná teplota materiálu [°C]

$\alpha$  součinitel přestupu tepla mezi stěnou bazénu a vodou v bazénu volným prouděním [W/m<sup>2</sup>.K]

$A_s$  plocha stěn bazénu [m<sup>2</sup>]

$A_d$  plocha dna bazénu [m<sup>2</sup>] [10]

U přestupu tepla stěnou a dnem bazénu se jedná o případ přestupu tepla tzv. volným prouděním, kdy dochází ke sdílení tepla mezi povrchem a prostředím z místa o vyšší teplotě na místo s nižší teplotou, viz. Obr. č. 5. Sdílení tepla prouděním.



Obr. 5. Sdílení tepla prouděním.

[3]

Celková měsíční potřeba tepla na ohřev bazénové vody  $\dot{Q}_{p,c}$  [kWh/měs] je potom:

$$\dot{Q}_{p,c} = \dot{Q}_{p,z} + \dot{Q}_{p,sv} + \dot{Q}_{p,p} \quad (5)$$

[10]

Z výpočtu celkové tepelné ztráty vycházíme při návrhu typu a výkonu tepelného zařízení. Typ tepelného zařízení volíme s ohledem na četnost využití daného zařízení (celoroční nebo jiný provoz), jeho účinnost při daných podmínkách a celkové investiční náklady (pořizovací cena, provozní náklady, atd.). Musíme však také zohledňovat celkový energetický zisk zvoleného tepelného zařízení; množství energie do zařízení vložené v závislosti na množství energie zařízením vyrobené.

K tomu nám může sloužit například metoda LCA - Life cycle assessment. (LCA je metoda posuzování environmentálních aspektů výrobku/služby ve všech stádiích života). [11]

#### 1.3.4 Typy tepelných zařízení pro ohřev bazénové vody

Nejčastěji využívaná zařízení pro ohřev vody v bazénech můžeme definovat takto:

- výměníky tepla na ÚT (horká pára, horká voda)
- elektrický ohřev
- solární kolektory
- tepelná čerpadla [13]

*Výměníky tepla na ÚT* - jako zdroj tepla slouží kotelny spalujících fosilní paliva nebo využívající elektrickou energii. Teplonosným médiem je voda nebo pára, která prochází na primárním okruhu výměníkem tepla (deskový nebo trubkový) a ohřívá bazénovou vodu protékající sekundárním okruhem tepelného výměníku. Z důvodu vyšší účinnosti jsou bazénové výměníky konstruovány jako protiproudé.

*Elektrický ohřev* je v bazénových provozech využíván zejména pro ohřev vody v menších bazénech. Jedná se o přímotopná zařízení s topnými spirálami vsazenými do potrubí, kterým protéká bazénová voda. Výhodou těchto zařízení je rychlá regulace teploty, rychlý ohřev vody v krátkém čase a nízké pořizovací náklady. Nevýhodou je naopak drahý provoz a nároky na tvrdost vody, kdy tvrdá voda způsobuje usazování tzv. kotelního kamene, který má malou tepelnou vodivost a snižuje účinnost ohřevu.

*Solární kolektory* můžeme rozdělit podle druhu teplonosného média nebo podle konstrukčního provedení kolektoru. [13]

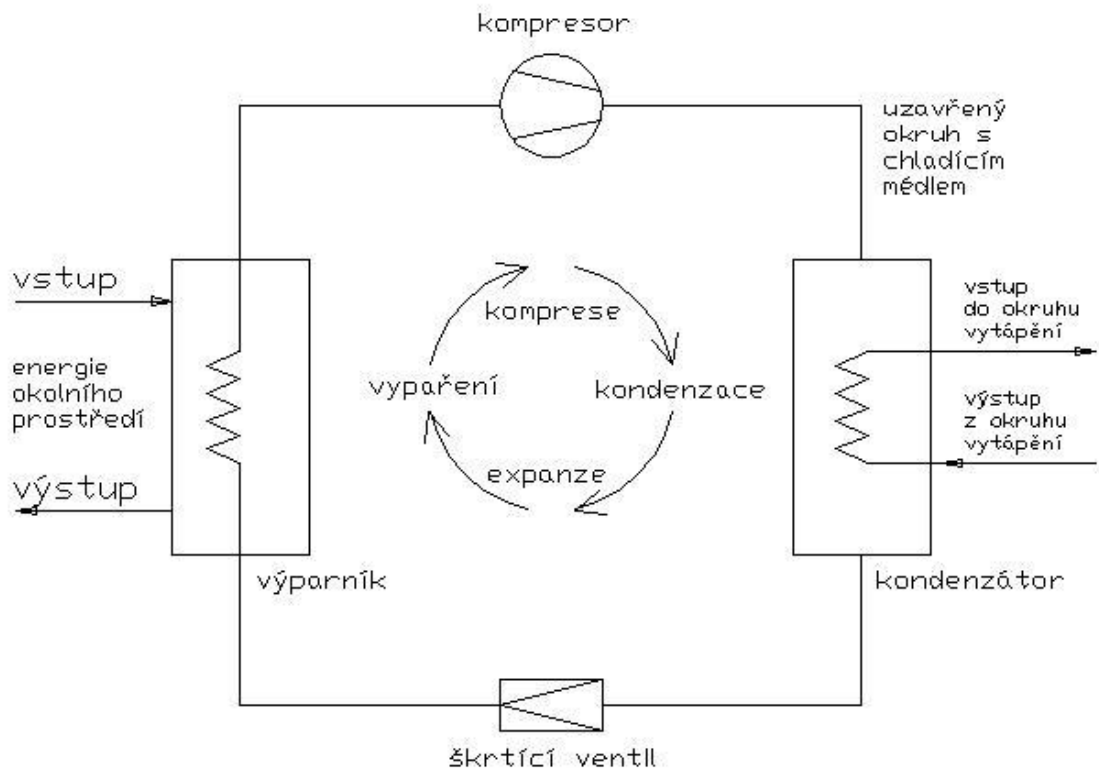
Podle druhu teplonosného média se dělí na:

- kapalinové systémy - teplonosnou látkou v okruhu kolektorů je kapalina (voda, nemrznoucí kapalinová směs nebo syntetická kapalina s nízkým bodem tuhnutí a zpravidla také s vysokým bodem varu); vyznačují se malými průměry potrubního rozvodu v okruhu kolektorů
- vzduchové systémy - teplonosnou látkou v okruhu kolektorů je vzduch a vyznačuje se velkými průřezy rozváděcích kanálů. [5]

Podle konstrukčního provedení se dělí na:

- bazénové absorbéry - hlavní oblastí použití těchto kolektorů je ohřev vody v soukromých a veřejných koupalištích v letním období. Obecně vyjádřeno, jde o výrobu tepla na nízké teplotní úrovni. Bazénové kolektory jsou proto konstruovány tak, aby pracovaly s dobrým stupněm účinnosti v teplotní oblasti od 0 do 20°C oproti teplotě okolí. Vyrábí se z PE, PP nebo EPDM.
- ploché kolektory - skládají se z kovového absorberu a z ploché skříně, opatřené na sluneční straně transparentním krytem. Díky tepelně izolované skříně mohou ploché kolektory vyvinout teplo s dobrou účinností i při teplotách 40 až 60°C nad teplotou okolí. Hlavní oblastí využití je dnes příprava teplé vody, zejména mimo topné období.
- vakuové trubicové kolektory - uvnitř skleněné dvoustěnné vakuované trubice se nachází lamela absorberu, na kterém je uchycena teplosměnná trubka. Díky tomu jsou tepelné ztráty trubicových kolektorů velmi malé. Tyto trubice jsou vhodné pro aplikace s vyššími teplotami, jako např. při výrobě technologického tepla, nebo také pro vytápění s celoročním provozem.
- koncentrační kolektory - optickou cestou, zrcadly nebo čočkami se mnohonásobně zvýší záření na absorber. Tím mohou vyvinout podle stupně soustředění teploty od 80°C až přes 2000°C. Soustřeďovat se dá pouze přímé záření, takže ve středoevropském klimatu s převážně difuzním zářením zůstává tato možnost z větší části nevyužitelná. V zemích s vysokým podílem přímého slunečního záření se koncentrační kolektory využívají zejména na výrobu procesního tepla. [7]

Tepelná čerpadla (TČ) pracují na principu, který byl popsán již v minulém století anglickým fyzikem lordem Kelvinem a je znázorněn na Obr. č. 6.



Obr. 6. Princip tepelného čerpadla.

[12]

Tepelná čerpadla umožňují odnímat teplo okolnímu prostředí, převádět na vyšší teplotní hladinu a předávat je pro potřeby vytápění nebo pro ohřev vody. Činnost tepelného čerpadla je založena na pochodech spojených se změnou skupenství v závislosti na tlaku pracovní látky (chladiwa). Ve výparníku chladivo za nízkého tlaku a teploty odnímá teplo ochlazené látky (zdroji nízkopotenciálního tepla), dochází k varu a kapalné chladivo přiváděné do výparníku se postupně mění v páru. Páry chladiva jsou z výparníku odsávány, stlačeny na kondenzační tlak a v kondenzátoru předávají kondenzační teplo ohřivané látce a mění své skupenství na kapalné. Kapalné chladivo je po snížení tlaku přiváděno zpět do výparníku, kde doplňuje vypařené chladivo. Tím je okruh uzavřen. [12]



Podle způsobu získávání tepla můžeme tepelné čerpadla rozdělit do několika skupin:

- TČ vzduch - voda odebírá teplo z okolního vzduchu a předává ho do topné vody.
- TČ voda - voda odebírá teplo z vody (povrchové nebo vrtu) a předává ho do topné vody.
- TČ země - voda odebírá teplo ze země (podzemní plošný kolektor v hloubce cca 1,5 až 2m nebo hloubkový vrt o hloubce cca 100m) a předává ho do topné vody [6].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 2 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO ZAŘÍZENÍ

V další části bakalářské práce bude využito teoretických poznatků k návrhu technologického zařízení pro úpravu vody v bazénu. Pro srovnání budou provedeny dva výpočty pro dva venkovní bazény, a) plavecký bazén A, b) cvičný bazén B. Následně bude provedeno hodnocení energetických nároků a provozních nákladů těchto zařízení.

### 2.1 Filtrační zařízení

Bazén A je zvolen jako typický plavecký bazén s rozměry 50 x 25 m a průměrné hloubce vody 1,5 m. Objem bazénu A je:

$$V_A = 1875 \text{ m}^3$$

Bazén B je zvolen jako cvičný bazén s rozměry 6 x 2,5 m a průměrné hloubce vody 1,25 m. Objem bazénu B je:

$$V_B = 18,75 \text{ m}^3$$

Bazény jsou železobetonové monolitické konstrukce s přelivovým žlábkem a opatřeny ochranným vodonepropustným nátěrem.

Technologie a kapacita recirkulační úpravný vody a její provoz musí zajišťovat splnění ukazatelů jakosti bazénové vody. Intenzita recirkulace vody a doba zdržení vody pro plavecké a koupelové bazény se stanoví podle tabulky Tab. 1. Doba zdržení vody v plaveckých bazénech. [9]

Tab. 1. Doba zdržení vody v plaveckých bazénech.

Hloubka bazénu v metrech	Doba výměny (zdržení) vody v hodinách v nekrytém bazénu ( $\tau_z$ )
0,5	2,0
1,0	3,5
2,0	8,0
3,0	8,0
3,5	8,0
4,0	8,0

Potřebné recirkulované množství vody pro příslušný bazén v  $\text{m}^3/\text{h}$  se určuje podle rovnice (6), jako podíl objemu vody bazénu  $V [\text{m}^3]$  a doby zdržení (doby výměny) vody  $\tau_z [\text{h}]$ . [9]

$$O_V = V / \tau_z \quad (6)$$

a) *Oběhový výkon plaveckého bazénu A,  $O_{VA} [\text{m}^3/\text{h}]$*

Z tabulky (Tab. 1.) jsem vypočítal dobu zdržení, tj. pro průměrnou hloubku vody 1,5 m je doba zdržení v nekrytém bazénu stanovena jako součet doby zdržení vody v bazénu o hloubce vody 1,0 m a bazénu o hloubce vody 2,0 m dělený dvěma.

Z toho vyplývá, že doba zdržení vody v bazénu A je  $\tau_{zA} = 5,75 \text{ h}$ .

Po dosazení do rovnice (6) jsem získal potřebný oběhový výkon  $O_{VA}$ , který potřebuji k návrhu technologického zařízení bazénu A.

$$O_{VA} = V_A / \tau_{zA}$$

$$O_{VA} = 1875 / 5,75$$

$$O_{VA} = 326,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dle vypočtených hodnot navrhuji filtrační zařízení, o celkovém výkonu  $390 \text{ m}^3/\text{h}$ , včetně dvou kusů oběhových filtračních čerpadel o celkovém výkonu  $375 \text{ m}^3/\text{h}$ . Příkon čerpadel je  $2 \times 9,3 \text{ kW}$ .

b) *Oběhový výkon cvičného bazénu B,  $O_{VB} [\text{m}^3/\text{h}]$*

Obdobným způsobem jsem vypočítal dobu zdržení v bazénu B, kdy  $\tau_{zB} = 4,625 \text{ h}$ .

Po dosazení do rovnice (6) jsem získal potřebný oběhový výkon  $O_{VB}$ .

$$O_{VB} = V_B / \tau_{zB}$$

$$O_{VB} = 18,75 / 4,625$$

$$O_{VB} = 4,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dle vypočtených hodnot navrhuji filtrační zařízení, o výkonu  $6 \text{ m}^3/\text{h}$ , včetně jednoho oběhového filtračního čerpadla o výkonu  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Příkon čerpadla je  $1 \times 0,25 \text{ kW}$ .

## 2.2 Chemická úprava vody

Pro zabezpečení chemické nezávadnosti vody v bazénu A určeného pro veřejný provoz se používá desinfekčního činidla na bázi chlóru. Nejčastěji se jedná o kapalný chlornan sodný nebo plynný chlór v tlakových lahvích. Obecně platí, že při návrhu chemické úpravy vody se vychází z oběhového výkonu filtračního zařízení, kdy pro oběhový výkon do 150 m<sup>3</sup>/h se volí kapalný chlornan sodný a při výkonu nad 150 m<sup>3</sup>/h se doporučuje použít plynný chlór. Volba desinfekčního prostředku však závisí také na dalších okolnostech (skladovací prostory, poloha bazénu, atd.). [13]

Pro plavecký bazén A by vzhledem k oběhovému výkonu,  $O_{VA} = 390 \text{ m}^3/\text{h}$ , bylo nejvýhodnější použít plynný chlór v tlakových lahvích.

Spotřeba elektrické energie pro potřeby chemické úpravy vody plynným chlórem se pohybuje kolem 1,5 kW. Součástí chemické úpravy vody jsou dávkovací čerpadla, měřící a vyhodnocovací zařízení, posilové čerpadlo a čerpadlo odběru vzorků.

Pro cvičný bazén B by vzhledem k oběhovému výkonu,  $O_{VB} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$ , bylo nejvýhodnější použít kapalný chlornan sodný.

Spotřeba elektrické energie pro potřeby chemické úpravy vody kapalným chlornanem sodným se pohybuje kolem 0,5 kW. Součástí chemické úpravy vody jsou dávkovací čerpadla, měřící a vyhodnocovací zařízení a čerpadlo odběru vzorků.

Jako doplňkovou desinfekci je možné použít UV lampy nebo ozóngenerátory, které snižují celkovou spotřebu desinfekce a tím i náklady na provoz bazénů. Pro zjednodušení výpočtu energetické bilance se toto zařízení neuvažuje.

Další dávkované chemikálie potřebné pro udržení hygienické nezávadnosti vody jsou následující: přípravky pro korekci pH (pH plus, pH minus), flokulační přípravky (slouží k vyvločkování nečistot), algicidy (přípravky proti řasám) a další. [4]

## 2.3 Ohřev bazénové vody

Předpokládaná délka koupací sezóny venkovních bazénů v našich klimatických podmínkách je v období od června do srpna, tedy tři měsíce. Celková potřeba tepla na krytí tepelných ztrát bazénu se získá výpočtem dílčích rovnic (2), (3), (4) a dosazením do rovnice (5).

$$\dot{Q}_{p,c} = \dot{Q}_{p,z} + \dot{Q}_{p,sv} + \dot{Q}_{p,p} \quad (5)$$

kde

$\dot{Q}_{p,z}$  je měsíční potřeba tepla na krytí tepelné ztráty přestupem tepla z vodní hladiny venkovního bazénu [kWh/měs.]

$\dot{Q}_{p,sv}$  měsíční potřeba tepla na ohřev přiváděné studené vody [kWh/měs.]

$\dot{Q}_{p,p}$  měsíční spotřeba tepla pro pokrytí ztráty tepla přestupem stěnami a dnem bazénu [kWh/měs.]

### 2.3.1 Výpočet tepelných ztrát bazénu A

a) Výpočet tepelných ztrát přestupem z vodní hladiny bazénu A

Dosazení do rovnice (2) se získá dílčí výsledek měsíční potřeba tepla na krytí tepelné ztráty přestupem tepla z vodní hladiny venkovního bazénu v kWh/měs.

$$\dot{Q}_{p,z} = \frac{m}{1000} \tau_p \left[ \beta_p A_b \left( p''_{v(t_{w,p})} - p_{v(t_{es})} \right) \frac{l_w}{3600} + \alpha_e A_b (t_{w,p} - t_{es}) \right] + \quad (2)$$

$$\frac{m}{1000} (24 - \tau_p) \left[ \beta_n A_b \left( p''_{v(t_{w,n})} - p_{v(t_{en})} \right) \frac{l_w}{3600} + \alpha_e A_b (t_{w,n} - t_{en}) \right] - 0,85 \cdot m \cdot H_{den} \cdot A_b$$

kde

$m$  je počet dní v daném měsíci

$\tau_p$  denní provozní doba bazénu [h]

$\beta_p$  součinitel přenosu hmoty pro venkovní bazény v době provozu [kg/h.m<sup>2</sup>.Pa], uvažuje se jednotně  $\beta_p = 2,9 \cdot 10^{-4}$  kg/h.m<sup>2</sup>.Pa

$\beta_n$  součinitel přenosu hmoty pro venkovní bazény mimo dobu provozu [kg/h.m<sup>2</sup>.Pa], pro zakrývaný bazén se uvažuje  $\beta_n = 0$  kg/h.m<sup>2</sup>, pro nezakrývaný  $\beta_p = \beta_n$

$A_b$  plocha vodní hladiny bazénu [m<sup>2</sup>]

$t_{w,p}$  požadovaná teplota bazénové vody v době provozu bazénu [°C]

$t_{w,n}$  teplota bazénové vody v době mimo provoz bazénu [°C]

$t_{es}$  střední teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu, (den) [°C]

$t_{en}$  střední teplota venkovního vzduchu v době mimo slunečního svitu, (noc) [°C]

$p''_{v(t_{w,p})}$  tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny bazénu při teplotě vzduchu rovné teplotě bazénové vody  $t_w$  [Pa], ( $p''_{v(t_{w,p})} = 4250$  Pa při 28°C)

$p_{v(tw,n)}'' = p_{v(tw,p)}''$  při nezakryvané vodní hladině

$p_{v(tes)}$  tlak vodní páry v okolním vzduchu při venkovní teplotě a vlhkosti v příslušné části dne [Pa], ( $p_{v(tes)} = 1250$  Pa při 22°C a 50% vlhkosti vzduchu)

$p_{v(ten)}$  tlak vodní páry v okolním vzduchu při venkovní teplotě a vlhkosti v příslušné části dne [Pa], ( $p_{v(ten)} = 650$  Pa při 11°C a 50% vlhkosti vzduchu)

$l_w$  výparné teplo vody [J/kg], ( $l_w = 2,5 \cdot 10^6$  J/kg)

$\alpha_e$  součinitel přestupu tepla mezi okolním prostředím a hladinou bazénu prouděním [W/m<sup>2</sup>.K], uvažuje se  $\alpha_e = 15$  W/m<sup>2</sup>.K pro venkovní bazény

$H_{den}$  energie slunečního záření dopadající na volnou hladinu bazénu [kWh/m<sup>2</sup>.den] [10]

Tab. 2. Ztráty tepla bazénu A přestupem z vodní hladiny.

Měsíc	$m$	$H_{den}$	$\tau_p$	$A_b$	$t_{w,p}$	$t_{w,n}$	$t_{es}$	$t_{en}$	$\dot{Q}_{p,z}$
	[den]	[kWh/m <sup>2</sup> .den]	[h]	[m <sup>2</sup> ]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[kWh/měs]
VI	30	5,0	10	1250	28	28	22,6	11,4	608910
VII	31	5,2	10	1250	28	28	24,5	12,7	600995
VIII	31	4,8	10	1250	28	28	24,2	12,6	616728

b) Ohřev přiváděné studené vody do bazénu A

Dosazením do rovnice (3) se získá dílčí výsledek měsíční potřeby tepla na ohřev přiváděné studené vody v kWh/měs.:

$$\dot{Q}_{p,sv} = k \cdot \frac{V_{sv,os} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_w - t_{sv})}{3,6 \times 10^6} \quad (3)$$

kde

$k$  je počet návštěvníků v daném měsíci

$V_{sv,os}$  měrná potřeba přiváděné čisté vody na návštěvníka bazénu [m<sup>3</sup>/os.]

$\rho$  hustota vody při dané teplotě, [kg/m<sup>3</sup>]

$c$  měrná tepelná kapacita vody, [J/kg.K]

$t_{sv}$  teplota studené vody [°C], 12°C

$t_w$  teplota bazénové vody [°C], 28°C

[10]

Dle platné vyhlášky [9] se měsíční počet návštěvníků  $k$  stanovuje jako podíl vodní plochy  $A_b$  a koeficientu 5 (pro plavecké bazény) vynásobený koeficientem 3 a počtem dní v měsíci  $m$ . Množství ředící vody  $V_{sv,os}$  je 60 litrů na jednoho návštěvníka.

$$k = \frac{A_b}{5} \cdot 3 \cdot m \quad (7)$$

Tab. 3. Ohřev přiváděné vody do bazénu A.

Měsíc	$m$	$k$	$c$ (28°C)	$\rho$ (28°C)	$A_b$	$t_w - t_{sv}$	$\dot{Q}_{p,sv}$
	[den]	[osob]	[J/kg.K]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[°C]	[kWh/měs]
VI	30	22500	4,18.10 <sup>3</sup>	995,6	1250	16	24970
VII	31	23250	4,18.10 <sup>3</sup>	995,6	1250	16	25802
VII	31	23250	4,18.10 <sup>3</sup>	995,6	1250	16	25802

c) Výpočet tepelných ztrát přestupem stěnami a dnem bazénu A

Dosazením do rovnice (4) se získá dílčí výsledek měsíční potřeby tepla na pokrytí ztráty tepla přestupem stěnami a dnem bazénu A v kWh/měs.:

$$\dot{Q}_{p,p} = \frac{\alpha \cdot A_s \cdot (t_o - t_n) + 0,7 \cdot \alpha \cdot A_d \cdot (t_o - t_n)}{3,6 \cdot 10^6} \cdot 24 \cdot n \quad (4)$$

kde

$m$  je počet dní v daném měsíci

$t_o$  průměrná teplota vody v bazénu [°C]

$t_n$  průměrná teplota materiálu [°C]

$\alpha$  součinitel přestupu tepla mezi stěnou bazénu a vodou v bazénu volným prouděním [W/m<sup>2</sup>.K]

$A_s$  plocha stěn bazénu [m<sup>2</sup>], (pro bazén A se  $A_s = 225\text{m}^2$ )

$A_d$  plocha dna bazénu [m<sup>2</sup>], (pro bazén A se  $A_d = 1250\text{m}^2$ ) [3]



Pro výpočet součinitele přestupu tepla  $\alpha$  je nutné vyjádřit Grashofovo kritérium-  $Gr$  ze vztahu,

$$Gr = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot (t_0 - t_n) \quad (8)$$

kde

$t_0$  průměrná teplota vody v bazénu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_n$  průměrná teplota materiálu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$g$  tíhové zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

$l$  charakteristický rozměr, (pro bazén A  $l = 1,5\text{m}$ )

$\nu$  kinematická viskozita [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ], ( $\nu_{\text{H}_2\text{O}}$  při  $30^{\circ}\text{C} = 0,804 \cdot 10^{-6} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) [14]

$\beta$  součinitel objemové roztažnosti [ $\text{K}^{-1}$ ], ( $\beta_{\text{H}_2\text{O}}$  při  $30^{\circ}\text{C} = 3,04 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$ ) [14]

Po výpočtu Grashofova kritéria se dosadí do vztahu  $Gr.Pr$  a ze součinu Grashofova a Prandtlova kritéria se z tabulky Tab. 4. Tabulka hodnot určí konstanta  $C$  a exponent  $n$ .

Tab. 4. Tabulka hodnot.

$Gr.Pr$	$C$	$n$
$< 10^{-3}$	0,6	0
$< 1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^2 >$	1,18	1/8
$< 5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7 >$	0,54	1/4
$< 2 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^{13} >$	0,135	1/3

Dosazením do rovnice (9) se vypočítá Nusseltovo kritérium-  $Nu$

$$Nu = C \cdot (Gr.Pr)^n \quad (9)$$

kde

$C$  konstanta z Tab. 4. Konstanta  $C$  a exponent  $n$ ,  $C = 0,135$

$n$  exponent z Tab. 4. Konstanta  $C$  a exponent  $n$ ,  $n = 1/3$

$Gr$  Grashofova kritéria

$Pr$  Prandtlovo kritérium

[3]

Poslední výpočet pro vyjádření součinitele přestupu tepla je z následující rovnice (10),

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (10)$$

kde

$\alpha$  součinitel přestupu tepla mezi stěnou bazénu a vodou v bazénu volným prouděním  
[W/m<sup>2</sup>.K<sup>1</sup>]

$Nu$  Nusseltovo kritérium

$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti tekutiny [W/m<sup>1</sup>.K<sup>1</sup>], ( $\lambda_{H2O}$  při 30°C = 0,618 W/m<sup>1</sup>.K<sup>1</sup>) [14]

$l$  charakteristický rozměr, (pro bazén A  $l = 1,5$  m) [3]

Po dosazení do rovnic (8), (9) a (10) jsem získal všechny potřebné hodnoty k provedení výpočtu z rovnice (4). Vypočtené hodnoty jsou přehledně seřazeny v tabulce Tab. 5. Ztráty tepla přestupem do stěn a dna bazénu A.

Tab. 5. Ztráty tepla přestupem do stěn a dna bazénu A.

Měsíc	$m$	$t_0$	$t_n$	$Gr$	$Nu$	$\alpha$	$\dot{Q}_{p,p}$
	[den]	[°C]	[°C]			[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	[kWh/měs]
VI	30	28	26	1,7127.10 <sup>11</sup>	749,7	308,87	135,9
VII	31	28	26	1,7127.10 <sup>11</sup>	749,7	308,87	140,4
VIII	31	28	26	1,7127.10 <sup>11</sup>	749,7	308,87	140,4

### 2.3.2 Nároky na elektrickou energii ohřevu bazénu A

Nároky na elektrickou energii se budou výrazně lišit v závislost na způsobu pokrytí tepelných ztrát bazénu A. Použitím tepelného čerpadla nám několikanásobně vzrostou v porovnání, například se solárními panely. Jako výpočtovou hodnotu jsem zvolil 5,0 kW, což představuje posilové čerpadlo ohřevu.

### 2.3.3 Výpočet tepelných ztrát bazénu B

Při výpočtu tepelných ztrát bazénu B se postupuje stejným způsobem jako v případě bazénu A. Výpočtem rovnic (2), (3) a (4) jsem získal dílčí výsledky, které jsem dosadil do rovnice (5).

## a) Výpočet tepelných ztrát přestupem z vodní hladiny bazénu B

Při výpočtu se postupuje stejně jako u bazénu A. Dosazením do rovnice (2) jsem získal dílčí hodnotu tepelné ztráty způsobenou přestupem tepla z vodní hladiny.

Tab. 6. Ztráty tepla bazénu B přestupem z vodní hladiny.

Měsíc	$m$	$H_{den}$	$\tau_p$	$A_b$	$t_{w,p}$	$t_{w,n}$	$t_{es}$	$t_{en}$	$\dot{Q}_{p,z}$
	[den]	[kWh/m <sup>2</sup> .den]	[h]	[m <sup>2</sup> ]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[kWh/měs]
VI	30	5,0	10	15	28	28	22,6	11,4	7307
VII	31	5,2	10	15	28	28	24,5	12,7	7212
VIII	31	4,8	10	15	28	28	24,2	12,6	7401

## b) Ohřev přiváděné studené vody do bazénu B

Při výpočtu se postupuje stejně jako u bazénu A. Dosazením do rovnice (3) jsem získal dílčí hodnotu tepelné ztráty způsobenou ohřevem studené vody přiváděné do bazénu.

Tab. 7. Ohřev přiváděné vody do bazénu B.

Měsíc	$m$	$k$	$c (28^\circ\text{C})$	$\rho (28^\circ\text{C})$	$A_b$	$t_w - t_{sv}$	$\dot{Q}_{p,sv}$
	[den]	[osob]	[J/kg.K]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[°C]	[kWh/měs]
VI	30	270	4,18.10 <sup>3</sup>	995,6	15	16	300
VII	31	279	4,18.10 <sup>3</sup>	995,6	15	16	309
VII	31	279	4,18.10 <sup>3</sup>	995,6	15	16	309

## c) Výpočet tepelných ztrát přestupem stěnami a dnem bazénu B

Dosazením do rovnice (4) jsem získal dílčí výsledek měsíční potřeby tepla na pokrytí ztráty tepla přestupem stěnami a dnem bazénu B v kWh/měs.:

$$\dot{Q}_{p,p} = \frac{\alpha \cdot A_s \cdot (t_o - t_n) + 0,7 \cdot \alpha \cdot A_d \cdot (t_o - t_n)}{3,6 \cdot 10^6} \cdot 24 \cdot n \quad (4)$$

kde

$m$  je počet dní v daném měsíci

$t_o$  průměrná teplota vody v bazénu [°C]

$t_n$  průměrná teplota materiálu [°C]

$\alpha$  součinitel přestupu tepla mezi stěnou bazénu a vodou v bazénu volným prouděním [W/m<sup>2</sup>.K<sup>1</sup>]

$A_s$  plocha stěn bazénu [m<sup>2</sup>], (pro bazén  $B$  se  $A_s = 21,25$  m<sup>2</sup>)

$A_d$  plocha dna bazénu [m<sup>2</sup>], (pro bazén  $B$  se  $A_d = 15$  m<sup>2</sup>) [3]

Pro výpočet součinitele přestupu tepla  $\alpha$  je nutné vyjádřit Grashofovo kritérium-  $Gr$  ze vztahu,

$$Gr = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot (t_0 - t_n) \quad (8)$$

kde

$t_0$  průměrná teplota vody v bazénu [°C]

$t_n$  průměrná teplota materiálu [°C]

$g$  tíhové zrychlení [m.s<sup>-2</sup>]

$l$  charakteristický rozměr, (pro bazén  $B$   $l = 1,25$  m) [3]

$\nu$  kinematická viskozita [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>], ( $\nu_{H_2O}$  při 30°C = 0,804.10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>) [14]

$\beta$  součinitel objemové roztažnosti [K<sup>-1</sup>], ( $\beta_{H_2O}$  při 30°C = 3,04.10<sup>-4</sup> K<sup>-1</sup>) [14]

Po výpočtu Grashofova kritéria se dosadí do vztahu  $Gr.Pr$  a ze součinu Grashofova a Prandtlova kritéria se z tabulky Tab. 4. Tabulka hodnot určí konstanta  $C$  a exponent  $n$ .

Dosazením do rovnice (9) se vypočítá Nusseltovo kritérium  $Nu$ ,

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n \quad (9)$$

kde

$C$  konstanta z Tab. 4. Konstanta  $C$  a exponent  $n$ ,  $C = 0,135$

$n$  exponent z Tab. 4. Konstanta  $C$  a exponent  $n$ ,  $n = 1/3$

$Gr$  Grashofova kritéria

$Pr$  Prandtlovo kritérium [3]

Poslední výpočet pro vyjádření součinitele přestupu tepla je z následující rovnice (10),

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (10)$$

kde

$\alpha$  součinitel přestupu tepla mezi stěnou bazénu a vodou v bazénu volným prouděním [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>]

$Nu$  Nusseltovo kritérium

$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti tekutiny [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>], ( $\lambda_{H_2O}$  při 30°C = 0,618 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) [14]

$l$  charakteristický rozměr, pro bazén A  $l = 1,25$  m [3]

Po dosazení do rovnic (8), (9) a (10) se získají všechny potřebné hodnoty k provedení výpočtu z rovnice (4). Vypočtené hodnoty jsou přehledně seřazeny v tabulce Tab. 5. Ztráty tepla přestupem do stěn a dna bazénu B.

Tab. 8. Ztráty tepla přestupem do stěn a dna bazénu B.

Měsíc	$m$	$t_0$	$t_n$	$Gr$	$Nu$	$\alpha$	$\dot{Q}_{p,p}$
	[den]	[°C]	[°C]	--	--	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	[kWh/měs]
VI	30	28	26	1,8022.10 <sup>10</sup>	353,7	174,87	2,2
VII	31	28	26	1,8022.10 <sup>10</sup>	353,7	174,87	2,3
VIII	31	28	26	1,8022.10 <sup>10</sup>	353,7	174,87	2,3

#### 2.3.4 Nároky na elektrickou energii ohřevu bazénu B

Nároky na elektrickou energii se budou výrazně lišit v závislosti na způsobu pokrytí tepelných ztrát bazénu B. Jako výpočtovou hodnotu jsem zvolil 0,5 kW, což představuje posilové čerpadlo ohřevu.

### 3 ENERGETICKÁ BILANCE

V závěrečné části bakalářské práce jsem provedl shrnutí energetických nároků na provoz bazénů A a B. Následně jsem vypočítal předpokládané provozní náklady a navrhnul úsporná opatření s ohledem na ekonomiku provozu.

#### 3.1 Shrnutí energetických nároků

Shrnutím energetických nároků se získá přehled o celkových nárocích na energie potřebné k provozu bazénů.

##### 3.1.1 Nároky na pokrytí tepelné ztráty

Výpočtem celkové tepelné ztráty bazénu se získají potřebné informace k návrhu zdroje topné energie.

Tab. 9. Celkové tepelné ztráty bazénu A.

Měsíc	Ztráty tepla přestupem z hladiny, $\dot{Q}_{p,z}$	Ohřev studené vody, $\dot{Q}_{p,sv}$	Ztráty tepla přestupem stěnami a dnem $\dot{Q}_{p,p}$	Celkové ztráty tepla za měsíc $\dot{Q}_{p,c}$	Průměrná ztráta tepla za den
	[kWh/měs]	[kWh/měs]	[kWh/měs]	[kWh/měs]	[kWh/den]
VI	608910	24970	135,9	634015,9	21133,9
VII	600995	25802	140,4	626937,4	20223,8
VII	616728	25802	140,4	642670,4	20731,3

Tab. 10. Celkové tepelné ztráty bazénu B.

Měsíc	Ztráty tepla přestupem z hladiny, $\dot{Q}_{p,z}$	Ohřev studené vody, $\dot{Q}_{p,sv}$	Ztráty tepla přestupem stěnami a dnem $\dot{Q}_{p,p}$	Celkové ztráty tepla za měsíc $\dot{Q}_{p,c}$	Průměrná ztráta tepla za den
	[kWh/měs]	[kWh/měs]	[kWh/měs]	[kWh/měs]	[kWh/den]
VI	7307	300	2,2	7609,2	253,6
VII	7212	309	2,3	7523,3	242,7
VII	7401	309	2,3	7712,3	248,8

### 3.1.2 Nároky na elektrickou energii

Nároky na elektrickou energii vycházejí z návrhu technologického zařízení. To je určeno zejména vyhláškou [9] a minimálními požadavky na recirkulaci vody v bazénu. Nároky na elektrickou energii jsou přehledně shrnuty v tabulce Tab. 10. Nároky na elektrickou energii.

Tab. 11. Nároky na elektrickou energii.

	<i>Filtrační oběhová čerpadla</i>	<i>Dávkování chemie</i>	<i>Posilové čerpadlo ohřevu</i>	$\Sigma$
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
Bazén A	2 x 9,3	1,5	5,0	25,10
Bazén B	0,25	0,5	0,5	1,25

## 3.2 Výpočet provozních nákladů

Výpočet provozních nákladů nám slouží ke zjištění celkových nákladů na provoz zařízení a k odhadu návratnosti nebo ztrátovosti investice.

### 3.2.1 Náklady na pokrytí tepelné ztráty bazénu

Náklady na spotřebu tepelné energie jsou dány zejména okolním prostředím a můžeme je ovlivňovat jen v omezené míře výběrem topného zdroje a tepelnou izolací zařízení.

Tab. 12. Náklady na pokrytí tepelné ztráty bazénu.

	<i>Celkové ztráty tepla za sezónu, <math>\dot{Q}_{p,c}</math></i>	<i>Cena za jednotku, <math>C_j</math></i>	<i>Náklady na sezónu, <math>N_s</math></i>
	[kWh]	[Kč/kWh]	[Kč s DPH]
Bazén A	1.903.623,7	1,71	3.255.196,5
Bazén B	22.844,8	1,71	39.064,6

Pozn.:  $C_j$  cena tepelné energie v roce 2010 včetně DPH

Zdroj: TEPLO ZLÍN, a.s., (475,50 Kč/GJ včetně DPH)

### 3.2.2 Náklady na spotřebu elektrické energie

Náklady na spotřebu elektrické energie jsou dány dobou provozu a typem zařízení. Výběrem zařízení s nižší spotřebou energie dochází k dlouhodobě významným úsporám energií a finančních prostředků.

Tab. 13. Náklady na pokrytí tepelné ztráty bazénu.

	Název zařízení	Doba provozu za den	Spotřeba za den	Spotřeba za sezónu	Náklady na sezónu, $N_s$
		[h]	[kWh]	[kWh]	[Kč s DPH]
Bazén A	Filtrační oběhové čerpadlo č.1, (9,3 kW)	24	223,2	39.633,6	172.406,2
	Filtrační oběhové čerpadlo č.2, (9,3 kW)	12	111,6		
	Dávkování chemie, (1,5kW)	24	36		
	Posilové čerpadlo ohřevu, (5,0 kW)	12	60		
Bazén B	Filtrační oběhové čerpadlo č.1, (0,25 kW)	12	3	1.380,0	6.003
	Dávkování chemie, (0,5 kW)	12	6		
	Posilové čerpadlo ohřevu, (0,5 kW)	12	6		

Pozn.:  $C_j$  cena elektrické energie v roce 2010 včetně DPH

Zdroj: ČEZ, a.s., (4,35Kč/kWh včetně DPH)

## 3.3 Návrh technologie s ohledem na ekonomiku provozu

### 3.3.1 Technologie bazénu A

Návrh bazénové technologie vychází z vyhlášky [9]. Technologie bazénu A se skládá z vyrovnávací nádrže, oběhových čerpadel filtrace, filtračního zařízení, chemické úpravy vody a bazénových absorbérů pro ohřev vody. Způsob ohřevu vody je zvolen s ohledem na vysoké tepelné ztráty, které je nutné pokrýt pro zajištění komfortu návštěvníků. Během letního období, kdy je relativní dostatek slunných dnů k zajištění ohřevu vody na požadovanou teplotu, je výhodné použít právě tento způsob k ohřevu bazénové vody.



Další výhodou bazénových absorberů je snadná instalace, nízké pořizovací náklady a náklady na provoz. Zpravidla se instaluje posilové čerpadlo, které zajistí potřebný průtok plastovými absorberů, kde dochází k vlastnímu ohřevu vody. Další zařízení nebo teplotnosné média nejsou potřeba.

Mezi nevýhody patří velké nároky na prostor pro instalaci plastových absorberů.

### **3.3.2 Technologie bazénu B**

Návrh bazénové technologie vychází z vyhlášky [9]. Technologie bazénu *B* je složena z vyrovnávací nádrže, oběhového čerpadla filtrace, filtračního zařízení, chemické úpravy vody a bazénových absorberů pro ohřev vody. Způsob ohřevu vody je zvolen s ohledem na nízké pořizovací i provozní náklady. Další významné úspory lze dosáhnout zakrytím hladiny vody v době mimo provoz bazénu.

Zakrytím vodní hladiny se sníží tepelné ztráty přestupem z hladiny. V případě použití čirých zakrývacích lamel nebo solární plachty se navíc zachovají tepelné zisky dopadem slunečního záření na vodní hladinu.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zhodnotit jednotlivé procesy bazénové technologie z hlediska energetické náročnosti a pokusit se navrhnout takové opatření, které by pomohlo snížit náklady na provoz těchto zařízení.

Prvním hodnoceným procesem byla filtrace vody. Z hlediska nároků na energie vycházíme z požadovaného oběhového výkonu, který nám zaručuje potřebnou hygienickou nezávadnost vody. Daný oběhový výkon zajišťují čerpadla, která cirkulují vodu z bazénu přes filtrační zařízení zpět do bazénu. Úspory ve spotřebě elektrické energie je možné dosáhnout volbou čerpadel s frekvenčním měničem a regulovanou dobou provozu čerpadel v závislosti na zatížení bazénu. Spotřeba energie je přímo závislá na volbě čerpadel, která dodávají potřebný oběhový výkon. To znamená, že čím menší bude oběhový výkon úpravny vody, tím menší bude spotřeba elektrické energie. Z hlediska spotřeby energie patří filtrace vody k náročnějším procesům úpravy bazénové vody.

Dalším z hodnocených procesů byla chemická úprava vody. Z hlediska nároků na spotřebu energie se jedná o nepříliš náročnou, ale nezbytnou součást úpravy vody v bazénu. Spotřeba energie pro chemickou úpravu vody se u veřejných provozů téměř neliší a prostor pro úspory z hlediska spotřeby energie je minimální.

Poslední proces hodnocený z hlediska energetické náročnosti byl ohřev vody. Potřebný výkon k udržení požadované teploty v bazénu jsem stanovil výpočtem tepelných ztrát, které jsem rozdělil na ztrátu tepla přestupem z vodní hladiny, ohřevem dopouštěné vody a přestupem do stěn a dna bazénu. Dílčími výpočty se potvrdila domněnka, že největší ztráty tepla jsou přestupem z vodní hladiny. Další co do velikosti jsou ztráty tepla ohřevem dopouštěné vody. Dle předpokladů se ztráty tepla přestupem do stěn a dna bazénu na celkové tepelné ztrátě podílejí minimálně, přibližně jedním procentem a při výpočtech je můžeme zanedbat. Ohřev je energeticky nejnáročnější část z úpravy bazénové vody. Z výše uvedeného vyplývá, že úsporné opatření je vhodné realizovat zejména zakrytím hladiny, volbou nejdostupnějšího topného média, případně snížením požadované teploty vody v bazénu.

Celkové ztráty tepla bazénu A za dobu tří měsíců jsou 1.903.624 kWh. Celkové ztráty tepla bazénu B za dobu tří měsíců jsou 22.845 kWh.

Spotřeba elektrické energie bazénu *A* za dobu tří měsíců je 39.634 kWh. Spotřeba elektrické energie bazénu *B* za dobu tří měsíců je 1.380 kWh.

Z výše uvedeného vyplývá, že není možné posuzovat nároky na energie těchto zařízení poměrovým přepočítáním, ale je třeba každý návrh řešit samostatným výpočtem.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] RIEGER, F., NOVÁK, V., JIROUT, T.: *Hydromechanické procesy I*, 1.vyd., Vydavatelství ČVUT, Praha, 2005, 209s., ISBN 80-01-03286-8
- [2] ZÁBRANSKÁ, J. a kol.: *Laboratorní metody v technologii vody*, 1.vyd., Vydavatelství VŠCHT, Praha, 1997, 168s., ISBN 80-7080-272-3
- [3] NEUŽIL, L., MÍKA, V.: *Chemické inženýrství I*, 2.vyd., Vydavatelství VŠCHT, Praha, 1998, 464s., ISBN 80-7080-312-6
- [4] ŽÁČEK, L.: *Chemické a technologické procesy úpravy vody*, 1.vyd., SNTL, Praha, 1981, 272s.
- [5] CIHELKA, J.: *Solární tepelná technika*, 1.vyd., Nakladatelství T. Malina, Praha, 1994, 208s., ISBN 80-900759-5-9
- [6] TINTĚRA, L.: *Tepelná čerpadla*, 1.vyd., Nakladatelství ARCH, Praha, 2003, 121s., ISBN 80-86165-61-2
- [7] LADENER, H., SPÄTE, F.: *Solární zařízení*, 1.vyd., Grada Publishing a.s., Praha, 2003, 268s., ISBN 80-247-0362-9
- [8] MACEK, L.: *Sborník příspěvků - Voda Zlín 2009 - AAS- Možnosti aplikace nového filtračního média pro úpravu pitné vody*, Moravská vodárenská a.s., Zlín, 220s., ISBN 978-80-254-3935-7
- [9] 135/2004 Sb. VYHLÁŠKA ze dne 17.března 2004, kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních a hracích ploch
- [10] MATUŠKA, T. *Zjednodušený výpočtový postup energetického zhodnocení solárních soustav* Dostupný z <http://www.opzp.cz/ke-stazeni/384/4497/detail/zjednoduseny-vypoctovy-postup-energetickeho-hodnoceni-solarnich-soustav-prioritni-osa-3/>, poslední revize 22. 5. 2010
- [11] TICHÁ, M. *Posuzování životního cyklu LCA* Dostupný z [http://www.cenia.cz/\\_C12572160037AA0F.nsf/\\$pid/CPRJ772CLGL5/\\$FILE/13Ticha\\_LCA.pdf](http://www.cenia.cz/_C12572160037AA0F.nsf/$pid/CPRJ772CLGL5/$FILE/13Ticha_LCA.pdf), poslední revize 22. 5. 2010
- [12] CENKA, M. a kol., *Obnovitelné zdroje energie*, 2.vyd., FCC Public s.r.o., Praha, 2001, 208s., ISBN 80-901985-8-9
- [13] CENTROPROJEKT a.s., *Bazénové technologie - projekční podklady*

- [14] CHARVÁTOVÁ, H., JANÁČOVÁ, D., KOLOMAZNÍK, K., DVOŘÁK, Z.,  
*Termofyzikální vlastnosti vybraných látek, 1.vyd.*, Univerzita Tomáše Bati ve  
Zlíně, Zlín, 2009, 122s., ISBN 978-80-7318-787-3

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$A_b$	plocha vodní hladiny bazénu	[m <sup>2</sup> ]
$A_d$	plocha dna bazénu	[m <sup>2</sup> ]
$A_s$	plocha stěn bazénu	[m <sup>2</sup> ]
BSK	Biochemická spotřeba kyslíku	
$C$	konstanta	[1]
$c$	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
EPDM	Ethylen-propylen-butadienový kaučuk	
$g$	tíhové zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$Gr$	Grashofovo kritérium	[1]
$H_{den}$	energie slunečního záření dopadající na volnou hladinu bazénu	[kWh/m <sup>2</sup> .den]
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku	
$k$	počet návštěvníků v daném měsíci	[1]
$l$	charakteristický rozměr	[m]
LCA	Life cycle assessment	
$l_w$	výparné teplo vody	[J/kg]
$m$	počet dní v daném měsíci	[1]
$n$	exponent	[1]
$Nu$	Nusseltovo kritérium	[1]
$O_v$	oběhový výkon	[m <sup>3</sup> /h]
PE	Polyethylen	
pH	reakce vody	
PP	Polypropylen	
$Pr$	Prandtlovo kritérium	[1]
$p_{v(t_v)}$	tlak vodní páry v okolním vzduchu při teplotě $t_v$ a vlhkosti $\varphi_v$	[Pa]

$p_{v(te)}$	tlak vodní páry v okolním vzduchu při venkovní teplotě a vlhkosti v příslušné části dne	[Pa]
$p''_{v(tw)}$	tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny bazénu při teplotě vzduchu rovné teplotě bazénové vody $t_w$	[Pa]
$\dot{Q}_{p,c}$	celková potřeba tepla na krytí tepelných ztrát bazénu	[kWh/měs.]
$\dot{Q}_{p,p}$	měsíční spotřeba tepla pro pokrytí ztráty tepla přestupem stěnami a dnem bazénu	[kWh/měs.]
$\dot{Q}_{p,sv}$	měsíční potřeba tepla na ohřev přiváděné studené vody	[kWh/měs.]
$\dot{Q}_{p,z}$	měsíční potřeba tepla na krytí tepelné ztráty přestupem tepla z vodní hladiny venkovního bazénu	[kWh/měs.]
SFŽP ČR Státní fond životního prostředí České republiky		
TČ	tepelné čerpadlo	
$t_{en}$	střední teplota venkovního vzduchu v době mimo slunečního svitu	[°C]
$t_{es}$	střední teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu	[°C]
$t_o$	průměrná teplota vody v bazénu	[°C]
$t_n$	průměrná teplota materiálu	[°C]
$t_{sv}$	teplota studené vody	[°C]
$t_{v,n}$	vnitřní teplota v bazénové místnosti v době mimo provoz bazénu	[°C]
$t_{v,p}$	vnitřní teplota v bazénové místnosti v době provozu bazénu	[°C]
$t_w$	teplota bazénové vody	[°C]
$t_{w,n}$	teplota bazénové vody v době mimo provoz bazénu	[°C]
$t_{w,p}$	požadovaná teplota bazénové vody v době provozu bazénu	[°C]
ÚT	ústřední vytápění	
UV	ultrafialové (ultraviolet) záření	
V	objem bazénu	[m <sup>3</sup> ]

---

$V_{sv,os}$	měrná potřeba přiváděné čisté vody na návštěvníka bazénu	$[m^3]$
$\alpha$	přestupu tepla mezi stěnou bazénu a vodou v bazénu volným prouděním	$[W/m^2.K^1]$
$\alpha_i$	součinitel přestupu tepla mezi okolním prostředím a hladinou bazénu prouděním, pro vnitřní bazény	$[W/m^2.K^1]$
$\alpha_e$	součinitel přestupu tepla mezi okolním prostředím a hladinou bazénu prouděním, pro venkovní bazény	$[W/m^2.K^1]$
$\beta$	součinitel objemové roztažnosti	$[K^{-1}]$
$\beta_n$	součinitel přenosu hmoty pro bazény mimo dobu provozu	$[kg/h.m^2.Pa]$
$\beta_p$	součinitel přenosu hmoty pro bazény v době provozu	$[kg/h.m^2.Pa]$
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti tekutiny	$[W/m^1.K^1]$
$\nu$	kinematická viskozita	$[m^2.s^{-1}]$
$\rho$	hustota vody při dané teplotě	$[kg/m^3]$
$\tau_p$	denní provozní doba bazénu	$[h]$
$\tau_z$	doba zdržení vody v bazénu	$[h]$



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

OBR. 1. OBECNÉ SCHÉMA BAZÉNOVÉ TECHNOLOGIE .....	13
OBR. 2. POVRCHOVÁ FILTRACE.....	14
OBR. 3 HLOUBKOVÁ FILTRACE. ....	14
OBR. 4. SCHÉMA PÍSKOVÉHO FILTRU. ....	16
OBR. 5. SDÍLENÍ TEPLA PROUDĚNÍM.....	21
OBR. 6. PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA.....	24

**SEZNAM TABULEK**

TAB. 1. DOBA ZDRŽENÍ VODY V PLAVECKÝCH BAZÉNECH.....	27
TAB. 2. ZTRÁTY TEPLA BAZÉNU <i>A</i> PŘESTUPEM Z VODNÍ HLADINY.....	31
TAB. 3. OHŘEV PŘIVÁDĚNÉ VODY DO BAZÉNU <i>A</i> .....	32
TAB. 4. TABULKA HODNOT. ....	33
TAB. 5. ZTRÁTY TEPLA PŘESTUPEM DO STĚN A DNA BAZÉNU <i>A</i> .....	34
TAB. 6. ZTRÁTY TEPLA BAZÉNU <i>B</i> PŘESTUPEM Z VODNÍ HLADINY.....	35
TAB. 7. OHŘEV PŘIVÁDĚNÉ VODY DO BAZÉNU <i>B</i> .....	35
TAB. 8. ZTRÁTY TEPLA PŘESTUPEM DO STĚN A DNA BAZÉNU <i>B</i> .....	37
TAB. 9. CELKOVÉ TEPELNÉ ZTRÁTY BAZÉNU <i>A</i> . ....	38
TAB. 10. CELKOVÉ TEPELNÉ ZTRÁTY BAZÉNU <i>B</i> . ....	38
TAB. 11. NÁROKY NA ELEKTRICKOU ENERGII. ....	39
TAB. 12. NÁKLADY NA POKRYTÍ TEPELNÉ ZTRÁTY BAZÉNU.....	39
TAB. 13. NÁKLADY NA POKRYTÍ TEPELNÉ ZTRÁTY BAZÉNU.....	40