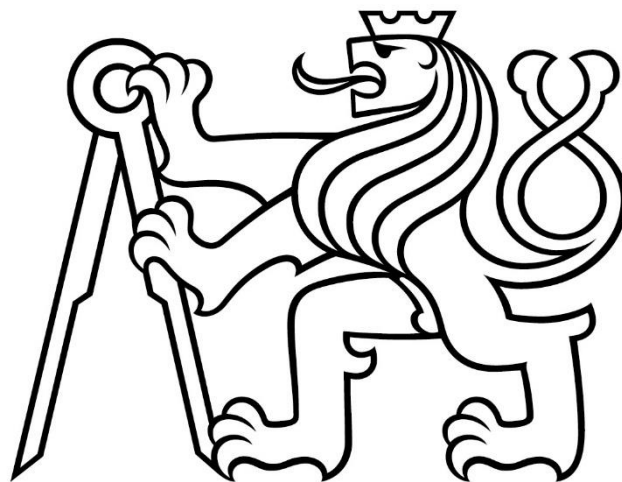


České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra zdravotního a ekologického inženýrství



Bakalářská práce

**Vyhodnocení provozu úpravny vody
Hradiště**

The Evaluation of the Operation of Water
Treatment Plant Hradiště

Vypracoval: Vít Neruda

Vedoucí práce: Ing. Kateřina Slavičková, Ph.D.

Květen 2019



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Neruda Jméno: Vít Osobní číslo: 459041
Zadávající katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vyhodnocení provozu úpravy vody Hradiště
Název bakalářské práce anglicky: The Evaluation of the Operation of Water treatment Plant Hradiště

Pokyny pro vypracování:

Předmětem práce bude vyhodnocení provozu úpravy vody Hradiště z hlediska jakosti surové a upravené vody, provozních a ekonomických parametrů. Součástí práce bude zpracování literární rešerše k dané problematice s využitím české i zahraniční literatury. Využity budou také výsledky provozních rozborů a technické informace ohledně provozu na úpravě vody Hradiště.

Seznam doporučené literatury:

Hahn: Chemical water and wastewater treatment VIII, IWA publishing, 2004
ŽÁČEK, L.: Chemické a technologické procesy úpravy vod, Noel 2000 s.r.o., 1999

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Kateřina Slavičková, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 26. 5. 2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

21.2.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl použité zdroje v souladu s Metodickými pokyny o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 26.5.2019

.....

Vít Neruda

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval paní vedoucí Ing. Kateřině Slavičkové, Ph.D. za odborné konzultace, nezměrnou trpělivost a vstřícný přístup. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Františku Fedorovi, vedoucímu úpravny vody Hradiště, který mě několikrát úpravnou provedl, dal mi možnost zúčastnit se kontrolních měření a vždy byl ke mně vstřícný. Děkuji mu také za data poskytnutá k vyhodnocení praktické části.

Abstrakt

Bakalářská práce je v teoretické části zaměřena na obecné popsání technologického postupu úpravy vody a na postupy využití na úpravně vody Hradiště. V praktické části jsou předmětem vyhodnocení provozní a ekonomické údaje z úpravny vody Hradiště. K vyhodnocení provozních ukazatelů jsem získal podklady s hodnotami pH, CHSK_{Mn}, hliník, mangan a železo. Všechny poskytnuté údaje jsou jak ze surové vody, tak z vody upravené. Data pochází z laboratoře v Mostě a z laboratoře na úpravně vody Hradiště. Obdržená ekonomická data se týkají nákladů na úpravu vody na úpravně vody Hradiště. Všechna poskytnutá data pocházejí z období mezi lety 2014 až 2018.

Klíčová slova: úprava vody, úpravna vody Hradiště, technologická linka úpravny vody Hradiště

Abstract

The theoretical part of the bachelor thesis is focused on the general description of the technological process of water treatment and the procedures used at the water treatment plant Hradiště. The practical part deals with the evaluation of operational and economic data from the water treatment plant Hradiště. In order to evaluate the operational indicators, I have measured data of pH, CODMn, aluminium, manganese and iron. All the data provided are from both raw water and treated water. The data comes from the laboratory in Most and from the laboratory at the water treatment plant Hradiště. The economic data received concern the costs of water treatment at the water treatment plant Hradiště. All data are from period 2014 to 2018.

Key words: water treatment, water treatment plant Hradiště, technological line of water treatment plant Hradiště

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Teoretická část	10
2.1	Vodárenství v severních Čechách	10
2.2	Výstavba, historie a rekonstrukce vody Hradiště.....	11
2.3	Vodní nádrž Přísečnice	13
2.4	Zdroje povrchové a podzemní vody.....	15
2.5	Technologie úpravy vody.....	16
2.5.1	Mechanické předčištění.....	16
2.5.2	Preoxidace.....	18
2.5.3	Rychlomísíče.....	18
2.5.4	Koagulace.....	18
2.5.5	Flotace.....	19
2.5.6	Filtrace	20
2.5.6.1	Objemová filtrace.....	21
2.5.6.1.1	Pomalá filtrace	21
2.5.6.1.2	Rychlá filtrace.....	21
2.5.6.1.2.1	Drenážní systém Leopold.....	22
2.5.6.2	Náplavná filtrace	23
2.5.6.3	Membránová filtrace	23
2.5.6.3.1	Mikrofiltrace	23
2.5.6.3.2	Ultrafiltrace	23
2.5.6.3.3	Nanofiltrace.....	23
2.5.6.3.4	Reverzní osmóza	23
2.5.7	Adsorpce na granulovaném aktivním uhlí	24
2.5.7.1	GAU Envirocarb AP	25
2.5.8	Stabilizace	25
2.5.9	Dezinfekce vody.....	26

2.5.10	Kalové hospodářství.....	27
2.6	Malá vodní elektrárna	28
2.6.1	Peltonova turbína	28
2.6.2	Francisova turbína.....	28
2.6.3	Kaplanova turbína	29
2.7	Ukazatelé jakosti pitné vody	29
2.7.1	Legislativa týkající se vybraných parametrů jakosti	29
2.7.2	Teplota pitné vody.....	29
2.7.3	Zákal.....	29
2.7.4	pH.....	30
2.7.5	Železo.....	30
2.7.6	Mangan.....	30
2.7.7	CHSK _{Mn}	31
2.7.8	Hliník	31
3	Praktická část	32
3.1	Popis technologické linky ÚV Hradiště a MVE Hradiště	32
3.1.1	Normální stav	32
3.1.2	Specifické stavy	36
3.2	Provozní chemikálie na ÚV Hradiště.....	36
3.2.1	Vápenný hydrát	36
3.2.2	Síran hlinitý.....	37
3.2.3	Magnafloc	37
3.2.4	Manganistan draselný.....	37
3.2.5	Síran amonný	37
3.2.6	Oxid uhličitý.....	37
3.2.7	Chlor.....	37
3.3	Aktuální technologické problémy	38
3.4	Vyhodnocení parametrů jakosti surové a upravené vody z ÚV Hradiště	41
3.4.1	Laboratoř Most.....	42

3.4.1.1	pH.....	42
3.4.1.2	CHSK _{Mn}	44
3.4.1.3	Hliník	46
3.4.1.4	Mangan.....	48
3.4.1.5	Železo.....	50
3.4.2	Laboratoř ÚV Hradiště.....	52
3.4.2.1	pH.....	52
3.4.2.2	CHSK _{Mn}	54
3.4.2.3	Hliník	56
3.4.2.4	Mangan.....	58
3.5	Ekonomické údaje.....	59
3.5.1	Obecné údaje týkající se provozovatele	59
3.5.2	Vyhodnocení ekonomických parametrů.....	61
4	Závěr	63
5	Seznam použité literatury.....	65
6	Seznam obrázků	68
7	Seznam tabulek	69

1 Úvod

V úvodu bakalářské práce bude záměrem čtenáře elementárně seznámit s vodárenstvím v severních Čechách, výstavbou a významnými historickými daty souvisejícími s úpravnou vody Hradiště a realizací vodního díla Přísečnice.

Základem teoretické části bude obecné popsání technologického postupu úpravy vody. V této části se zaměřím na technologie úpravy povrchové vody a na postupy využití na úpravně vody Hradiště. Jako zdroje poslouží jak literatura česká, tak zahraniční. Příkladem užití literatury budiž například Chemické a technologické procesy úpravy vod od Ladislava Žáčka či Chemical water and wastewater treatment VIII od Hermanna Hahna.

V praktické části se budu zabývat provozními a ekonomickými údaji z úpravní vody Hradiště. V této části bude rozebrán provoz úpravní vody Hradiště, provozní chemikálie nutné k úpravě vody na úpravně vody Hradiště a problém se zápachem upravené vody. Dále jsem získal k vyhodnocení provozní ukazatele, konkrétně hodnoty pH, výskyt železa, hliníku, manganu a hodnoty CHSK_{Mn}. Všechny údaje jsou jak z vody surové, tak z vody upravené. Zhodnocené údaje pochází z laboratoře na úpravně vody Hradiště a z laboratoře v Mostě.

Poskytnuté údaje pochází z období mezi lety 2014-2018. Na úpravně vody Hradiště jsou odebírány vzorky vody k následnému vyhodnocení každý den. Jednou týdně jsou navíc vzorky odesílány do laboratoře v Mostě, kde dochází k podrobnějšímu rozboru. Součástí vyhodnocení jsou základní popisné statistické údaje, dvouvýběrový F-test pro rozptyl a grafické vyhodnocení.

Všechny vzorky surové vody byly odebrány z odběrného etážového objektu na vodním díle Přísečnice.

V pasáži o ekonomických údajích bude součástí nejprve obecné konstatování o základních ekonomických údajích SčVK a.s. a následně vyhodnocení celkových nákladů úpravní vody Hradiště za rok 2018 a nákladů na m³ v období mezi lety 2014–2018.

2 Teoretická část

2.1 Vodárenství v severních Čechách

Provozovatelem a poskytovatelem vodárenských služeb v severních Čechách jsou Severočeské vodovody a kanalizace a.s. Ve značně diverzifikovaném českém vodárenství se jedná o velmi významnou společnost. Severočeské vodovody a kanalizace a.s. spravují podle rozlohy působnosti největší území v České republice. Konkrétně se jedná o 9670 kilometrů vodovodního řadu, 83 úpraven vody a 213 čistíren odpadních vod. Vezmeme-li v úvahu počet zásobených obyvatel, jsou Severočeské vodovody a kanalizace a.s. (dále jen SčVK) na pomyslném druhém místě hned za Pražskými vodovody a kanalizacemi a.s. Severočeské vodovody a kanalizace a.s. zásobovaly v roce 2018 v Ústeckém kraji, Libereckém kraji, městě Rožtoky a Špindlerově Mlýně celkem 1 152 518 obyvatel pitnou vodou [25].

Výroba a distribuce pitné vody musí splňovat kvalitativní ukazatele dle platné legislativy.

Zákonem č. 254/2001 Sb., *o vodách* [44] se řídí mimo jiné odběr surové vody určené k úpravě na vodu pitnou a ochrana vodních zdrojů. Zákonem č. 274/2001 Sb., *o vodovodech a kanalizacích* [45] se řídí provozování vodovodů a kanalizací, konkrétně prováděcí vyhláškou č. 428/2001 Sb. [41] ministerstva zemědělství kvalitativní ukazatele vyrobené vody. Pro distribuci vody jsou dále podstatné zákon č. 263/2016 Sb., *atomový zákon* [46] a zákon číslo 258/2000 Sb., *o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů* resp. Vyhláška ministerstva zdravotnictví č.252/2004 Sb., *kteřou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody* [38].

O kontrolu kvality vody v SčVK se stará akreditovaná zkušební laboratoř číslo 1372.3 - *Útvar kontroly jakosti v rozsahu udělené akreditace: fyzikální, chemické, biologické, mikrobiologické rozborů pitných, bazénových a teplých vod, odpadních vod, kalů, odpadů, vodních výluhů, sedimentů a samostatné vzorkování vod, odpadů, kalů a sedimentů* [25]. Kvalita vody má dlouhodobě vysoký standart. V roce 2018 bylo provedeno přes 38 tisíc rozborů pitné vody a rozborů prokázaly, že se kvalita upravené vody neustále zlepšuje [25].

Na procesu úpravy pitné vody se podílí, již výše zmíněných, 83 úpraven vody. Rád bych zde zmínil několik významných a krátce s nimi seznámil. Mezi nejvýznamnější v severních Čechách se řadí úpravna vody Bedřichov, úpravna vody Hradiště anebo také úpravna vody Meziboří [25].

Mezibořská úpravna upravuje surovou vodu z vodní nádrže Fláje. Pitnou vodou zásobuje města Most, Litvínov, Duchcov, Bílinu a Teplice a další přilehlé obce. Svým významem i velikostí se jedná o úpravnu srovnatelnou s úpravnou vody v Hradiště. Oproti již zmíněné úpravně vody v Hradišti je starší. S její výstavbou se započalo již v 50. letech minulého století [23].

Úpravna vody Bedřichov se nachází 17 kilometrů severovýchodně od Liberce. Je významným zdrojem skupinového vodovodu Liberec-Jablonec nad Nisou. Do provozu byla uvedena v roce 1987. Úpravna vody Bedřichov je zásobována vodní nádrží Josefův Důl. Dnes zásobuje okolo 55 tisíc obyvatel Liberce pitnou vodou [23].

Poslední z mého výčtu je Úpravna vody Hradiště, které se budu věnovat po zbytek bakalářské práce.

2.2 Výstavba, historie a rekonstrukce vody Hradiště

Úpravna vody Hradiště správně spadá pod město Klášterec nad Ohří, nachází se přibližně 5 kilometrů na severovýchod od centra města. Její význam pro zásobování severních Čech pitnou vodou je zcela zásadní. Spolu s úpravnou vody v Meziboří u Litvínova tvoří klíčové zdroje Severočeské vodárenské soustavy [23].

Úpravna vody Hradiště upravuje surovou vodu z vodní nádrže Přísečnice a zásobuje okolo 250 tisíc obyvatel pitnou vodou. Vybudována byla až v 70. letech minulého století. Slavnostně byla otevřena až v roce 1976. Během svého životního cyklu prošla již několika rekonstrukcemi. Ve většině případů se samozřejmě jednalo o opravy či zlepšení stávajících technologií [23].



Obrázek 1- Distribuční síť ÚV Hradiště [25]

I do budoucna jsou plánovány rozsáhlé rekonstrukce. Nejbližší by se měla konat v roce 2021 až 2022. Konkrétně by mělo jít hlavně o rekonstrukci filtrace, která je již na pokraji své životnosti. Surová voda z vodní nádrže Přísečnice má většinou poměrně stabilní složení. Úpravně vody Hradiště se daří splňovat přísné legislativní požadavky na jakost upravené vody, avšak i tak občas dochází k mimořádným stavům. Nejvýznamnější souvisí s vyšším biologickým znečištěním či inkrustací potrubí [23].

To se odvíjí od hydrologických a klimatologických ukazatelů. Biologické znečištění se cyklicky opakuje v jarních měsících a poté v letních, hlavně na přelomu července a srpna. Dnes již velmi často trvá až do konce září. Vzhledem k změnám klimatu je vysoce pravděpodobné, že bude stupeň biologického znečištění i nadále stoupat. V letošním roce se očekává znečištění několikanásobně větší než v roce minulém. I do budoucna bude velmi složité predikovat množství biologického znečištění. Jelikož se nejvíce biologicky znečištěná voda nachází na povrchu vodní nádrže Přísečnice, volí provozovatel po rozborech surové vody jiné okno z etážového objektu. Na výběr má ze 4 odběrných oken. Nejnižší má kótu 700 m n. m., další 707 m n. m., třetí se nachází ve

výšce 714 m n. m. a nejvyšší má kótu 722 m n. m. Další možností pro zlepšení problému je optimalizace technologického procesu úpravy vody resp. koagulace [23,33].

Inkrustace potrubí na úpravě vody v Hradišti je poměrně zajímavým problémem. Dochází k ní kvůli vápencovým usazeninám. Je nutné dávkovat vápennou vodu do potrubí, které přivádí surovou vodu z malé vodní elektrárny do prostorů úpravy, postupem času se zanáší, a proto je ho nutné jednou za čas vyčistit. Poslední takové čištění proběhlo v listopadu 2008, kdy bylo potrubí o průměru 1000 mm zaneseno natolik, že se jeho průměr zmenšil téměř na polovinu. Další plánované čištění bude provedeno v termínu 21. – 22. května 2019. Minulé čištění obstarala dodavatelská firma ERKA Žatec s.r.o., ale vzhledem k velké náročnosti prací a nebezpečí, které je spojeno s realizací, bude další čištění obstarávat Báňská záchranná služba Most. Potrubí je průlezné, nicméně celý úkon znepríjemňuje skutečnost, že se jedná o poměrně dlouhý úsek potrubí s malým profilem, a že má potrubí velký sklon. Dalším problémem je nutnost zajistit dostatečné zásobování kyslíkem pro dělníky, kteří čištění realizují [23].

2.3 Vodní nádrž Přísečnice

Vodní nádrž Přísečnice se nachází v Ústeckém kraji, na Chomutovsku. Vodní dílo Přísečnice katastrálně spadá pod obec Kryštofovy Hamry. Provozovatelem nádrže je Povodí Ohře, s.p. Nádrž leží 732,8 m n. m. Jedná se o sypanou homogenní hráz se středním zemním těsněním. Rozloha nádrže je 36,2 hektaru a objem stálého nadržení je 46,67 milionů m³ [33].

Vodní nádrž Přísečnice byla vybudována na místě stejnojmenné obce Přísečnice. Jednalo se o velmi známou a důležitou obec již od Vrcholného středověku. V okolí obce Přísečnice se již ve 12. století dobývala železná a stříbrná ruda. Po poválečném odsunu Němců klesl významně počet obyvatel a význam obce skomíral. V kombinaci s nedostatkem vody bylo proto rozhodnuto o zrušení obce. Úředně obec zanikla 30. června 1974 [3].

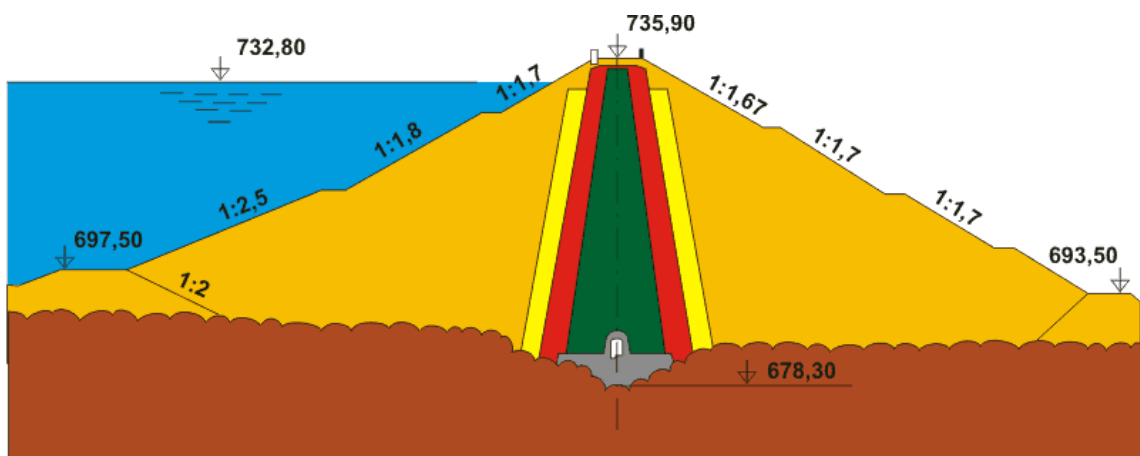
Nádrž byla vybudována jako součást vodního díla Přísečnice mezi lety 1969 až 1976 a je součástí vodohospodářské soustavy v oblasti severočeské hnědouhelné pánve. Investorem bylo Povodí Ohře a projekční činností byl pověřen Hydroprojekt Praha [33]. Účelem nádrže je akumulace vody pro zásobení obyvatelstva pitnou vodou, *zajištění minimálního průtoku v toku Přísečnice v profilu limnigrafu Přísečnice-odtok a snížení*

povodňových průtoků v toku a částečná ochrana území pod hrází před povodněmi [33].



Obrázek 2- VD Přísečnice [23]

Součástí vodního díla Přísečnice bylo vybudování sypané, kamenité hráze se středním zemním těsněním. Koruna hráze je 469,7 m dlouhá a 10 m široká. Těleso hráze má dvě spodní výpusti o průměru DN 1000 mm, dále je součástí stavby také šachtový bezpečnostní přeliv o průměru 5 m v koruně. Součástí vodního díla je odběrný etážový objekt, který je napojen na tlakovou štolu dlouhou 6293 m. Ten má své opodstatnění kvůli měnící se kvalitě vody v závislosti na hloubce, což souvisí s mnohými ukazateli, mimo jiné také například s cirkulací vody v nádrži [23,33].



Obrázek 3- Příčný řez hrází [33]

Vodní dílo Přísečnice má stanovené ochranné pásmo I. stupně, což znamená, že je vstup pro veřejnost zakázán. Hráz přehrady není volně přístupná pro veřejnost, stejně jako prostory v blízkosti vodní nádrže [33].



Obrázek 4- VD Přísečnice [23]

2.4 Zdroje povrchové a podzemní vody

Z hlediska zdrojů dělíme surovou vodu na povrchovou a podzemní. V České republice jsou využívány jak zdroje podzemní vody, tak zdroje vody povrchové.

Podzemní voda bývá bohatší na minerály než voda povrchová. Její složení je do jisté míry ovlivněno horninami a půdou, kterou voda protéká. Ve vodě se často vyskytují například vyšší koncentrace železa, manganu, oxidu uhličitého, hořčíku, draslíku, sodíku, vápníku, chloridů či síranů. Podzemní voda mívá malou koncentraci organických látek, avšak dnes mohou vznikat problémy například s pesticidními látkami kvůli antropogenní činnosti. Česká republika disponuje poměrně malými zásobami v porovnání s ostatními zeměmi Evropy. To je dáno nerovnoměrnými srážkami a špatnou sorpční schopností půdy, což v důsledku způsobuje nedostatečné doplňování podzemních vod a klesání jejich hladiny. Hladina podzemní vody se většinou nachází v rozmezí 0,3 – 5 m pod povrchem. K jímání podzemní vody slouží horizontální, vertikální, plošné a kombinované jímací objekty [27,32].

Povrchové vody dělíme na stojaté – vodárenské nádrže a tekoucí – vodní toky. U tekoucích vod se jakost mění v délce i hloubce toku. U vod stojatých můžeme zaznamenat rozličnou kvalitu v různých hloubkách. Proto se také u vodních děl určených k zásobování obyvatelstva vodou nachází etážové odběrné objekty. Jak již bylo zmíněno, povrchová voda je chudší na minerály než voda podzemní. Oproti vodě podzemní může být navíc více ovlivňována organickými látkami. Složení povrchové bývá ovlivněno hydrologicko-klimatickými poměry, geologickou skladbou podloží a dnes velmi často antropogenní činností. Ve vodě se často vyskytují koloidní látky, nízkomolekulární organické látky a mikropolutanty. Hlavním problémem povrchových vod může být mikrobiologické znečištění a s tím související vyšší výskyt řas, sinic, bakterií, prvoků, mechorostů a hub [22,23,32].

2.5 Technologie úpravy vody

V teoretické části se zaměřím především na povrchovou vodu a technologie využitě na úpravě vody v Hradišti. Pro zjednodušení a názornou ukázkou se jeví vhodné začít obecným schématem úpravy pitné vody.



Obrázek 5- Schéma úpravy povrchové vody [22]

Jedná se o jedno z možných schémat úpravy povrchové vody. V obrázku chybí některé technologické postupy jako například stabilizace či adsorpce, naopak není nutné, aby byly pro úpravu pitné vody využity najednou všechny výše zmíněné technologie. Obrázek slouží pouze jako ilustrační schéma.

2.5.1 Mechanické předčištění

Jedná se o první technologický stupeň úpravy surové povrchové vody. Mechanické předčištění slouží k odstranění hrubých nečistot ze surové vody. K mechanickému předčištění jsou v rámci úpravy vody používány česle, síta a lapáky písku [29].

Česle se dělí na základní tři druhy dle velikost roztečí mezi česlicemi. Rychlost mezi česlicemi se má pohybovat v rozmezí 0,3 až 1 m/s. Další důležitým parametrem u návrhu česlí je ztráta tlakové výšky mezi česlicemi. Tu lze vyjádřit vztahem [5,29]:

$$\Delta h_c = \beta \cdot (b_1/b_2)^{4/3} \cdot (v_{dp}^2/2g) \sin \alpha \text{ [m]} \quad (1)$$

β – součinitel tvaru česlí [-]

b_2 – světlost mezi česlicemi [m]

b_1 – šířka česlic [m]

v_{dp} – rychlost před česlemi [m/s]

g – tíhové zrychlení [m/s²]

α – sklon česlí [°]

Hrubé česle mají světlost 50 až 150 mm. Jejich funkcí je zachytávání velkých nečistot ve vodě jako například větví či ledových ker. Čištěny bývají manuálně [29].

Střední česle mají světlost 20 až 50 mm. Čištěny jsou buď manuálně nebo stíracím zařízením. Jejich primární funkcí je ochrana potrubí či síta před průchodem nečistot [29].

Posledním typem česlí jsou jemné. Jemné česle mají světlost 5 až 20 mm. Jejich funkce spočívá v zachycení malých částic. Čištěny jsou výhradně stíracím zařízením [29].

Další používanou technologií k mechanickému předčištění vody jsou síta, která slouží také k odstranění drobných nečistot z vody. Používána jsou především mikrosíta, která byla vyvinuta za účelem odstraňování řas z vody [29].

Lapáky písku slouží k odstraňování písku, který se vyskytuje obzvláště u povrchových vod. To může být dáno odnosem erodovaného materiálu v toku a následně jeho usazováním v odběrných objektech. Princip lapáku písku spočívá ve snížení průtočné rychlosti vody. Důsledkem toho by se měla v lapácích písku zachytit zrna velikosti 0,1 – 0,2 mm. K odstranění písku se povětšinou používají horizontálně protékané žlaby. Délka lapáků je dána úrovní požadovaného předčištění a je dána vztahem [20,27,30]:

$$l = (h \cdot v) / u \text{ [m]} \quad (2)$$

h – hloubka lapáku písku [m]

v – horizontální průtoková rychlost [m/s]

u – usazovací rychlost nejmenšího zrna [m^3/m^2]

2.5.2 Preoxidace

Principem preoxidace je přidání oxidačního činidla k surové vodě, díky čemuž dochází k oxidaci organických a anorganických látek ve vodě. Látky degradují a jsou lépe odstranitelné. Tento proces přichází na řadu hned po mechanickém předčištění na úpravně vody [48].

Existuje několik druhů preoxidace. Hlavní dva typy dělíme na fyzikálně-chemickou preoxidaci vzdušným kyslíkem a chemickou preoxidaci [27].

2.5.3 Rychlomísiče

Rychlomísiče jsou nádrže, v kterých dochází k rychlému promíchání surové vody s koagulačním činidlem. Dochází zde k takzvané perkinetické fázi koagulačního procesu. Částice se během ní shlukují vlivem Brownova pohybu. Začíná zde fáze koagulace a tvorby vloček. Doba zdržení v rychlomísičích nádržích je v řádu několika minut [29].

V současné době se používá k úpravě vody několik druhů rychlomísičů. Jsou to druhy mechanické, hydraulické a mechanicko-pneumatické [27].

2.5.4 Koagulace

Z rychlomísičích nádrží voda putuje do nádrží reakčních, v nichž se již doba zdržení o poznání prodlužuje. Voda se zde zdržuje řádově několik desítek minut. Běžně to bývá 20 až 30 minut. Tato fáze se nazývá ortokinetickou fází koagulace [23,29].

Pomocí koagulace dochází k destabilizaci koloidních látek a následné agregaci částic. To je způsobeno ubýváním primárních částic a shlukováním částic do větších celků. K procesu koagulace se nejčastěji používají sloučeniny na bázi železa a hliníku. Nejčastěji se užívají jejich soli, ale také předpolymerizovaný hlinitý koagulant, hlinité polymery či koagulanty kombinující hliník i železo [29].

Základním principem reakcí je hydrolyza hlinitých solí. Dochází k reakci iontů H^+ s hydrogenuhličitanem [29]:





Princip reakce železa je obdobný jako u hliníku. Reaguje trojmocné železo se třemi molekulami vody za vzniku hydroxidu železitého a tří atomů vodíku. *Uvolněné H^+ ionty reagují s hydrogenuhličitanem a v důsledku rozkladu hydrogenuhličitanů klesá pH vody [27,29].*



Tabulka 1- Příklady používaných typů koagulantů [29]

Síran železnatý	$\text{Fe}_2\text{SO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$
Chlorid železitý	$\text{FeCl}_3 \times 6 \text{H}_2\text{O}$
Chlorsíran železitý	FeClSO_4
Síran hlinitý	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18 \text{H}_2\text{O}$
Hlinitan sodný	NaAlO_2
Hlinité polymery	$\text{Al}_6(\text{OH})_{12}^{6+} - \text{Al}_{54}(\text{OH})_{144}^{8+}$

2.5.5 Flotace

Pro úpravu vody je používána flotace rozpuštěným vzduchem. Při flotaci dochází k opačnému ději oproti klasické sedimentaci. Principem je vynesení suspendovaných částic k hladině. Do nádrže je tryskami dodáván rozpuštěný vzduch, vzniká velké množství bublinek v rozmezí 30–100 μm , které tvoří s vločkami agregáty. Vzestupová rychlost vzduchových bublin se liší dle jejich velikosti. Bubliny o průměru 60 μm , dle Stokesova zákona, stoupají rychlostí okolo 5,4 m/hod, u bublin o průměru 100 μm je rychlost vzestupová rychlost 15 m/hod [6,10].

Rychlost flotace je dána Stokesovou rovnicí [10]:

$$u_p = g(\rho_p - \rho) d_p^2 / (18 \mu) \quad (6)$$

u_p – vzestupná rychlost agregátů

g – gravitační zrychlení

ρ_p – hustota částic

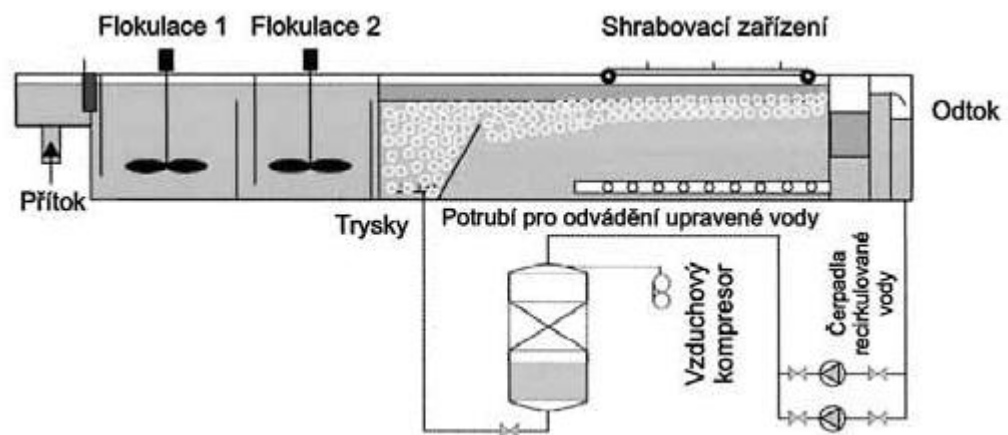
ρ – hustota kapaliny

d_p – průměr částice

μ – dynamická viskozita kapaliny

Vločky jsou z hladiny shrabovány buď mechanicky nebo hydraulicky.

Flotaci je výhodné využít pro úpravu eutrofizovaných vod, vod s větším výskytem mikroorganismů či organických látek. Další výhodou flotace je, že do vody nemusí být přidávána další činidla, ale přesto je pro lepší průběh většinou koagulant přidáván [6,23].



Obrázek 6- Schéma flotace [6]

2.5.6 Filtrace

Proces filtrace je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším technologickým procesem úpravy vody. Během procesu prochází voda vrstvou zrnitého materiálu nebo více vrstvami různých materiálů a zrnitostí. Dochází k procesu separace. Využívá se k tomu procesů: *mechanického cezení, adsorpce působením hmotnostních van der Walsových a elektrostatických Coulombových sil, chemického působení filtrační vrstvy u aktivních materiálů a biologického působení oživení na filtrační vrstvě* [19,27].

Filtraci dělíme na několik druhů, na filtraci objemovou, náplavovou a membránovou [19].

2.5.6.1 Objemová filtrace

Objemovou filtraci dále dělíme na rychlou a pomalou filtraci. Principem je zachytávání částic nerozpuštěných látek filtrační náplní. K filtraci jsou v dnešní době využívány různé materiály, namátkou antracit či aktivní uhlí.

2.5.6.1.1 Pomalá filtrace

Pomalá filtrace je nazývána též anglickou. Patří k nejstarším užívaným typům filtrace, avšak i přes to poměrně úspěšně snižuje počet bakterií ve vodě. Podstatné pro funkci pomalé filtrace je kromě filtračního účinku, hlavně účinek biologického oživení náplně filtru. Dochází k vytvoření biologické blány, která adsorbuje koloidní a suspendované látky. Doba filtračního procesu bývá 3 až 6 týdnů v létě a 7 až 12 týdnů v zimě. Rychlost na filtraci se pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,2 m/hod [17,33].

Hlavní přednosti pomalé filtrace je její jednoduchost, nenáročnost a minimální požadavky na spotřebu provozních hmot. Nevýhodou jsou velké doby zdržení a tudíž i velké nároky na objemy nádrží [17].

Dnes byla z většiny nahrazena rychlou filtrací.

2.5.6.1.2 Rychlá filtrace

Rychlá filtrace se dělí podle různých kritérií, tj. podle druhu filtračního média, podle směru proudění, podle tlakového režimu, podle způsobu praní, nakonec podle počtu příslušných vrstev a zda-li se jedná o rychlofiltry amerického či evropského typu [5,29].

K procesu zachytávání suspenzí dochází průtokem zrnitým prostředím a přilnutím částic k povrchu zrn. Doporučená rychlost filtrace je 3,6 až 7,2 m/hod [19].

Pro rychlé filtry je charakteristický cyklický proces, do kterého se, mimo filtrace, řadí také prací fáze. Prací fáze je velmi důležitá, protože v případě nedostatečného praní filtru se významně zkracuje filtrační fáze. Při praní se z filtračních materiálů odstraňují zachycené nečistoty, které jsou pomocí prací vody či prací vody se vzduchem odváděny kanály z prostoru filtrace nejčastěji na kalová pole či laguny. Tím filtrační materiál získává zpět svou sorpční kapacitu [23,30].

2.5.6.1.2.1 Drenážní systém Leopold

Nové drenážní systémy bez mezidna začaly být instalovány na úpravny vody od poloviny 90. let. V té době byla poptávka po rekonstrukci úpraven vody. Hlavním důvodem byly zvyšující se nároky na úpravu surové vody. Drenážní systémy se jevily jako vhodné řešení z několika důvodů. Při instalaci drenážních systémů nebylo nutné rozšiřovat stavební prostory úpraven. Velkou výhodou drenážních systémů oproti betonovým mezidnům je větší hustota zczovacích trysek a tím pádem větší efektivita při praní filtru [7].

V současné době je využíváno několik typů nových drenážních systémů. Já se dále zaměřím na popis drenážního systému Leopold, jelikož je používán na úpravně vody Hradiště.

Drenážní systém Leopold typu S byl poprvé v České republice instalován právě na úpravně vody v Hradišti v roce 2005. Má výhodu rovnoměrného uspořádání otvorů pro rozvod prací vody či pracího vzduchu. Podstatné je, že se otvory pro prací vzduch či vodu nachází velmi blízko u sebe a jsou rozmístěny téměř po celé ploše dna. Díky tomu je filtrát odváděn po celé ploše dna filtru a během praní filtru nevznikají mrtvé zóny. Filtrace je řízena systémem declining-rate. Systém je založen na volném neregulovaném nátoku na filtry, každý z nich si bere pouze množství, které je schopen propustit na zanesení filtračního lože [1,8,23].

Hlavní výhodou systému je velmi efektivní prací fáze, která je zapříčiněna, již výše zmíněnou, velkou aktivní plochou a také malými rozměry jednotlivých otvorů [1].



Obrázek 7 - drenážní systém Leopold [28]

2.5.6.2 Náplavná filtrace

Principem náplavné filtrace je *zachytávání nerozpuštěných částic na vrstvě materiálu, naplaveného v tenké vrstvě na tkanině ze syntetických vláken, jemném pletivu apod., ještě před zahájením filtračního cyklu* [27].

2.5.6.3 Membránová filtrace

Posledním typem filtrace jsou membránové filtrace. Ty se dělí podle velikosti otvorů filtračních membrán na mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a reverzní osmózu. Membránová filtrace používá semipermeabilní membránu, ta má funkci selektivní bariéry pro látky, které mají být z vody odstraněny. Membránová filtrace efektivně odstraňuje i jednomocné ionty (reverzní osmóza) a její další rozšíření do budoucna je vzhledem ke stále se zvětšujícím nárokům na úpravu vody téměř jisté [18].

2.5.6.3.1 Mikrofiltrace

Mikrofiltrace má velikost otvorů 100 až 1000 nm. Dokáže zachytit rozpuštěné látky, koloidní částice a mikroorganismy [12].

2.5.6.3.2 Ultrafiltrace

Velikost otvorů ultrafiltrace se pohybuje v rozmezí mezi 1 až 50 nm. Svou funkcí dokáže zastoupit primární dezinfekci. Stabilně zachycuje makromolekuly a organické látky, prvky, řasy a veškeré bakterie. Částečně dokáží odstraňovat také některé viry, huminové látky a koloidní částice, účinnost toho se odvíjí od chemismu vod [12,18,27].

2.5.6.3.3 Nanofiltrace

U nanofiltrace se velikost otvorů pohybuje v rozmezí 1 až 3 nm. Pomocí nanofiltrace je možné odstraňovat vícemocné ionty [27].

2.5.6.3.4 Reverzní osmóza

Poslední zástupcem membránových filtrací je reverzní osmóza. Ta má velikost otvorů membrány menší než 1 nm. Technologie je schopna zachytit i jednomocné ionty. Tato technologie je dnes velmi využívanou například na Blízkém východě. *Slaná voda je směsí čisté vody, soli dalších minerálů. V procesu reverzní osmózy se mořská voda přivádí na polopropustnou membránu, která oddělí čistou vodu od solí a rozpuštěných minerálů. Čistá voda projde membránou a zbylý koncentrát (tzv. solanka) se vrací zpět do moře* [26]. Díky svým filtračním schopnostem je technologie využívána k odsolování mořské vody, což přes to, že u nás není aktuální, má ve světě velké využití. Potenciál

daného typu úpravy je enormní a mohl by do budoucna částečně vyřešit problémy s nedostatkem vody v Zemích třetího světa [26].

Je to jedním z důvodů, proč se stal stát Izrael hospodářsky a ekonomicky nezávislým. Myšlenkou úpravy mořské vody se v historii zabývali již Římané, nicméně samozřejmě moc úspěšní nebyli [16]. V novodobé historii se odsolováním mořské vody zabíral Weizmannův institut. Ten byl v roce 1934 založen Chajim Weizmannem. Institut je dnes uznáván jako jedno z nejlepších vědeckých pracovišť na světě. Od druhé světové války docházelo k mnoha pokusům úpravy mořské vody, ale dlouhou dobu byly technologicky neproveditelné nebo příliš neekonomické. Přesto, že pokusy byly dlouhodobě neúspěšné, přinášely naději na úspěch. Úspěšné byly hlavně dvě technologie: MED (=Multi-Effect Dissolation) a reverzní osmóza. Technologie MED spočívá ve vícestupňovém odpařování, díky čemuž se z mořské vody dostává sůl. Co se týká reverzní osmózy, ta je dnes v Izraeli značným zdrojem pitné a hlavně užitkové vody. V případě pitné vody je nutné zpětně dodat minerály, jelikož by se jinak jednalo o tzv. hladovou vodu, která není určena k pití [26].

2.5.7 Adsorpce na granulovaném aktivním uhlí

Při procesu adsorpce se používá aktivní uhlí k zachytávání nečistot ve vodě. Adsorpci lze definovat jako proces, při kterém dochází k zachytávání rozpuštěných látek na povrchu látek pevných. Pevné látky se v tomto případě nazývají adsorbenty a látky zachytávané adsorbáty. Adsorpce využívá působení Van der Waalsových sil [27,34].

Využití aktivního uhlí pro proces adsorpce je výhodné díky jeho značné pórovitosti. Druhy aktivního uhlí jsou zrněné, práškové a granulované. Dále se liší podle materiálu a velikosti pórů. To ovlivňuje také jeho účinnost. Aktivní uhlí dělíme podle velikosti pórů. Rozlišujeme ho na mikropóry s poloměrem menším než 1 nm, mezopóry s poloměrem 1 až 25 nm a makropóry s poloměrem větším než 25 nm. Pro vodárenské účely je vhodné využít aktivní uhlí vyrobené z uhlí černého. To má vhodný poměr mikropórů a transportních pórů [27,34].

Dalším důležitým aspektem u aktivního uhlí je jeho životnost. Ta je dána primárně koncentrací a druhem odstraňovaných nečistot. Důležitým aspektem u životnosti aktivního uhlí je proces praní. Během něho dochází k uvolňování sorpčního povrchu aktivního uhlí. Granulované aktivní uhlí má běžně životnost okolo tří let. Životnost

ovlivňuje sorpční kapacita granulovaného aktivního uhlí a samozřejmě souvisí také se složením granulovaného aktivního uhlí [27,34].

2.5.7.1 GAU Envirocarb AP

Jedním z výrobců granulovaného aktivního uhlí je firma Chemviron S.A. sídlící v Belgii. Její produkt jsem zvolil k popisu z důvodu, že je využíván na úpravě vody Hradiště. Úpravna vody Hradiště používá granulované aktivní uhlí Envirocarb AP. V České republice je jeho distributorem firma Jako s.r.o. Na český trh firma Jako s.r.o. distribuuje tři druhy aktivního uhlí Envirocarb AP. Všechny typy jsou vyráběny stejným způsobem a jsou ze stejného materiálu. Liší se průměrem pelet. Na úpravě vody v Hradišti je využíváno uhlí s průměrem válečků 4 mm [23].

Aktivní uhlí bylo testováno dle normy ČSN EN 12902: Výrobky používané pro úpravu vody určené k lidské spotřebě a vyhovuje vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č. 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody. Podle výsledků splňuje všechny hygienické požadavky na výrobky přicházející do trvalého styku s pitnou vodou dle zákona č. 258/2000 Sb [23].

Tabulka 2 - Přehled vlastností aktivního uhlí Chemviron Carbon ENVIROCARB AP4-60 [23]

Hustota	450	kg/m ³
Jodové číslo	1000	mg/g
Specifický povrch (BET)	1000	m ² /g
Teplota vznícení	410	°C
Benzenové isotherma	32	g/m ³
CCl ₄ číslo	min 60	%
Butanové číslo	min 23	%
Tvrdost obsah vody při balení	max 5	%
Velikost částic	<3,35	mm

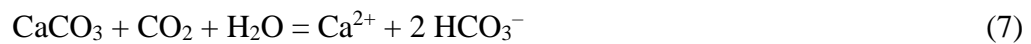
2.5.8 Stabilizace

Proces stabilizace je využíván zejména při úpravě povrchové vody. Využití se nabízí, pokud je ve vodě málo obsažen vápník, hořčík a je nízká KNK_{4,5} (= kyselinová

neutralizační kapacita při hodnotě pH 4,5). Pro stabilizaci povrchových vod se nejčastěji používá oxid uhličitý a vápno [27,31].

Principem stabilizace vody je vhodná úprava a koncentrace iontů Ca^{2+} a HCO_3^- v upravené vodě a tím optimální nastavení vápenato-uhličitanové rovnováhy [23,31].

Ta je dána rovnicí [31]:



2.5.9 Dezinfekce vody

Proces dezinfekce se používá k zneškodnění choroboplodných zárodků. Dezinfekci dělíme na primární a sekundární. Primární dezinfekce je součástí procesu úpravy, oproti tomu sekundární dezinfekce se používá k hygienickému zabezpečení upravené vody ve vodovodním řadu. Nejběžnějším dezinfekčním činidlem je chlor a další sloučeniny na bázi chloru. Mezní hodnota chloru v upravené vodě je dána vyhláškou č. 252/2004 Sb. Typický problém může nastat u rozsáhlého vodovodního systému a během teplých letních dní, kdy je nutné zvýšit dávku dezinfekce. Rozsáhlost systému ovlivňující dobu zdržení a teplota vody. Příkladem může být severočeská soustava. Voda z úpravny Hradiště může zůstat v síti až tři dny, a je proto nutné, aby měla odpovídající jakost, organoleptické vlastnosti a byla zdravotně nezávadná. Schéma distribuční sítě úpravny vody Hradiště je na obrázku 1 [23,27,38].

V následujícím odstavci bude předmětem zájmu dezinfekce chlorem. Jedná se o reaktivní žlutozelený plyn se štiplavým zápachem. Ve vodě je dobře rozpustný. Principem reakce je rozpuštění chloru ve vodě [47]:



Výhodou využití chloru je jednoduchost. Podstatnou nevýhodou může být vznik eventuálních vedlejších produktů dezinfekce. Těmi mohou být haloformy či chlorfenoly. Jeho množství v pitné vodě je dané vyhláškou č. 252/2004 Sb., kde je mezní hodnota volného aktivního chloru stanovena na 0,3 mg/l v místě odběru spotřebitelem [38].

Dalším užívaným způsobem je dezinfekce UV zářením. Dnes je prakticky nedílnou součástí všech úpraven, které spravují Severočeské vodovody a kanalizace a.s.

Obvykle se nachází za filtračními nádržemi. Principem je vystavení mikroorganismů vlivu UV záření, čímž dochází k jejich poškození a následné inaktivaci. Nejúčinnější záření je při vlnové délce 254 nm [23,28].

2.5.10 Kalové hospodářství

Kalové hospodářství je obvyklé u většiny úpraven vody. Během procesu úpravy vody dochází k vzniku kalů. K nakládání s kaly jsou využívána kalová pole, kalové laguny nebo může být kal zahuštěn a strojně odvodněn. Odpadní vody přiváděné do kalových lagun či polí se liší svým chemickým složením a vlastnostmi. Jejich rozmanitost je způsobená místem původu daného kalu. Kaly mohou pocházet z odkalení reakčních nádrží, z praní vody z filtrů, z náplavných filtrů či jako produkt vzniklý z čiření. Kaly obsahují velké množství vody, a proto musí být zahuštěny a odvodněny.

Kalové laguny slouží k ukládání hygienicky nezávadných kalů. Kaly dopravené do kalových lagun nemusí být předem zahušťovány, k tomu dochází až na místě, zároveň s tím také dochází k vysoušení kalů. Přebytná voda může být odváděna pryč z kalových lagun.

Oproti tomu do kalových polí přitéká již kal zahuštěný a k odvodnění dochází vsakem vody do podloží. Kalová pole mají tvar ploché jímky s drenážním systémem pro odvod přebytné vody. Během procesu je kalové pole napouštěno kalovou vodou, dokud se nevytvoří vrstva kalu tloušťky 0,15 – 0,3 m. Tím proces končí a kal je následně po odvodnění odtěžen.

Nakládání s kaly je dnes diskutovaným problémem. Do roku 2017 bylo nakládání s kaly ošetřeno vyhláškou Ministerstva životního prostředí č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. Od roku 2017 byla nahrazena vyhláškou č. 476/2016 Sb. *o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady)* [39].

2.6 Malá vodní elektrárna

Malá vodní elektrárna se umísťuje na přívodní potrubí z vodní nádrže. Malé vodní elektrárny využívají k výrobě energie spád vody. Předností tohoto typu energie je ekologičnost a levnost. Patří mezi nejlevnější a zároveň nejúčinnější obnovitelné zdroje energie [2].

Jako malé vodní elektrárny jsou obecně označovány ty s výkonem menším či rovným $P = 10 \text{ MW}$, dle směrnice Evropské unie je hranice pro označení malých vodních elektráren dokonce $P = 5 \text{ MW}$ [15]. Výkon malé vodní elektrárny se určí vztahem [2]:

$$P = \rho * Q * g * H * \mu \text{ [W]} \quad (9)$$

Q – průtok vodní elektrárnou [m^3/s]

ρ – hustota vody [kg/m^3]

g – tíhové zrychlení [m/s^2]

H – spád [m]

μ – účinnost turbíny [-]

Pro výrobu vodní energie je zásadní správný návrh typu turbíny. Těch máme několik druhů. Nejčastější jsou na malých vodních elektrárnách využívány turbíny Kaplanova, Francisova nebo Peltonova [2,11].

2.6.1 Peltonova turbína

Peltonova turbína je dnes nejpoužívanějším typem. Jedná se o turbínu rovnotlakou. Její předností je relativní konstrukční jednoduchost a *použitelnost pro okrajové hodnoty průtoku i měrné energie* [2]. Peltonova turbína je akčního typu. *Rozváděcí ústrojí tvoří dýza, z níž ve tvaru volného paprsku kruhového průřezu vystupuje voda ostříkující na roztečném průměru lopatky oběžného kola. V dýze se proměňuje celková měrná energie na měrnou energii kinetickou* [3]. Při realizaci malých vodních elektráren se většinou ovládají dýzy servomotorem. Výhodné je využití hlavně u velkých spádů. Co se týče uspořádání, mají Peltonovy turbíny uspořádání hřídele horizontální [2].

2.6.2 Francisova turbína

Oproti tomu u Francisových turbín je uspořádání hřídele vertikální. Jde o turbínu přetlakovou. Hlavní předností je široké spektrum využití. V případě Francisovy turbíny

je možné i využití v čerpadlovém režimu. Nutné k vhodnému užití je zajištění relativně konstantních hladin a návrhových průtoků. Turbína pracuje na principu změny tlaku, během čehož odevzdává energii. Jedná se o turbínu reakční [2].

2.6.3 Kaplanova turbína

Kaplanova turbína je do jisté míry inspirována turbínou Francisovou. Pro porovnání má menší počet lopatek, jejichž náklon je regulovatelný. Jiný je i tvar oběžného kola. Hlavní předností je její využití při velkých průtocích v kombinaci s malými spády. Jedná se o axiální přetlakovou turbínu [2].

2.7 Ukazatelé jakosti pitné vody

2.7.1 Legislativa týkající se vybraných parametrů jakosti

Mezi ukazatele jakosti pitné vody se řadí chemické, mikrobiologické, biologické, fyzikální a organoleptické vlastnosti pitné vody. Celkově jich je v rámci vyhlášky kontrolováno 65 ukazatelů. Voda je v dnešní době znečišťována více látkami než tomu bylo dříve, a proto je pravděpodobné, že se v budoucnu rozšíří o další ukazatele. Povolené hodnoty jsou uvedeny ve vyhlášce č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody [38].

2.7.2 Teplota pitné vody

Teplota vody je jedním z významných ukazatelů ovlivňujících organoleptické vlastnosti vody. Dle vyhlášky se má pohybovat v rozmezí mezi 8 až 12 °C. Voda teplejší 15 °C neosvěžuje a voda studenější než 5 °C může působit negativně na lidskou trávicí soustavu [9,21,39].

U povrchových zdrojů surové vody je důležité sledování její teploty, jelikož ovlivňuje rychlost biochemických pochodů. [21].

2.7.3 Zákal

Zákal se považuje za indikační jednotku. Zákal poukazuje na větší koncentraci nerozpuštěných látek organického i anorganického původu ve vodě. Ve vyhlášce číslo 252/2004 Sb. je jeho mezní hodnota udávána v jednotkách ZF, což jsou formazinové jednotky zákalu, a přípustný limit v upravené vodě je 5 ZF. Při úpravě povrchové vody by jeho výše neměla přesáhnout 1 ZF [21,38].

2.7.4 pH

Vyhláška č. 252/2004 Sb. stanovuje limit pH pitné vody v rozmezí od 6,5 do 9,5. Optimálně by se však voda měla pohybovat mezi hodnotami 6-8. Od hodnoty pH se do jisté míry odvíjí složení vody a chemické procesy, ke kterým může docházet. V případě nízkého pH se jedná o měkkou vodu, která je známa pro svou agresivitu a má za důsledek rychlejší korozi kovových trubek. To je možné posoudit podle TNV 75 7121 Jakost vod. Pokud máme pH větší než ve stanovém rozmezí, může docházet ke zhoršení organoleptických vlastností vody a ke snížení účinnosti dezinfekce [38].

2.7.5 Železo

Výskyt železa ve vodách je normální záležitostí. V malých koncentracích se vyskytuje u vod povrchových, ve větších koncentracích pak u vod podzemních. Opět, jako v dalších případech, je mezní hodnota železa napsána ve vyhlášce č. 252/S004 Sb. Mezní hodnota je dána na 0,2 mg/l. *V případech, kdy vyšší hodnoty železa ve zdroji surové hodnoty jsou způsobeny geologickým podložím, se hodnoty železa až do 0,5 mg/l považují za vyhovující* [38].

Železo se ve vodě vyskytuje v oxidačním stupni II a III. Forma a jeho množství záleží na pH vody, oxidačně-redukčním potenciálu a komplexotvorných látkách přítomných ve vodě. Pro jeho výskyt je typická rezavá barva. Při vyšších koncentracích negativně ovlivňuje organoleptické vlastnosti vody [21].

2.7.6 Mangan

Mangan se ve vodě samostatně vyskytuje velmi málo. Tradiční je jeho výskyt v kombinaci s železem. Vyhláškou č. 252/2004 Sb. je jeho mezní hodnota stanovena 0,05 mg/l. Stejně jako u železa, je při vyšší koncentraci v surové vodě způsobené geologickým podložím možné distribuovat upravenou vodu o koncentraci 0,1 mg/l. Ani v tomto případě však nesmí dojít ke zhoršení organoleptických vlastností [21,38].

Mangan se ve vodě vyskytuje jak ve formě oxidační, tak ve formě redukční. V oxidačních stupních má formu II, III, IV a VII. V redukčních stupních se vyskytuje hlavně v podobě Mn^{2+} . Mangan má podobné vlastnosti jako železo, ale má výrazně vyšší zdravotní rizika [21].

2.7.7 CHSK_{Mn}

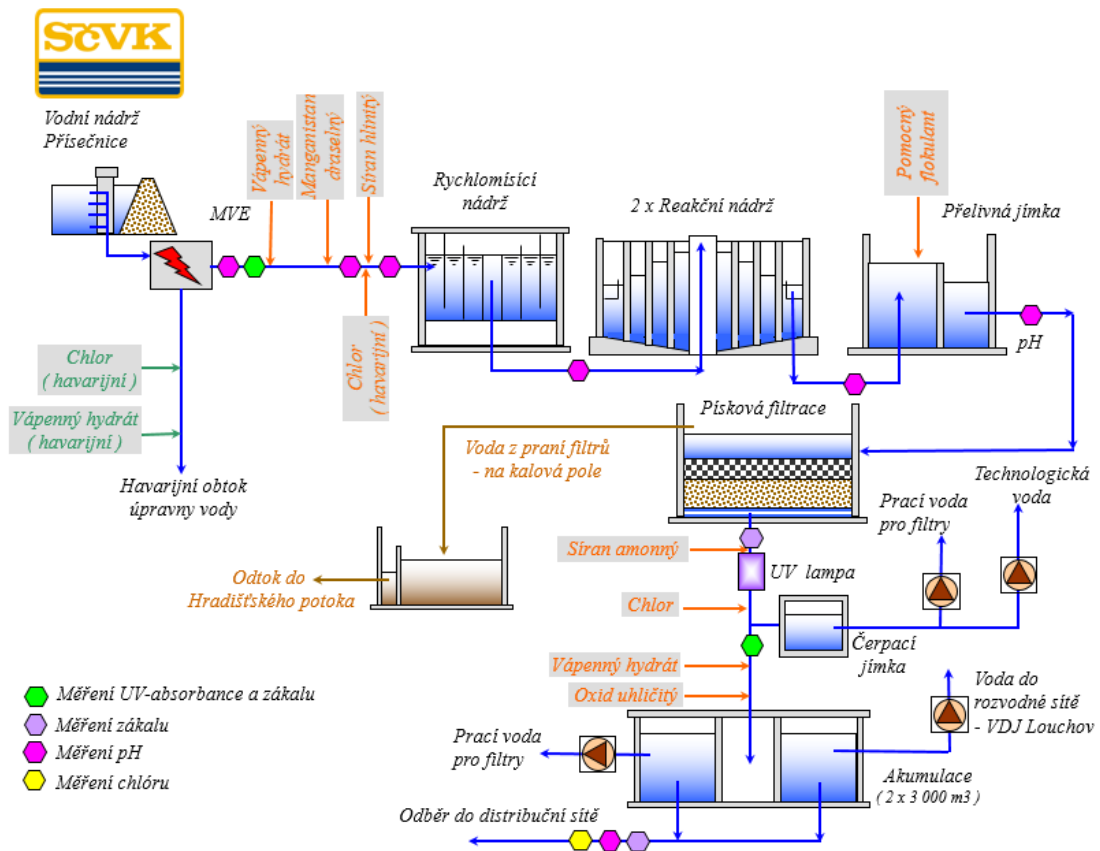
Chemická spotřeba kyslíku slouží ke stanovení znečištění organickými a oxidovatelnými anorganickými látkami ve vodě. Ukazatel udává hodnotu kyslíku nutnou k oxidaci látek. Jako oxidační činidlo bývá využíván manganistan draselný. Výhodou je možnost stanovení hodnot pod 1,0 mg/l. Nevýhodou je často nízký stupeň oxidace u většiny organických látek. Jeho mezní koncentrace je opět dána vyhláškou č. 252/2004 Sb. a má hodnotu 3 mg/l. Při větších koncentracích dochází k podpoře růstu mikroorganismů [21,38].

2.7.8 Hliník

Také hliník bývá v malých koncentracích obsažen ve vodě. Do procesu výroby vody může významně vstupovat při použití koagulantů na bázi hliníku. Při zkouškách vody můžeme stanovit celkový hliník, rozpuštěný hliník, nerozpuštěný hliník a hliník organicky vázaný. Nevyznačuje se zápachem, ani barvou. Jako u ostatních, i pro něj je určující vyhláška č. 252/2004 Sb. Ta povoluje mezní hodnotu hliníku v upravené vodě 0,2 mg/l. Důvodem kontroly koncentrace sloučenin hliníku v pitné vodě je jeho toxicita. Jako nebezpečné se jeví především monomerní rozpuštěné formy hliníku. Toxicita komplexních forem je nižší. Zvýšený příjem hliníku se uvádí jako rizikový faktor pro vznik Alzheimerovy choroby [21].

3 Praktická část

3.1 Popis technologické linky ÚV Hradiště a MVE Hradiště



Obrázek 8 - Technologické schéma ÚV Hradiště [23]

3.1.1 Normální stav

Úpravná vody byla postavena v roce 1976 s projektovanou kapacitou 1050 l/s upravené vody. V 90. letech minulého století byla maximální kapacita snížena na 750 l/s upravené vody. V současné době se průměrný výkon pohybuje na úrovni 450 l/s [23].

Na úpravnu vody Hradiště je přiváděna surová voda z vodní nádrže Přísečnice pomocí etážového odběrného objektu o čtyřech odběrných oknech. Ten je napojen na tlakovou štolu o průměru 2 m, která je dlouhá 6297 m, do komory, kde štola přechází v potrubí DN 800. Odsud voda natéká do malé vodní elektrárny nacházející se v areálu úpravny vody, z které je surová voda odváděna na úpravnu [23].

Malá vodní elektrárna byla vybudována spolu s úpravnou vody v roce 1976. Původně byla osazena jen Francisovou turbínou. Instalovaný výkon se pohyboval v rozmezí 1,8 – 2,1 MW. V roce 2017 byla Francisova turbína rekonstruována a

maximální výkon byl snížen na 1,5 MW. Minimální výkon Francisovy turbíny je 0,36 MW. V roce 1998 byla k Francisově turbíně instalována také turbína Peltonova. Peltonova turbína byla na malé vodní elektrárně vybudována za účelem využití energie z nadbytečné vody, která byla převedena z vodní nádrže Přísečnice do povodí řeky Bíliny, konkrétně do koryta Podkrušnohorského přivaděče. Maximální instalovaný výkon Peltonovy turbíny je 834 kW, minimální výkon je 100 kW. Paralelně s Francisovou turbínou fungují dva mařiče. V případě velkého přítoku je vybudován bezpečnostní přeliv v uklidňovací komoře, který ústí do Hradišťského potoka. Malá vodní elektrárna využívá spád 192 metrů. Hltnost Francisovy turbíny je 1200 l/s, turbíny Peltonovy je 500 l/s. [23].

Při výstupu z malé vodní elektrárny je vodě kontrolováno pH. Z malé vodní elektrárny je voda vedena potrubím DN 600 do rychlomísicích nádrží. Během její trasy je postupně přidáván manganistan draselný, který slouží k procesu preoxidace. Dále je do vody dávkována vápenná voda a síran hlinitý jako koagulační činidlo. V havarijním případě je ještě přidáván chlor [23].

Rychlomísicí nádrže se skládají ze tří komor. Z nich voda dopravována do středu reakčních nádrží potrubím DN 800. Během cesty je opět kontrolováno pH vody [23].

Úpravna vody Hradiště disponuje dvěma reakčními nádržemi o poloměru střední části nádrže 9,1 m, vnější část má poloměr 11,2 m. Nádrže mají vyspádané dno. Jejich hloubka je ve střední části rovná 7,0 m a u vnější norné stěny má hodnotu 6,35 m. Upravovaná voda je do středu reakčních nádrží dopravena vzestupnou šachtou o průměru 800 mm. Pro vznik vloček je nutné zajištění rovnoměrného radiálního průtoku. Nádrže jsou rozděleny na osm dílů, které mají tvar kruhové výseče. Zároveň jsou rozděleny do pater stěnami, přičemž rozdíl mezi otvory ve stěnách je 30 cm na výšku. Horní hrana první norné stěny má hodnotu 498,00 m n.m. a hrana poslední norné stěny má hodnotu 496,80 m n.m. V případě potřeby je možné změnit dobu zdržení jiným nastavením norných stěn. Reakční nádrže se plní přibližně 12 hodin s maximálním průtokem $Q = 50$ l/s [23].



Obrázek 9 - Reakční nádrž na ÚV Hradiště [23]

Dále voda natéká potrubím DN 1000 do mísicí jímky. Při odtoku z reakčních nádrží je vodě již po několikáté kontrolováno pH. Mísicí jímka má prostou funkci, slouží k přidání pomocného flokulantu, magnaflocu, do vody [23].

Z mísicí jímky natéká surová voda potrubím DN 1000 k odbočkám o DN 400, které vedou jednotlivě k filtračním jednotkám. Na úpravně vody v Hradišti se nachází osm pískových filtračních jednotek. Každá z nich má rozměry 5,9 x 9,5 m resp. Filtrační plochu 55,8 m², plocha všech je tedy 446,5 m². Během rekonstrukce, v roce 2005, zde byl vybudován drenážní systém Leopold, který nahradil zastaralý systém s mezidny. Filtry s mezidny byly již na pokraji své životnosti, začaly vznikat trhliny mezi mezidny a stěnou. Rekonstrukce byla realizována také za účelem zlepšení kvality upravené vodě, k čemuž byla nutná nová filtrace. Výhody drenážního systému Leopold jsou dále popsány v teoretické části ve stejnojmenné kapitole. V každé nádrži se vyskytuje dvoustupňová filtrační vrstva, původně vrchní vrstvu tvořilo 50 cm antracitu a spodní vrstva se skládala ze 110 cm filtračního písku. Po událostech v letech 2016, kdy úpravnu sužoval, již výše zmíněný, problém se zápachem byla vrstva antracitu vyměněna za 25 cm granulovaného aktivního uhlí od firmy JAKO. Konkrétně se jedná o aktivní uhlí Chemviron Carbon ENVIROCARB AP4-60 [23].

Pro odvod vody z filtrů jsou vybudovány odvodné kanály. Mezi každými dvěma nádržemi se nachází jeden z kanálů. Všechny kanály jsou navíc výškově rozděleny do dvou částí. Spodní část je oddělená pro každý filtr zvlášť, na rozdíl od vrchní, tu mají obě dvě filtrační nádrže společnou. Spodní částí je odváděná filtrovaná voda a také je jí

přiváděna prací voda a prací vzduch do filtrů. Vrchní část slouží k odvedení prací vody z filtračních nádrží. Po průtoku filtry voda dále natéká do akumulčních nádrží [23].

Důležitou součástí filtračního cyklu je praní filtru. Prací cyklus na úpravně vody v Hradišti se skládá ze tří částí a probíhá automaticky. V první fázi probíhá praní vzduchem. Prací vzduch je na filtrační nádrže přiváděn potrubím DN 300. Doba praní v této fázi trvá 2–5 minut s intenzitou 18–20 l/s.m². V druhé fázi probíhá praní vzduchem a vodou z pracího vodojemu. Prací vzduch a voda jsou přiváděny k filtrům z vodojemu potrubím DN 400, dnes již redukovaným na DN 300. Doba praní ve druhé fázi trvá dokud nedojde k přepadu vody přes přelivnou hranu. Intenzita je v této fázi 14 l/s.m². V třetí fázi je filtr prán vodou z akumulace, která je přiváděna potrubím DN 800. Doba praní se pohybuje v rozmezí 5 až 10 minut s intenzitou 14-17 l/s.m². Délka pracího cyklu se může lišit dle biologického znečištění. Délka pracovního cyklu filtru se v současné době pohybuje 40 hodin. Stav filtrů je kontrolován jednou ročně [23].



Obrázek 10- Filtrační nádrže na ÚV Hradiště [23]

Po ukončení filtračního procesu je voda stabilizována oxidem uhličitým a vápennou vodou, která je používána k doalkalizaci. K doalkalizaci se přistupuje, pokud se voda nepohybuje v rozmezí od 7,5 do 9,0. Poté je voda dezinfikována. Pod každým z osmi filtrů je k tomuto účelu umístěna UV lampa. Dále je do vody dávkován plynný chlor a síran amonný, které slouží také k hygienickému zabezpečení vody. [23].

Pro akumulaci vody je na úpravně postavena dvoukomorová nádrž o objemu 2 x 3000 m² [23].

Dalším důležitou částí úpravy je kalová koncovka. Kalová koncovka je tvořena kalovými lagunami. Na ně je odváděna odpadní voda vzniklá během procesu úpravy. Jedná se o několik druhů. Konkrétně jsou to vody vzniklé odkalením reakčních nádrží, odpadní prací vody z filtrů, voda přepadlá bezpečnostními přelivy z rychlomísení a z mísící jímky, odpadní vody z vápenného hospodářství a také dešťové svody z budov v areálu úpravy vody. Kalové laguny mají stupňovité uspořádání. Jedná se o čtyři nádrže, přičemž každá z nich má rozměry 20 x 90 x 2,5 m. Po gravitačním odsazení jsou mechanicky předčištěné odpadní vody odváděny do Hradištského potoka [23].

3.1.2 Specifické stavy

Úpravna vody Hradiště samozřejmě disponuje krizovými scénáři v nezbytných případech. Některé z nich budou dále popsány.

Prvním z nich je při přerušení dodávek elektrické energie. Pokud nastane výpadek elektrické energie, je automaticky zapnuto nouzové osvětlení na velínu a v dalších provozních částech úpravy vody Hradiště. Úpravna vody zůstává průtočná, voda je hygienicky ošetřována chlórem [23].

V případě teroristického útoku je nutné, aby bylo zabráněno kontaminaci upravené vody ve vodovodním řádu. Pokud je to nevyhnutelné, musí být úpravna vody Hradiště odstavena. Obsluha se během události řídí Havarijním plánem [23].

3.2 Provozní chemikálie na ÚV Hradiště

3.2.1 Vápenný hydrát

Jiným názvem také hydroxid vápenatý. Je bezbarvá krystalická látka a vzniká reakcí oxidu vápenatého s vodou [13]:



Na úpravkách se dává v podobě vápenného mléka či vápenné vody. Výroba vápenného mléka a vody se odehrává přímo na úpravě vody. Vápenný hydrát je skladován ve dvou zásobnících o objemu 9 m³. Vápenné mléko je připravováno v nádrži o objemu 780 litrů. Vápenná voda vzniká z vápenného mléka, které je upravované míchadly. Koncentrace je ovlivněná počtem otáček na šnekovém míchadle a množstvím ředící vody. V procesu úpravy vod slouží ke zvýšení pH vody [13,14,23].

3.2.2 Síran hlinitý

Jedná se o hlinitou sůl kyseliny sírové. Na úpravně vody je 50 % roztok síranu hlinitého využíván jako koagulační činidlo. Na úpravně vody Hradiště je skladován ve třech ocelových nádržích o objemu 3 x 100 m³ [14,23].

3.2.3 Magnafloc

Magnafloc má na ÚV Hradiště funkci pomocného flokulantu. Roztok je připravován ve dvou nádržích, každá objemu 4 m³. Magnafloc je dávkovacími čerpadly dávkován mezi reakční nádrže a filtry. Kontrola dávkování je na ÚV Hradiště měřena průtokoměrem Krohne [23].

3.2.4 Manganistan draselný

Manganistan draselný se na úpravně vody v Hradišti využívá k odstraňování manganu ze surové vody. Příprava roztoku manganistanu draselného probíhá ve dvou rozpouštěcích nádržích. Každá má objem 6,3 m³ [23].

3.2.5 Síran amonný

Síran amonný je anorganická sůl. Na úpravně vody v Hradišti se roztok síranu amonného skladuje ve dvou nádržích. Každá má objem 4 m³. Síran amonný je využíván pro chloraminaci [23].

3.2.6 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn. Na úpravně vody v Hradišti je dávkován pro ztvrdnutí vody. Skladován je ve třech zásobnících, každý o objemu 20 m³, při tlaku 1–2 MPa a teplotě v rozmezí mezi – 30 až – 40 °C. Oxid uhličitý je dávkován do přírodního potrubí před akumulací upravené vody [23].

3.2.7 Chlor

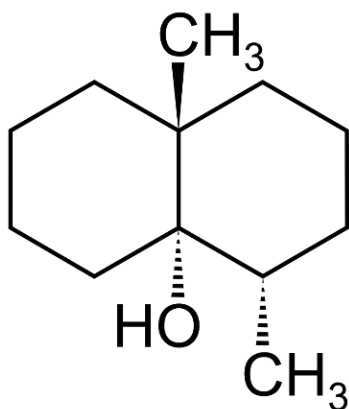
Chlor je používán k hygienickému zabezpečení pitné vody. Limitní koncentrace volného chloru u spotřebitele má být 0,3 mg/l a je dána vyhláškou č. 252/2004 Sb. Chlor má chlorační a oxidační účinky. Na úpravně vody v Hradišti je chlor do vody dávkován před nátokem do akumulace. Dávkované množství je regulováno dvěma podtlakovými regulátory a je kontrolováno chlorkolorimetrem [23,38].

3.3 Aktuální technologické problémy

Hlavním problémem sužujícím úpravnu vody v Hradišti je zápach upravené vody. Největší problém se datuje k roku 2016. První stížnosti na zápach upravené vody se datují k dubnu. Jedná se o složitý problém, jelikož se se špatně predikuje. Má sice souvislost s množstvím biologického znečištění ve vodě, nicméně ani určitá trofická úroveň organismů nám nezaručuje jistotu budoucího vývoje. Problém nesouvisí s technologickým řešením linky. Vzniká v surové vodě ve vodní nádrži Přísečnice. Pach nemusí být antropologický, může být způsoben například biologickým oživením. Celá kauza byla nakonec i poměrně značně medializována a i úspěšně vyřešena [23].

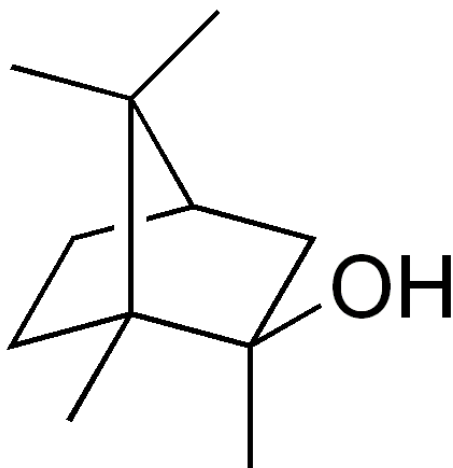
Příčinou onoho problému bylo nečekaně velké biologické znečištění, kterému pomáhá změna klimatických poměrů, a zvýšení produkce biomasy. Obecně výskyt biologického znečištění souvisí s větším počtem sinic, řas, bakterií, prvoků, hub a mechorostů ve vodě. Konkrétně za sinice to jsou například zástupci rodu *microcystis*, *anabaena* a *oscillatoria*, z řas rod *synura* a *uroglena* a za bakterie například *nocardia*, *streptomyces* či aktinomycety a myxobakterie. Ty následně negativně ovlivňují organoleptické vlastnosti vody. Myxobakterie, aktinomycety a sinice mají navíc vliv na vznik geosminu a 2-MIB (=methylisoborneol), což jsou látky s velmi výraznou pachovou stopou. Projevují se zemitými a kořenitými pachy ve vodě, právě proto bylo podezření na zápach přisuzováno geosminu a zvýšenému výskytu fytoplanktonu [23,24].

Geosmin je bicyklický alkohol a derivát dekalinu. Sumární vzorec je $C_{12}H_{22}O$. Je produkován grampozitními bakteriemi a do vody se dostává při jejich úmrtí. Vznikající zápach je velmi silný, lidský nos je na něj extrémně citlivý. Dokáže ho cítit již při koncentraci 5 ppt (=parts per trillion). Problém s jeho vysokou koncentrací se může vykytovat při odebírání vody z povrchových zdrojů jako v případě vodní nádrže Přísečnice [24]



Obrázek 11 - Strukturální vzorec geosminu [24]

Oproti geosminu, 2-MIB je produkován hlavně sinicemi. Do vody je také uvolněn po úmrtí producentů. Sumární vzorec je $C_{11}H_{20}O$. Stejně jako geosmin, je 2-MIB i při malých koncentracích provázen velmi silným zápachem. Zvýšené koncentrace obou látek mohou též zapříčinit bahnitou chuť některých ryb [24].



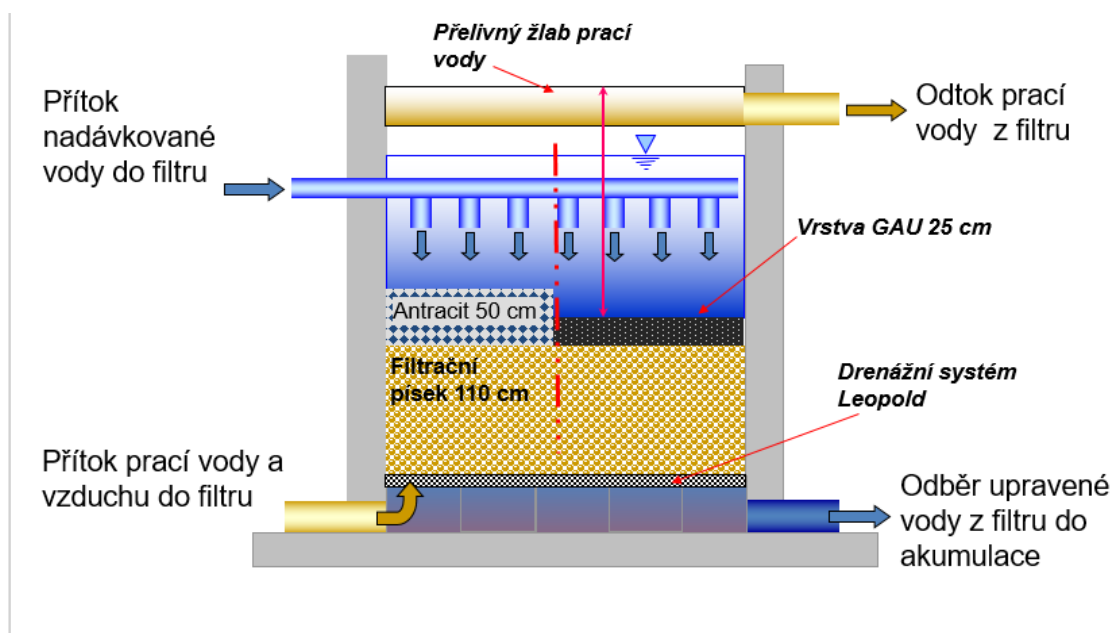
Obrázek 12 - Strukturální vzorec 2-Methylisoborneolu [24]

Možných řešení problému je celé řada. Některé z variant jsou pouze dočasné a mohou řešit problém v prvotní fázi, jiné jsou trvalého charakteru.

Prvním elementárním řešením je změna odběrného okna z vodní nádrže. K odběru vody z povrchových nádrží slouží etážový objekt. Několikrát do týdne jsou odebírány vzorky a jsou prováděny rozborů v laboratoři. Podle toho je rozhodováno o nejlepším místě k odběru. Odumřelé organismy jsou přítomny hlavně u hladiny nádrže, a proto změna etážového okna zajišťuje alespoň částečné zlepšení problému [23].

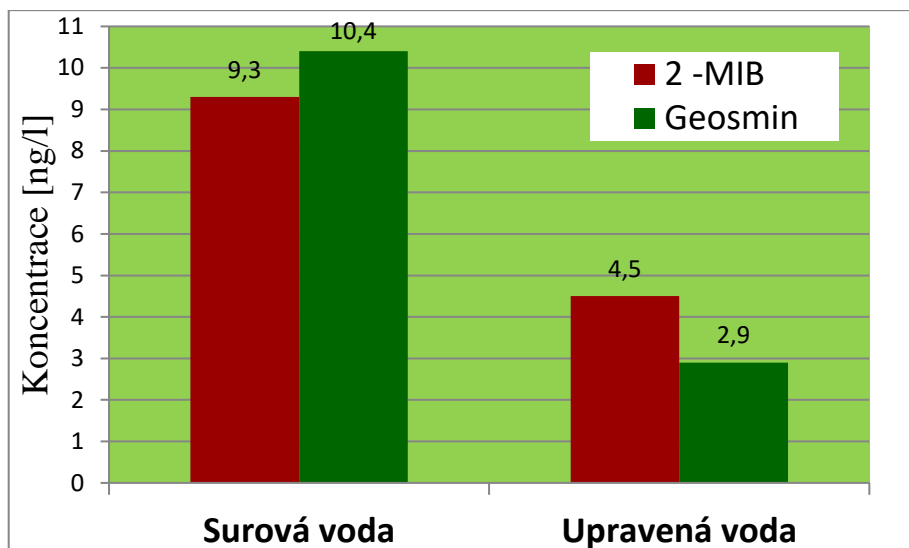
Dalším možným řešením je optimalizace filtračního cyklu. Úprava dávek koagulantu a zlepšení efektivity pracovního cyklu. Co se filtrace týče, je nutná také její rekonstrukce, vhodným krokem se jeví vybudování dvoustupňové filtrace [23].

Dalším řešením souvisejícím s procesem filtrace je náhrada vrstvy antracitu za granulované aktivní uhlí. Odtěžení antracitu a následná výměna za granulované aktivní uhlí nastala ve 4 etapách. Vyměnily se vždy dva filtry, aby nebyla nutná odstávka provozu. 50 cm antracitu stačilo nahradit 25 cm granulovaného aktivního uhlí [23].



Obrázek 13- Výměna antracitu za GAU na filtru na ÚV Hradiště [23]

To má v tomto případě daleko lepší sorpční schopnosti, nicméně jeho nevýhodou je malá životnost. Nevýhodou je rychlé vyčerpání sorpční kapacity aktivního uhlí, jeho životnost je v tomto jeden, maximálně dva roky, namísto obvyklých tří let. Toto řešení se ukázalo jako dostatečné pro vyřešení problému [23].



Graf 1- Koncentrace geosminu a 2-MIB po aplikaci GAU na filtry z 9.6.2016 [23]

Posledním řešením je daleko podrobnější pozorování a zvýšení počtu odběrů. To rezultovalo s dlouhodobým biologickým auditem vody z Přísečnice. Úpravna navázala dlouhodobou spolupráci s VŠCHT, konkrétně s paní docentkou Ambrožovou Říhovou. Během krátkého období bylo realizováno okolo 150 mimořádných odběrů vody, aby bylo možné předejít podobným událostem do budoucna. Pravidelné rozbory jsou uskutečňovány každý měsíc. Díky vstřícnosti pana vedoucího na úpravně vody Hradiště, jsem se měl možnost měření také zúčastnit [23].

Dlouhodobým řešením je, již výše zmíněné, vybudování druhého stupně filtrace.

3.4 Vyhodnocení parametrů jakosti surové a upravené vody z ÚV Hradiště

V následující kapitole se zaměřím na vyhodnocení vybraných parametrů jakosti vody. Důležitým pojmem je v následující kapitole mezní hodnota, která je vymezena v § 2 vyhlášky č. 252/2004 Sb. *Pro účely této vyhlášky se rozumí mezní hodnotou – hodnota ukazatele jakosti pitné vody, jejíž překročení obvykle nepředstavuje akutní zdravotní riziko. Není-li u ukazatele uvedeno jinak, jedná se o horní hranici rozmezí přípustných hodnot* [38].

3.4.1 Laboratoř Most

3.4.1.1 pH

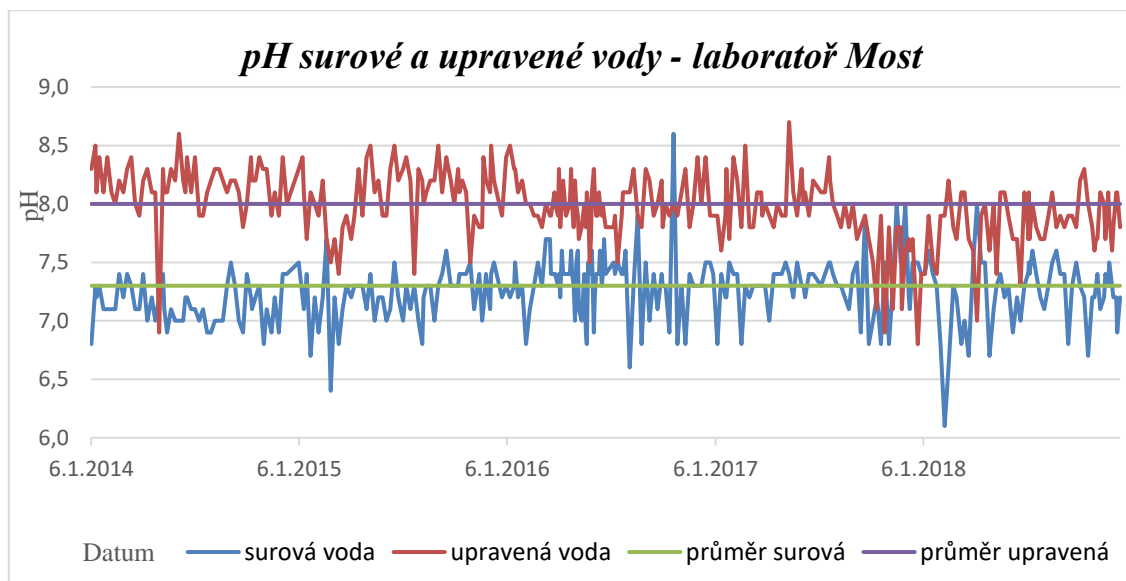
Naměřené hodnoty mezi roky 2014–2018

Tabulka 3 - Popisné statistické údaje pH

<i>Surová voda</i>		<i>Upravená voda</i>	
Stř. hodnota	7,2504918	Stř. hodnota	7,98109
Chyba stř. hodnoty	0,0152143	Chyba stř. hodnoty	0,01649
Medián	7,3	Medián	8
Modus	7,4	Modus	7,9
Směr. Odchylka	0,2657068	Směr. odchylka	0,29135
Rozptyl výběru	0,0706001	Rozptyl výběru	0,08488
Špičatost	3,1017907	Špičatost	1,9096
Šikmost	-0,034648	Šikmost	-0,8361
Rozdíl max-min	2,5	Rozdíl max-min	1,9
Minimum	6,1	Minimum	6,8
Maximum	8,6	Maximum	8,7
Součet	2211,4	Součet	2490,1
Počet	305	Počet	312

Tabulka 4 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro pH

	<i>Surová voda</i>	<i>Upravená voda</i>
Stř. hodnota	7,250491803	7,981089744
Rozptyl	0,070600086	0,08488241
Pozorování	305	312
Rozdíl	304	311
F	0,83173989	
P(F<=f) (1)	0,05350308	
F krit (1)	0,828598234	



Graf 2- Hodnoty pH v surové a upravené vodě

Hodnoty pH upravené vody splňují ve všech případech vyhlášku číslo 252/2004 Sb. Podle vyhlášky se má pH upravené vody pohybovat v rozmezí mezi 6,5 až 9,5 [38].

V následujícím odstavci je záměrem okomentování zásadních změn pH v období od počátku roku 2014 do konce roku 2018. První z nich nastala v říjnu roku 2016, kdy došlo k velké skokové změně pH surové vody, která byla zapříčiněna prudkým větrem, který zamíchal objem nádrže. Dále došlo významnému nárůstu pH surové vody v říjnu 2017, což bylo zapříčiněno podzimní cirkulací. V lednu 2018 došlo k prudkému snížení pH surové vody z důvodu tání sněhu. Sněhová voda se nejspíš dostala k odběrnému objektu než klesla ke dnu. V říjnu 2017 došlo k několika odstávkám přírodní štoly, které požadovalo Povodí Ohře a.s. k provedení oprav na odběrném objektu, což ovlivnilo pH upravené vody v daném období. U upravené vody můžeme také sledovat pokles hodnoty pH od července 2017 až do konce roku 2018. To bylo dáno změnou dávkování vápenné vody v daném období. Vyšší pH v surové vodě mohlo být dáno větší intenzivní fotosyntetickou asimilací zelených organismů [21,23].

3.4.1.2 CHSK_{Mn}

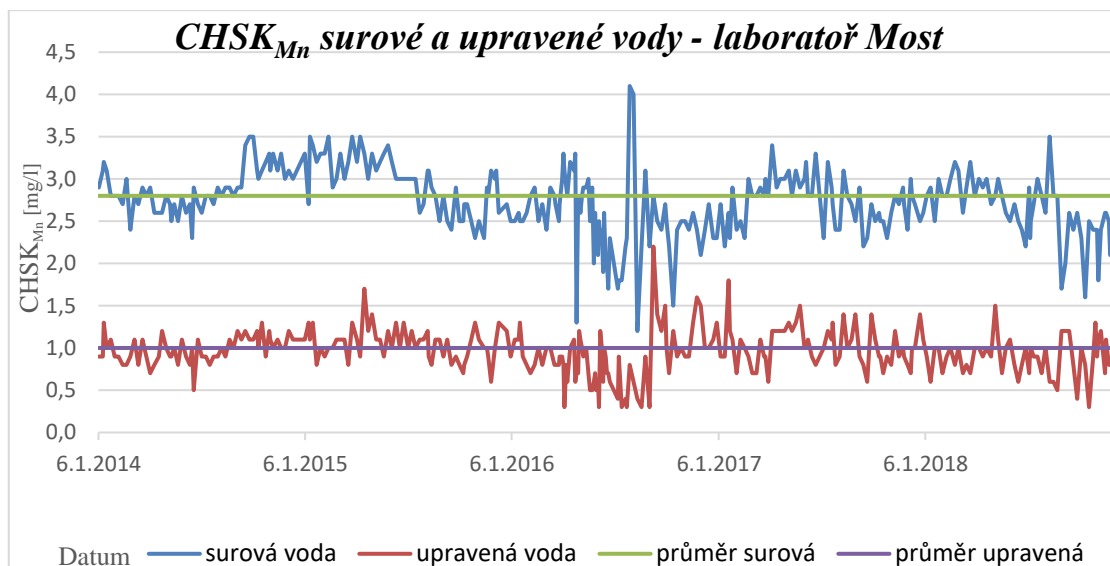
Naměřené hodnoty mezi roky 2014–2018

Tabulka 5 - Popisné statistické údaje týkající se CHSK_{Mn} [mg/l]

<i>Surová voda</i>		<i>Upravená voda</i>	
Stř. hodnota	2,72918033	Stř. hodnota	0,9557692
Chyba stř. hodnoty	0,02290636	Chyba stř. hodnoty	0,0144032
Medián	2,8	Medián	1
Modus	2,8	Modus	0,9
Směr. Odchylka	0,40004233	Směr. odchylka	0,254412
Rozptyl výběru	0,16003387	Rozptyl výběru	0,0647255
Špičatost	1,51059367	Špičatost	2,1307007
Šikmost	-0,3917066	Šikmost	0,2283716
Rozdíl max-min	2,9	Rozdíl max-min	1,9
Minimum	1,2	Minimum	0,3
Maximum	4,1	Maximum	2,2
Součet	832,4	Součet	298,2
Počet	305	Počet	312

Tabulka 6 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro CHSK_{Mn} [mg/l]

	<i>Surová voda</i>	<i>Upravená voda</i>
Stř. hodnota	2,72918033	0,955769231
Rozptyl	0,16003387	0,064725451
Pozorování	305	312
Rozdíl	304	311
F	2,47250289	
P(F<=f) (1)	2,7733E-15	
F krit (1)	1,20657646	



Graf 3- Hodnoty $CHSK_{Mn}$ v surové a upravené vodě

Upravená voda ve všech případech splňuje vyhlášku č. 252/2004 Sb., ve které je určená mezní hodnota $CHSK_{Mn}$ hodnotou 3 mg/l [38].

Hodnoty $CHSK_{Mn}$ surové vody se většinou pohybují od 2,5 do 3,5. Velká změna nastala v srpnu 2016 a byla způsobena opravami odběrného objektu viz. výše v části vyhodnocení pH. Výrazný pokles $CHSK_{Mn}$ v surové vodě nastal na konci roku 2018. Příčinnou onoho poklesu je nejspíš vliv klimatických podmínek a tím je dáno následné kolísání kvality vody v nádrži. Co se týká vody upravené, tam došlo k hlavním změnám v září 2016. Skokové zvýšení $CHSK_{Mn}$ je bylo zapříčiněno prudkým větrem, který zamíchal objem nádrže [23].

3.4.1.3 Hliník

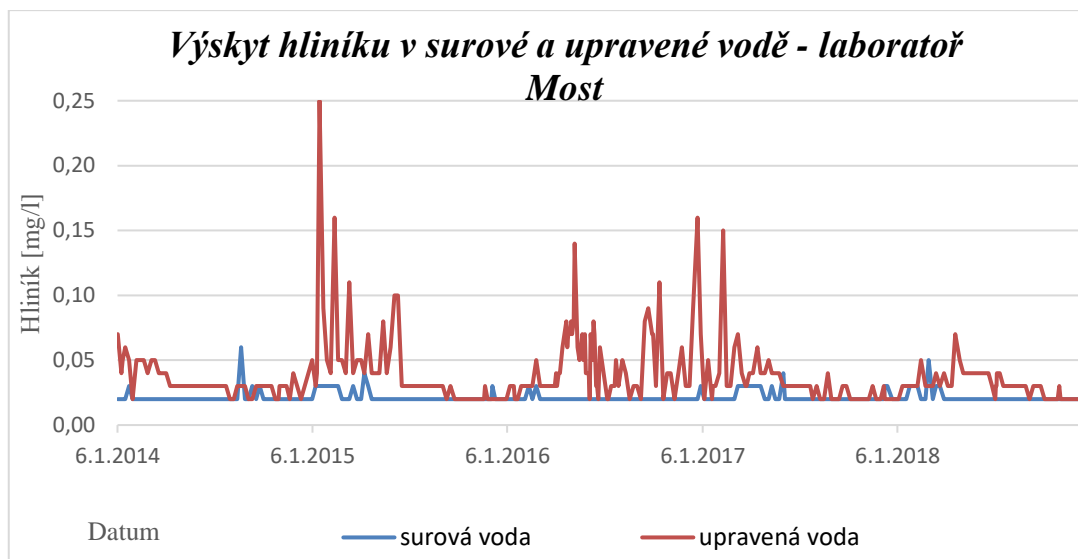
Naměřené hodnoty mezi roky 2014–2018

Tabulka 7 - Popisné statistické údaje týkající se hliníku [mg/l]

<i>Surová voda</i>		<i>Upravená voda</i>	
Stř. hodnota	0,02144262	Stř. hodnota	0,03785
Chyba stř. hodnoty	0,00025365	Chyba stř. hodnoty	0,0014
Medián	0,02	Medián	0,03
Modus	0,02	Modus	0,03
Směr. Odchylka	0,00442973	Směr. Odchylka	0,02481
Rozptyl výběru	1,9623E-05	Rozptyl výběru	0,00062
Špičatost	25,6423845	Špičatost	21,9648
Šikmost	4,31476098	Šikmost	3,78417
Rozdíl max-min	0,04	Rozdíl max-min	0,23
Minimum	0,02	Minimum	0,02
Maximum	0,06	Maximum	0,25
Součet	6,54	Součet	11,81
Počet	305	Počet	312

Tabulka 8 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro hliník [mg/l]

	<i>Surová voda</i>	<i>Upravená voda</i>
Stř. hodnota	0,02144262	0,037852564
Rozptyl	1,9623E-05	0,000615631
Pozorování	305	312
Rozdíl	304	311
F	0,03187384	
P(F<=f) (1)	0	
F krit (1)	0,82859823	



Graf 4- Výskyt hliníku v surové a upravené vodě

Hodnoty hliníku upravené vody splňují až na výjimky vyhlášku č. 252/2004 Sb. Vyhláškou je dána mezní hodnota hliníku v upravené vodě 0,2 mg/l. Výsledná hodnota hliníku v upravené vodě závisí množství síranu hlinitého, který se na úpravně vody Hradiště používá jako koagulační činidlo [23,38].

Koncentrace hliníku v surové vodě se téměř neustále pohybovala menší či rovná 0,05 mg/l.

V upravené vodě docházelo v některých obdobích ke zvýšeným koncentracím hliníku. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v počátku roku 2015. Vysoké koncentrace byly zapříčiněny poruchou dávkovacích čerpadel. Dalším obdobím se zvýšenými hodnotami hliníku v upravené vodě byl květen roku 2016. Vysoké koncentrace byly v té době zapříčiněny změnou dávek koagulačního činidla s cílem odstranit biologické znečištění v upravené vodě. Ve zbylých případech šlo o vliv poruchy v technologii [23].

3.4.1.4 Mangan

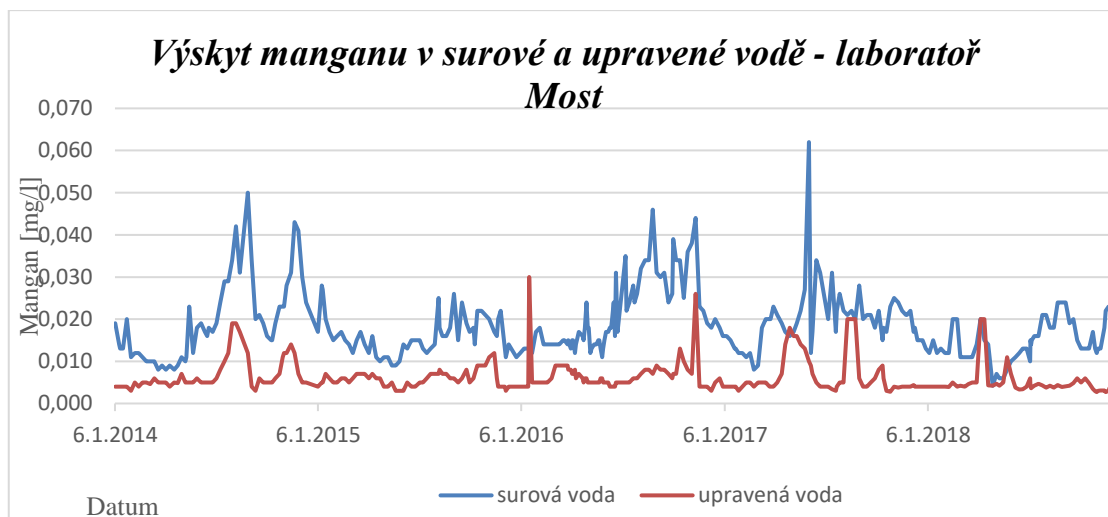
Naměřené hodnoty mezi roky 2014–2018

Tabulka 9 - Popisné statistické údaje týkající se manganu [mg/l]

<i>Surová voda</i>		<i>Upravená voda</i>	
Stř. hodnota	0,0193777	Stř. hodnota	0,0060987
Chyba stř. hodnoty	0,00110432	Chyba stř. hodnoty	0,0002091
Medián	0,017	Medián	0,005
Modus	0,015	Modus	0,005
Směr. Odchylka	0,01928607	Směr. odchylka	0,0036941
Rozptyl výběru	0,00037195	Rozptyl výběru	1,365E-05
Špičatost	214,316358	Špičatost	11,228753
Šikmost	13,5212727	Šikmost	3,0019062
Rozdíl max-min	0,3228	Rozdíl max-min	0,0273
Minimum	0,0042	Minimum	0,0027
Maximum	0,327	Maximum	0,03
Součet	5,9102	Součet	1,9028
Počet	305	Počet	312

Tabulka 10 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro mangan [mg/l]

	<i>Surová voda</i>	<i>Upravená voda</i>
Stř. hodnota	0,0193777	0,006098718
Rozptyl	0,00037195	1,36464E-05
Pozorování	305	312
Rozdíl	304	311
F	27,2563899	
P(F<=f) (1)	2,204E-136	
F krit (1)	1,20657646	



Graf 5- Výskyt manganu v surové a upravené vodě

Hodnoty manganu v upravené vody ve všech případech splňují vyhlášku č. 252/2004 Sb. Podle ní je mezní hodnota manganu v upravené vodě rovná 0,05 mg/l [38].

Problém vysokých koncentrací manganu v surové vodě se v rozbořech dělaných v laboratoři v Mostě neprojevil. Jedná se nárazově o vysoké koncentrace. Vysoké koncentrace v surové vodě ovlivňuje stratifikace vody a nižší stavy vody v nádrži. Problém se podařilo vyřešit během rekonstrukce úpravny vody Hradiště. Byly vybudovány nádrže k přípravě roztoku manganistanu draselného, který se používá k odstranění manganu ze surové vody a rovněž k preoxidaci. O dávkování manganistanu draselného rozhoduje vedoucí technolog [23].

Hodnotu naměřenou 25.8.2014 jsem z grafu odstranil. Jednalo se nesmyslný zápis, zapsaná hodnota byl přibližně desetkrát větší než všechny ostatní.

3.4.1.5 Železo

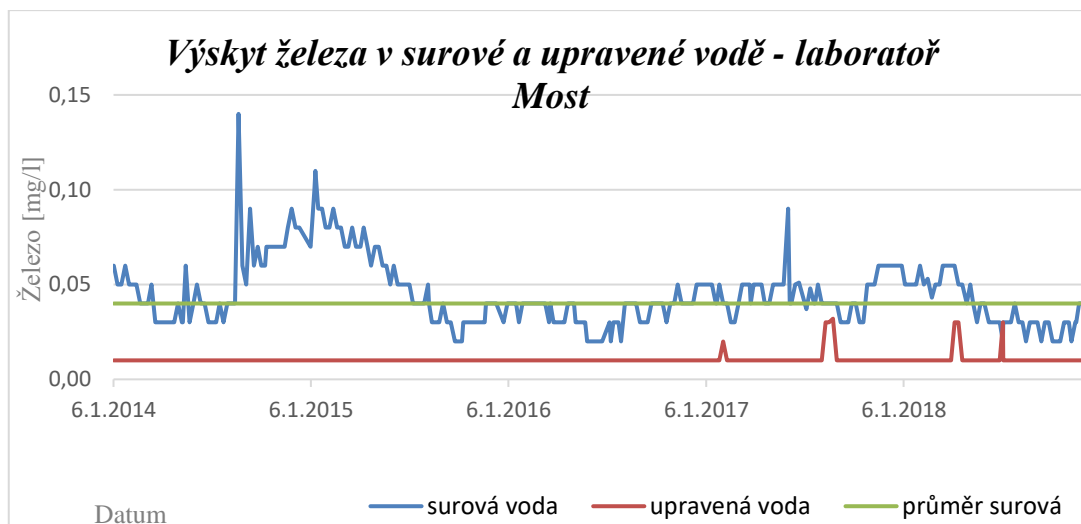
Naměřené hodnoty mezi roky 2014–2018

Tabulka 11 - Popisné statistické údaje týkající se železa [mg/l]

<i>Surová voda</i>		<i>Upravená voda</i>	
Stř. hodnota	0,04341639	Stř. hodnota	0,01042
Chyba stř. hodnoty	0,00099672	Chyba stř. hodnoty	0,00016
Medián	0,04	Medián	0,01
Modus	0,04	Modus	0,01
Směr. Odchylka	0,01740691	Směr. odchylka	0,00285
Rozptyl výběru	0,000303	Rozptyl výběru	8,1E-06
Špičatost	3,60286512	Špičatost	44,5724
Šikmost	1,46201507	Šikmost	6,7601
Rozdíl max-min	0,12	Rozdíl max-min	0,022
Minimum	0,02	Minimum	0,01
Maximum	0,14	Maximum	0,032
Součet	13,242	Součet	3,252
Počet	305	Počet	312

Tabulka 12 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro železo [mg/l]

	<i>Surová voda</i>	<i>Upravená voda</i>
Stř. hodnota	0,04341639	0,010423077
Rozptyl	0,000303	8,12911E-06
Pozorování	305	312
Rozdíl	304	311
F	37,2734914	
P(F<=f) (1)	3,176E-156	
F krit (1)	1,20657646	



Graf 6- Výskyt železa v surové a upravené vodě

Hodnoty železa v upravené vodě ve všech případech splňují vyhlášku č. 252/2004 Sb. Vyhláškou je dána mezní hodnota železa v upravené vodě 0,2 mg/l [38].

Zvýšené koncentrace v surové vodě souvisí se změnou kvality vody ve vodní nádrži Přísečnice [23].

Úpravna vody Hradiště nedisponuje žádnou speciální linkou, vzhledem k nízkým koncentracím k tomu není důvod [23].

3.4.2 Laboratoř ÚV Hradiště

3.4.2.1 pH

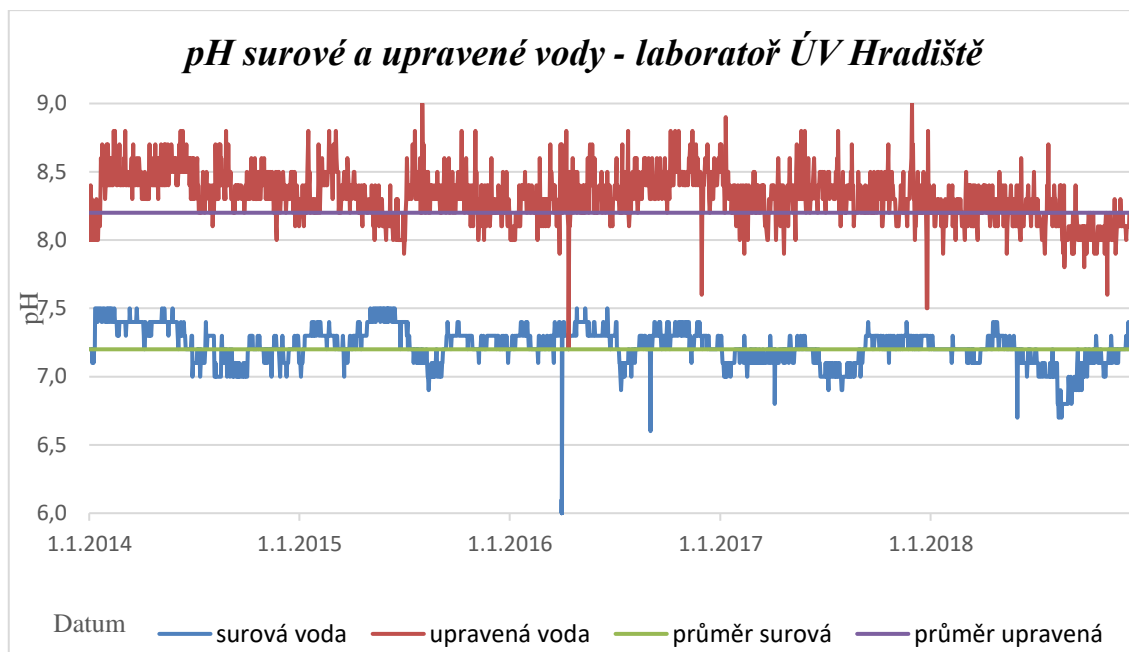
Naměřené hodnoty mezi roky 2014–2018

Tabulka 13 - Popisné statistické údaje týkající se pH

<i>Surová voda</i>		<i>Upravená voda</i>	
Stř. hodnota	7,21811196	Stř. hodnota	8,23281
Chyba stř. hodnoty	0,00351111	Chyba stř. hodnoty	0,00287
Medián	7,2	Medián	8,2
Modus	7,2	Modus	8,2
Směr. Odchylka	0,14987145	Směr. odchylka	0,17395
Rozptyl výběru	0,02246145	Rozptyl výběru	0,03026
Špičatost	12,3718948	Špičatost	1,43824
Šikmost	-1,9050474	Šikmost	0,32842
Rozdíl max-min	1,5	Rozdíl max-min	1,9
Minimum	6	Minimum	7,1
Maximum	7,5	Maximum	9
Součet	13151,4	Součet	30165
Počet	1822	Počet	3664

Tabulka 14 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro pH

	<i>Surová voda</i>	<i>Upravená voda</i>
Stř. hodnota	7,27508197	8,423076923
Rozptyl	0,02306126	0,023967351
Pozorování	305	312
Rozdíl	304	311
F	0,96219477	
P(F<=f) (1)	0,36800801	
F krit (1)	0,82859823	



Graf 7- Hodnoty pH v surové a upravené vodě

Hodnoty pH upravené vody splňují ve všech případech vyhlášku číslo 252/2004 Sb. Podle vyhlášky se má pH upravené vody pohybovat v rozmezí mezi 6,5 až 9,5. U dat vyhodnocených na úpravně vody Hradiště sledujeme průměrný pokles hodnoty pH od července 2017 až do konce roku 2018. To bylo dáno změnou technologie kvůli vyššímu pH vody surové v období od července 2017. Hodnota pH je jedním z hlavních kontrolovaných parametrů na úpravně vody Hradiště. K úpravě pH je na úpravně vody Hradiště využívána vápenná voda a oxid uhličitý. Vyšší pH v surové vodě mohlo být dáno větší intenzivní fotosyntetickou asimilací zelených organismů [21].

3.4.2.2 CHSK_{Mn}

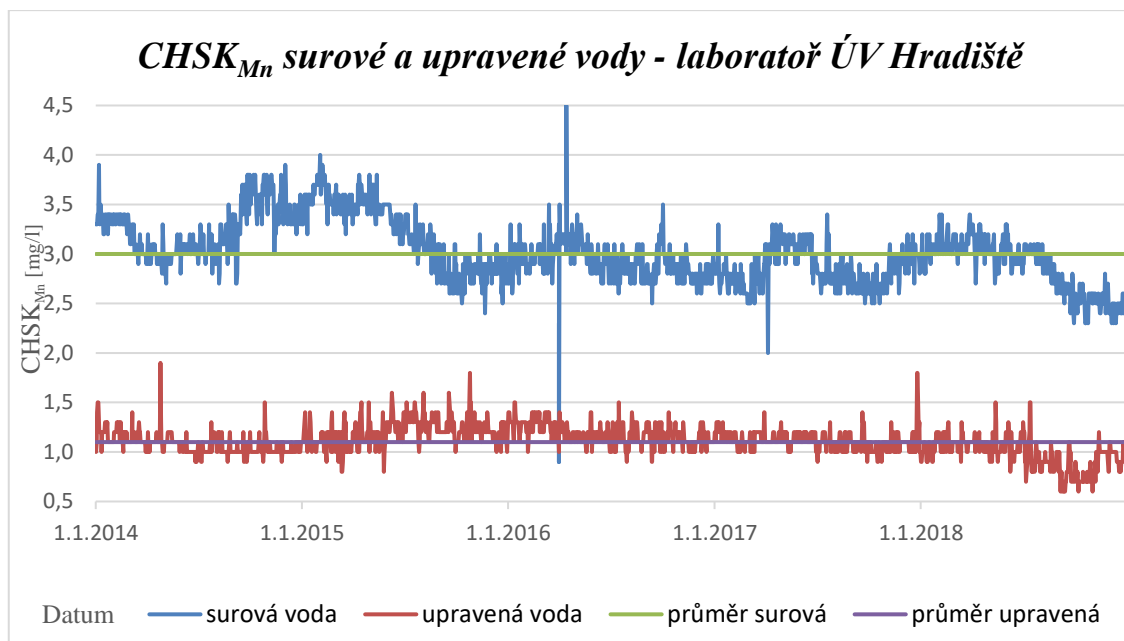
Naměřené hodnoty mezi roky 2014–2018

Tabulka 15 - Popisné statistické údaje týkající se CHSK_{Mn} [mg/l]

<i>Surová voda</i>		<i>Upravená voda</i>	
Stř. hodnota	3,010482986	Stř. hodnota	1,07104258
Chyba stř. hodnoty	0,007733467	Chyba stř. hodnoty	0,00225021
Medián	3	Medián	1,1
Modus	3	Modus	1
Směr. Odchylka	0,330102222	Směr. Odchylka	0,13620737
Rozptyl výběru	0,108967477	Rozptyl výběru	0,01855245
Špičatost	3,500755069	Špičatost	1,62809308
Šikmost	-0,225362395	Šikmost	0,35082737
Rozdíl max-min	3,6	Rozdíl max-min	1,3
Minimum	0,9	Minimum	0,6
Maximum	4,5	Maximum	1,9
Součet	5485,1	Součet	3924,3
Počet	1822	Počet	3664

Tabulka 16 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro CHSK_{Mn} [mg/l]

	<i>Surová voda</i>	<i>Upravená voda</i>
Stř. hodnota	3,010482986	1,071042576
Rozptyl	0,108967477	0,018552448
Pozorování	1822	3664
Rozdíl	1821	3663
F	5,873482363	
P(F<=f) (1)	0	
F krit (1)	1,068525489	



Graf 8 - Hodnoty CHSK_{Mn} v surové a upravené vodě

Hodnoty CHSK_{Mn} surové vody se většinou pohybují od 2,5 do 3,5.

Upravená voda ve všech případech splňuje vyhlášku č. 252/2004 Sb., ve které je určená mezní hodnota CHSK_{Mn} hodnotou 3 mg/l [38].

Podrobněji jsou změny CHSK_{Mn} rozebrány u vyhodnocení CHSK_{Mn} v laboratoři Most.

3.4.2.3 Hliník

Naměřené hodnoty mezi roky 2014–2018

Tabulka 17 - Popisné statistické údaje týkající se hliníku [mg/l]

<i>Surová voda</i>		<i>Upravená voda</i>	
Stř. hodnota	0,05051043	Stř. hodnota	0,05528
Chyba stř. hodnoty	0,00023358	Chyba stř. hodnoty	0,00032
Medián	0,05	Medián	0,05
Modus	0,05	Modus	0,05
Směr. Odchylka	0,00997045	Směr. Odchylka	0,01923
Rozptyl výběru	9,941E-05	Rozptyl výběru	0,00037
Špičatost	786,103318	Špičatost	28,5624
Šikmost	25,8588857	Šikmost	4,93846
Rozdíl max-min	0,34	Rozdíl max-min	0,23
Minimum	0,05	Minimum	0,05
Maximum	0,39	Maximum	0,28
Součet	92,03	Součet	202,54
Počet	1822	Počet	3664

Tabulka 18 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro hliník [mg/l]

	<i>Surová voda</i>	<i>Upravená voda</i>
Stř. hodnota	0,05051043	0,055278384
Rozptyl	9,941E-05	0,000369729
Pozorování	1822	3664
Rozdíl	1821	3663
F	0,2688724	
P(F<=f) (1)	0	
F krit (1)	0,93505845	



Graf 9 - Výskyt hliníku v surové a upravené vodě

Hodnoty hliníku v upravené vodě splňují až na výjimky vyhlášku č. 252/2004 Sb. Podle ní je dána mezní hodnota hliníku v upravené vodě 0,2 mg/l. Výsledná hodnota hliníku v upravené vodě závisí množství síranu hlinitého, který se na úpravně vody Hradiště používá jako koagulační činidlo [23,38].

Koncentrace hliníku v surové vodě se téměř neustále pohybovala menší či rovná 0,05 mg/l. Velký extrém nastal pouze jednou a to 31.3.2016. Vysoká koncentrace hliníku může být dána různými fyzikálně-chemickými vlastnostmi vodního prostředí, avšak je pravděpodobné, že v daném datu byla došlo buď ke špatnému naměření vzorku nebo ke špatnému zapsání.

V upravené vodě došlo za uplynulých pět let dvakrát k překročení povoleného limitu a několikrát ho bylo téměř dosaženo. Ve většině těchto případů šlo o vliv poruchy v technologii, konkrétně o poruchu dávkovacího čerpadla [23].

3.4.2.4 Mangan

Naměřené hodnoty mezi roky 2014–2018

Tabulka 19 - Popisné statistické údaje týkající se manganu [mg/l]

<i>Surová voda</i>		<i>Upravená voda</i>	
Stř. hodnota	0,050603732	Stř. hodnota	0,05
Chyba stř. hodnoty	0,000116636	Chyba stř. hodnoty	3,3363E-17
Medián	0,05	Medián	0,05
Modus	0,05	Modus	0,05
Směr. Odchylka	0,004978586	Směr. odchylka	2,0195E-15
Rozptyl výběru	2,47863E-05	Rozptyl výběru	4,0784E-30
Špičatost	152,8047885	Špičatost	-2,0010926
Šikmost	11,40415831	Šikmost	-1,0004096
Rozdíl max-min	0,09	Rozdíl max-min	0
Minimum	0,05	Minimum	0,05
Maximum	0,14	Maximum	0,05
Součet	92,2	Součet	183,2
Počet	1822	Počet	3664

Tabulka 20 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro mangan [mg/l]

	<i>Surová voda</i>	<i>Upravená voda</i>
Stř. hodnota	0,050603732	0,05
Rozptyl	2,47863E-05	4,07835E-30
Pozorování	1822	3664
Rozdíl	1821	3663
F	6,07753E+24	
P(F<=f) (1)	0	
F krit (1)	1,068525489	

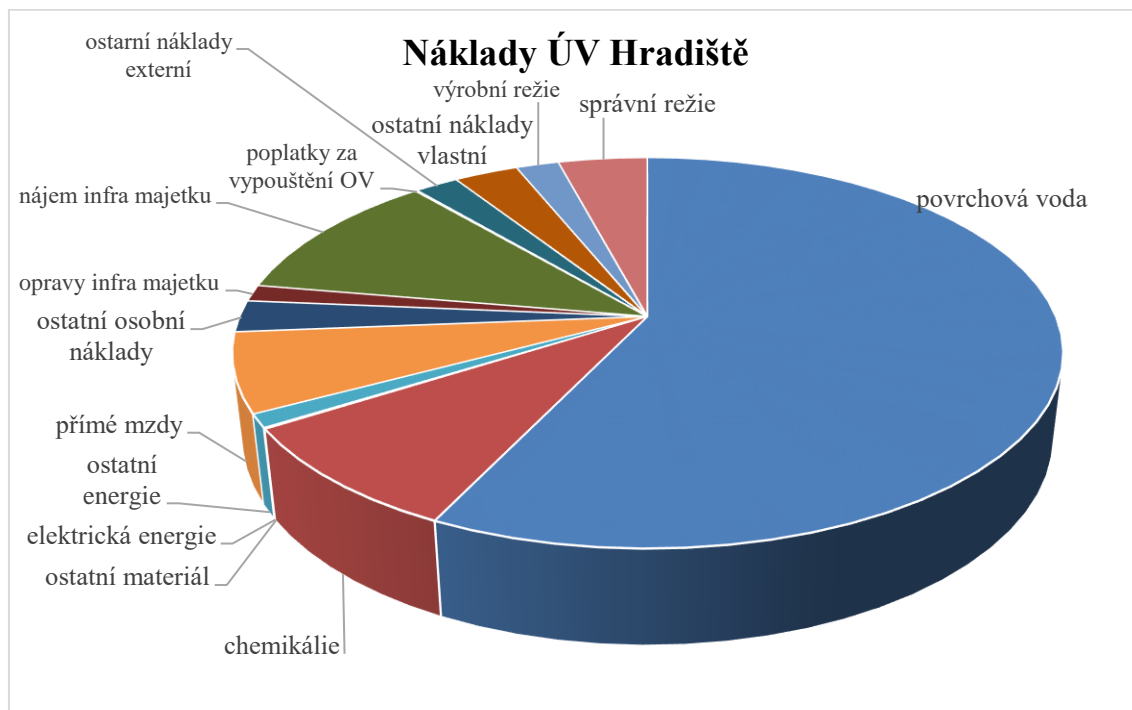
Oproti roku 2017 vzrostl prodej upravené vody o 1 385 tisíc m³. Vyfakturované vody bylo distribuováno celkově 55 040 tisíc m³, přičemž poměr odběrů domácností a ostatních byl přibližně 2:1. Pozitivní je jistě také snížení podílu vody nefakturované, což značí menší ztráty v síti, díky provedeným rekonstrukcím vodovodního řádu. Hodnota nefakturované vody se přesto pohybuje na hranici téměř 20 milionů m³ [25].

To vše se odrazilo také na zvýšení specifické spotřeby vody obyvatelstva o jeden l/obyt./den. Ta za rok 2018 činí 90 l/obyt./den. Při ceně 98,67 Kč za m³ vody včetně DPH se tak obrát Severočeských vodovodů a kanalizací a.s. za minulý rok pohybuje okolo 5,5 miliardy Kč [4,25].

Největší vliv na cenu upravené vody mají poplatky za odběr vody. Poplatky za odběr povrchové vody, které jsou odváděny Povodí Ohře, činily v roce 2018 4,97 Kč za m³, poplatky za odběr vody podzemní za účelem zásobování pitné vody obyvatelstva se již několik let pohybují na úrovni 2 Kč za m³. Poplatky za odběr vody podzemní i povrchové jsou odváděny v souladu se zákonem číslo 254/2001 Sb., O vodách [23].

Pokud se zaměříme na úpravnu vody Hradiště, objem vyrobené vody se za rok 2018 mírně snížil, a to konkrétně na hodnotu 12 162 m³. Z celkového množství distribuované vody Sčvk to tak činí 16,63 % [23].

3.5.2 Vyhodnocení ekonomických parametrů



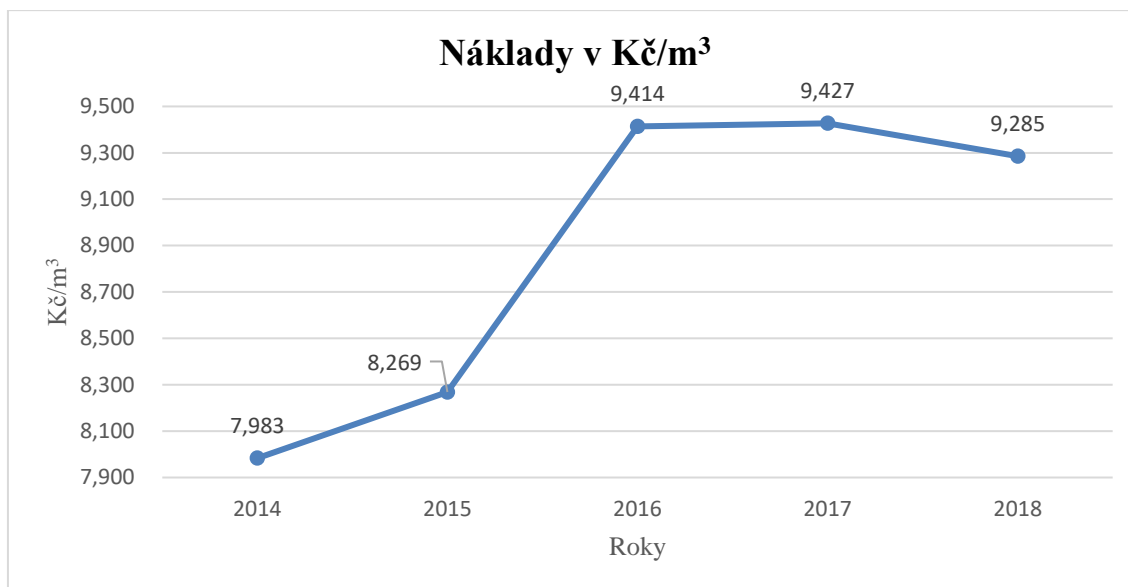
Graf 11- Porovnání jednotlivých výdajů na úpravu vody na ÚV Hradiště za rok 2018

Největší náklady činily poplatky za odběr surové vody z vodní nádrže Přísečnice. Konkrétní část tvořila v roce 2018 57 % z celkových nákladů.

Další významnou položkou ve výdajích jsou platby za nájem majetku. Ty se podílely 11 % na celkových výdajích za rok 2018. Poplatky jsou odváděny pronajímateli, což je Severočeská vodárenská společnost a.s [23].

Dále se na výdajích významně podílely provozní chemikálie. Jejich množství však v posledních dvou letech kleslo. Největší výdaje na provozní chemikálie byly v roce 2016, což je spojeno s problémy s výskytem geosminu a 2-Methylisoborneolu v surové vodě, který byl rozebrán v kapitole Aktuální technologické problémy. Soupis využívaných chemikálií na úpravě vody Hradiště je součástí kapitoly Provozní chemikálie na ÚV Hradiště [23].

Posledním zajímavým bodem je spotřeba elektrické energie. Ta má ve výdajích velmi malý podíl, což je dáno tím, že úpravná disponuje malou vodní elektrárnou a je díky ní schopna většinu svých potřeb pokrýt. Ve špičkách odběru surové vody je úpravná vody Hradiště dokonce část energie schopna prodávat energetickým společnostem. Roční výroba elektrické energie za rok 2018 činila přibližně 12 GWh [23].



Graf 12 - Porovnání nákladů na m³ mezi lety 2014-2018

Náklady na m³ od roku 2014 stoupaly. Největší byly v roce 2016, což bylo zapříčiněno změnou technologie, na filtrech, po událostech se zápachem kulminujícím v roce 2016, a dalšími opravami úpravny vody Hradiště. Problémy se zápachem měly také za následek větší spotřebu provozních chemikálií v roce 2016. Náklady na provozní chemikálie byly v roce 2016 největší za sledované období 2014–2018 a činily 10 % z celkových nákladů. V hodnotě nákladů na provozní chemikálie za daný rok byla zohledněna výměna antracitu za granulované aktivní uhlí. Meziročně kvůli výměně a větší potřebě vzrostly náklady na provozní chemikálie o 53 %. Cena granulovaného aktivního uhlí se pohybovala okolo 70 Kč/kg. Změna technologie se samozřejmě projevila i na dalších nákladech různého charakteru jako například na větší četnosti laboratorních zkoušek či rozsáhlém školení zaměstnanců [23].

4 Závěr

V teoretické části bylo předmětem bakalářské práce popsání technologického postupu při úpravě vody. V praktické části jsem se zabýval vyhodnocením provozu úpravny vody Hradiště a parametrů jakosti surové a upravené vody: Vyhodnoceny byly hodnoty pH, výskyt manganu, železa, hliníku a CHSK_{Mn} . Poskytnuté údaje pochází z laboratoře úpravny vody Hradiště a z laboratoře v Mostě. Dále bylo součástí praktické části vyhodnocení nákladů na úpravu vody z úpravny vody Hradiště. Všechna data pochází z let 2014–2018.

Surová voda pocházející z vodní nádrže Přísečnice je kvalitativně na dobré úrovni, nicméně potýká se s některými specifickými problémy. Mezi hlavní patří zvýšené koncentrace manganu a biologické znečištění. Zvýšené koncentrace manganu souvisí s nižšími stavy vody v nádrži, což je fakt, kterému se lze jen těžko vyhnout, vzhledem k povinnosti zachování minimálních zůstatkových průtoků dle § 36 Vodního zákona. Problém souvisí také se stratifikací vody, které rovněž nelze předejít. Hodnoty železa nejsou pro provoz úpravny vody Hradiště problémem. Železo se vyskytuje v malých koncentracích v surové vodě. Hodnoty hliníku v surové vodě rovněž nepředstavují pro provoz úpravny vody Hradiště žádné komplikace. Větší biologické znečištění souvisí se změnou klimatických poměrů a jeho důsledkem byl v minulých letech zápach v upravené vodě.

Upravená voda byla až na výjimky v souladu s vyhláškou č.252/2004 Sb. Nejzásadnější problém byl s vyšší koncentrací hliníku v upravené vodě, která byla dána poruchami na dávkovacím čerpadle. Jedná se o dvou membránové čerpadlo, které slouží k dávkování síranu hlinitého během úpravy vody.

Řešením výše zmíněných problémů by mělo být vybudování dvoustupňové filtrace. Využito by mělo být i nadále granulované aktivní uhlí, které má lepší sorpční schopnosti než, v minulosti používaný, antracit. Nepříznivým faktem je však nízká životnost granulovaného aktivního uhlí, v provozu vydrží pouze jeden až dva roky. Tento fakt bohužel prodražuje provoz úpravny vody Hradiště.

I přes některé výše zmíněné problémy, je technologická linka schopná dodávat kvalitní pitnou vodu pro obyvatelstvo. Splňuje přísné legislativní požadavky na úpravu vody, což je primární cíl úpravny vody Hradiště. Co se týká ekonomických údajů, je

velkou výhodou malá vodní elektrárna, která je na úpravně vody Hradiště. Nejen, že díky jejímu provozu jsou téměř pokryty výdaje za elektrickou energii, ale navíc je úpravna vody Hradiště ve špičkových odběrech schopna část vyrobené energie prodávat energetickým společnostem. Velký vliv na cenu vody mají také poplatky Povodí Ohře s.p. za odběr surové vody z Přísečnice. Jedná se o největší část z výdajů na úpravu vody.

Úpravna vody Hradiště je jednou z nejvýznamnějších úpraven pro Severočeskou vodárenskou soustavu a má zásadní vliv na celý region.

5 Seznam použité literatury

- [1] BARTOŠ, Ladislav. Vyhodnocení zkušebního provozu úpravny vody Hradiště. [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.smv.cz/index.php?cmd=document&id=987>
- [2] BEDNÁŘ, Josef. *Turbíny: (malé vodní elektrárny)*. Českovice: Marcela Bednářová, c2013. ISBN 978-80-905437-0-6.
- [3] BINTEROVÁ, Zdena. Přísečnice (Pressnitz) – historie. [online]. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://www.zanikleobce.cz/index.php?detail=1136326>
- [4] Cena vody v roce 2018. [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.scvk.cz/vse-o-vode/ceny-vody/cena-vody-v-roce-2018/>
- [5] Česle a síta. ASIO [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: https://www.asio.cz/cz/285.cesle-a-sita
- [6] DOLEJŠ, Petr. Flotace rozpuštěným vzduchem (DAF) pro úpravu pitné vody a její první provozní realizace v ČR [online]. 99-102 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.wet-team.cz/publikace/>
- [7] DRBOHLAV, J. a P. DOLEJŠ. Zkušenosti s používáním drenážních systémů Leopold (ITT) při rekonstrukcích úpraven vody v České republice. SOVAK [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: www.wet-team.cz
- [8] GABRIEL, Petr. ÚV Hradiště - Rekonstrukce pískových filtrů systémem Leopold, zkušenosti z výstavby a provozu [online]. 103 - 108 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: www.smv.cz
- [9] GRÜNWARD, Alexander. *Hydrochemie*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. Učební texty vysokých škol.
- [10] Hahn. Chemical water and wastewater treatment VIII, IWA publishing, 2004
- [11] HYDRO – vodní energie (MHE) [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <http://www.swhgroup.eu/male-vodni-elektrarny.html>
- [12] Hydromechanické procesy. [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://uchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/ZPIng/Hydro-zarizeni.pdf>

- [13] Hydroxid vápenatý [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Hydroxid_v%C3%A1penat%C3%BD
- [14] Chemikálie [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/chemikalie/>
- [15] Investice do decentrálních zdrojů energie – 3. díl: Malá vodní elektrárna [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/investice-do-decentralnich-zdroju-energie-3-dil-mala-vodni-elektrarna>
- [16] James D. Birkett, „A Brief Illustrated History od Desalination: From the Bible to 1940,“ Desalination, č. 50 (1984)
- [17] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-860-2013-4.
- [18] Membránové procesy při úpravě vod. ASIO [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/247.membranove-procesy-pri-uprave-vod>
- [19] NOVOTNÁ, Aneta. Filtrační materiály pro vodárenskou filtraci. Brno, 2013. 51 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
- [20] *Odbahnění MVN* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/VK2/VK2_prednVD09_ZS2018.pdf
- [21] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [22] PIVOKONSKÝ, Martin. Úprava podzemních a povrchových vod – 6. přednáška. [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: http://www.pivokonsky.wz.cz/UV/uprava_vod_6.pdf
- [23] Provozní materiály poskytnuté z ÚV Hradiště
- [24] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. Geosmin a 2-MIB: Části průvodci organoleptických závad pitné vody [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/07_munzar_vb2017_jra.pdf
- [25] Severočeské vodovody a kanalizace a.s.: Výroční zpráva 2018

- [26] SIEGEL, Seth M. *Budiž voda: izraelská inspirace pro svět ohrožený nedostatkem vody*. 2. vydání. Praha: Aligier, 2017. ISBN 978-80-906420-3-4
- [27] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. *Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody*. 2., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05390-4.
- [28] SOMMER, Regina. Dezinfekce pitné vody UV zářením. [online]. ARSENAL RESEARCH [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.smv.cz/res/archive/013/001611.pdf>
- [29] TESAŘÍK, Igor a kol. *Vodárenství*. V Praze: STNL – Nakladatelství technické literatury, 1987
- [30] TUČEK, Ferdinand. *Základní procesy a výpočty v technologii vody 2*. přeprac. vyd. V Praze: STNL - Nakladatelství technické literatury, 1988
- [31] *Úprava podzemních vod*. VŠCHT [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~strnadon/VOD%C3%81RENSTV%C3%8D/PODZEMN%C3%8D%20VODY.pdf>
- [32] *Vlastnosti a zdroje vody*. Tzbinfo [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody>
- [33] *Vodní dílo Přísečnice* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: www.poh.cz/vodni-dilo-prisecnice/d-2616
- [34] VRÁNA, T. *Adsorpce na aktivním uhlí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kirill Solodyankin.
- [35] *Všudypřítomné sinice a jak na ně*. [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/fakulta/veda-a-vyzkum/popularizace/clanky/vsudypritomne-sinice-a-jak-na-ne>
- [36] *Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady*
- [37] *Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu*
- [38] *Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*

[39] Vyhláška č. 437/2016 Sb., *Vyhláška o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady)*

[40] Vyhláška č. 383/2001 Sb., *o podrobnostech nakládání s odpady*

[41] Vyhláška č. 428/2001 Sb., *Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*

[42] Vyhláška č. 252/2004 Sb., *Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*

[43] Výroční zpráva PVK 2017 [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/res/archive/1788/221454.pdf?seek=1531815343>

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

[45] Zákon č. 274/2001 Sb., *Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*

[46] Zákon č. 263/2016 Sb., *Zákon atomový zákon*

[47] ŽÁČEK, Ladislav. *Chemické a technologické procesy úpravy vody*. Brno: NOEL 2000, c1999. ISBN 80-86020-22-3.

6 Seznam obrázků

Obrázek 1- Distribuční síť ÚV Hradiště	12
Obrázek 2- VD Přísečnice	14
Obrázek 3- Příčný řez hrází	14
Obrázek 4- VD Přísečnice	15
Obrázek 5- Schéma úpravy povrchové vody	16
Obrázek 6- Schéma flotace	20
Obrázek 7 - drenážní systém Leopold	22

Obrázek 8 - Technologické schéma ÚV Hradiště	32
Obrázek 9 - Reakční nádrž na ÚV Hradiště	34
Obrázek 10- Filtrační nádrže na ÚV Hradiště	35
Obrázek 11 - Strukturní vzorec geosminu	39
Obrázek 12 - Strukturní vzorec 2-Methylsborneolu	39
Obrázek 13- Výměna auntracitu za GAU na filtru na ÚV Hradiště	40

7 Seznam tabulek

Tabulka 1- Příklady používaných typů koagulantů	19
Tabulka 2 - Přehled vlastností aktivního uhlí Chemviron Carbon ENVIROCARB AP4- 60	25
Tabulka 3 - Popisné statistické údaje pH	42
Tabulka 4 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro pH	42
Tabulka 5 - Popisné statistické údaje týkající se $CHSK_{Mn}$ [mg/l]	44
Tabulka 6 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro $CHSK_{Mn}$ [mg/l]	44
Tabulka 7 - Popisné statistické údaje týkající se hliníku [mg/l]	46
Tabulka 8 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro hliník [mg/l]	46
Tabulka 9 - Popisné statistické údaje týkající se manganu [mg/l]	48
Tabulka 10 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro mangan [mg/l]	48
Tabulka 11 - Popisné statistické údaje týkající se železa [mg/l]	50
Tabulka 12 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro železo [mg/l]	50
Tabulka 13 - Popisné statistické údaje týkající se pH	52
Tabulka 14 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro pH	52
Tabulka 15 - Popisné statistické údaje týkající se $CHSK_{Mn}$ [mg/l]	54
Tabulka 16 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro $CHSK_{Mn}$ [mg/l]	54
Tabulka 17 - Popisné statistické údaje týkající se hliníku [mg/l]	56
Tabulka 18 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro hliník [mg/l]	56
Tabulka 19 - Popisné statistické údaje týkající se manganu [mg/l]	58
Tabulka 20 - Dvouvýběrový F-test pro rozptyl pro mangan [mg/l]	58