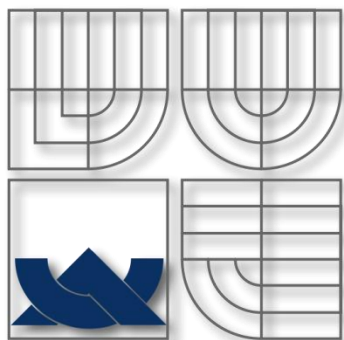




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HODPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

FILTRAČNÍ CYKLUS A REGENERACE VODÁRENSKÝCH FILTRŮ FILTRATION CYCLE AND REGENERATION OF RAPID FILTERS FOR WATER TREATMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN SKŘÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.

BRNO 2016

ZADÁNÍ VŠKP

Originál zadání je součástí diplomové práce – vloženo do vazby.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Jan Skřiček

Název Filtreační cyklus a regenerace vodárenských filtrů

Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2015

Datum odevzdání bakalářské práce 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu



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

Podklady a literatura

- [1] AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c1990, 1194 s. ISBN 0-07-001540-6.
- [2] Operational control of coagulation and filtration processes. 2nd ed. Denver, Colo.: American Water Works Association, c2000, 103 s. ISBN 15-832-1055-5.
- [3] LIN, Shun Dar. Water and wastewater calculations manual. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2007, 945 s. ISBN 00-714-7624-5.
- [4] Water treatment plant design. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c2005, 1 s. ISBN 00-714-1872-5.
- [5] Water treatment handbook. 7th [English] ed. Rueil-Malmaison, France: Degremont, 2007. ISBN 978-2-7430-0970-0.

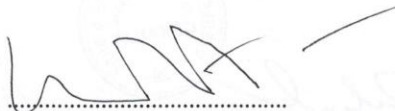
Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Student se bude zabývat filtrací ve vodárenství – konkrétně provozem filtračních jednotek. Provede podrobnou rešerši na toto téma, zejména ze zahraniční literatury, přičemž se zaměří především na rychlofiltry, a to tlakové i otevřené. Řešeny budou vybrané výkonnostní parametry filtrů, především délka filtračního cyklu, filtrační délka a kalová kapacita. Část práce by se měla věnovat i drenážním systémům. Předpokládá se práce s filtračním modelem v laboratoři.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

První část je rešeršní na téma filtrace ve vodárenství, kde jsem čerpal z české a zahraniční literatury. Druhá část práce je věnována vybraným výkonnostním parametrům filtrace. Třetí část se zabývá drenážními systémy. Závěr je věnovaný praktické části a to návštěvě dvou úpraven vody a vyhodnocení provozu na jedné z nich.

KLÍČOVÁ SLOVA

Filtr, filtrace, filtrační materiál, filtrační cyklus, filtrační délka, regenerace filtrů, praní filtru, rychlofiltr.

ABSTRACT

The first research part is focused on filtration in water works – the information where gained from Czech and foreign literature. The next section looks into the selected performance parameters of filtration. The third section is about underdrain systems. The last part is concerned with the practical experience from the visit of two water treatment plants and evaluation of operation at one of them.

KEYWORDS

Filter, filtration, filtration material, filtration cycle, filtration length, regeneration filters, filter output, filter backwashing.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

SKŘÍČEK, Jan. *Filtrační cyklus a regenerace vodárenských filtrů*. Brno, 2016. 60 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis autora
Jan Skříček

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce, kterým je pan Ing. Tomáš Kučera, Ph. D., za odbornou spolupráci, připomínky, poskytnutí literatury a trpělivost při realizaci této práce. Dále bych poděkoval vedoucí provozu VAS, a.s. paní Miladě Schneiderové za umožnění prohlídek a poskytnutí technických podkladů. A v neposlední řadě děkuji své rodině za ochotu a trpělivost.

OBSAH

1.	ÚVOD.....	10
2.	FILTRACE	11
2.1	MECHANISMUS - SEPARACE NEČISTOT	12
2.2	POMALÁ FILTRACE - BIOLOGICKÁ	13
2.2.1	Uspořádání pomalého filtru	14
2.2.2	Regenerace pomalého filtru	14
2.2.3	Použití pomalého filtru	15
2.3	RYCHLOFILTRACE	16
2.3.1	Otevřený filtr	16
2.3.2	Tlakový filtr	18
2.3.3	Regenerace filtru	18
3.	VÝKONNOSTNÍ PARAMETRY FILTRŮ.....	20
3.1	FILTRAČNÍ MATERIÁLY	20
3.2	FILTRAČNÍ CYKLUS	25
3.2.1	Filtrační fáze	25
3.2.2	Prací fáze	26
3.3	FILTRAČNÍ DÉLKA.....	26
3.4	KALOVÁ KAPACITA.....	27
3.5	ZÁKAL	27
4.	DRENÁŽNÍ SYSTÉMY.....	29
4.1	DRENÁŽNÍ SYSTÉM S MEZIDNEM.....	29
4.2	DRENÁŽNÍ SYSTÉM BEZ MEZIDNA.....	30
4.2.1	Leopold.....	30
4.2.2	Aquafilter.....	31
4.2.3	Triton	32
5.	PŘÍPADOVÉ STUDIE	34
5.1	ÚPRAVNA VODY LOMNÍČKA	34
5.1.1	Popis úpravny	34
5.1.2	Technologie předúpravy	35
5.1.3	Technologie úpravy	35
5.1.4	Popis filtrů	36
5.1.5	Regenerace, zafiltrování	37
5.1.6	Ukázka provozních hodnot	39
1.	Objemy filtrované vody	39
2.	Filtrační délka	40
3.	Objem prací vody.....	41
4.	Přínos rekonstrukce.....	43

5.	Čistá jednotková výroba.....	45
6.	Finanční rozvaha	45
5.3.2	Výsledek rekonstrukce.....	47
5.2	ÚPRAVNA VODY ČEBÍN	48
5.2.1	Popis úpravny	48
5.2.2	Technologický cyklus	49
5.3	ZHODNOCENÍ.....	52
6.	ZÁVĚR	53
7.	POUŽITÁ LITERATURA.....	54
	SEZNAM TABULEK	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	59
	SUMMARY	60

1. ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá filtrací, která představuje separační proces, při kterém se z vody odstraňují částice nerozpuštěných látek určité velikosti. Téma „Filtrační cyklus a regenerace vodárenských filtrů“ jsem si vybral hlavně z důvodu, že bych se po ukončení studia rád věnoval problémům týkající se vody. Měl jsem také možnost zpracovat praktickou část, byl jsem na dvou úpravárnách vody v blízkém okolí mého bydliště.

Bakalářská práce je rozdělena do čtyř částí:

První část je rešeršní zaměřená na filtraci. Zmiňuji se zde o filtraci jako celku, o objemové a náplavné filtraci. Popisuji síly, které působí při filtraci - mechanické cezení, usazování, adsorpce a působení elektrostatických sil. Dále se zmiňuji o pomalé biologické filtraci a rychlofiltraci, kde jsem se zaměřil na otevřený a tlakový rychlofiltr. U obou filtrů se zabývám uspořádáním, použitím a regenerací.

Ve druhé části jsou popsány výkonnostní parametry filtrů. Popisuji zde filtrační materiály, jako například hydroantracit, filtralite, dorsilit, greensand atd. Zmiňuji se o filtračním cyklu a to o filtrační a prací fázi. Dále popisuji filtrační délku, kalovou kapacitu a zákal.

Třetí část jsem zpracoval na téma drenážní systémy, kde jsem se blíže věnoval scezovacím systémům bez mezidna a s mezidnem. Podrobněji jsem popsal typy Aquafilter, Leopold a Triton, které se řadí k drenážním systémům bez mezidna.

Poslední část jsem věnoval praktické části, konkrétně návštěvě dvou úpraven vody. Na jedné z nich jsem dostal číselné hodnoty, které jsem dále zpracoval do tabulek. Počítal jsem objemy filtrované vody, filtrační délku, objem prací vody, čistou jednotkovou výrobu a finanční rozvahu. Výsledné hodnoty jsem pak porovnal mezi stavem před rekonstrukcí a po rekonstrukci.

2. FILTRACE

Filtrace je separační proces, který spočívá v odstranění pevných látek ze surové vody, a to ve formě suspendovaných, koloidních, či rozpuštěných látek. S filtrací se můžeme potkávat na čistírnách odpadních vod, úpravnách povrchových vod a dalších zařízeních k úpravě podzemních vod. Množství sedimentů a organických nebo organických látek obsažené v surové vodě je potřeba odseparovat. Velké nebezpečí v surové vodě tvoří mikroorganismy, které mohou způsobit přenosem vody různé nemoci. K eliminaci se vedle filtrace využívá chemická dezinfekce, sloužící k odstranění choroboplodných zárodků. Filtrace vždy tvoří jeden ze stupňů separace a to jak při jednostupňové úpravě, tak i při dvoustupňové a vícestupňové úpravě. U jednostupňové úpravy je jediným článkem separace, naproti tomu při dvoustupňové a vícestupňové úpravě je druhým nebo posledním článkem separace. Filtrační stupeň je nejvýznamnější a většinou i nejdražší část na úpravně vody.

Existují různé druhy filtrace, používají se dva základní druhy:

- objemová filtrace - filtrace přes vrstvu zrnitého materiálu
- náplavná filtrace - filtrace na filtrační přepážce

Objemová filtrace

Ve vodárenství při úpravě pitné vody se nejvíce využívá objemová filtrace. Principem objemové filtrace je zachycení nečistot ve vrstvě zrnitého materiálu pomocí filtračního materiálu. Jako filtrační náplň se nejčastěji využívá křemičitý písek a méně pak kamenné uhlí, antracit, křemelina, plast, filtralite, zeolit atd. Filtrační materiál proto musí splňovat dvě technické vlastnosti. Odolnost proti otěru, kde probíhá silné proudění a být chemicky stálý, aby nedocházelo k reakcím s vodou.

Náplavná filtrace

Filtrace na filtrační přepážce neboli náplavná filtrace se nejčastěji aplikuje v průmyslové úpravě a při úpravě pro zvláštní účely. Částice na přepážce vytvářejí filtrační koláč, a proto se náplavné filtraci říká koláčová. Filtrační tkanina slouží jako nosná konstrukce a při každém filtračním cyklu se na ni naplavuje vrstva jemného materiálu. Nejčastěji se využívá rozsivkové zeminy, která tvoří zkamenělé zbytky mikroskopických rostlin. Dále se používají materiály jako perlit, koksový prach, dřevěná moučka, křemelina apod.

Další rozdělení filtrů je do kategorií podle způsobu odbourávání nečistot z vody. Do těchto kategorií řadíme odbourávání procesem biologickým, který vyjadřuje pomalou filtrační rychlost. Druhým procesem je fyzikální typ s vyšší filtrační rychlostí. Tyto typy z technologického hlediska se nazývají pomalá filtrace a rychlofiltrace. Rychlofiltry jsou často využívány na úpravnách vody, pomalé neboli anglické filtry patří mezi nejstarší používané filtry. Tyto způsoby mohou být doplněny o chemické odbourání nečistot. [1]

2.1 MECHANISMUS - SEPARACE NEČISTOT

Zachycování částic způsobují tyto hlavní druhy sil:

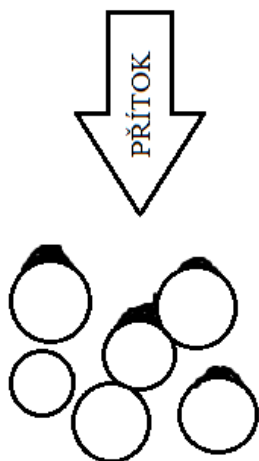
- mechanické cezení
- usazování
- adsorpce
- elektrostatické síly

Při mechanickém cezení větší částice nepronikají do menších mezer díky vzniku setrvačných sil, které umožňují spojení částic do větších celků. Síto je tím pádem jemnější a dokáže zachytit i bakterie. Většina částic je ovšem menší a postupně pronikají hlouběji do filtrační náplně, kde je část odstraněna pomocí usazování.

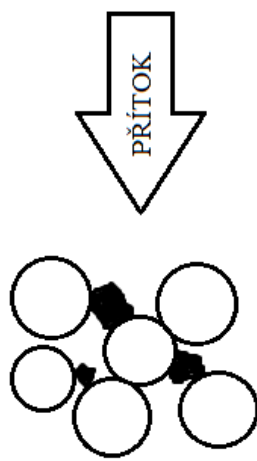
Usazování se předpokládá v místě styku zrn a záleží na filtrační rychlosti. Rychlost proudění je nejvyšší v ose mezery a nejnižší na okrajích.

Adsorpce je jev, který pomáhá filtraci a uplatňuje účinky Van der Waalsových přitažlivých sil. Síly se uplatňují v malých vzdálenostech do 0,01 μm , které musí překročit pomocí gravitace, setrvačnosti nebo ostatními silami. Adsorpci je těžké rozlišit od působení elektrostatických sil.

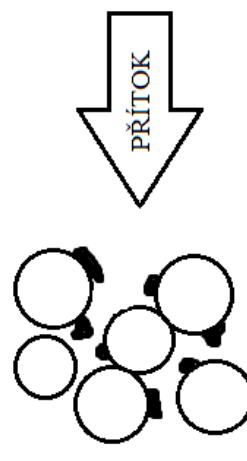
Elektrostatické síly (Coulombovy síly) přitahují částice díky rozdílným nábojům iontů. Třebaže elektrostatické síly se zdají být slabé, samotná elektrostatická síla mezi elektronem a protonem v jádře vodíku je asi o 40 řádů silnější než jejich gravitační přitahování. [1]



Obr. 1 - Mechanické cezení [1]



Obr. 2 – Usazování [1]



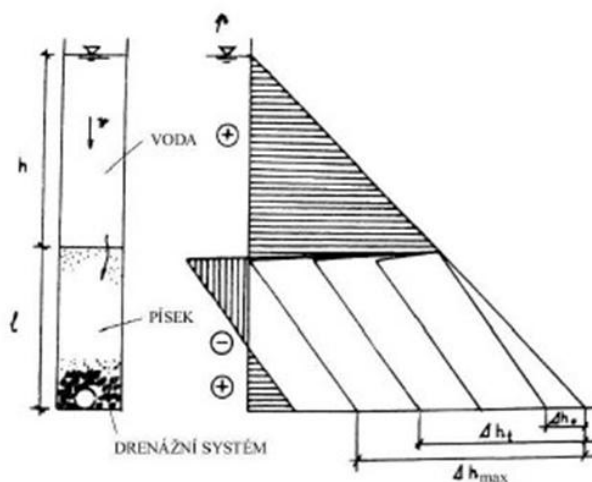
Obr. 3 – Adsorpce [1]

2.2 POMALÁ FILTRACE - BIOLOGICKÁ

Pomalá filtrace neboli anglická je nejstarší typ filtrace, využívaný hlavně při čištění surové vody. Nejprve se používala jen pro odstranění zákalu, ale později bylo zjištěno významné snížení množství bakterií ve vodě. Jedná se o propojení filtrace a biologických procesů, ve kterých jsou obsaženy aerobní mikroorganismy, proto je nutné zajistit přísun kyslíku. V přírodě probíhá odbourávání nečistot díky fyzikálním, chemickým a biologickým procesům. Biologický proces odbourávání nečistot probíhá na povrchu a v horních vrstvách filtračního lože, kde se tvoří biologická filtrační blána. Tato vrstva je tvořená z organických a anorganických nečistot ve vodě obsažených o mocnosti od milimetrů po 2 centimetry. Filtrace ztrácí na účinnosti, když tloušťka biologické blány je větší. Během filtračního procesu se u biologické blány mění jak mocnost, tak i účinnost. Na začátku je účinnost malá z důvodu malého množství mikroorganismů. V následující rozhodující fázi je blána dostatečným zásluhou dostatečného počtu mikroorganismů. V poslední fázi blána bytí a stává se nepropustnou. Odstranit se musí taková blána, které se zvýšila tlaková ztráta minimálně o půl metru. Doba zapracování filtru je doba, kdy se vytváří blána a závisí na počasí. V létě je doba zapracování filtru 1 - 2 týdny a v zimě 4 - 6 týdnů. Po zapracování následuje doba filtrace, která je závislá na teplotě vody, množství organických látek, množství suspendovaných a koloidních anorganických látek apod. Doba filtrace po zapracování blány je v létě 1 - 3 měsíce a v zimě dvakrát delší.

První pomalé biologické filtry vznikly v Anglii v roce 1829, proto z toho důvodu je pojmenování anglické. V Evropě se první filtry objevily ve 2. polovině 19. století, velký význam měly v Německu kvůli vypuklé epidemii cholery. Do České republiky se dostaly v roce 1872 a to konkrétně do Brna. V současnosti se návrh pomalých filtrů doporučuje pro malé zdroje vody, a proto se moc neobjevují na našem území. [1]

Kolmatace je proces, kdy se zvolna zanáší pomalý filtr. Což vede k tlakovým ztrátám při průchodu vody přes biologickou blánu a dále filtrační pískové lože narůstá. Na povrchu u biologické blány dochází k rozhodující tlakové ztrátě. Průběh křivek tlakových ztrát během pomalé filtrace je odlišný. Na začátku filtrace v čase t_0 je tlaková ztráta Δh_0 podobná jako u rychlofiltrů. Při narůstání blány v čase t je tlaková ztráta Δh_t . Maximální dovolená tlaková ztráta je $\Delta h_{\max}$ v čase $t_{\max}$. Nepropustná vrstva nastává při překročení nad dobu $t_{\max}$. Kdyby nebyla provedena regenerace filtru, mohlo by ve filtru dojít k podtlaku, což je nepřijatelné. [2]

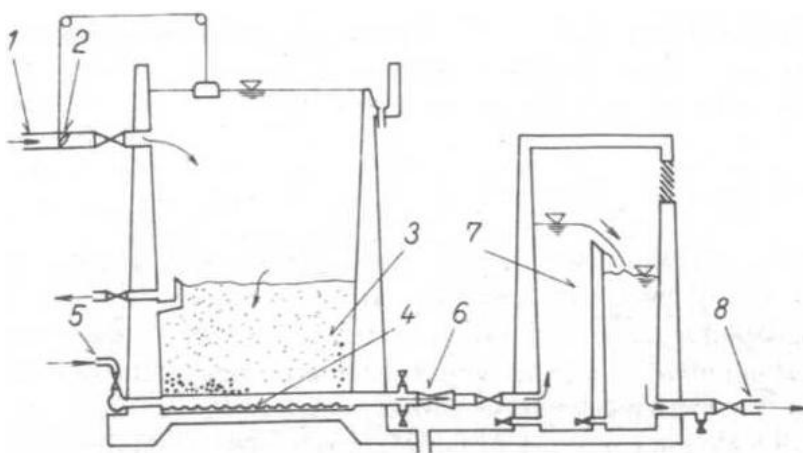


Obr. 4 - Kolmatace pomalého filtru
- znázornění tlakových ztrát [1]

2.2.1 Uspořádání pomalého filtru

Jako filtrační materiál pro pomalé filtry se využívá křemičitý písek o zrnitosti 0,3 - 1,0 mm o doporučené výšce 1,0 - 1,2 m. Nad filtračním pískovým ložím je voda o výšce 1 - 1,5 m. Na dně je uložena drenáž, která je obsypána z důvodu zabránění vniknutí jemného písku do drenážního systému. Používají se děrované (perforované) plastové trubky, kameninové trubky, pálené drenážní trubky, plastové perforované trubky apod. Surová voda se přivádí a odvádí pomocí potrubí a minimální hladina se udržuje díky přelivné hraně. Filtrační plochu je vhodné rozdělit do více filtračních jednotek, protože část plochy při zapracování filtru není využita pro filtraci. [1]

- 1 - přítok surové vody
- 2 - klapka
- 3 - filtrační náplň - písek
- 4 - drenážní potrubí
- 5 - plnění vodou
- 6 - měření průtoku
- Venturiho trubice
- 7 - přelivná hrana
- 8 - odtok z jímky



Obr. 5 - Pomalý filtr – otevřený [16]

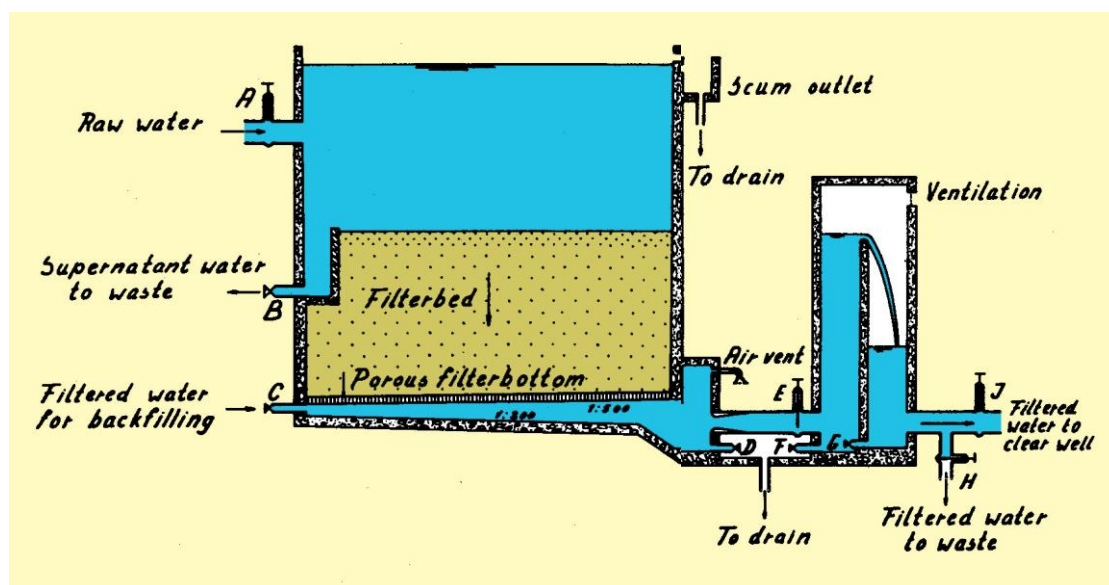
2.2.2 Regenerace pomalého filtru

Dříve se u pomalých filtrů využívalo seškrábnutí biologické blány pomocí mechanických strojních systémů, dnes se tyto systémy už neobjevují. Existovaly také systémy bez nutnosti seškrábnout filtrační blánu, které ovšem technicky neuspěly.

Po dosažení maximální hodnoty tlakové ztráty cca 0,5 m se musí provést regenerace filtru. Postupně se ručně seškrábne vrchní část filtrační blány z filtračního lože a následně se odstraní na skládce. Seškrábnutá vrstva má mocnost cca 2 - 4 cm a pokud se blána odstraňuje často, dochází k úbytku filtračního písku. Při úbytku 60 - 70 cm filtrační náplně, je potřeba písek znovu doplnit do požadované výšky. Zapracování pomalého filtru záleží na ročním období, v létě trvá cca 1 týden a v zimě 2 - 3 týdny. Po zapracování se do odpadu vypouští filtrovaná voda. Přerušení dodávky kyslíku pro mikroorganismy v biologické bláně může trvat maximálně 1 den. Přerušování pomalé filtrace se nedoporučuje, a proto je výhodnější snížit výkon. [1]

2.2.3 Použití pomalého filtru

Jestliže je voda dostatečně nasycena kyslíkem, pak pomalý filtr dokáže odstranit jak suspendované látky, dusitany a amonné sloučeniny, tak i menší množství železa a manganu. Díky pomalé filtraci se snižuje množství nežádoucích mikroorganismů o 93 až 99 % a také částečně dochází k odstranění pachů a pachutí. Kvůli nižší filtrační rychlosti je zapotřebí velká obestavěná plocha s ochranou proti mrazu. Nadstavba je finančně nákladná a proto se u nás navrhují úpravný vody s pomalou filtrací pouze pro menší výkony. Úprava povrchových vod pomalou filtrací je nenáročná, provozně jednoduchá, bez nutnosti požadavků na kvalifikaci personálu a zanechává vodě ve vysoké míře přirozený charakter. Doporučuje se používat pomalou filtraci pro zásobování menších obcí s nedostatkem podzemní vody. [16]



Obr. 10 - Pomalá písková filtrace [2]

2.3 RYCHLOFILTRACE

Rychlá filtrace je dnes nejpoužívanější na úpravách vody. Základním úkolem rychlých filtrů je zachycení nečistot ve vrstvě zrnitého materiálu. Materiály rychlofiltrů mají vyšší zrnitost 0,5 - 2,0 mm. Za určitý čas dochází k zanášení vrstvy (kolmatace), která je nepříznivá a projevuje se zvýšením ztrátové výšky. Tato doba záleží na velikosti zrn, počtu a typu látek ve vodě. U rychlofiltrů trvá filtrační cyklus jeden až několik dní. Díky chemickým a fyzikálním principům filtrace lze výrazně zvýšit filtrační rychlost. Doporučená filtrační rychlost u rychlofiltrů je 3,6 m/h - 7,2 m/h (optimum 5 m/h). [1]

Rychlofiltraci lze rozdělit z různých hledisek:

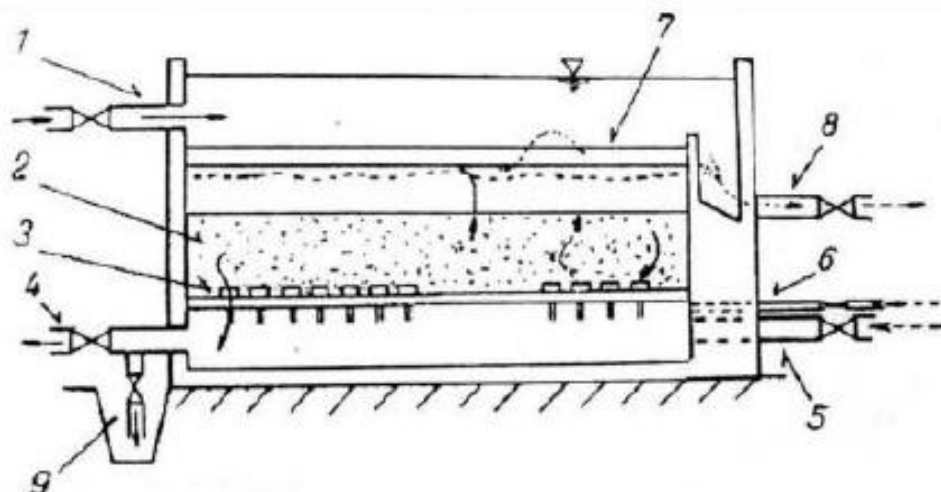
- podle konstrukce:
 - evropské
 - americké
- podle režimu proudění:
 - otevřené (gravitační)
 - tlakové (uzavřené)
- podle způsobu provozu:
 - cyklické praní
 - kontinuální praní
- podle počtu vrstev:
 - jednovrstvé
 - vícevrstvé
- podle směru proudění:
 - průtok shora dolů
 - průtok zdola nahoru
 - obousměrný průtok

Rychlofiltrace se začala rozvíjet ve Spojených státech amerických (New Jersey) v roce 1885 a v Evropě o deset let později (Švýcarsko). Rychlofiltry měly stejný směr proudění jak pomalé filtry, tedy voda protékala pískem shora dolů pomocí gravitace. [1]

2.3.1 Otevřený filtr

Z obr. je patrné, že upravovaná voda natéká potrubím pod mezidno, kde ovzdušnění tohoto prostoru se provádí také potrubím. Na mezidnu je vrstva šterku a písku, přičemž nad úroveň písku je umístěna mříž, která zabraňuje vznesení horní vrstvy. Odtok přefiltrované vody je vyřešen potrubím v horní části nad mříží.

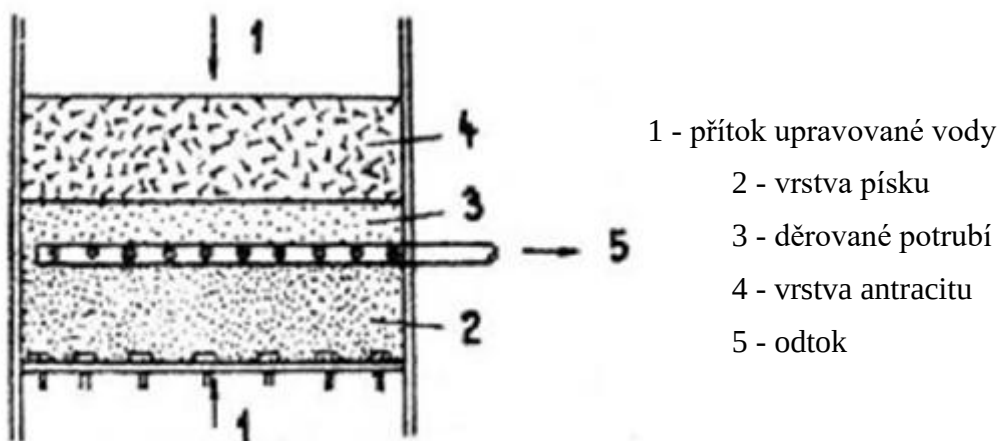
Objem mezer využitelný k akumulaci kalu je větší než u filtrů s průtokem směrem shora dolů. Vzniká nebezpečí při zanášení horní vrstvy, kdy vlivem zvýšené rychlosti může dojít k jejich vznosu. To má za následek průnik kalu. [1]



Obr. 20 - Otevřený rychlofiltr - schéma [1]

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 - přítok upravované vody | 6 - přívod pracovního vzduchu |
| 2 - filtrační vrstva | 7 - žlab |
| 3 - scezovací hlavice na mezidně | 8 - odpadní potrubí pro prací vodu |
| 4 - odtok filtrátu | 9 - odpadní potrubí pro zafiltrování |
| 5 - přítok prací vody | |

Problém vznosu horní vrstvy při průtoku zdola nahoru se odstraní, pokud se umístí odběr ve filtrační vrstvě - obr. 21. Kde průtok je obousměrný, kde spodní průtok je přiváděn do vrstvy písku a spodní vede do vrstvy antracitu. Antracitová zrna jsou větší než zrna písku, ale mají menší měrnou hmotnost. Odtok filtrované vody je vyřešen drenážním potrubím uvnitř vrstvy. [1]



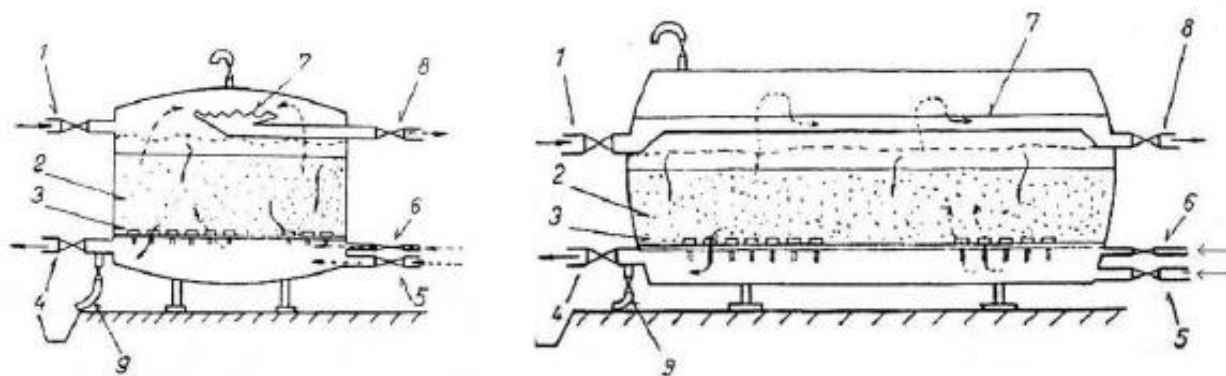
- | |
|----------------------------|
| 1 - přítok upravované vody |
| 2 - vrstva písku |
| 3 - děrované potrubí |
| 4 - vrstva antracitu |
| 5 - odtok |

Obr. 21 - Filtr s oboustranným průtokem [1]

Otevřené filtry se na úpravnách vody využívají přednostně, hlavně pro svoji provozní spolehlivost. [1]

2.3.2 Tlakový filtr

Tlakové filtry neboli uzavřené se používají především na průmyslových úpravnách a to z finančních důvodů. Jedná se o uzavřené nádoby válcovitého tvaru s osou ve svislé poloze (stojatý tlakový filtr) nebo vodorovné poloze (ležatý tlakový filtr) - viz obr. 22. Uzavřené filtry se užívají hlavně při úpravě podzemní vody, ale z opodstatněných důvodů i pro úpravu povrchové vody. Rychlost filtrace se může pohybovat až kolem 40 m/h a se ztrátovou výškou do 5 m v.sl. [1]



Obr. 22 - Tlakové filtry - stojatý, ležatý [1]

2.3.3 Regenerace filtru

Regenerace filtru se má vykonávat, když nastane překročení:

- limitního množství železa nebo hliníku
- tlakové ztráty (výšky)
- zákalu
- dovolené doby filtračního cyklu

Způsob regenerace filtrů je jedním z důležitých rozlišení otevřených filtrů. Otevřené rychlofiltry můžeme rozdělit na filtry:

- americký
- evropský

Americké filtry se perou horní a dolní vodou, bez použití pracího vzduchu. Evropské filtry nevyužívají horní způsob praní, ale jen spodní praní. Cyklus pracuje ve třech fázích, kde se používá jen voda, vzduch nebo kombinace vody a vzduchu. [1]

U amerických filtrů se pracuje s jemnější pískovou náplní o frakci 0,5 - 1,0 mm. Prací cykly lze rozdělit do tří skupin:

- horní cyklus praní
 - rozrušení horní vrstvy náplně pomocí vodních paprsků
 - doba praní je 2 - 4 minuty
 - nad hladinou je rozstříkována voda pomocí trysek na Segnerově kole
- horní a spodní cyklus praní
 - vhánění vody ze zdola do drenážního systému a rozrušení pískové náplně, horní praní pokračuje
 - doba praní je 2 - 3 minuty
- spodní cyklus praní
 - dopírání po dobu 1 - 3 minuty

Evropské filtry nemají tak jemnou náplň jak americké, jejich frakce se pohybuje mezi 1 - 2 mm. Praní se dělí do tří cyklů:

- praní vzduchem
 - vhánění vzduchu pomocí roštu, který je pod filtrační náplní, kde dochází k otěru zrn
 - doba praní 3 - 5 minut s intenzitou 17 - 22 l/s/m²
- praní vzduchem + vodou
 - ke vzduchu o menší intenzitě 10 - 15 l/s/m² se přidává tlaková voda o intenzitě 4 - 5 l/s/m²
 - dochází k expanzi filtrační náplně, prací voda odtéká do odpadu
 - doba praní je 5 - 10 minut
- praní vodou
 - tento cyklus se nazývá také dopírání
 - uzavření přívodu vzduchu, zvýšení intenzity vody na 6 - 8 l/s/m²
 - doba praní je 10 - 20 minut

Po skončení regenerace filtru se filtr přivede do provozního režimu. Filtrační náplň po ukončení regenerace není plně funkční, a proto je vhodné 3 - 5 minut provádět tzv. zafiltrování. Dochází k usednutí filtrační náplně a k odplavení nečistot do odpadu. Po zafiltrování je filtr připraven k plnohodnotnému provozu. [1]

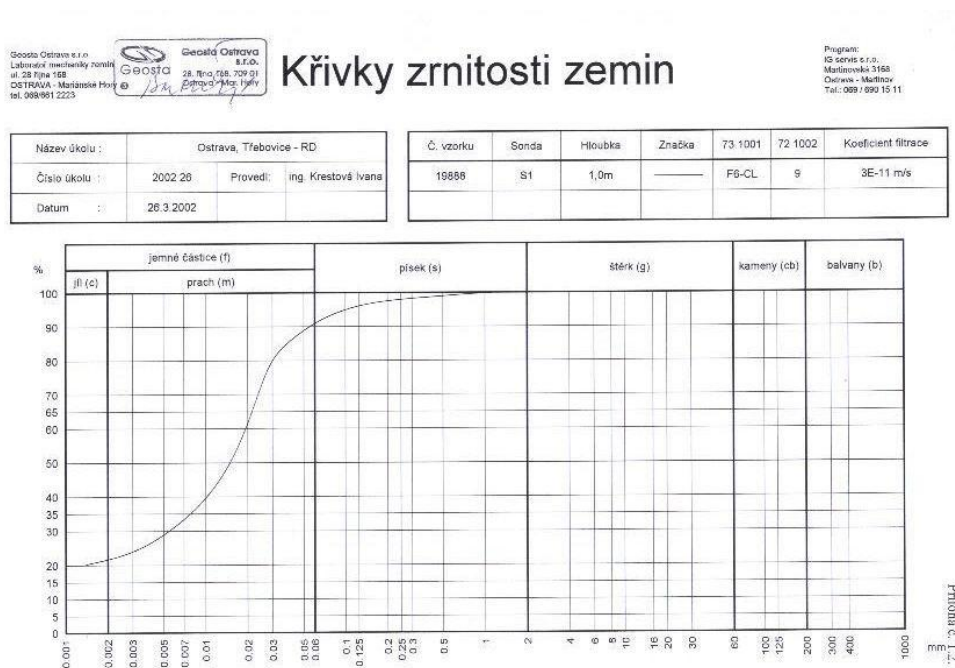
3. VÝKONNOSTNÍ PARAMETRY FILTRŮ

3.1 FILTRAČNÍ MATERIÁLY

Úspěšnost filtrace závisí na vhodné volbě filtrační náplně. Filtrační materiál má za úkol splňovat nezbytné technické požadavky. Je to přijatelná odolnost proti otěru, která je potřebná při praní filtru. Dalšími požadavky jsou mechanická pevnost a chemická stálost proti rozpouštění. Filtrační materiál proto volíme na základě vlastností upravované vody. [2]

Křivka zrnitosti

Složení směsi filtrační náplně se vyjadřuje pomocí křivky zrnitosti (Obr.6 Křivka zrnitosti). Zrnitostní křivka se vyjadřuje v procentech hmotnosti propadlých zrn. Stanovuje se účinné (efektivní) zrno, které znázorňuje propad 10 % hmotnosti zrn. Dalším parametrem, který lze vyčíst z křivky zrnitosti je koeficient stejnozrnnosti a získá se z poměru 60 % propadlých zrn ku 10 %. [1]



Obr. 6 - Křivka zrnitosti [1]

Hodnoty koeficientu stejnozrnnosti se pohybují většinou mezi 1,4 - 1,6. Materiály s nižšími koeficienty stejnozrnnosti by byly z filtračního hlediska výhodnější, ale představovaly by požadavek na to, aby výrobce proséval větší objemy materiálu a byly by tedy dražší. [12,13]

Náplň by neměla být moc jemná, aby se písek nedostal do scezovacího systému společně s filtrátem. Nedodržení zrnitosti by mohlo vést k zabránění proudění vody a tedy k

častějšímu praní filtru. Naopak hrubší filtrační materiál by mohl mít za následek horší efektivitu odstraňování nečistot.

Při pozorování přírody byl jako první filtrační materiál využit písek, který vykazuje velmi dobré výsledky, je lehce dostupný a poříditelný. V současné době jsou k dispozici velká množství filtračních materiálů, které se liší různými druhy a původy. Vedle přírodních materiálů je i spousta materiálů vyrobených po vhodné úpravě. Například termickou úpravou vzniká materiál Filtralite. [2]

Filtrační materiály

Filtrační materiál Filtralite byl zkoumán a testován téměř dvacet let. Mezi jeho největší přednosti patří povrchové vlastnosti, díky kterým se zachytí lépe suspenze. Volit lze hustotu, která umožňuje velmi výhodné složení náplní filtrů. Horní vrstva dvouvrstvého filtru s náplní Filtralite není omezena hustotami, které jsou dané přírodním materiálům - jako například antracit nebo hydroantracit. [3]

Sorpční granulovaný filtrační materiál neboli hydroantracit se využívá především k čištění kapalin včetně vody pitné, splaškové nebo roztoků při výrobě. (Obr. 7 - Hydroantracit)



Obr. 7 - Filtrační materiál - Hydroantracit [4]

Tento materiál vyrobený z tepelně zpracovaného uhlí je oproti běžnému filtračnímu písku účinnější při vyšší filtrační rychlosti. Díky vyšší rychlosti není potřeba velká nádoba (více materiálu) a dochází k nižší četnosti proplachů. Před zprovozněním se doporučuje proplach pro vypláchnutí prachu a jiných nečistot. Prodává se po balení o váze 25 kg a ceně kolem 1000 Kč. [4]

V závislosti na nízké hustotě je možné Filtralite aplikovat do vícevrstvých filtrů. Lze tak sestavit dvouvrstvý filtr složený ze dvou vzorků Filtralite, který se nazývá Mono - Multi.

Z přírodních materiálů se dále využívá písek a antracit. Z uměle vyrobených materiálů to je granulované aktivní uhlí právě Filtralite. (Obr. 8 - Filtrační materiál - Filtralite)

Náplň Filtralitu má nižší tlakovou ztrátu v čistém stavu a dosahuje lepšího rozložení tlakových ztrát. Tyto filtry vykazují vysoké kapacity, což zvyšuje úsporu prací vody. Filtralite je také více odolnější proti obrušování než u antracitu, kde se netvoří vrstva, která zhoršuje funkci filtru. [3]



Obr. 8 - Filtrační materiál - Filtralite [3]

Do stejné filtrační skupiny jako Filtralite patří také drcený čedič a pemza.

Preparovaný křemičitý písek je nejlevnější a nejsnáze dostupný filtrační materiál, který se využívá při úpravě vody. Tento vodárenský tříděný písek Dorsilit se používá na základní filtraci mechanických nečistot a na vysrážení vloček při čiření vody a srážení železa. Dorsilit se často uplatňuje při plnění uzavřených i otevřených filtrů a hojně se využívá jako základní složka při vícevrstvé filtraci společně s hydroantracitem, křemelinou a aktivním uhlím. Vodárenský písek se dodává v pěti základních třídách zrnitosti, první třída obsahuje velmi jemná zrna (velikost zrn 0,4 - 0,8 mm) a poslední pátá třída představuje štěrk (velikost zrn 3,15 - 5,60 mm).



1. třída - velmi jemný
2. třída - jemný
3. třída - standardní
4. třída - jemný štěrk
5. třída - štěrk

Obr. 9 - Filtrační materiál - Dorsilit - zrnitostní třídy [6]

Písek Dorsilit se využívá jak u jednovrstvých, tak u vícevrstvých filtrů. Sypná váha se pohybuje kolem 1600 kg/m^3 a dodává se v polyethylenových pytlích po 50 kg. [6]

Nové filtrační materiály ve vodárenství

Při hledání vhodné technologické úpravy vody se klade důraz na hledání nových, účinnějších a ekonomicky nenáročných technologií a materiálů. Nejčastěji se ze zdrojů pitné vody odstraňuje železo a mangan, přičemž se nejčastěji používají filtrační materiály jako Greensand, Birm, MTM, Klinopur - Mn, Everzit - Mn, Cullsorb - M apod.

K zásobování pitnou vodou obyvatel se nejvíce využívá podzemních zdroj (téměř 88 %). Z hlediska kvality podzemních vod využívaných k zásobování pitnou vodou je nejdůležitější obsah železa, manganu, amonných iontů, obsah těžkých kovů (arzen, měď, olovo).

Například ve Slovenské republice je 20 úpraven vody na odstraňování železa a manganu s vydatností od 1 l/s do 150 l/s. Železo a mangan jsou přirozenou součástí povrchových a podzemních vod. Do vod se dostává zpravidla vyluhováním z horninového prostředí a to buď v rozpustné formě jako jednoduché ionty, nebo v nerozpustných formách (hydroxid železnatý a hydroxid manganičitý). Nařízením vlády jsou normou dány limitní koncentrace pro železo 0,2 mg/l a pro mangan 0,05 mg/l v pitné vodě.

Odstraňování železa a manganu z podzemních a povrchových vod se provádí různými způsoby:

- oxidací provzdušňováním
- přidáním oxidačních činidel (O_2 , O_3 , Cl_2 , KMnO_4)
- alkalizací (přidáním vápna)
- kontaktní filtrací
- biologickou filtrací
- výměnou iontů
- membránovými procesy
- metodou In situ (na místě - vsakování) [7]



Obr. 24 - Filtrační materiál - Greensand [9]

Přidáváním manganistanu draselného (nebo ostatních silných oxidačních činidel) dochází k tvorbě povlaku na filtrační náplně, který slouží jako katalyzátor oxidace. Zrna jsou obalená vyššími oxidy kovů, které způsobují oxidaci rozpuštěného železa a manganu. V takovém případě se jedná o kontaktní filtraci. Na odlišných filtračních náplních dochází k tvorbě povlaků s rozdílnými vlastnostmi. [8]

V současnosti se ve světě kromě klasického filtračního písku využívají různé materiály s podobně vytvořenou oxidační vrstvičkou na povrchu zrn filtrační náplně. Byly zkoumány a porovnávány mezi sebou některé filtrační materiály v úpravě vody Kúty. Zkoumaná voda nevyhovovala požadavkům Nařízení slovenské vlády v obsahu železa, manganu, amonných iontů a agresivního oxidu uhličitého.

Klinopur - Mn je světle zbarvený klinoptiolit - zeolit, vyráběný na Slovensku. Na zrnách klinoptiolitu se tvoří vrstvička z oxidů manganu, která umožňuje tento materiál používat při kontaktní filtraci. Výhodou tohoto filtračního materiálu je jeho hmotnost, díky které je potřeba méně prací vody oproti pískům.

Birm je granulované filtrační médium dovážené z USA. Využívá se k odstraňování železa a manganu z vody. Jedná se o materiál s vrstvou oxidu manganičitého na povrchu. Důležitým faktorem, který ovlivňuje účinnost filtrace je pH vody, doporučuje se pH v rozmezí od 6,8 až 9,0.

Greensand je zeolitový minerál přivážený z USA, vyráběný z glaukonitového písku, který se aktivuje manganistanem draselným. Slouží k odstranění železa a manganu z vody. Po vyčerpání oxidační kapacity se regeneruje pomocí manganistanu draselného. Frekvence regenerace závisí na množství železa a manganu, kyslíku a typu filtru.

Cullsorb M je vyrobený ze speciálních zelených písků, které mají vysokou katalytickou schopnost. Filtrační náplň potřebuje pravidelnou regeneraci, která probíhá díky manganistanu draselnému.

Everzit Mn je granulovaná směs oxidů manganu, železa, křemíku a hliníku. Používá se na odstranění rozpustného železa a manganu. Povrch Everzitu umožňuje oxidaci rozpuštěného železa a manganu. Tento materiál je možné použít pro vody s obsahem pH nad 6,5 a není nutná regenerace manganistanem draselným.

MTM materiál se využívá na redukci železa, manganu a sirovodíku ve vodě. Je to granulovaný oxid manganičitý, kdy jeho aktivní povrch oxiduje rozpuštěné železo a mangan. Po vyčerpání oxidační kapacity je nutná regenerace roztokem manganistanem draselným. Výhodou je jeho malá hmotnost, která snižuje množství prací vody. [9]

Povrchové vlastnosti filtračního materiálu a tvarový součinitel jsou také významné, ale nebyly doposud podrobně zkoumány. U povrchových vlastností se dokázalo, že lepší separační účinnost se dosáhne u částic s hrubším povrchem. Tím pádem pemza má lepší vlastnosti než písek a ten je zase lepší než sklo nebo skleněné kuličky. [12,13]

3.2 FILTRAČNÍ CYKLUS

U filtračního cyklu záleží na dvou důležitých aspektech - kvalita filtrátu a ztrátová výška. Jakost filtrátu je stanovena vyhláškou pro pitnou vodu. Pro zákal je to hodnota 5 ZF. Velikost ztrátové výšky u otevřených rychlofiltrů bývá do 2 m v.sl.

Prostřednictvím kalové kapacity se určuje délka filtračního cyklu, což představuje hmotnost zachycených nečistot o ploše 1 m² a výšce vrstvy l. Kalová kapacita se pohybuje v rozmezí 2·10³ - 4·10³ g/m².

Výpočet délky filtračního cyklu t [s]

$$t = \frac{K}{c_0 \times v}$$

K - kalová kapacita [g/m²]

c₀ - koncentrace (hmotnostní) na přítoku [g/m³]

v - povrchová rychlost [m/s]

Kalová kapacita se stanovuje pokusem - odebráním sond z různých vrstev náplně. [1]

Délka filtračního cyklu je doba od začátku filtračního cyklu po jeho ukončení. Tato hodnota poskytuje informace o tom, jaká je zapotřebí frekvence praní při zatížení filtru. Základem pro stanovení optimální délky je měření tlakových ztrát a jejich průběh. Díky této skutečnosti lze zjistit, kdy dochází k neefektivnímu provozu filtrování. Tuto informaci je vhodné doplnit o údajích průniku zbytkového koagulantu, organismů, nebo CHSK. [10]

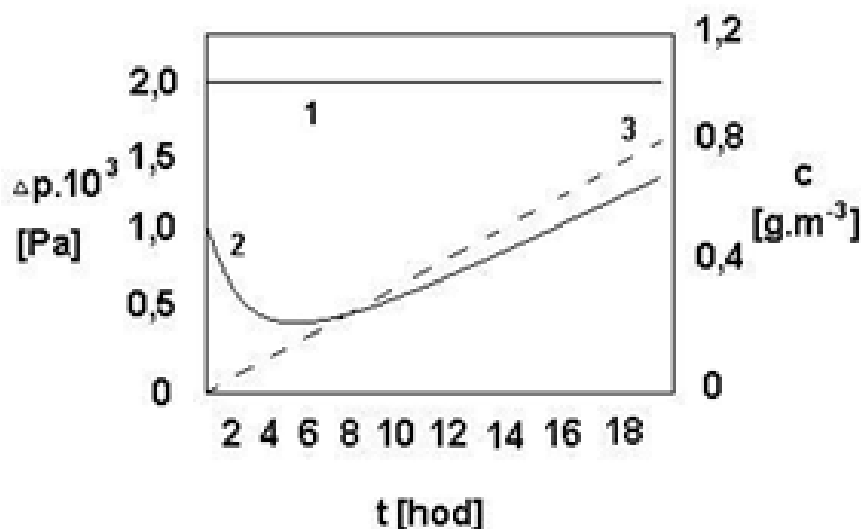
Každý filtr by měl mít svoji teoretickou délku filtračního cyklu. A to hlavně u filtrů filtrující kvalitní surovou vodu. U těchto filtrů lze dosáhnout až týdenní filtrační doby. Ovšem tak dlouhá doba může vést k náhlému nárůstu organických a mikroorganických látek ve filtračním loži, který vede k zahnívání. Tvoří se také zápach a pachut' filtrované vody, která navíc vytváří slizovitou hmotu, která způsobuje obtížné praní filtru.

Bezpečný provoz je zajištěn krátkým filtračním cyklem, který zaručuje nižší produkci filtrované vody a vyšší spotřebu prací vody. [2]

3.2.1 Filtrační fáze

Z experimentálních pozorování je znám typický průběh filtrační fáze cyklu. Průběh filtrační fáze lze rozdělit do tří skupin:

- 1 - koncentrace nerozpuštěných látek v surové vodě
- 2 - koncentrace nerozpuštěných látek ve filtrátu
- 3 - průběh tlakové ztráty



Obr. 12 - Průběh filtrační fáze [1]

Vzniká tlaková ztráta, která je rovna hydraulickému odporu vrstvy. Fáze se ukončí při překročení předepsaných hodnot nebo při vzrůstu tlakové ztráty na hodnotu tlakového spádu.

Maximální tlakové ztráty je dosaženo, pokud filtr nedává čistou vodu.

3.2.2 Prací fáze

Stejně jako vlastní filtrace je neméně důležité praní filtrační náplně. Nedostatečné praní může zkracovat filtrační fázi a prodražovat provozování filtru.

Způsob praní náplně závisí na jejich vlastnostech. Pro zrna s nízkou sedimentační rychlostí se využívá praní vodou, pro velkou rychlost praní vzduchem a vodou. Po vyprání náplně se přítok prací vody uzavře a zrna ve vznosu se usadí. Praní se vzduchem a vodou vyžaduje rovnoměrné rozvedení obou médií po půdorysné ploše filtru. Při společném praní vzduchem a vodou se nejprve asi 3 minuty pere pouze vzduchem, a poté se přidá i voda. Před dokončením se dopírá samotnou vodou, aby byly odplaveny uvolněné suspenze do odpadu. Při společném praní se kombinuje účinek smykových sil a vzájemného otírání zrn. [1]

3.3 FILTRAČNÍ DÉLKA

Filtreační délka se značí L_f a jednotky jsou v m^3/m^2 , respektive m. Jde o filtrační parametr, který přináší informaci o tom, kolik metrů krychlových vyprodukoval metr čtverečný plochy filtru za určitý čas.

S filtrační délkou je spojen pojem čistá jednotková výroba filtru L , která je základním parametrem pro srovnání odlišných variant filtrů. Dostává se odečtením filtrační délky od objemu spotřebované prací vody na jedno praní vydělený plochou filtru L_p (prací délka). [1]

Důležitým bodem pro provoz filtrů (jejich návrh nebo rekonstrukci) je dosažení co nejvyšší čisté jednotkové výroby filtru. To znamená, že za jeden filtrační cyklus včetně praní filtru získáme co největší objem filtrátu použitelného jako pitná voda. Čistá jednotková výroba filtru se značí jako L a vypočte se pomocí hodnot L_p a L_f .

- L_p představuje objem spotřebované prací vody na jedno praní dělené plochou filtru (m^3/m^2)
- L_f značí objem proteklé vody plochou filtru od začátku filtračního cyklu (výroba filtru na jednotkovou plochu (m^3/m^2))

$$L = L_f - L_p$$

Čistá jednotková výroba filtru slouží jako základní parametr pro srovnání variant filtrů a filtrace. Nejvhodnější je takové uspořádání, které poskytne jeho nejvyšší hodnotu.

Dosažením vysokých hodnot parametru L je ovlivněno mnoha faktory. Jedním z nich je použitá filtrační náplň. Při optimalizaci filtrační náplně je vhodné se zaměřit na získání vysoké kalové kapacity (aby byla vysoká L_f) nebo abychom snížili požadavky na množství prací vody (snížení L_p). [11]

Srovnání funkce filtrů by mělo být vždy vztaženo k filtrační délce, případně k čisté jednotkové výrobě filtru (L). Protože se jedná o parametry, vůči kterým lze srovnávat hodnoty, jestliže pracujeme s odlišnými filtračními rychlostmi, eventuálně pokud se jedná o systém s klesající rychlostí. [15]

3.4 KALOVÁ KAPACITA

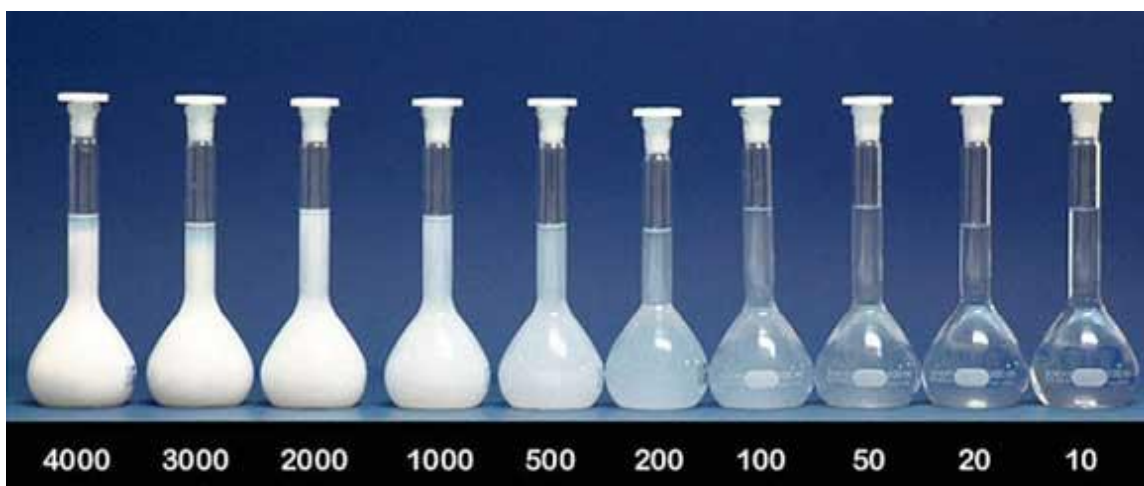
Kalová kapacita se značí L_f a závisí na rychlosti, druhu náplně a druhu suspenze. Kalová kapacita se pohybuje v rozmezí $2 \cdot 10^3$ - $4 \cdot 10^3$ g/m^2 filtrační plochy a stanovuje se pokusem - odebráním sond z různých vrstev náplně.

Podle kalové kapacity se vymezuje délka filtračního cyklu. Kapacitou se rozumí hmotnost nečistot zachycených v objemu vrstvy o ploše 1 m^2 . [1]

Pro dosažení vysoké kalové kapacity je zapotřebí správně navrhnout složení velikostí zrn filtrační náplně. Ta by měla splňovat vlastnosti suspenze, která přichází z procesu flokulace. Závisí také na koeficientu stejnozrnnosti náplně, jejich povrchových vlastnostech a tvaru zrn. Požaduje se dobrá filtrační pevnost materiálu a nízký otěr. [15]

3.5 ZÁKAL

Pro stanovení délky filtračního cyklu je důležitý zákal. Tento parametr závisí na obsahu organických a anorganických koloidních částic. Zákal se stanovuje tak, že je vzorek vody porovnáván s roztoky oxidu křemičitého o odlišných koncentracích. Hodnoty zákalu se vyjadřují v jednotkách $\text{mg}/\text{l SiO}_2$. Jednotka je označována jako ZF a v anglické literatuře ji najdeme pod zkratkou NTU. [1]



Obr. 25 - Ilustrace zákalu - hodnoty NTU [26]

Podle vyhlášky se v České republice nesmí zákal na odtoku filtrátu dostat přes hodnotu 5 ZF. [1]

Podle společnosti American Water Works Assotiation by ovšem zákal neměl být vyšší než hodnota 0,5 NTU. Hodnota zákalu 1 NTU představuje reálné riziko, že se do filtrátu dostanou vybrané mikroorganismy. A proto by zákal neměl překročit zmíněnou hodnotu 0,5 NTU. [2]

Zákal se měří zákaloměrem (nephelometrem), který umožňuje zkoumat jednu ze základních vlastností kvality vody - zákal. Pokud voda obsahuje nerozpuštěné pevné částice, procházející světlo je pohlcováno a zároveň rozptylováno, přičemž stupeň zákalu je ovlivňován velikostí a tvarem částic. Míra zákalu se udává v jednotkách NTU (Nephelometric Turbidity Units).

Typické míry zakalení:

- pitná voda: 0,02 NTU - 0,5 NTU
- povrchová voda: 0,05 NTU - 10 NTU
- odpadní, znečištěná voda: 70 NTU - 2000 NTU



Obr. 26 - Zákaloměr [26]

4. DRENÁŽNÍ SYSTÉMY

Úkolem drenážních systémů je rozvod prací médií, sběr filtrátu a následné odvedení filtrátu do akumulací nádrže. Tento systém se nachází pod filtrační náplní a nesmí docházet k vyplavování náplně do odtoku. Ke správnému chodu je zapotřebí rovnoměrný přívod prací vody, případně vzduchu. Důležité je řešení otvorů, které zabezpečují rovnoměrný odtok filtrátu a přítok prací vody. Záleží proto na velikosti a umístění otvorů, které lze opatřit ochrannými prvky. Při nedodržení těchto věcí může dojít k pronikání zrn filtračního lože s filtrátem ven z filtru, což může způsobit degradaci upravené vody. K nerovnoměrnému praní a dalším provozním problémům může dojít, pokud se část otvorů ucpe, zatímco na jiných místech dojde ke zvýšení rychlosti proudění. [2]

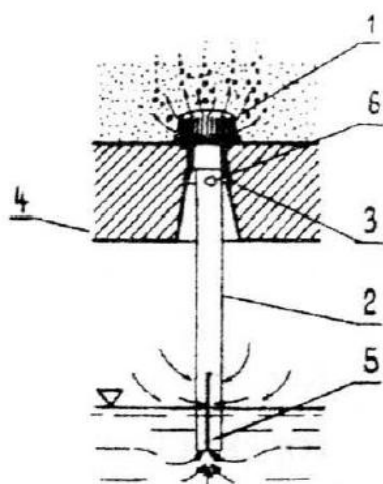
U otevřených filtrů se využívá dvou způsobů scezování a to:

- drenážní systém s mezidnem
- drenážní systém bez mezidna

4.1 DRENÁŽNÍ SYSTÉM S MEZIDNEM

Drenážní systém s mezidnem (drenážní způsob na dně filtru) je tvořen betonovou nebo ocelovou deskou, která představuje mezidno a je nade dnem filtrační nádrže. Důležité je utěsnění, které je umístěno mezi deskou a stěnou nádrže. Na desce jsou rozmístěny hlavice s hustotou 60 až 80 kusů na 1 m². Speciální úprava hlavic se provádí, pokud je písek uložen přímo na hlavicích, aby písek nemohl pronikat s filtrátem skrz drenážní systém. Scezovací hlavice nemusí být upravené, jestliže je mezi drenážním systémem a vrstvou písku použita vrstva šterku. Hlavice se přichycují pomocí šroubů nebo jsou podepírány pilířky. Filtrát je během filtrace odváděn pomocí hlavic pod mezidno. Při regeneraci filtru je pod mezidnem přes scezovací hlavice přiváděna voda a prací vzduch, díky kterým dochází k filtračnímu procesu praní. [1,2]

Filtreační hlavice se skládají z vlastní hlavic opatřené šterbinami širokými několik desetin mm o délce 10 až 30 mm. Zrna nesmí proniknout skrz hlavice, a proto musí být šířka šterbin menší než zrna písku. Další součástí je prodlužovací nástavec a objímka, která je osazena v otvoru desky mezidna. Spodní část nástavce je vybaven šterbinou, která hlídá výšku sloupce vzduchu. Pod objímkou je milimetrový otvor sloužící k úniku vzduchu po praní. Prostor pod mezidnem se zaplní vodou. [1]



- 1 - hlavice
- 2 - nástavec
- 3 - objímka
- 4 - deska mezidna
- 5 - šterbina
- 6 - otvor pro vzduch

Obr. 11 - Filtrační hlavice [1]

4.2 DRENÁŽNÍ SYSTÉM BEZ MEZIDNA

Drenážní systém bez mezidna je též nazýván scezovacím systémem na dně filtru. Tento způsob drenáže je tvořen plastovými trubicemi s filtračními hlavicemi. Scezování se provádí pomocí hlavic, kterými je vedena filtrovaná voda. V opačném směru průtoku je do vodního roštu přiváděna prací voda, která prochází hlavicemi do filtračního materiálu. Společně s vodním roštem je ve dně filtru také vzduchový rošt, sloužící k přívodu pracího vzduchu. [1]

Scezovací systémy bez mezidna mají menší konstrukční výšku, která umožňuje zvýšení filtrační náplně. Popřípadě lze využít dvouvrstvý filtr, který zlepší efektivitu filtrace. Oproti systému s mezidnem mají tyto systémy více otvorů k průchodu vzduchu a prací vody, tudíž z hlediska praní jsou systémy bez mezidna efektivnější.

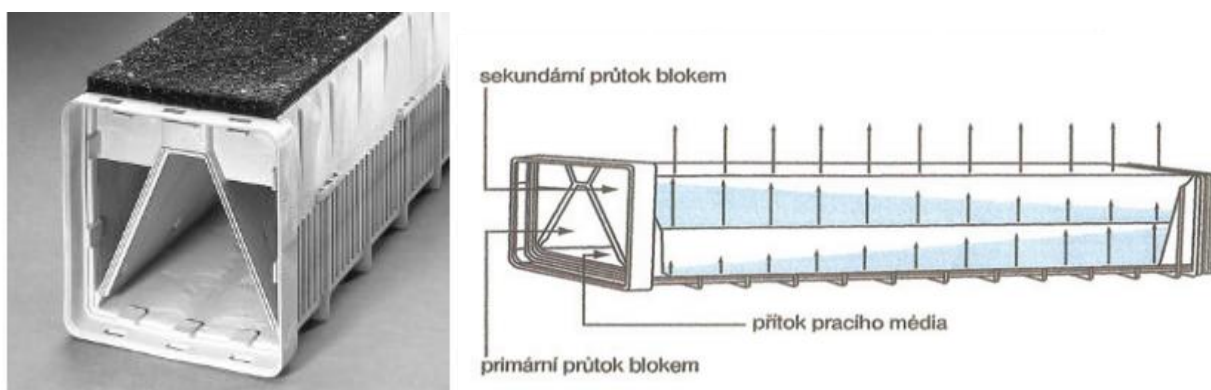
V současnosti má většina úpraven vody v České republice stáří kolem 40 let, a proto budou zapotřebí jejich rekonstrukce. Probíhající rekonstrukce probíhají z důvodů jako opotřebení zařízení, zhoršení kvality surové vody a vzrůstajících požadavků na parametry pitné vody. [17]

Na našem území jsou využívány dva typy systémů:

- Aquafilter
- Leopold

4.2.1 Leopold

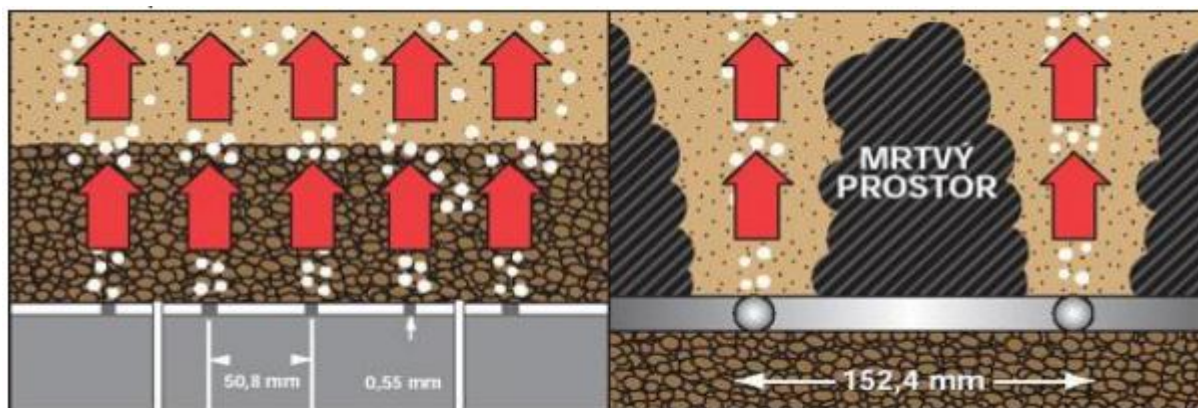
Blokový drenážní systém bez mezidna s dvousměrným průtokem pracího média je dostupný ve dvou typech pod označením S a SL. Systém Leopold Typu S je složen ze speciálně konstruovaných plastových segmentů, které jsou osazeny na dně filtru po celé ploše. Plastové segmenty jsou překryty plastovým krytem. Tento systém poskytuje dvousměrný průtok pracího média a rovnoměrné rozložení průtoku pracího vzduchu po celé ploše filtru. Pro zajištění rovnoměrného proudění prací vody se využívá sekundárního kanálu, který snižuje nerovnoměrné rozdělení tlaku po délce. Díky tomu dochází k rovnoměrnému a kontinuálnímu proudění vzduchu a vody ze všech otvorů po celé délce systému. [18]



Obr. 13 - Drenážní systém Leopold - profil potrubí, proudění prací vody a vzduchu [18]

Na obr. 13 je profil drenážního potrubí se schématem rozložení proudění prací vody a vzduchu. Základním materiálem je PE (polyethylen) o vysoké hustotě (HDPE). [18]

U drenážního systému Leopold typu SL lze využít širokého rozsahu průtoku pracího vzduchu (18 - 92 m/h), který je rovnoměrný a kontinuální. Otvory pro práci vzduch a vodu jsou velmi blízko u sebe a jsou rovnoměrně rozprostřeny po celé ploše dna filtru. Otvory se neucpávají a společně s hydraulickými vlastnostmi drenážního systému zajišťují stejnoměrný rozvod prací vody a vzduchu. Ostatní konstrukce nemají otvory pro práci vzduch a vodu tak blízko. Může proto u nich docházet ke vzniku tzv. mrtvých koutů. Což jsou místa, kde se část filtrační náplně nedostane do vlnosu, a proto praní filtru není účinné (viz obr. 14). Scezovací systém Leopold nemusí řešit tyto problémy díky hustě osázeným otvory. Konstrukce Leopoldu je velmi jednoduchá, což má za následek rychlé a snadné montáži drenážních segmentů na konstrukci dna filtru. [19]



Obr. 14 - Drenážní systém Leopold - vzdálenost otvorů, mrtvý prostor [19]

4.2.2 Aquafilter

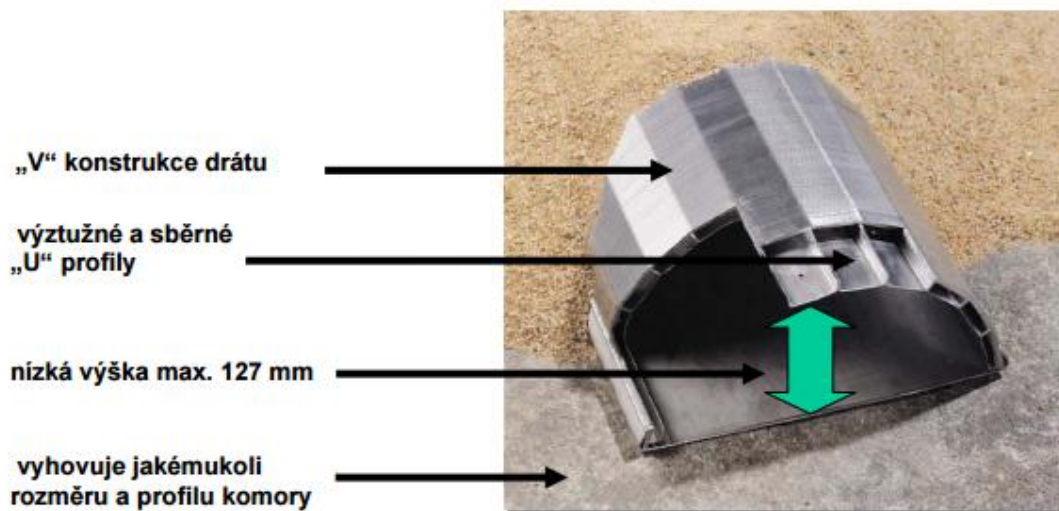
Aquafilter je trubní drenážní systém pro filtry bez mezidna, označovaný jako Novák. Scezovací systém vyrábí a montuje od roku 1991 firma Aquafilter, v. o. s., která poskytuje i potřebný servis. Výrobce systému Aquafilteru udává rozsah intenzity pracího vzduchu 10,8 - 108,0 m/h. Tento český výrobce využívá oddělený rozvod vody a vzduchu v trubkovém systému. Využívány jsou podobné scezovací hlavice jako v případě filtrů s mezidny, ale jsou upravené pro osazení na potrubí. Hlavice jsou osazovány ve větší hustotě. [20, 21]



Obr. 15 - Drenážní systém - kruhové filtry v úpravně vody Tlumačov [22]

4.2.3 Triton

Drenážní systém Triton se skládá ze dvou samostatných ploch, které zastávají funkci gravitační drenáže dna filtru. Vnější povrch drenáže s navinutými dráty ve tvaru „V“ se dá snadno očistit zpětným propláchnutím filtrátu. Nedochozí proto k ucpání štěrbin mezi dráty mechanickými nečistotami. Vnitřní povrch drenáže je vyrobený z „U“ profilu a zajišťuje podporu vnějšímu povrchu. [23]



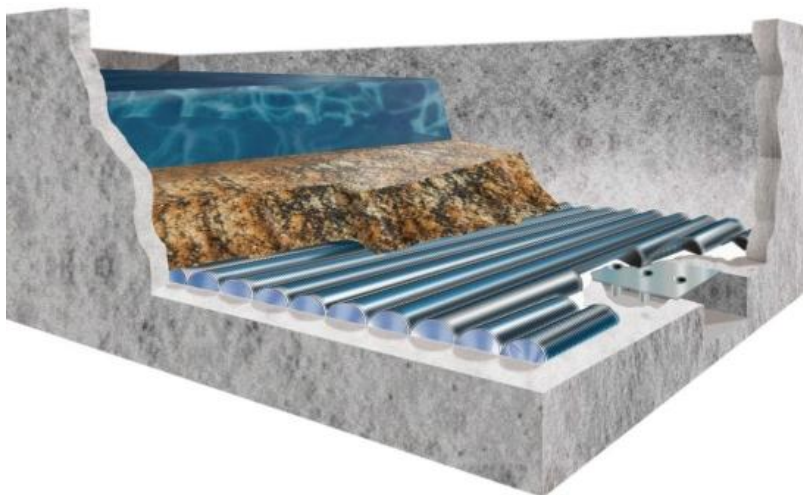
Obr. 16 - Drenážní systém Triton - konstrukce segmentu [24]

Konstrukce je vyrobena z nerez oceli (kromě těsnících podložek). Ocel zajišťuje delší životnost filtračního systému, mechanickou pevnost a lepší odolnost proti korozi.

Jednotlivé segmenty mají nízkou výšku kolem 125 mm, takže lze zvýšit hloubku filtračního média a tím pádem se sníží náklady na instalaci a údržbu drenážního systému Triton. Pokrytím vnější plochy filtračním médiem je větší skoro o čtvrtinu oproti plochému filtru s tryskami, čímž se redukuje „mrtvé zóny“. Dochází také k větším tlakům vody a vzduchu, kterým Triton bezproblémově odolá. Lze proto použít menší rozměr filtračních segmentů a tím se sníží stavební náklady. Triton zajišťuje rovnoměrnou distribuci vody a vzduchu během filtrační a prací fáze. [23]

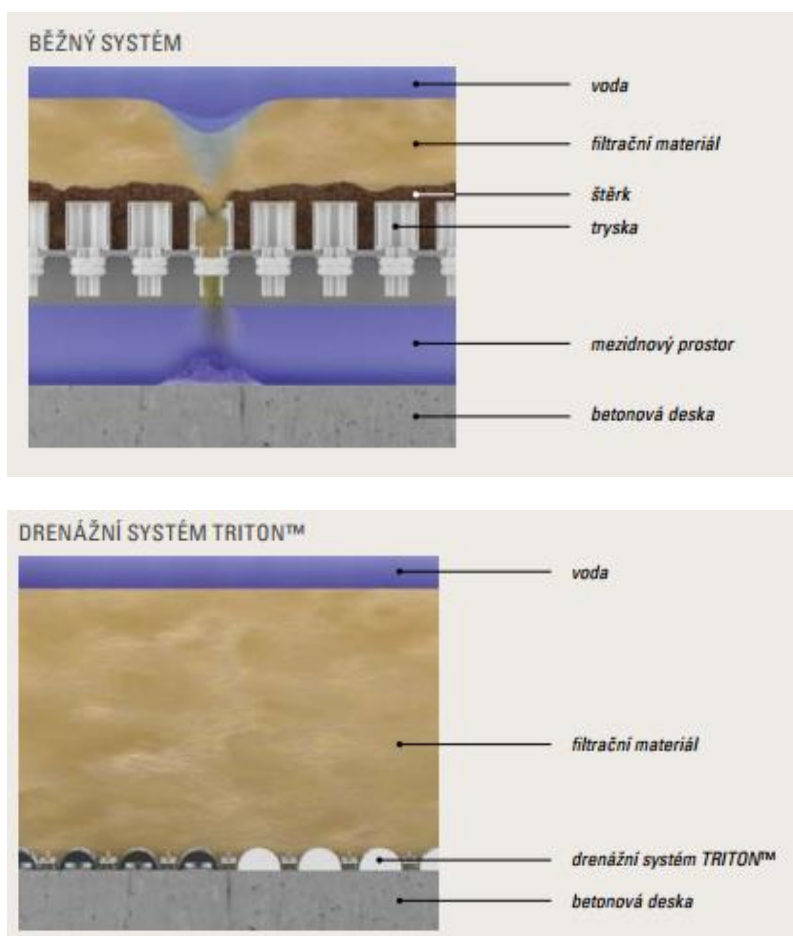


Obr. 17 - Drenážní systém Triton - montáž [25]



Obr. 18 - Drenážní systém Triton - řez [25]

Drenážní systém Triton patří k nejmodernějším a nej kvalitnějších drenážním systémům v současné době na úpravách vod ve světě. Vzhledem ke konstrukci drenážních segmentů je montáž tohoto systému velmi snadná a rychlá, stavební úpravy jsou přitom minimální. Systém Triton se využívá ve světě více než desetiletí a nyní si tento drenážní systém našel uplatnění i u nás. [23]



Obr. 19 - Drenážní systém - běžný, Triton [25]

5. PŘÍPADOVÉ STUDIE

5.1 ÚPRAVNA VODY LOMNIČKA

5.1.1 Popis úpravní

Úpravna vody Lomnička a její jímací území surové vody je nejdůležitějším zdrojem vody pro Skupinový vodovod Tišnov. Tento vodovod dodává vodu do města Tišnov a okolních 9 obcí, celkem mezi cca 14000 obyvatel. Zdroj Lomnička využívá v průměru 14 l/s a v maximu 20 l/s. Jímací území Lomnička je tvořeno třemi jímacími vrty, vystrojenými ocelovými pažnicemi o průměru 355 mm. Vodárenský systém funguje od roku 1972. Úprava vody spočívá v odstranění železa a manganu v tlakovém režimu s následným dávkováním plynného chlóru.

V roce 2012 proběhla rekonstrukce z důvodu nižšího výkonu technologické části úpravní vody. V provozu byly dříve 4 vrty a po rekonstrukci byl jeden vrt zrušen, kvůli obsahu uranu, který technologické zařízení nebylo schopno odstranit. Voda z vrtů je pomocí ponorných čerpadel čerpána na úpravnu vody, kde jsou odstraňovány zvýšené obsahy železa a manganu. Díky dávkovacím zařízením plynného chlóru je splněno zdravotní zabezpečení a voda může natékat do dvou akumulčních nádrží o objemu 2 x 500 m³ (Vodojem Lomnička). Odtud je sacím potrubím a prostřednictvím čerpadel čerpána do zásobovacího vodojemu Květnice. Čerpací stanice je vybavena protirázovou ochranou s kompresorem. Z nedostatečné kapacity vodních zdrojů a zastaralosti vodárenského zařízení bylo rozhodnuto o rekonstrukci jak stavební, tak i strojné a elektro-technologické.



Obr. 27 - Úpravna vody Lomnička - před rekonstrukcí - 2011

5.1.2 Technologie předúpravy

Surová voda z jednoho vrtu obsahuje zvýšené množství uranu, a proto je vedena na tlakový nerezový ionexový filtr s náplní silně bazického ionexu. Před ionexovým filtrem je mechanický rukávcový předfiltr k odstranění hrubších nečistot. Díky uzavíracím armaturám a vodoměrů je protékající množství vody regulováno. Za filtrem je taktéž navržen mechanický rukávcový předfiltr proti případnému vyplavení náplně do systému úpravy vody.

5.1.3 Technologie úpravy

Každý přítok surové vody z vrtů je sám osazen vodoměrem a vzorkovacím kohoutem k zajištění kvality vody. Následně jsou výtlačná potrubí spojena do jednoho, kde opět probíhá přezkoumání kvality surové vody pomocí vodoměru. Dále voda pokračuje na dva provzdušňovací reaktory, které jsou zařazeny v horní části úpravy vody. Dochází ke gravitačnímu průtoku, a tak nemusí docházet k přečerpávání vody na jednotlivé stupně úpravy. Surová voda je sjednocena a společně natéká na otevřené pískové rychlofiltry. Do společného nátokového potrubí je zaústěno dávkování hydroxidu sodného k úpravě pH. Dále voda natéká na kontaktní odmanganovací filtry s preparovanou náplní, kde se odstraňují zbytky manganu. Před tímto filtrem je do vody dávkován roztok manganistanu draselného. Rychlofiltry jsou rozděleny na dvě samostatné linky a to na dvojici pískový rychlofiltr a odmanganovací rychlofiltr. Při praní jednoho z filtrů je vždy odstavena jedna celá linka a současně se vypínají čerpadla ve vrtech kvůli dočasnému snížení výkonu úpravy. Upravená voda z rychlofiltrů odtéká potrubím přes vzorkovací kohout do dvou akumulčních nádrží o objemu $2 \times 500 \text{ m}^3$. Na přítoku je dávkován chlornan sodný ke zdravotnímu zabezpečení průtoků. Regenerace všech filtrů probíhá samostatně a to vzduchem, vzduchem a vodou a vodou. Po regeneraci probíhá pár minut zafiltrování filtru. Zdrojem pracovního vzduchu je nově navržené dmychadlo, práci vodu poskytují čerpadla práci vody z akumulace úpravy vody. Do kalové jímky o objemu 30 m^3 je odváděna špinavá voda z praní rychlofiltrů. Z kalové jímky je odsazená voda vracena zpět recirkulačním čerpadlem po odsazení kalů. Kaly jsou pravidelně vypouštěny do kanalizační sítě. Ovládací baterie otevřených rychlofiltrů jsou vystrojeny uzavíracími klapkami se servopohony. Z řídicího systému jsou ovládány a nastavovány jednotlivé armatury pro různé pracovní režimy. Maximální výkon technologické linky může dosáhnout hodnoty 20 l/s .



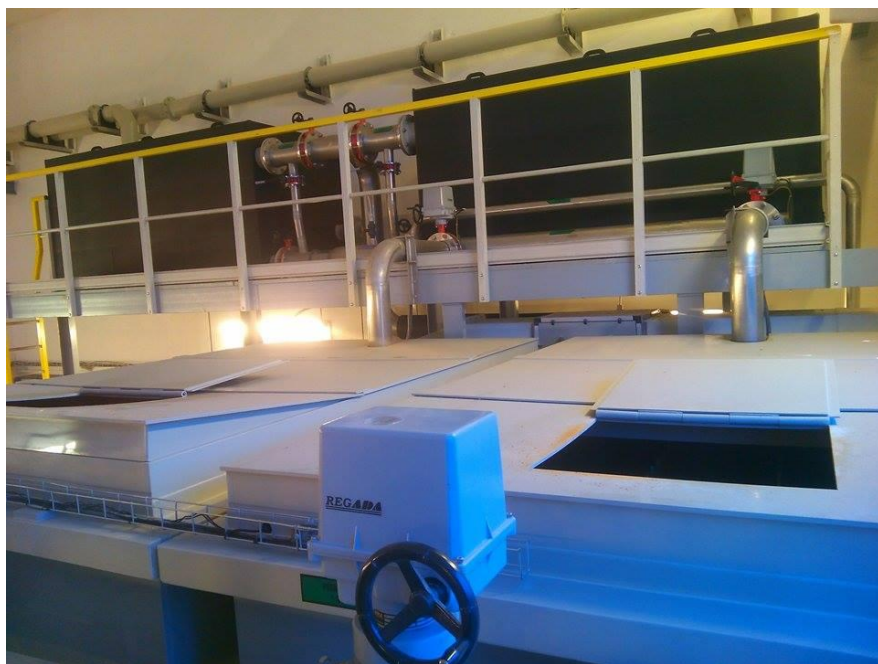
Obr. 28 - Úpravna vody Lomnička - rychlofiltry

5.1.4 Popis filtrů

Před i za ionexový filtr jsou instalovány pojistné nerezové filtry s ionexovou filtrační náplní před mechanickými nečistotami a pro sledování vyplavování ionexové náplně. Za běžného provozu se filtr nepere. Průtok vody filtrem je zespodu nahoru, právě proto, aby se náplň nemusela nadnášet, protože už je nadnášena filtrací. Pro měření průtoků jsou na větvích osazeny přírubové vodoměry. Regenerace ionexu se nebude provádět, a proto je nutné náplň pravidelně měnit. Při roční výměně náplně je potřeba asi 500 l ionexu při průtoku 3 l/s. Trubní rozvody jsou vyrobeny z nerez. Kontrola nasycení ionexu uranem se provádí dvakrát ročně, při přiblížení hodnot uranu k 4 g/l ionexu je nutné vyměnit náplň za novou. Dodávku a likvidaci starého ionexu provádí specializovaná společnost, která se zabývá nakládáním s radioaktivním odpadem.

Pískové a kontaktní rychlofiltry

Z provzdušňovacích reaktorů voda natéká na dva pískové rychlofiltry, každý o maximálním výkonu 10 l/s. Na společném potrubí je zaústěno dávkování hydroxidu sodného na úpravu pH. Konstrukce pískových filtrů se skládá z filtračního mezidna se scezovacími hlavicemi, které jsou z polypropylénu. Součástí je pravoúhlá nádrž včetně vyztužení a rozvodný žlab. Filtrační rychlost bývá 4-8 m/h a praní probíhá vodou a vzduchem. Náplň je filtrační písek o výšce 0,8 m a hmotnosti 8000 kg. Z každého pískového rychlofiltru natéká voda gravitačně na kontaktní rychlofiltr o maximálním výkonu 10 l/s. Do nátoky je přidáváno dávkování manganistanu draselného. Oba rychlofiltry jsou opatřeny potrubími vybavenými uzavíracími klapkami se servopohony (přítokové potrubí, odtok přefiltrované vody, přívod prací vody, odvod prací vody, zafiltrování a přívod pracího vzduchu). Regenerace filtrů probíhá pomocí dmychadla, který dodává prací vzduch a pracích čerpadel přivádějící prací vodu. Regenerační voda je odváděna do kalové jímky kam odchází voda z praní filtrů. Jedna regenerace filtru představuje produkci kolem 15 m³ prací vody.



Obr. 29 - Úpravna vody Lomnička - rychlofiltry, detail

5.1.5 Regenerace, zafiltrování

Regenerační cyklus se skládá z těchto částí:

- 1. fáze - praní vzduchem - 5 minut
- 2. fáze - praní vodou a vzduchem - 5 minut
- 3. fáze - praní vodou - 5 minut

Při praní vzduchem se uzavře nátok na filtry a odtok přefiltrované vody. Otevře se přítok pracího vzduchu při sepnutí dmyhadla. Po dobu 5 minut je filtr propírán vzduchem v nastavené intenzitě. Uzávěry jsou uzavřeny.

Ve druhé fázi se spustí čerpadlo pomocí nastavených hodnot (průtok 15 l/s, výtlačná výška 35 m v.sl., chod 1+1) a otevře se přívod a odtok prací vody. Vzduchem a vodou se pere 5 minut.



Obr. 30 - Úpravna vody Lomnička - čerpadla, protirázová nádrž

Následující fáze pokračuje uzavřením přívodu pracího vzduchu, vypnutím dmyhadla a zapnutím druhého pracího čerpadla. Podle nastavených hodnot se pere prací vodou 5 minut.

Zafiltrování nastává po třetí fázi a probíhá tak, že se uzavírá přítok nátoky a odtoku prací vody, současně s vypnutím čerpadel. Otevře se nátok vody na filtr a pustí se čerpadla ve vrtech. Filtrát je přefiltrován za 2 minuty a je odváděn do kalové jímky.

Po zafiltrování se jen uzavře klapka a zároveň se otevře odtok přefiltrované vody do akumulární nádrže.

Na tyto parametry jsou navrženy prací média, tj. příslušné množství pracího vzduchu a prací vody. Pomocí řídicího systému jsou řízeny regenerace filtrů na základě výšky hladin a na základě výsledků zkušebního provozu. [5]



Obr. 31 - Úpravna vody Lomnička - kalová jímka



Obr. 32 - Úpravna vody Lomnička - manganistan draselný

5.1.6 Ukázka provozních hodnot

Ze zjištěných údajů z půjčené projektové dokumentace jsem použil hodnoty do následujících vztahů.

Objemy filtrované vody

$$V = Q \times \Delta t \quad [\text{m}^3]$$

V - objem přefiltrované vody za filtrační cyklus $[\text{m}^3]$

Q - výkon filtru $[\text{m}^3/\text{s}]$

Δt - délka filtračního cyklus $[\text{s}]$

$$V_M = V \times p \quad [\text{m}^3]$$

V_M - objem přefiltrované vody za měsíc $[\text{m}^3]$

p - počet filtračních cyklů za měsíc

$$V_{MC} = V_M \times n \quad [\text{m}^3]$$

V_{MC} - celkový objem přefiltrované vody za měsíc $[\text{m}^3]$

n - počet filtračních jednotek

		před rekonstrukcí	po rekonstrukci
Δt	[den]	7	7
Q	[l/s]	8	10
p	[-]	4	4
n	[-]	2	2
V	$[\text{m}^3]$	4838	6048
V_M	$[\text{m}^3]$	19354	24192
V_{MC}	$[\text{m}^3]$	38707	48384

Tab. 1 - Porovnání objemu filtrované vody

Jeden filtr po rekonstrukci za filtrační cyklus vyprodukuje přes 6 tisíc m³ vody, což je denně něco přes 850 m³ vody. Z tab. 1 dále vyplývá, že za měsíc dvě filtrační jednotky přefiltrují téměř 50 tisíc m³ vody.

Zato před rekonstrukcí jeden filtr vyprodukoval téměř 5 tisíc m³ vody za filtrační cyklus, to znamená za měsíc více než 38 tisíc m³ vody.

Oproti stavu před rekonstrukcí došlo k měsíčnímu nárůstu přefiltrované vody o 20 %.

V tab. 1 není uvažováno s prodlevami, které mohou vzniknou během praní, skutečné hodnoty by tedy měly být nižší.

Filtrační délka

$$L_f = \frac{V}{S} \quad [\text{m}^3/\text{m}^2, \text{ tj. m}]$$

L_f - filtrační délka [m³/m², tj. m]

V - objem přefiltrované vody za filtrační cyklus [m³]

S - plocha filtru [m²]

		před rekonstrukcí	po rekonstrukci
V	[m ³]	4838	6048
S	[m ²]	12	14
L_f	[m ³ /m ²]	403	432

Tab. 2 - Porovnání filtračních délek

Podle tab. 2 se po rekonstrukci zvýšila filtrační délka, protože se také zvýšila plocha filtru z 12 m na 14 m. Rozdíl filtrační délky před a po rekonstrukci činí nárůst přes 7 %.

Objem prací vody

$$V_f = Q_f \times t_f \quad [\text{m}^3]$$

V_f - objem pracího média $[\text{m}^3]$

t_f - délka trvání fáze $[\text{s}]$

Q_f - prací intenzita během fáze $[\text{m}^3/\text{s}]$

fáze				před rekonstrukcí	po rekonstrukci
t_f	[min]	vzduch		5	
		vzduch + voda		5	
		voda		5	
Q_f	[l/s]	vzduch		85	85
		vzduch + voda	vzduch	85	46
			voda	25	
		voda		50	
V_f	$[\text{m}^3]$	vzduch		25,5	25,5
		vzduch + voda	vzduch	25,5	13,8
			voda	7,5	7,5
		celkem	voda	15	15
			vzduch	51	39,3

Tab. 3 - Porovnání spotřeby pracích médií - podle provozního řádu

V tab. 3 jsou příslušné hodnoty pro doby trvání v jednotlivých fázích (praní vzduchem, praní vzduchem + vodou a praní vodou). Díky těmto datům jsou určeny množství vody, které je zapotřebí k vyprání jednoho filtru. Ke stanovení objemu prací vody bylo využito provozního řádu, kde jsou uváděny vyhovující rozmezí délek trvání fáze a jejich pracích intenzit. K výpočtu bylo využito středních hodnot.

Z tab. 3 je zřejmé, že během praní po rekonstrukci nedochází k úspoře spotřeby vody, ale jen se snížila spotřeba vzduchu. Tím pádem dojde k ušetření energie téměř o 30 % oproti stavu před rekonstrukcí.

$$V_p = Q_f \times t_f \quad [\text{m}^3]$$

V_p - objem prací vody během jednoho praní $[\text{m}^3]$

t_f - délka trvání fáze $[\text{s}]$

Q_f - prací intenzita během fáze $[\text{m}^3/\text{s}]$

		fáze	před rekonstrukcí	po rekonstrukci
t_f	$[\text{min}]$	vzduch + voda	6	6
		voda	7	6
Q_f	$[\text{l/s}]$	vzduch + voda	25	25
		voda	46	46
V_p	$[\text{m}^3]$	celkem	55	51

Tab. 4 - Porovnání spotřeby pracích médií - podle provozu

Z tab. 4 vyplývá, kolik prací vody bylo a kolik je skutečně spotřebováno. K této hodnotě se došlo sečtením potřeb vody v jednotlivých fázích.

Podle hodnot je jasné, že došlo ke zkrácení doby praní, ale prací intenzity zůstaly stejné. Úspora vody po rekonstrukci je kolem 8 %.

$$V_{pM} = V_p \times p \quad [\text{m}^3]$$

V_{pM} - objem prací vody pro jeden filtr za měsíc $[\text{m}^3]$

p - počet filtračních cyklů za měsíc $[-]$

V_p - objem prací vody během jednoho praní $[\text{m}^3]$

$$V_{pMC} = V_{pM} \times n \quad [\text{m}^3]$$

V_{pMC} - celkový objem prací vody za měsíc $[\text{m}^3]$

n - počet filtračních jednotek $[-]$

		před rekonstrukcí	po rekonstrukci
V_p	[m ³]	55	51
p	[-]	4	
n	[-]	4	
V_{pM}	[m ³]	222	204
V_{pMC}	[m ³]	886	818

Tab. 5 - Porovnání spotřeby prací vody za jeden měsíc

Podle tab. 5 je vyjádřeno, kolik prací vody je ušetřeno za jeden měsíc. Po rekonstrukci je potřeba o 68 m³ vody méně než za stavu před rekonstrukcí.

Přínos rekonstrukce

V roce 2012 proběhla rekonstrukce z důvodu nižšího výkonu technologické části úpravy vody. V provozu byly dříve 4 vrtů a po rekonstrukci byl jeden vrt zrušen, kvůli obsahu uranu, který technologické zařízení nebylo schopno odstranit. Voda z vrtů je pomocí ponorných čerpadel čerpána na úpravnu vody, kde jsou odstraňovány zvýšené obsahy železa a manganu. Z nedostatečné kapacity vodních zdrojů a zastaralosti vodárenského zařízení bylo rozhodnuto o rekonstrukci jak stavební, tak i strojně a elektro-technologické.

Kal je natolik usazený, že až 85 % prací vody je možné odčerpat zpět do procesu úpravy vody. Kde dochází ke smíchání s vodou, která bude upravována.

$$V_v = V_p \times \frac{m}{100} \quad [\text{m}^3]$$

V_v - množství prací vody vrácené k úpravě [m³]

m - množství prací vody vrácené k úpravě [%]

V_p - objem prací vody během jednoho praní [m³]

$$V_o = V_p - V_v \quad [\text{m}^3]$$

V_o - množství prací vody - odkanalizované [m³]

V_p	[m ³]	51
m	[%]	85
V_v	[m ³]	43
V_o	[m ³]	8

Tab. 6 - Využití prací vody

Z tab. 6 je zřejmé, že během jednoho praní lze ušetřit až 43 m³ vody. Dále udává, kolik vody odvedené do kanalizace je při praní filtru vyprodukováno.

Velmi důležité je zjištění, že došlo k úspoře přibližně 82 % vody, která je využita jen na praní.

$$V_{\%} = \frac{V_p}{V} \times 100 \quad [\%]$$

V_% - vyjádření objemu prací vody z celkového přefiltrovaného objemu [%]

V_p - objem prací vody během jednoho praní [m³]

V - objem přefiltrované vody za filtrační cyklus [m³]

			před rekonstrukcí	po rekonstrukci
V	[m ³]		4838	6048
V_p	[m ³]	bez recyklu	55	51
V_%	[%]		1,14	0,85
V_p	[m ³]	s recyklem	-	8
V_%	[%]		-	0,13

Tab. 7 - Spotřeba prací vody - procentuální vyjádření

V tab. 7 můžeme porovnat, jaký dopad má změna nakládání s prací vodou vzhledem k objemu filtrované vody.

Dále je z tab. 7 vidět, že změnou stavební, strojné a elektro-technologické části bylo dosaženo vyšších objemů filtrované vody, podíl prací vody byl snížen na 0,13 %. Tato úprava znamená velké finanční úspory.

Čistá jednotková výroba

$$L = L_f - L_p \quad [\text{m}^3/\text{m}^2, \text{ tj. m}]$$

$$L_p = \frac{V_o}{S} \quad [\text{m}]$$

L - čistá jednotková výroba [m]

L_p - prací délka [m]

		před rekonstrukcí	po rekonstrukci
S	[m ²]	12	14
V	[m ³]	4838	6048
L_f	[m]	403	432
V_o	[m ³]	55	8
L_p	[m]	4,6	0,5
L	[m]	398,6	431,5

Tab. 8 - Čistá jednotková výroba - porovnání

Ve srovnání před a po rekonstrukci podle tab. 8 došlo ke zvýšení čisté jednotkové výroby téměř o 33 m, což je rozdíl necelých 8 %.

Finanční rozvaha

Největší úspornou změnou v procesu filtrace je úspora prací vody. Provozovatel totiž musí platit státu poplatek 2,50 Kč za každý metr krychlový vody, který je odčerpán z jímacího zařízení. Pokud provozovatel vypouští prací vodu do kanalizace, přichází tím o zisk z prodeje. Na rok 2016 byla pro město Tišnov, tedy i pro Lomničku, stanovena cena vody na 89,91 Kč. Tato cena v České republice je nadprůměr, průměrná cena se pohybuje kolem 82 Kč.

Vedle úspory s vodou nastává také úspora elektrické energie, protože je zapotřebí menší množství vody k praní filtrů. Společně také dochází k úspoře vzduchu pro dmychadlo.

$$C_p = V_o \times (p_s + c_o) \quad [\text{Kč}]$$

C_p - cena praní - s ohledem na cenu vody pro odběratele [Kč]

p_s - poplatek státu [Kč/m³]

C_o - cena vody pro odběratele [Kč/m³]

		před rekonstrukcí	po rekonstrukci
V_o	[m ³]	55	8
p_s	[Kč/m ³]	2,50	
C_o	[Kč/m ³]	89,91	
C_p	[Kč]	5118	709

Tab. 9 - Cena praní - porovnání

Z tab. 9 vychází najevo, že po rekonstrukci provozovatel během praní jednoho filtru ušetří vodu, jejíž cena by pro odběratele byla kolem 4400 Kč. Nejsou uvažovány vedlejší parametry, díky kterým by byla úspora ještě vyšší.

$$C = V \times (C_o - p_s) - C_p \quad [\text{Kč}]$$

C - prodej z filtračního cyklu [Kč]

		před rekonstrukcí	po rekonstrukci
V	[m ³]	4838	6048
p_s	[Kč/m ³]	2,50	
C_o	[Kč/m ³]	89,91	
C_p	[Kč]	5118	709
C	[Kč]	417807	527947

Tab. 10 - Porovnání získaných financí z jednoho filtračního cyklu

Z tab. 10 je zřejmé, že během filtračního cyklu filtry po rekonstrukci vyprodukují větší objem filtrované vody než před rekonstrukcí.

Cena za jeden filtrační cyklus jednoho filtru nyní může společnost prodávat o 110 tisíc Kč více. Cena před rekonstrukcí z jednoho filtračního cyklu byla méně než 420 tisíc Kč a po rekonstrukci téměř 530 tisíc Kč.

5.1.7 Výsledek rekonstrukce

V roce 2012 proběhla rekonstrukce z důvodu nižšího výkonu technologické části úpravní vody. Po rekonstrukci jsou v provozu tři vrty, místo čtyř původních. Voda z vrtů je čerpána na úpravnu vody, kde jsou odstraňovány zvýšené obsahy železa a manganu. Díky dávkovacím zařízením voda může natékat do dvou akumulčních nádrží o objemu 2 x 500 m³ (vodojem Lomnička). Odtud je sacím potrubím a prostřednictvím čerpadel čerpána do zásobovacího vodojemu Květnice.

Objem přefiltrované vody vzrostl po rekonstrukci o 20 % za jeden měsíc. Filtrační délka se zvýšila o 7 %, protože zvýšila plocha filtru. Nedochází k úspoře prací vody, ale jen ke snížení spotřeby vzduchu, což má za následek ušetření 30 % oproti stavu před rekonstrukcí. Dospělo se ke zkrácení doby praní, intenzita praní zůstala stejná. Dále se podařilo snížit potřebu prací vody o 82 %, která je využita na praní. Během jednoho praní se ušetří po rekonstrukci přes 40 m³ vody. Dosáhlo se vyšších objemů filtrované vody, podíl prací vody byl snížen na 0,13 %. Čistá jednotková výroba se zvýšila o 33 m, tedy 8 % rozdíl. Největší úspory nastaly v úspoře prací vody, elektrické energie (menší množství vody k praní filtrů) a k úspoře vzduchu pro dmychadlo. Cena praní jednoho filtru je po rekonstrukci 709 Kč, což je téměř o 4500 Kč nižší cena než před rekonstrukcí. Za jeden rok se díky rekonstrukci ušetří přes 420 tisíc Kč na úspoře praní. Cena za jeden filtrační cyklus může společnost prodávat o 110 tisíc Kč více.



Obr. 23 - Úpravna vody Lomnička - po rekonstrukci

5.2 ÚPRAVNA VODY ČEBÍN

5.2.1 Popis úpravny

Úpravna vody Čebín leží v Jihomoravském kraji v okrese Brno-venkov kousek od obce Čebín. Vzhledem k tomu, že voda z vrtů obsahuje nadlimitní množství železa a manganu, je voda upravována metodou IN SITU. To znamená, že odebraná voda z vrtu je na úpravně provzdušňována a část je vracena zpět do jiného vrtu. Tento systém čerpání a vracení vody se pravidelně střídá. Takto upravovaná voda je dezinfikována pomocí chlornanu sodného a poté čerpána zpět do vodojemu. Na procesu se podílejí jak čisté chemické reakce, tak reakce biochemické železitými a manganovými bakteriemi.



Obr. 33 - Úpravna vody Čebín - z venku

Vzhledem k tomu, že podzemní voda již dříve sloužila k zásobování obyvatelstva pitnou vodou, bylo nutné úpravnu v roce 1986 zrekonstruovat. A to z důvodu zamezení nežádoucích průniků sraženin vyšších oxidů železa vznikajících po chloraci do spotřebiště. Následkem toho byl přijat návrh na řešení úpravárenské technologie variantou úpravy v horninovém prostředí.

Technologie odželezování a odmanganování v horninovém prostředí je založena na změně fyzikálně - chemických parametrů zvodně. V závislosti na řadě dalších podmínek přecházejí rozpustné formy železa a manganu do málo rozpustné formy jako $\text{Fe}(\text{OH})_3$, MnO_4 nebo Mn_3O_4 .

K navození výše uvedených podmínek se využívá vsakování kyslíkem obohacené vody, jejíž oxidačně - redukční potenciál při rovnováze s kyslíkem je 300 - 400 mV. Tímto způsobem je v okolí jímacího vrtu vytvářena aktivovaná zóna tzv. horninový reaktor. [14]

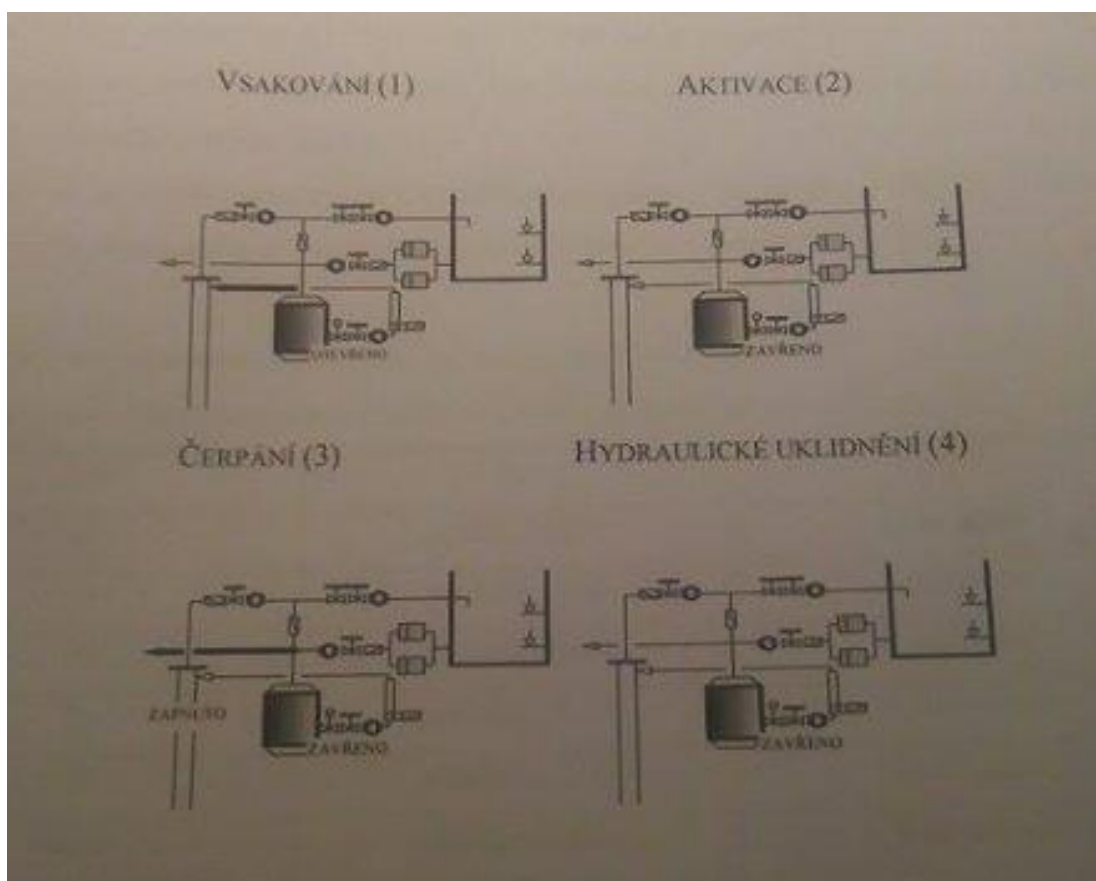
5.2.2 Technologický cyklus

Fáze vsakování slouží ke transportu příslušného objemu kyslíkem vody do horninového prostředí. Množství vsakované vody a tedy i kyslíku je závislé tedy na potenciálu zvodně, na koncentraci železa a manganu. Fáze vsakování je z technologického hlediska neproduktivní, a proto je snaha vsakování maximálně zkrátit.

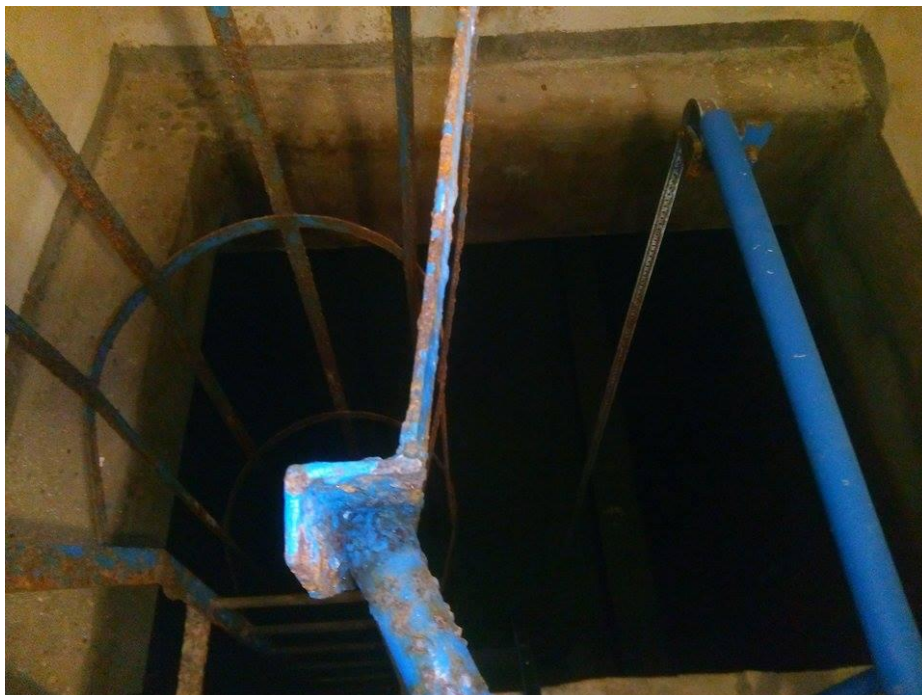
Během aktivační fáze je kyslík vázán na horninové prostředí a v závislosti na petrografickém a mineralogickém složení se tak sorbuje až 98% veškerého rozpuštěného kyslíku. Pokud vsakovaná voda obsahovala nadlimitní koncentrace železa nebo manganu, slouží rovněž aktivace k eliminaci těchto složek. Obvyklá délka aktivace nepřesahuje 3 hodiny.

Fáze čerpání, někdy také adsorpční fáze, záleží na povaze chemických procesů, které zde probíhají. Doba trvání adsorpční fáze je ovlivněna mineralogickým a zrnitostním složením a chemickým složením surové vody. K posouzení výsledné účinnosti se využívá tzv. koeficient výtěžnosti y_c . Tento koeficient představuje podíl mezi vyčerpaným objemem a vsáknutým objemem. Optimální úroveň dosáhne y_c až po více než 5 pracovních cyklů.

Fáze hydraulického uklidnění předchází fázi vsakování následujícího cyklu. Délka trvání fáze je ovlivněna dobou, za kterou hladina podzemní vody nastoupá do úrovně původní. Vylučují se tím některé nežádoucí projevy hydraulického rázování ve vrtech jako pískování. [14]

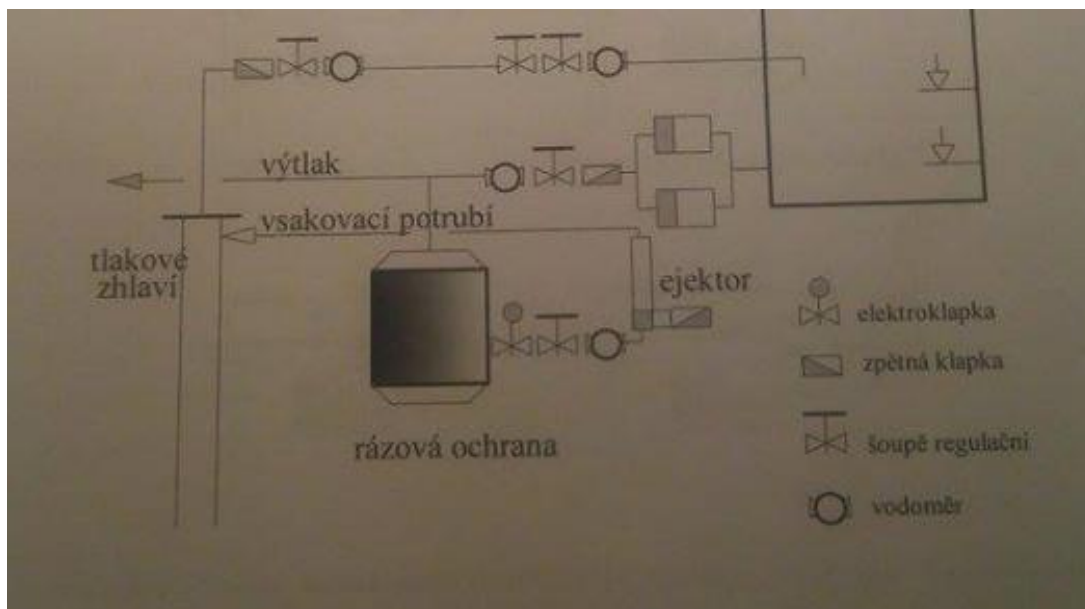


Obr. 34 - Úpravna vody Čebín - technologický cyklus



Obr. 35 - Úpravna vody Čebín - vstup do akumulční nádrže

Technologický cyklus je navržen na dobu 84 hodin. První částí je vsakování vody do vodojemu o objemu 380 m^3 . Čerpadlo ve vrtu je vypnuto. Po otevření elektroklapky je voda provzdušňována na ejektoru a pak je zasakována do vrtu po dobu 24 hodin. Poté se klapka uzavírá a následuje hodinová aktivace. Po ukončení aktivace je zahájeno čerpání z vrtu do akumulční nádrže o objemu 250 m^3 a odtud čerpadlem do vodojemu. Po uplynutí doby čerpání navazuje fáze hydraulického uklidnění o délce 1 hodiny. Tím je technologický cyklus ukončen a následuje další. [14]



Obr. 36 - Úpravna vody Čebín - technologické schéma



Obr. 37 - Úpravna vody Čebín - tlaková nádrž



Obr. 38 - Úpravna vody Čebín - ejektor



Obr. 39 - Úpravna vody Čebín - čerpadla, žebřík do akumulční nádrže

5.3 ZHODNOCENÍ

Úpravna vody v Čebíně odstraňuje stejné znečištění jako úpravna vody v Lomničce a to nadlimitní množství železa a manganu. Na úpravně nejsou žádné filtry, ale je zde využívána metoda IN SITU. Tato metoda spočívá v tom, že odebíraná voda z vrtu je na úpravně vody provzdušňována a následně je část vrácena zpět do jiného vrtu. Tento systém čerpání se střídá s vrácením vody. Poté je voda dezinfikována chlornanem sodným a následně je čerpána do vodojemu.

Úpravnu v Čebíně jsem si vybral jako ukázkou stavební technologie. Dostal jsem k zapůjčení projektovou dokumentaci z osmdesátých let minulého století, kde bylo hodně informací o celé stavbě, ale jen málo věcí ohledně filtrace. Nemohl jsem proto počítat s filtračními hodnotami, jak na úpravně v Lomničce.

Na této úpravně by měla být v brzké době provedena rekonstrukce celého areálu. Rekonstrukce na úpravně vody v Čebíně bude spočívat ve stejném duchu, jak úpravna v Lomničce.

Úpravna vody v Lomničce prošla rekonstrukcí v roce 2012 z důvodu nižšího výkonu technologické části. Po rekonstrukci byl jeden vrt zrušen a nyní jsou v provozu tři vrty. Z vrtů jsou odstraňovány zvýšené obsahy železa a manganu. Voda pokračuje do dvou akumulčních nádrží a poté je čerpána do vodojemu Květnice, který leží poblíž Tišnova.

Po vypočítání provozních hodnot jsem na úpravně vody v Lomničce došel k těmto výsledkům. Objem přefiltrované vody vzrostl po rekonstrukci o 20 % za jeden měsíc. Filtrační délka se zvýšila o 7 %, protože se zvýšila plocha filtru. Nedochází k úspoře prací vody, ale jen ke snížení spotřeby vzduchu, což má za následek ušetření 30 % oproti stavu před rekonstrukcí. Dospělo se ke zkrácení doby praní, intenzita praní zůstala stejná. Dále se podařilo snížit potřebu prací vody o 82 %, která je využita na praní. Během jednoho praní se ušetří po rekonstrukci přes 40 m³ vody. Čistá jednotková výroba se zvýšila o 33 m, tedy 8 % rozdíl. Největší úspory nastaly v úspoře prací vody, elektrické energie (menší množství vody k praní filtrů) a k úspoře vzduchu pro dmyhadlo. Cena praní jednoho filtru je po rekonstrukci 709 Kč, což je téměř o 4500 Kč nižší cena než před rekonstrukcí. Za jeden rok se díky rekonstrukci ušetří přes 420 tisíc Kč na úspoře praní. Cenu za jeden filtrační cyklus může společnost prodávat o 110 tisíc Kč více.

6. ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo získat informace ohledně filtrace, čerpal jsem jak z české, tak zahraniční literatury. Zaměřil jsem se na různé rozdělení filtrů, hlavně rozdělení podle rychlosti - na biologickou (pomalou) filtraci a na rychlofiltraci. U vybraných filtrů jsem popsal jejich uspořádání, použití a regeneraci.

V další části jsem popisoval výkonnostní parametry filtrů. Zařadil jsem zde filtrační cyklus, filtrační délku, kalovou kapacitu, zákal a filtrační materiály. V dnešní době je snaha se co nejvíce přiblížit procesům, které probíhají v přírodě, což souvisí s vlastnostmi filtračního materiálu. Klasickým filtračním materiálem je křemičitý písek, ale dnes jsou také často využívány nové alternativní filtrační materiály. Například materiály jako Filtralite, Hydroantracit, Dorsilit, Greensand, Birm atd. Mít volbu filtračního materiálu je velmi významná možnost při úvaze o rekonstrukci filtrů.

Ve třetí části mé práce jsem se zaměřil na drenážní systémy s a bez mezidna. Scezovací systémy bez mezidna mají menší konstrukční výšku, která umožňuje zvýšení filtrační náplně. Popřípadě lze využít dvouvrstvý filtr, který zlepší efektivitu filtrace. Oproti systému s mezidnem mají tyto systémy více otvorů, tudíž jsou efektivnější z hlediska praní. V současnosti má většina úpraven vody v České republice stáří kolem 40 let, a proto budou zapotřebí jejich rekonstrukce. Probíhající rekonstrukce nastaly z důvodů jako opotřebení zařízení, zhoršení kvality surové vody a vzrůstajících požadavků na parametry pitné vody.

Poslední část spočívala ve zhodnocení dvou úpraven vody, které jsem navštívil. Na úpravně vody v Lomničce jsem dostal potřebnou projektovou dokumentaci, kterou jsem využil k výpočtu výkonnostních parametrů filtrů. Počítal jsem objemy filtrované vody, filtrační délku, objem prací vody, čistou jednotkovou výrobu a finanční rozvahu. Výsledné hodnoty jsem pak porovnal mezi stavem před rekonstrukcí a po rekonstrukci. Vyšlo, že po rekonstrukci se snížila doba praní a také potřeba prací vody o 82 %. Největší úspory nastaly v úspoře prací vody, elektrické energii a k úspoře vzduchu pro dmychadlo. Cena praní jednoho filtru je po rekonstrukci téměř o 4500 Kč nižší než cena před rekonstrukcí. Za jeden rok se díky rekonstrukci ušetří přes 420 tisíc Kč na úspoře praní. Cenu za jeden filtrační cyklus může společnost prodávat o 110 tisíc Kč více. Na druhé úpravně v Čebíně jsem dostal velmi starou projektovou dokumentaci, kde nebylo moc informací o filtraci. Proto jsem počítal jen s hodnotami z úpravny v Lomničce. Čebínská úpravna je stále v provozu, ale brzy zde nastanou potřebné rekonstrukce. Po rekonstrukci si budou obě dvě úpravny velmi podobné, protože na obou se odstraňuje stejné znečištění, ale zatím jiným způsobem filtrace.

7. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. Vodárenství: A. úprava vody. Brno: VUT v Brně, FAST, 2006, s. 223
- [2] American Water Works Association: Filtration Basic Course. Module 1: Filtration. AWWA e-Learning, 2009
- [3] Vodní hospodářství - Filtrační materiál Filtralite - strana 33. Dostupné z: <http://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2013/vh10-2013.pdf>
- [4] BKG - Úprava vody s.r.o. - Hydroantracit. Dostupné z: <http://www.uprava-vody.eu/hydroantracit>
- [5] Úpravna vody Lomnička, Zlepšení kvality pitné vody - projektová dokumentace, Aqua Procon
- [6] Filtrační hmoty a chemikálie pro úpravu vody: Vodárenský tříděný písek Dorsilit. Kowa spol. s.r.o.
- [7] ILAVSKÝ, J. a kol.: Chémia vody a hydrobiológia, STU Bratislava, 2008, ISBN 978-80-227-2930-7, s. 242
- [8] KNOCKE, W.R., Hamon, J.R., Thompson, C.P.: Soluble Manganese Removal on Oxide-Coated Filter Media. Jour. AWWA, 12/1998, s.65 - 70.
- [9] FÖLDESOVÁ M., Hudec P.: Štúdium povrchových vlastností Slovenského prírodného zeolitu - klinoptiolitu fyzikálnou adsorpciou dusíka. Petroleum&Coal 49 (1), 34-40, 2007
- [10] DOLEJŠ, Petr. Provozní optimalizace a vývojové trendy vodárenské filtrace. Vodní hospodářství. Bohumilice: Vodní hospodářství, spol. s r.o., 2009, 51(2), 37 - 39
- [11] DOLEJŠ, Petr. Provozní optimalizace a vývojové trendy vodárenské filtrace. Sborník konference s mezinárodní účastí Pitná voda, s.75-82. Hydrotechnológia Bratislava s.r.o., Bratislava 2008
- [12] GIMBEL R.: Theoretical Approach to Deep Bed Filtration. In: Water, Wastewater and Sludge Filtration. S. Vignesvaran and R. Ben Aim Eds. CRC Press, Boca Raton, Florida 1989
- [13] KAU S.M., LAWLER D.F.: Dynamics of Deep - Bed Filtration: Velocity, Depth and Media. Jour. Of Envir. Engrg. 121, 1995.
- [14] Úpravna vody Čebín, Úprava vody v podzemí - projektová dokumentace, Vodárenská akciová společnost a.s.
- [15] DOLEJŠ, Petr, Pavel DOBIÁŠ a Klára ŠTRAUSOVÁ. Porovnání vybraných filtračních materiálů při použití v jednostupňové a dvoustupňové separaci (flotace-filtrace). SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací. Praha: 2012, 8 (6), 15-17.
- [16] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. Příručka provozovatele úpravy pitné vody. Vydavatelství a nakladatelství Líbeznice: Medim, spol. s.r.o. pro SOVAK ČR, c2005, 206 s. ISBN 80-239-4563-3.

- [17] DRBOHLAV, Josef a Petr DOLEJŠ. Zkušenosti s používáním drenážních systémů Leopold (ITT) při rekonstrukcích úpraven vody v České republice. SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací. Praha: 2009, 5 (10), 5-9.
- [18] Drenážní systém pro vodárenské filtry - prospekt firmy ENVI-PUR, s.r.o. 2006.
- [19] DOLEJŠ, Petr, Pavel DOBIÁŠ: Výsledky provozu rekonstruované filtrace na ÚV Hradiště. Zborník odborných prac z konferencie s mezinárodnou účasťou „Voda Zlín 2008“, s. 137-142. Moravská vodárenská, a.s. 2008.
- [20] NOVÁK, Vladimír: Vztah mezi hydraulickým řešením, konstrukcí a funkcí vodárenských filtrů, praných vodou a vzduchem, Aquafilter v. o. s., Praha.
- [21] NOVÁK, Vladimír: 25 let aplikace českého trubního drenážního systému Aquafilter ve vodárenských filtrech, Aquafilter v. o. s., Praha.
- [22] Vodní hospodářství - Vodárenské filtry s trubním drenážním systémem z plastů - strana 42. Dostupné z: <http://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2008/vh09-2008.pdf>
- [23] RIVET, Christian, Fabrice COURAGEOT a Zdeněk HRADIL. Nerezové drenážní systémy Triton ve filtrační technologii pitných vod. In: Voda Zlín 2008. 1. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., 2008. s. 51-59. ISBN: 978-80-254-1348-7.
- [24] HRADIL, Zdeněk a Pavel ADLER. Zkušenosti s provozem šterbinového drenážního systému Triton na ÚV Štítná nad Vláří. In: Voda Zlín 2011. 1. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., 2011. s. 109-115. ISBN: 978-80-254-9113-3.
- [25] Drenážní systém TRITON - Johnson Screens, Bilfinger Water Technologies, Německo. Dostupné z: http://www.kunst.cz/media/dokumenty/cz/zastoupeni/bwt_pbl_jos_systeme_triton_4s_cz_rz-web.pdf
- [26] Vernier - Vybavení pro výuku přírodovědných oborů, senzory Vernier, Edufor s. r. o., Praha. Dostupné z: <http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/trb-bta>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Porovnání objemu filtrované vody	40
Tab. 2 - Porovnání filtračních délek.....	41
Tab. 3 - Porovnání spotřeby pracích médií - podle provozního řádu.....	42
Tab. 4 - Porovnání spotřeby pracích médií - podle provozu.....	43
Tab. 5 - Porovnání spotřeby prací vody za jeden měsíc.....	44
Tab. 6 - Využití prací vody	45
Tab. 7 - Spotřeba prací vody - procentuální vyjádření.....	45
Tab. 8 - Čistá jednotková výroba - porovnání.....	46
Tab. 9 - Cena praní - porovnání	47
Tab. 10 - Porovnání získaných financí z jednoho filtračního cyklu.....	47

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Mechanické cezení [1]	13
Obr. 2 - Usazování [1]	13
Obr. 3 - Adsorpce [1]	13
Obr. 4 - Kolmatace pomalého filtru [1]	14
Obr. 5 - Pomalý filtr - otevřený [18]	15
Obr. 6 - Křivka zrnitosti [1]	21
Obr. 7 - Filtrační materiál - Hydroantracit [4]	22
Obr. 8 - Filtrační materiál - Filtralite [3]	23
Obr. 9 - Filtrační materiál - Dorsilit - zrnitostní třídy [6]	23
Obr. 10 - Pomalá písková filtrace [2]	16
Obr. 11 - Filtrační hlavice [1]	30
Obr. 12 - Průběh filtrační fáze [1]	27
Obr. 13 - Drenážní systém Leopold - profil potrubí, proudění prací vody a vzduchu [18]	31
Obr. 14 - Drenážní systém Leopold - vzdálenost otvorů, mrtvý prostor [19]	32
Obr. 15 - Drenážní systém - kruhové filtry v úpravně vody Tlumačov [22]	32
Obr. 16 - Drenážní systém Triton - konstrukce segmentu [24]	33
Obr. 17 - Drenážní systém Triton - montáž [25]	33
Obr. 18 - Drenážní systém Triton - řez [25]	34
Obr. 19 - Drenážní systém - běžný, Triton [25]	34
Obr. 20 - Otevřený rychlofiltr - schéma [1]	18
Obr. 21 - Filtr s oboustranným průtokem [1]	18
Obr. 22 - Tlakové filtry - stojatý, ležatý [1]	19
Obr. 23 - Úpravna vody Lomnička - po rekonstrukci	48
Obr. 24 - Filtrační materiál - Greensand [9]	24
Obr. 25 - Ilustrace zákalu - hodnoty NTU [26]	29
Obr. 26 - Zákaloměr [26]	29
Obr. 27 - Úpravna vody Lomnička - před rekonstrukcí - 2011	35
Obr. 28 - Úpravna vody Lomnička - rychlofiltry	36
Obr. 29 - Úpravna vody Lomnička - rychlofiltry, detail	37
Obr. 30 - Úpravna vody Lomnička - čerpadla, protirázová ochrana	38
Obr. 31 - Úpravna vody Lomnička - kalová jímka	39
Obr. 32 - Úpravna vody Lomnička - manganistan draselný	39
Obr. 33 - Úpravna vody Čebín - z venku	49
Obr. 34 - Úpravna vody Čebín - technologický cyklus	50

Obr. 35 - Úpravna vody Čebín - vstup do akumulární nádrže.....	51
Obr. 36 - Úpravna vody Čebín - technologické schéma	51
Obr. 37 - Úpravna vody Čebín - tlaková nádrž	52
Obr. 38 - Úpravna vody Čebín - ejektor.....	52
Obr. 39 - Úpravna vody Čebín - čerpadla, žebřík do akumulární nádrže.....	52

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ZF...	jednotky zákalu (formazinové jednotky)
NTU...	jednotky zákalu (Nephelometric Turbidity Units)
t...	doba filtračního cyklu [s]
K...	kalová kapacita [g/m^2]
C_0 ...	hmotnostní koncentrace na přítoku [g/m^3]
v...	povrchová rychlost [m/s]
PE...	polyethylen
HDPE...	polyethylen s vysokou hustotou
V...	objem přefiltrované vody za filtrační cyklus [m^3]
Q...	výkon filtru [m^3/s]
p...	počet filtračních cyklů za měsíc [-]
n...	počet filtračních jednotek [-]
L_f ...	filtrační délka [m^3/m^2 , tj. m]
S...	plocha filtru [m^2]
V_f ...	objem pracího média [m^3]
Q_f ...	prací intenzita během fáze [m^3/s]
m...	množství prací vody vrácené k úpravě [%]
$V_{\%}$...	vyjádření objemu prací vody z celkového přefiltrovaného objemu [%]
L...	čistá jednotková výroba [m]
L_p ...	prací délka [m]
C_p ...	cena praní - s ohledem na cenu vody pro odběratele [Kč]
p_s ...	poplatek státu [$\text{Kč}/\text{m}^3$]
C_o ...	cena vody pro odběratele [$\text{Kč}/\text{m}^3$]
C...	prodej z filtračního cyklu [Kč]

SUMMARY

The aim of this bachelor's thesis was get information about a filtration, I gained this from Czech and foreign literature. I focused on the various distribution of filters, mainly by speed - biological (slow) filtration and filter backwashing. I described their arrangements, uses and filter outputs.

In the next part I described the performance characteristics of filters. I ranked there a filtration cycle, filtration length, sludge capacity, turbidity and filtration material. Today there is an effort to get closer to the processes that occur in nature, which is associated with the properties of the filtration material. Classic filtration material is silica sand, on the other hand new alternative filtration materials are also often used nowadays. For example materials such as Filterlite, Wateranthracite, Dorsilit, Greensand, Birm etc. Having a choice of filter material is very important when considering the possibility of reconstruction filters.

In the third section of my work I focused on underdrain systems with and without the intermediate floor. Clarifying systems without intermediate floor have a lower structural height which allows an increase in the filter media. Alternatively, you can use a two-layer filter that improves the efficiency of filtration. Compared to a system with the intermediate floor, these systems have more apertures so there are more efficient in terms of washing. Currently most water treatment plants in the Czech Republic are at the age of 40, so there is a need for their reconstruction. Ongoing reconstructions have occurred for reasons such as equipment wear, deterioration in the quality of raw water and the increasing demands on the parameters of drinking water.

The last part consists of evaluation of two water treatment plants I visited. At the water treatment plant in Lomnička I got the necessary design documentation which I have used to calculate the performance parameters of filters. I counted the volumes of filtered water, filtration length, the volume of wash water, clean production unit and a balance sheet. The resulting values I compared between conditions before and after reconstruction. It was obvious that reconstruction helped the reduction of washing time and the need to wash water by 82 %. The biggest savings occurred in savings backwash water, electricity and saving air blower. The price of washing of a filter after reconstruction is almost CZK 4,500 less than the price before reconstruction. Thanks to the reconstruction, it was saved over CZK 420 thousand for saving washing. The company can increase the value of a single filtration cycle by 110,000 CZK. On the other neatly in Čebín I received a very old project documentation lacking the information about filtering. Therefore, I counted only with values from the plant in Lomnička. Čebín treatment plant is still in operation, but soon there will occur need reconstruction. After that both plant will be very similar because of removing the same pollution. Although the way of filtration is different for now.