

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**

Využití podzemních vod pro výrobu pitné vody v areálu
letišť Praha

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: **doc. Mgr. Marek Vach, Ph. D.**

Bakalant: **Nikola Čiperová**

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Nikola Číperová

Územní technická a správní služba

Název práce

Využití podzemních vod pro výrobu pitné vody v areálu letiště Praha

Název anglicky

Use of the groundwater for the production of Prague Airport's drinking water system

Cíle práce

Bakalářská práce se zabývá problematikou využití podzemních vod pro výrobu pitné vody v areálu Letiště Praha. V úvodní části BP popisuje obecně podzemní vody, jakost podzemních vod a možnosti úpravy podzemních vod na parametry pitné vody. Dále se práce zabývá Novými technologiemi úpravy vody. V následující části se BP zaměřuje na technologii úpravy podzemních vod technologií reverzní osmózy. Cílem BP je analýza jakosti pitné vody vystupující z technologie reverzní osmózy a následná dodávka pro spotřebitele v areálu LP.

Metodika

BP musí svým zpracováním odpovídat metodickým pokynům pro zpracování BP na FŽP na ČZU

Doporučený rozsah práce

40 stran textu

Klíčová slova

podzemní voda, Letiště Praha, reverzní osmóza, jakost vody, nové technologie

Doporučené zdroje informací

- ČESKO. VODNÍ ZÁKON (2001, NOVELA 2006), – STRNAD, Z. – POKORNÝ, D. *Vzory vodoprávních rozhodnutí : podle zákona č. 254/2001 Sb. s komentářem. Díl třetí.* Praha: Sondy, 2009. ISBN 978-80-86846-27-9.
- JANDA, V. – STRNADOVÁ, N. *Technologie vody I.* Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1995. ISBN 80-7080-226-.
- MALÁ, J. – MALÝ, J. *Chemie a technologie vody.* Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-13-4.
- SLÁDEČKOVÁ, A. – SLÁDEČEK, V. – VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. ÚSTAV TECHNOLOGIE VODY A PROSTŘEDÍ, – ČESKÁ VĚDECKOTECHNICKÁ VODOHOSPODÁŘSKÁ SPOLEČNOST. *Atlas vodních organismů se zřetelem na vodárenství, povrchové vody a čistírny odpadních vod. Díl 1, Destruenti a producenti.* Praha: Agrospoj, 1996. ISBN 80-02-01080-9.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2019

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 09. 04. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením doc. Mgr. Marka Vacha, pH. D. Další informace mi poskytly Ing. Soňa Hykyšová a Ing. Irena Nováková. Uvedla jsem i všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne

23. 4. 2019

.....

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D. za jeho vedení a konzultace bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Ireně Novákové za poskytnutí cenných podkladů při zpracování bakalářské práce. Rovněž bych chtěla poděkovat Ing. Soně Hykyšové za vstřícnost a pomoc při získání potřebných materiálů.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou využití podzemních vod k výrobě pitné vody v areálu letiště Praha. V úvodní části bakalářské práce jsem obecně popsala podzemní vody, vodárenský systém letiště Praha, druhy úprav vod a odstraňování látek z vody. Dále jsem se zaměřila na nové technologie úpravy pitné vody. V druhé části popisuji alternativní úpravy podzemních vod na parametry pitné vody. V závěrečné části bakalářské práce se zaměřuji na technologii úpravy podzemních vod technologií reverzní osmózy a vyhodnocení vstupních a výstupních parametrů surové vody. Zhodnotila jsem hodnoty chlorovaných uhlovodíků za roky 2013 až 2017 a porovnávala je s jinými technologiemi úpravy vody a posoudila, která technologie úpravy vody je nejvhodnější pro jejich odstranění. Cílem bakalářské práce je analýza jakosti pitné vody vystupující z technologie reverzní osmózy.

Klíčová slova: reverzní osmóza, podzemní voda, jakost vody, technologie, letiště Praha

Abstract

The bachelor thesis deals with the use of groundwater for the production of drinking water in the Prague Airport area. In the introductory part of the bachelor thesis I describe the groundwater, Prague water system, types of water treatment plant and removal impurities from the water. I also focused on new technologies for drinking water treatment. In the second part I describe the alternative treatment of groundwater to the parameters of drinking water. In the final part of the bachelor thesis I focus on the technology of groundwater treatment by reverse osmosis technology and the evaluation of input and output parameters of groundwater I evaluated the values of chlorinated hydrocarbons for the years 2013 to 2017 and compared them with other water treatment technologies and assessed which water treatment technology is best suited to eliminate them..The aim of the bachelor thesis is to analyse the drinking water quality emerging from the reverse osmosis technology.

Key words: reverse osmose, groundwater, water quality, technology, the airport of Prague

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíle.....	12
3	Literární rešerše	13
3.1	Legislativa související s vodním hospodářstvím.....	13
3.2	Charakteristika podzemních vod	13
3.3	Vodárenský systém LP.....	16
3.3.1	Pitná voda na Letišti Praha.....	17
3.4	Požadavky na jakost pitné vody.....	17
3.5	Upravitelnost vody.....	18
3.6	Druhy úpraven vody.....	19
3.6.1	Komunální úpravna vody	19
3.6.2	Malé domovní úpravny vody	20
3.6.3	Lokální úprava vody- vodní filtry.....	20
3.6.4	Domácí filtrační úprava vody	20
3.6.5	Úprava vody v extrémních podmínkách	21
3.7	Úpravna vody Káraný.....	21
3.8	Úpravna vody Želivka.....	22
3.9	Odstraňování specifických látek z vody	23
3.9.1	Odstranění železa a manganu.....	23
3.9.2	Odstraňování dusičnanů a ostatních forem dusíku	24
3.9.3	Odstraňování radioaktivních látek.....	24
3.9.4	Odstraňování organických látek.....	24
3.10	Alternativní využití filtračního materiálu a membránových filtrů	25
3.11	Zdroj surové vody – studna S2.....	26
4	Metodika.....	27
4.1	Uvažované technologie úpravy pro LP.....	27
4.1.1	Změkčování	27
4.1.2	Dekarbonizace.....	28
4.1.3	Reverzní osmóza	28
4.2	Nové technologie v úpravě vod	29

4.3	Úpravna vody LP	31
4.4	Objekty zařízení úpravny.....	32
4.4.1	Předúprava studniční vody	32
4.4.2	Technologie úpravny vody reverzní osmózou	33
4.4.3	Filtr s aktivním uhlím.....	36
4.4.4	Směšovací zařízení	36
4.4.5	Zásobník pitné vody	36
4.5	Vliv pitné vody na zdraví	37
5	Výsledky	39
5.1	Vybrané parametry vstupních hodnot u surové vody	39
5.2	Parametry hodnot u vyrobené vody	42
5.3	Parametry hodnot u permeátu	44
5.4	Parametry hodnot u filtru s aktivním uhlím.....	45
6	Diskuze	47
7	Závěr.....	49
8	Přehled literatury a použitých zdrojů	51
9	Přílohy	54

Významy zkratk

ČOV – čistírna odpadních vod

DN – dimenze potrubí

LP – Letiště Praha

PVC – polyvinylchlorid

RO – reverzní osmóza

nZVI – nano - valentní nanočástice železa

1 Úvod

Letiště Václava Havla slouží jako specializovaný stavebně-technologický komplex. Jeho úkolem je zajištění mezistátní a vnitrostátní letecké dopravy, která zahrnuje civilní i nákladní leteckou dopravu. Díky tomu má specifické nároky na zajištění bezchybného chodu vodního hospodářství. Také sleduje vliv provozu letiště na jednotlivé složky životního prostředí, aby předcházelo znečišťování a snižování důsledků své činnosti na kvalitu vod a ovzduší.

Podzemní voda v rámci letiště Praha je sledována hydrogeologickou firmou. Monitoring podzemních vod je prováděn 2x až 4x ročně. Ve vzorcích se sledují převážně koncentrace ropných látek a ve vybraných hydrogeologických vrtech koncentrace chlorovaných uhlovodíků.

Pokud jde o zásobování vodou, je třeba se ve zvýšené míře zabývat zajištěním dostatečného množství pitné vody pro provozní i havarijní účely, a to jak v rámci stávajících externích, tak i v rámci interních zdrojů.

Pitná voda je nyní na letišti Václava Havla dodávána ze tří vzájemně nezávislých zdrojů, 2 externích a 1 interního.

1. externí – Pražský okružní vodovod, DN400, vydatnost zdroje 25 l/s
2. externí – Vodovod Liboc, DN200, vydatnost zdroje 10 l/s
3. interní – Studna S1 v rozhodném období byla v provozu, ale větší množství vody je odebíráno ze studny S2, z tohoto důvodu nebyla data ze studny S1 dodána. Maximální množství vyráběné technologií reverzní osmózy je 8l/s.

Celkový součet všech zdrojů pitné vody je maximálně 43 l/s.

Spotřeba letiště v roce 2015 činila 336 214 m³, což je průměrně 919 m³/den. Spotřeba vody má sezónní charakter závislý zejména na počtu cestujících.

2 Cíle

Vyhodnocení vstupních parametrů podzemní vody s výstupními parametry jakosti pitné vody.

Cílem je analýza jakosti pitné vody vystupující z technologie reverzní osmózy dodávaná do vodárenského systému areálu Letiště Praha.

Porovnání jakosti vyrobené vody s příslušnou legislativou č. 252/2004 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

Vybrání vhodných technologií při úpravě vody na letišti Praha a porovnání technologií odstraňující určité parametry podzemní vody.

3 Literární rešerše

3.1 Legislativa související s vodním hospodářstvím

Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů

Směrnice Evropského parlamentu a Rady **2000/60/EU**

Zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů

Vyhláška č. 252/2004 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na

pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vod, která byla novelizována a je uvedena pod č. 83/2014 Sb.

3.2 Charakteristika podzemních vod

Podzemní vody jsou největším sladkovodním zásobníkem na světě a jsou tvořeny 97% z celkového objemu sladkých vod mimo ledové kry a ledovce. Zbývající 3% tvoří řeky, jezera, bažiny a původní vlhkost. Na podzemní vody je nahlíženo jako na zdroje pitné vody, přibližně 75% obyvatel Evropské unie je zásobováno z podzemních vod. Významnou roli hrají v hydrologickém cyklu a jsou nezbytné pro životnost mokřadů a vodních toků. V České republice se pro centrální zásobování obyvatelstva využívá 44 % podzemních zdrojů. Z toho se 15% upravuje aerací a jednostupňovým nebo dvoustupňovým odželezňováním a odmanganováním a dezinfekcí. Ostatní se upravují buď odkyselováním anebo pouze dezinfekcí nejčastěji chlornanem sodným. V USA představuje podzemní voda asi 50% pitné vody a je tak největší zásobou sladkovodní vody, Dostupnost podzemní vody jako zdroje vody do značné míry závisí na povrchové a podpovrchové geologii, ale také na klimatu. Dodávky vody řídí místní a regionální úřady, které dodávají pro obce a okresy. Dohled nad dodávkami zařizuje Agentura pro ochranu životního prostředí USA (EPA), která se řídí zákonem o čisté a pitné vodě. Zákon o čistých vodách obecně řeší znečištění vody a vyžaduje, aby velký uživatel vody, dohlížel na své přítoky a odtoky odpovědným způsobem. (Pytl & Broncová, 2012; Vandas & a kol, 2002.; Orr & Rouge, 2019)

Podzemní voda je druhem vody, která se nachází v horninovém prostředí. V určité hloubce jsou všechny volné prostory vyplněny vodou a tomuto prostředí říkáme satureovaná voda, která je svrchně ohraničena hladinou podzemní vody. Prostor mezi hladinou podzemní vody a povrchem terénu nazýváme nesatureovaná zóna. Což znamená, že větší část dutin je vyplněna vzduchem. Podzemní voda je součástí hydrologického cyklu, z hlediska fyzikálního je možné říci, že proudění vody je ovlivněno výškou tlaku. Voda tedy proudí z místa o vyšším tlaku do místa s nižším tlakem. (Kovář, 2008)

Hladinou podzemní vody rozumíme horní okraj nasycené zóny. Hloubka se nám mění v závislosti na množství srážek, ale i na dalších faktorech.

Jakost podzemních vod a pitné vody ČR

V jednotlivých regionech České republiky je jakost podzemních vod různá. Když roste obsah rozpuštěných minerálních látek, vzrůstá obsah hořčíku a vápníku i hydrogenuhličitanových iontů. V severních, západních a jižních Čechách se nalézají vody s nízkou koncentrací hořčíku a vápníku a nízký obsah hydrogenuhličitanových iontů. Hodnota těchto vod je do 250 mg/l. Ve středních a východních Čechách, částečně na Litoměřicku, jižně od Plzně a na Třeboňsku se nalézají vody s hodnotou mineralizace od 250-500 mg/l s vyšším obsahem Ca, Mg a HCO₃ iontů. Hodnoty v rozsahu od 1-3 mmol.l⁻¹. V uvedených oblastech jsou i vody podzemní s mineralizací větší než 500 mg/l. Obsah Ca, Mg a HCO větší než 3 mmol.l⁻¹. V Jeseníkách, Beskydech, na Jihlavsku, Žďársku a Třebíčsku se nalézají vody s nízkými parametry podzemní vody, zatímco na Opavsku, na střední Moravě a na jihovýchodní Moravě mají vyšší parametry podzemní vody. (Pytl, Broncová, 2012)

Jakost podzemních vod ve východním Německu

Východní Německo charakterizuje průmyslový region Lipsko-Halle-Bitterfeld. Na tuto krajinu má dopad chemický průmysl, který zatěžuje životní prostředí a dochází k rozsáhlým devastacím krajiny a čerpání podzemních vod je ovlivněno těžbou hnědého uhlí. V tomto regionu tak vznikají nebezpečná odpadní ložiska a jsou kontaminovány podzemní vody. Kontaminace podzemních vod je způsobena

anorganickými znečišťujícími látkami. Jediným pozoruhodným aspektem jsou vysoké koncentrace síranu a chloridů. Například skládka "Antonie" obsahuje různé průmyslové zbytky zahrnující odpadní materiál z výroby pesticidů. Podzemní voda pod lokalitou je silně znečištěna hexachlorcyklohexanem. (HCH) izomery. Znečištění je však charakterizováno proměnlivým znečištěním, mezi které řadíme chlorované uhlovodíky. Koncentrace dosahují několika set miligramů na litr, což mimořádně přesahuje standardy o několik řádů. (*Herbert & Kovar, 1998*)

3.3 Vodárenský systém LP

Zdrojem pitné vody pro Letiště je „Pražský okružní vodovod DN 1200 mm“. Přívod DN 400 z vodoměrné šachty „Na Padesátníku“ zásobuje vodojemy vodárny Sever a Jih. Dalším zdrojem pitné vody je přívod DN 300/ DN 200 z pražské vodovodní sítě na Praze 6, jež zásobuje vodojemy přes přečerpávací stanici Liboc.

Vlastním zdrojem pitné vody je studna S2, jejíž voda je upravována technologickou linkou reverzní osmózy a filtrací na aktivním uhlí v objektu vodárny Jih.

obr. č. 1 zákres aktuálních pitných zdrojů v areálu LP



Zdroj: Aerial map 12 (www.mapy.cz)

Voda je zadržována ve vodojemech o celkovém objemu 3680 m³.

Pro potřeby průběžné denní rozkolísanosti spotřeby pitné vody disponuje Letiště Václava Havla 7 velkokapacitními vodojemy

Vodárna Liboc – vodojem o objemu 280 m³, vodárna Sever – vodojemy o objemech 2x650 m³, vodárna Jih – první vodojem o objemu 560 m³ a druhý o objemu 650 m³, vodojem v Terminálu 1 – vodojem o objemu 470 m³ a vodojem v Terminálu 2 – vodojem o objemu 420 m³.

3.3.1 Pitná voda na Letišti Praha

Z důvodu dalšího zvýšení rozmanitosti zdrojů pitné vody se již dnes projektuje napojení Letiště Václava Havla na 3. externí zdroj pitné vody a to na velký vodovodní řad DN 800, tzv. kladenský přivaděč, který vede souběžně s dálnicí D6 jihozápadně od areálu letiště. Z tohoto zdroje se plánuje vodovodní přivaděč DN 200 Hostivice, který předpokládá napojení na výše uvedený stávající řad DN 800 v lokalitě Hostivice – Jeneček.

I když běžná sezónní a denní rozkolísanost spotřeby pitné vody na Letišti Václava Havla nevykazuje žádné extrémní odchylky od odpovídajících rozdělení, je naprosto nezbytné, aby vodohospodářská infrastruktura byla schopna vyrovnávat i vysoké okamžité odběry daleko převyšující denní průměr spotřeby pitné vody.

Vodárna Sever a Vodárna Jih jsou zásadními body vodárenské sítě, kterými prochází veškerá voda vstupující do této sítě. Zde prováděná kontinuální provozní měření jsou tedy velmi důležité, pokud jde o sledování charakteristik dosavadní spotřeby vody na Letišti Václava Havla. Z vyhodnocení reálných provozních dat těchto vodáren za roky 2014-2015 máme k dispozici následující hodnoty:

- V zimní sezóně je nejnižší spotřeba pitné vody, kdy klesne až na cca 700 m³ průměrné denní spotřeby. Jedná se o leden a únor.
- V letní sezóně je tomu naopak a spotřeba pitné vody je poměrně vysoká, stoupá až přes cca 1.200 m³ průměrné denní spotřeby. Zejména v červenci a srpnu.

3.4 Požadavky na jakost pitné vody

Požadavky na kvalitu pitné vody jsou uvedeny v novelizované vyhlášce č. 252/2004 Sb. Zahrnují mikrobiologická, biologická, fyzikální a chemická hlediska. Hodnoty uváděné v této příslušné vyhlášce náleží nejvyšším mezním hodnotám, mezním hodnotám, pro některé ukazatele se uvádějí i doporučené hodnoty.

NMH- hodnota zdravotně závažného ukazatele jakosti pitné vody, v důsledku jejíhož překročení je vyloučeno použití vody jako pitné, neurčí-li orgán ochrany veřejného zdraví na základě zákona jinak

MH - 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.

DP - pro všechny vody platí, že tam kde je to možné, by se mělo usilovat o dosažení doporučené hodnoty. (*Strnadová, Janda, 1999, Pitter, 2009, vyhláška č. 83/2014 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*)

3.5 Upravitelnost vody

Všeobecně se jakost vody z hlediska upravitelnosti a využitelnosti pro zásobování pitnou vodou dělí do tří kategorií.

I. **kategorie**

Vody nevyžadující úpravu kromě dezinfekce a vody vyžadující pouze mechanické odkyselení.

II. **kategorie**

Vody vyžadující složitější úpravu. Řadíme sem vody jednak velmi měkké, vody obsahující železo nad 0,3 mg/l, ale do 30 mg/l a mangan nad 0,1 mg/l až do 10 mg/l. Vody, které obsahují amonné ionty, dusitany a tvrdost vody od 3,57 do 8,92 mmol/l.

III. **kategorie**

Vody méně vhodné či nevhodné pro zásobování jsou vody s celkovou tvrdostí větší než 8,92 mg/l, obsahem železa vyšším než 30 mg/l, obsahem manganu vyšším než 50 mg/l, obsahem dusičnanů vyšším než 50 mg/l a dále s vyšším obsahem jiných ukazatelů. Například se jedná o ropné látky, tenzidy, těžké kovy a dalších složek neodstranitelných úpravou.

(*Zelinka, Formánek, 2005*)

tab. č. 1 Druhy tvrdosti pitné vody

Druhy tvrdosti	(mmol/l)
Velmi měkká	0,00-0,75
Měkká	0,75-1,50
Středně měkká	1,50-2,25
Dostí tvrdá	2,25-3,00
Tvrdá	3,00-4,50
Velmi tvrdá	4,50-9,00
Mimořádně tvrdá	>9.00

Zdroj: (Zelinka & Formánek, 2005)

Vybrala jsem jeden z důležitých ukazatelů jakosti pitné vody a to tvrdost vody.

3.6 Druhy úpraven vody

Jestliže si chce někdo vybudovat úpravnu vody, tak by si měl v první řadě uvědomit, jaké množství vody chce upravovat. Vlastní úpravna vody je značnou finanční investicí a její cena se odvíjí od využití technologie úpravy vody, tak i od množství využití vody. Pro stanovení orientačního množství vody, lze určit podle vyhlášky č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č.274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu.

3.6.1 Komunální úpravna vody

Tyto úpravny vody jsou do domácností nevhodné, projektují se a realizují se pro zásobování obcí a měst pitnou vodou. Průtok se pohybuje od 0,5 l/s až po tisíce litrů za sekundu. Distribuují vodu vodovodem do obcí a měst. Provozovatel ručí za kvalitu vody, tudíž je voda důsledně sledována a jsou často odebírány vzorky vody pro kontrolu. Úpravny jsou velice spolehlivé a bezpečné pro konečné spotřebitele, kteří platí za tuto službu. Vodné se dnes pohybuje v Praze 48,3 Kč/m³. Provozovatelem jsou Pražské vodovody a kanalizace. Cena vodného samozřejmě záleží na provozovateli, v obcích se cena pohybuje kolem 20-50 Kč/m³. Úpravny jsou projektovány, realizovány a provozovány odbornými firmami. Investorem jsou

buď soukromé vodárenské společnosti anebo obce a města. (Zelinka, Formánek, 2005)

3.6.2 Malé domovní úpravny vody

Průtok vody u této úpravny je do 1 l/s a denním výkonem 5m³/den. Úpravna zabere 1-5 m³ a je nutné investovat na začátku a dále pak podle výběru technologie úpravy vody. Pokud někdo může čerpat z vlastního zdroje s některými nevyhovujícími hodnotami kvality vody, tak tato úpravna se nejlépe hodí. Servisní společnosti nebo uživatel bývají provozovateli. Projektovány, obstarávány a realizovány jsou odbornými společnostmi.

3.6.3 Lokální úprava vody- vodní filtry

Využívají se malé vodní filtry, jestliže nám parametry vody slouží k uživatelskému využívání. Jednoduché lokální úpravny vody pomocí filtrů jsou zařízení s výkonem desítek litrů denně. Jednotky jsou umístěny pod kuchyňskou linkou, jejich účelem je upravit vodu na pitnou vodu jen v místě, kde se voda využívá pro pití a přípravu jídla. Musí se vyměňovat filtrační náplň jinak hrozí riziko znečištění. V případě odstraňování dusičnanů se využívá malá filtrační jednotka umístěná v kuchyni, kde se potřebuje pitná voda. Pro zbývající použití není zvýšená koncentrace dusičnanů problematická, tudíž se voda nemusí upravovat. (Zelinka & Formánek, 2005)

3.6.4 Domácí filtrační úprava vody

Jedná se malé filtrační nádržky, do kterých je napouštěna voda z kohoutu, nádržka se položí do ledničky a voda postupně protéká filtračním materiálem do nádoby vyčištěné vody. Produkce se pohybuje do 2 litrů. S malými úpravami vody se setkáváme v běžném obchodu, ale i u firem, které využívají přímý prodej. Jedná se o multilevel marketingové systémy. Tyto firmy se většinou snaží jen prodat výrobek, ale většinou postrádají odborný pohled na danou problematiku. Pokud je někdo přecitlivělý na chlor je možnost využít vodní filtr s náplní s aktivním uhlím. Musí se, ale přesně dodržovat návod k obsluze a je velice důležité zavčas vyměnit filtrační náplň. Při nedodržení návodu si člověk může vyrobít bakteriálně znečištěnou vodu

3.6.5 Úprava vody v extrémních podmínkách

Tato úprava se velice hodí pro cestovatele do extrémně suchých oblastí. Jedná se o oblasti s nedostatkem pitné vody. Různé firmy vyrábějí malé ruční pumpičky filtry, které v malém množství a kvalitě jsou schopny vyrobit pitnou vodu. Tyto produkty vycházejí z vojenského vývoje. Primárně slouží tato úprava pro rychlé dodání vody pro přežití. (Zelinka & Formánek, 2005)

3.7 Úpravna vody Káraný

Pražské vodovody a kanalizace, a.s. provozují úpravnu vody Káraný a Podolí. Úpravnu vody Želivka provozuje od 6. listopadu 2013 společnost Želivská provozní, s.r.o.

Vodárna v Káraném je první vodárnou, byla uvedena do provozu roku 1914, aby zabezpečila obyvatelstvu Prahy kvalitní a zdravotně nezávadnou vodu. Až do 60. let zásobovala Prahu. Později se budovaly pro Prahu další vodárny a podíl kárané vodu na zásobování hlavního města postupně klesal. Podzemní pitná voda v Káraném je získávána ze zdrojů břehové infiltrace tj. ze soustav téměř 700 studní podél řeky Jizery. Pomocí 5 čerpacích stanic a gravitačního řadu je voda dopravena do hlavní čerpací stanice v Káraném. Kapacita tohoto systému je cca 900 l/s. Využívají se i zdroje umělé infiltrace. Studny s radiálními sběrači (19 studní), studny spojené násoskou (254 studní) a sběrné studny (9 studní), které se nacházejí v komplexu a jsou vybudovány mezi obcemi Káraný a Sojovice. Studny využívají vodu z Jizery, která je napouštěna do 15 infiltračních van a odebírána po dopravení a přefiltrování horninou.

Z důvodu zvyšující se spotřeby vody v 60. letech, začala Praha rozšiřovat vodárnu v Káraném. V letech 1965-1969 se vybuďovala technologie umělé infiltrace, což znamenalo zdvojnásobení výroby. Díky tomu vznikla úpravna vody Sojovice, 24 čerpacích stanic podzemní vody z Jizery, 15 vsakovacích nádrží a 165 jímacích studní.

Území je charakterizováno jako členitá pahorkatina s výraznou údolní nivou Jizery a členitými terasami Labe. Průměrné roční teploty překračují 8°C, průměrný roční úhrn srážek je 550 mm.

Nejkvalitnější voda je z artéských zdrojů, která po odželeznění vyhovuje požadavkům jakosti na vodu pro přípravu kojenecké stravy.

Vydatnost všech zdrojů úpravny vody Káraný je cca 1750 l/s.

Směs vody ze všech zdrojů je hygienicky zabezpečena chlorem a čerpána 3 výtlačnými řady do vodojemů v Praze - Flora a Ládví. (www.pvk.cz)

3.8 Úpravna vody Želivka

Úpravna vody Želivka je nejmodernější a největší úpravnou vody pro hl. m. Prahu. Doprava pitné vody je zajištěna štolovým přivaděčem o délce 51,97 km.

Úpravna vody Želivka byla uvedena do provozu v roce 1972. Voda je dodávána do úpravny přes čerpací stanici surové vody řadou čerpadel z vodárenské nádrže Švihov, která má při maximální hladině 377 m. n. m. objem 266,57 mil. m³ vody. Odběr vody z nádrže se provádí etážově ze dvou odběrných věží. Technologie úpravy vody je koagulační filtrace s dávkováním síranu hlinitého a kyseliny sírové. Douprava pitné vody se doalkalizuje vápenným hydrátem a zdravotně se zabezpečuje ozonem a plynným chlorem. Současná technologie úpravy vody vyhovuje požadavkům na kvalitu pitné vody. Ke krajním stavům dochází v období jarního rozvoje, kdy počet mikroorganismů přesahuje 500 jedinců/1 ml. V tomto období se zvyšují dávky síranu hlinitého a kyseliny sírové. Současná technologická linka není připravena na zachycování specifických organických látek, zejména pesticidů, které se vyskytují v surové vodě. K odstranění těchto látek je využívána

ozonizace, nicméně pesticidy to pouze rozloží, ale nezachytí. Dá se předpokládat, že pesticidní látky budou nadále přibývat, proto je třeba uvažovat k zařazení technologie založené na filtraci granulovaného aktivního uhlí, který prokazatelně tyto látky odstraňuje. Upravená voda je odváděna přivaděčem do vodojemu Jesenice o celkovém objemu 200 000 m³, vodojem v Jesenici je provozován Želivskou provozní, a.s. (www.pvk.cz), (Drbohlav & kol. 2014)

Předpoklad vývoje spotřeby vody hlavního města Prahy a Středočeského aglomerace byla zpracována s výhledem na rok 2050. Nejvyšší spotřeba pro 1 655 000 zásobovaných obyvatel a spotřebou vody 235 l/os/den. To znamená, že na úpravně je nutné zajistit kapacitu 4,5m³/s. (Drbohlav & kol. 2014)

3.9 Odstraňování specifických látek z vody

3.9.1 Odstranění železa a manganu

Železo a mangan se řadí mezi nežádoucí tvůrce podzemních vod. Jsou zařazovány do kategorie organoleptických parametrů vody. Ve vodách se vyskytují ve více formách a podle forem se volí vhodnosti odstranění. Nejvíce se objevují ve formě rozpuštěné, která závisí na hydrogeologických vlastnostech prostředí. V takovém případě se volí odstraňování železa a manganu oxidačními způsoby. Využívá se také aerace vody, aby se vysráželo železo, mangan se nedá vysrážet pomocí aerace vody. Nicméně je také zachytáváno železo a mangan na náležité aktivované filtrační náplni. V poslední řadě má dobré vlastnosti i dolomit, ale je snižována schopnost uvolňování vápníku a hořčíku. U manganu je problematické, že ho nelze snadno odstraňovat, pokud je pH vody nižší než 7. Je nutné zvýšit pH a dávkovat manganistan draselný. (*Zelinka & Formánek, 2005*)

Na Slovensku proběhla studie porovnání účinnosti zeolitu a materiálu Filtralite. Aktivovaný zeolit (klinoptilotit) se vyrábí na Slovensku. Na základě dosavadních experimentů, je možné konstatovat, že povrch klinoptilotitu aktivovaný oxidy manganu je svými vlastnostmi porovnatelný se zahraničními materiály a je vhodný při odstraňování železa a manganu z vody.

Filtralite MonoMulti je filtrační materiál, který byl vyvinut v Norsku. Materiál se vyznačuje zejména volitelnou hustotou, zrnitostí materiálu, což umožňuje využít tento materiál pro vícevrstvou filtraci.

Studie byla provedena na ÚV Krúty. Zkoušky proběhly na dvou odběrných místech. Do prvního odběrného místa byla přivedena provzdušněná surová voda s přidáním vápna a druhé odběrné místo bylo pro provzdušněnou surovou vodu. Filtralite MonoMulti nebyl pro tento typ vody účinný, odstraňoval železo z vody pod normovanou hodnotu. Aktivovaný zeolit je speciálně připravený k odstraňování železa z vody. (*Barloková & Ilavský, 2014*)

3.9.2 Odstraňování dusičnanů a ostatních forem dusíku

Dusík je základní prvek všech organismů. Ve vodě se vyskytuje ve formě dusitanů, dusičnanů, amoniaku, atomárního dusíku a amonných iontů. Obsah rozpuštěného kyslíku, pH a mikrobiologické procesy se podílí na formě výskytu dusíku. Nejčastěji se v podzemních vodách vyskytují dusičnany (NO_3^-). U malých úpraven se dusičnany odstraňují iontovou výměnou. Mezi výhody iontové výměny patří velmi velká účinnost a spolehlivost, ostatní parametry vody zůstanou nezměněny. Dávkuje se příjemný chlorid sodný. Mezi nevýhody zařazujeme zvýšenou koncentraci chloridů ve vodě, pak je vhodná technologie úpravy vody reverzní osmózou. Dusitany (NO_2^-) jsou další vyskytující se formou ve vodách. Jejich odstraňování není složité, odstraňují se oxidací společně s dezinfekcí. Zneškodňují železo, mangan a organické látky. Amonné ionty (NH_4^+) spadají mezi negativní formy dusíku ve vodě. Nejdou odstranit technologií RO, jelikož mají molekuly menší než je molekula vody.

K nejnovějším technologiím odstranění dusičnanů se řadí Nanotechnologie, které jsou vhodnou alternativou odstranění dusičnanů. Jedná se o čistší a energeticky výhodnější metodu. Míra odstranění dusičnanů je až 100% a bylo tím dosaženo použitím různých nanomateriálů. Tyto nanomateriály však mají několik omezení jako je například hromadění částic a toxicita. Mohou se také stávat nestabilními za různých podmínek prostředí. (Tyagi & kol, 2018)

3.9.3 Odstraňování radioaktivních látek

V geologickém prostředí se nachází radioaktivní plyn radon. Jedná se o izotop radonu Ra^{22} . Ve vodách se objevuje jako rozpuštěný plyn, ale lze z vody jednoduše odstranit pomocí aerace. Mezi sledované parametry zařazujeme celkovou objemovou aktivitu alfa a beta. Radioaktivní látky podléhají Atomovému zákonu č. 263/2016 Sb. a Vyhláše č.422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

3.9.4 Odstraňování organických látek

Organické látky patří mezi nejsložitější látky ve vodě. Pocházejí z přírodního původu, ale také jsou důsledkem antropogenní činnosti. Do podzemních vod se tak může dostat bohaté množství uhlovodíků. Nebezpečné lehké a těžké uhlovodíky, dále pesticidy a i ropné látky. Dvěma způsoby se dají odstranit organické látky z vody. Prvním z nich je oxidace železa a manganu a snížení organických látek

dezinfekcí. Druhým způsobem se zachycují organické látky adsorbci na aktivním uhlí. Velice spolehlivě to i zachytí složité uhlovodíky a i zachycuje rozpuštěný chlor. (Zelinka & Formánek, 2005)

3.10 Alternativní využití filtračního materiálu a membránových filtrů

Od přírody se využíval již dostupný křemenný písek. Nicméně postupem času se hledali další náhrady. Mezi náhrady řadíme antracit, aktivní uhlí, sklo, keramika, plasty, pálený jíl, drcený čedič, pemza a další.

Filtrační materiál pemza

Jedná se o přírodní materiál a vyvřelou horninu, která se řadí k přírodním sklům. V minulosti byla využívána a v současnosti se používá jako brusivo, například při leštění dřeva. Je také známa pro odstraňování ztvrdlé kůže z chodidel.

Ve vodárenství se využívá hlinitokřemičitan neboli aluminosilikát obecného složení $Al_xSi_yO_z$. Filtrační materiál obsahuje až 75% SiO_2 a přibližně 25% Al_2O_3 . Pemza je vhodnou alternativou ke klasickým filtračním materiálům. Může být použita na jednostupňové nebo dvoustupňové úpravně vody. (Bartoš & kol. 2014)

Membránová filtrace se řadí mezi novější a modernější způsoby úpravy vody. Funguje na principu jednoduché filtrace přes membránu. Rozlišujeme různé druhy membrán a dělíme je do skupin:

Mikrofiltrace

Slouží k odstranění biologického znečištění. Používá se zejména u domácích nebo venkovních filtrů. Filtrace surové vody na pitnou vodu a pro nápoje z ní připravované, například v nápojovém průmyslu je používána při filtraci piva a vína, ale také při zpracování mléka a syrovátky. (Pure system, 2018)

Ultrafiltrace

Jedná se o membrány s porozitou od desítek až stovek nanometrů. Vstupní voda se na membráně dělí na retentát (zasolená voda), který zůstává na vstupní straně, a produkt permeát, který prochází skrz membránu. Ultrafiltraci rozdělujeme na dva

důležité aspekty oddělení částic. Na membránovém povrchu jsou zachyceny částice větší než průměr pórů membrány. Částice menší než průměr pórů vnikají do pórů a adsorbují se na jejich povrch. V prvním případě postačí k odstranění zachycených částic aplikace prostého zpětného proplachu. V případě, že převažuje druhý aspekt bývá obvykle třeba aplikovat chemikálie a použít tak tzv. chemicky posílený proplach. (Mikulášek & kol. 2013)

Nanofiltrace

Je membránový oddělovací proces, který se nachází mezi hranicemi oddělující reverzní osmózu a ultrafiltraci. Hlavní vlastnosti jsou založeny, podobně jako u reverzní osmózy, na různé propustnosti látek, díky které jsou odděleny částice od rozpouštědla. Nicméně monovalentní ionty, jako je Na^+ a Cl^- jsou odstraněny i když ne zcela, zatímco polyvalentní ionty jako jsou Mg^{2+} a Ca^{2+} jsou v převážné míře zachovány. (Pure system, 2018)

3.11 Zdroj surové vody – studna S2

Studna byla vyhloubena v roce 1938 společností VODOTECHNA. Kopaná studna, která je tvořena kruhovou výztuží s průměrem 1,5 m. Jako materiál bylo použito cihlové zdivo. Horní část je tvořena strojovnou a převážná část tvoří prefabrikované dílce. Ve strojovně je umístěna veškerá elektro-část, která udržuje teplotu ve stanovené hodnotě pomocí přímotopných panelů. Nedochozí tak k nežádoucímu kondenzování vody na stěnách a případně k znečištění studniční vody. Celková hloubka studny činí 35,5 m, hladina vody ve studni je 25,2 m pod terénem s bočními galeriemi.

Trubním materiálem studny jsou ocelové roury upravené žárovým zinkováním.

Čerpací zařízení studny jsou použita ponorná čerpadla. Studna je umístěna v oploceném areálu letiště Praha. (Nováková, 2017)

4 Metodika

Pořízená data a podklady, které jsem využila ve své bakalářské práci mi byly poskytnuty Letištěm Praha, a.s., zejména projektovými pracemi firmy Mempsep, s.r.o. název projektu: Letiště Praha Ruzyně- oprava úpravny vody a firmou RAEN, název úkolu: Návrhy technologií a zařízení pro úpravu podzemní vody na letišti ČSL v Ruzyni z roku 2000. Informace jsem nadále čerpala se sborníků přednášek z 10. bienální konference Voda, kde jsem využila podklady o nejnovějších technologiích úpravy vody. Dále jsem porovnávala parametry hodnot jakosti podzemní vody, vyrobené vody, jakosti permeátu a také jakost vody na výstupu z filtru s náplní aktivního uhlí.

Výsledky jakosti studniční vody na vodárně Jih byly porovnány s hodnotami dle vyhlášky č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Ve své práci jsem se zaměřila na hodnoty chlorovaných uhlovodíků u surové a vyrobené vody a zjišťovala, jaká technologie úpravy vody je nejvhodnější.

4.1 Uvažované technologie úpravy pro LP

Při řešení úpravny pitné vody byly v minulosti uvažovány následující technologie úpravy. První variantou bylo změkčování, druhou dekarbonizace vody a třetí reverzní osmóza. Nabídky od firem byly posuzovány dle technického řešení a ekonomických nákladů, jak investičních tak provozních.

4.1.1 Změkčování

Tato technologie čištění pro daný provoz není vhodná, i když z navržených technologií můžeme vybrat investičně příznivější verzi než u dekarbonizace. Modulová stavebnice s 12 automatickými změkčovači se zásobníky soli byla vyhodnocena jako příliš náročná na obsluhu a při čteném doplňování soli nebyla považována za úpravnu bezobslužnou. (*Pavelka & Fejtek, 2000*)

Změkčování se doporučuje u vody s tvrdostí vyšší než 15 °f (stupňů francouzských) nainstalovat k vodnímu zařízení změkčovač, který brání vzniku vodního kamene a je schopen reagovat s vápníkem i hořčíkem.

Změkčovače nebo také změkčovací filtry pracují na principu chemické reakce, při které se v jeho tlakové nádrži zachycuje vápník a hořčík. Metoda je založena na klasickém principu aktivity prvků a výměny iontů. Speciální pryskyřice pro změkčování vody obsahuje skupiny iontů, které jsou schopny absorbovat vápníkové a hořčíkové ionty a nahrazovat je neškodnými ionty sodíku, které se do reakce doplňují obvykle z chloridu sodného, běžné kuchyňské soli. (Zumr, 2014)

4.1.2 Dekarbonizace

Nutnou podmínkou u této technologie je skladování koncentrované regenerační kyseliny chlorovodíkové v prostoru se záchytnou vanou a maximální omezení úniku agresivních výparů při ředění regeneračního roztoku uvnitř budovy.

Při dekarbonizaci dochází k odstranění hydrogenuhličitanových iontů HCO_3^- z vody. Tyto ionty se za vyšších tlaků a teplot rozpadají na volný oxid uhličitý, který se s parou dostává do kondenzátů a následně způsobuje korozi vratného potrubí a nádrže. Proces dekarbonizace vody se uplatňuje hlavně pro úpravu kotelních vod, podzemních vod dále pro chladicí systémy nebo i v potravinářském průmyslu, jako jsou pivovary, sodovkárny a podobně.

4.1.3 Reverzní osmóza

Technologicky se jako jednoznačně nejlepší řešení jeví aplikace RO. Při nesrovnatelně menší spotřebě chemikálií, potřebných pouze k regulaci uhličitanové rovnováhy a stabilizaci při zakoncentrování solí je vyráběno 36m³/h permeátu. Po smíchání s vodovodní vodou v poměru 1:1 se docílí složení směsi, která vyhovuje normě na pitnou vodu. Praktická životnost membránových modulů s životností ionexových náplní je cca 7-8 roků. Odpadní vodou je koncentrát, který je tvořen 20% ze studniční vody a odvádí se do kanalizace.

4.2 Nové technologie v úpravě vod

Nanomateriály mají velmi žádoucí vlastnosti pro aplikaci in situ. Vzhledem k jejich nepatrné velikosti a inovativním povrchovým vrstvám mohou nanočástice proniknout do velmi malých prostorů v podpovrchových vrstvách a zůstat suspendovány v podzemních vodách, což umožňuje částicím, aby se pohybovaly do větších vzdáleností než větší částice a dosáhly tak širší distribuce. Mezi nanomateriály se řadí nanočástice zeolitů, oxidy kovů, uhlíkové nanotrubičky a vlákna, enzymy, různé vzácné kovy a oxid titaničitý. Z nich je v současné době nejrozšířenější nanovalentní nanočástice železa. (Karn & kol. 2009)

Nanočástice stříbra

Antimikrobiální účinky stříbra se datují již od starověku. Před objevením antibiotik bylo koloidní stříbro často využíváno k léčbě. Nicméně nemůže být deklarováno jako lék. V celé Evropské unii platí, že nemůže být využíváno k vnitřnímu použití. Vzhledem k toxickým účinkům stříbra a dosud nedostatečným informacím o působení v živých organismech nebylo používání schváleno.

Z nedávné minulosti se na počátku 20. století stříbro využívalo jako antibakteriální vodní filtr.

Pro své dezinfekční účinky se stříbro využívá zejména v průmyslových odvětvích. Při odstraňování mikrobiálního znečištění se používá významně, díky svým toxickým vlastnostem. (Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Salmonella sp., apod.) (Růžičková & kol. 2013)

Nanočástice železa

Nanočástice železa jsou slibnou technologií při úpravě kontaminovaných podzemních vod.

Nano - valentní nanočástice železa (nZVI) se řadí k nejnovějším objevům při redukci chlorovaných organických sloučenin. Na Tchaj-wanu byla provedena studie v oblasti kraje Miaoli, ve kterém byly podzemní vody silně znečištěny chlorovanými organickými sloučeninami z místní petrochemické společnosti. Chlorované těžké organické sloučeniny tvoří významnou část kontaminantů z průmyslového odpadu. Tyto kontaminanty zahrnují perchlorethen (PCE), trichlorethylen (TCE) a 1,2 – dichlorethen (1,2- DCE) jsou hustší než voda a mají nízkou rozpustnost ve vodě. Řadí se mezi dominanty v kontaminovaných lokalitách a velice těžce se

odstraňují a jsou nebezpečné pro životní prostředí a lidské zdraví. Cílem bylo posoudit účinnost nanočástic železa při odstraňování chlorovaných organických sloučenin. Ke snížení opravdu docházelo, nicméně je potřeba provádět další studie pro budoucí výzkum. *(Mdlou & kol. 2019)*

Lokalita Hanford (USA) má vyšší koncentraci radionuklidu (Technicium) jedná se o běžný kontaminant v jaderných elektrárnách a může být zachycen ze spodní vody. Díky velikosti nanočástic se snadno přepravují v podzemních vodách. Nanočástice železa nabízejí potenciál pro rychlé odstranění Technicia z podzemních vod. *(Newsome & kol.. 2019)*

4.3 Úpravna vody LP

Zařízení na úpravu vody tvoří dvě paralelní technologie – filtrace s aktivním uhlím a reverzní osmóza. Do potrubí, které odvádí permeát (produkt reverzní osmózy) se přimíchává proud vody z filtru s aktivním uhlím.

Jelikož vstupní voda obsahuje nízký obsah nerozpuštěných látek a železa, není nutná filtrace či jiná úprava, bohatě postačuje dvojice rukávových filtrů.

Sestava RO se skládá ze vstupního dílu s ochranným filtrem a uzavírací elektroarmaturou. Voda dále postupuje do pracovního čerpadla. Na vstupu jsou instalována čidla na měření tlaku, teploty, vodivosti, průtokoměr vstupní vody, dávkování maskovacího činidla a dávkování kyseliny chlorovodíkové. Pracovním čerpadlem se voda čerpá a rozděluje se na dva proudy – demineralizovaná voda (permeát) a odpadní zasolená voda (koncentrát), který odtéká splaškovou kanalizací spolu s dalšími odpadními vodami na ČKV+ČOV jih.

Součástí stanice je PVC zásobník na přípravu čistících a sanitačních roztoků. Zásobník slouží pro základní údržbu stanice. Údržba je tvořena třemi postupy – čištěním, sanitací a konzervací. Čištění je používáno, když výkon stanice klesne pod 90% nominálního výkonu. Sanitace funguje jako likvidace mikrobiálního znečištění membrán. Konzervace se používá v případě, když se odstaví stanice na dobu vyšší než 72 hodin.

Linka úpravny vody se skládá z předúpravy vody, kterou tvoří rukávové filtry na mechanické nečistoty, dávkování kyseliny HCl, dávkování antiscalantu (přípravek pro ochranu membrán, zabraňuje tvorbě pevných usazenin), stanice RO, filtr s aktivním uhlím, směšovací zařízení, zásobník pitné vody (vodojem)

(Nováková, 2017)

obr. č. 3 úpravna vody na Letišti Praha



Zdroj: vlastní fotografie

4.4 Objekty zařízení úpravny

4.4.1 Předúprava studniční vody

Rukávový filtr

Do dvojice rukávových filtrů vstupuje voda, rukávové filtry odfiltrují případné mechanické nečistoty, které jsou obsaženy ve vodě ze studny případně uvolněné z přívodního potrubí. Filtry jsou nainstalovány paralelně, aby se zajistil kontinuální provoz se zálohou průtoku při částečném zanesení filtračních rukávů.

Na vstupním a výstupním kolektoru filtru jsou nainstalovány manometry vstupního a výstupního tlaku. V případě, když naroste tlaková ztráta přes 0,5 bar je nutné vyměnit filtrační rukávy.

Nejdůležitější parametry rukávového filtru: filtrační rukáv je typem M 8, porozita 10 mikrometrů, pracovní tlak je maximálně 0,6MPa a pracovní průtok na jeden filtr je 40m³/h, což je 11,11 l/s.

Dávkovací zařízení kyseliny chlorovodíkové

Jedná se o membránové dávkovací čerpadlo řízené průtokem prošlé vody. Určené k dávkování kyseliny do vstupní vody RO. Výkon má nastavitelný v rozsahu 0-100 % .

Zásobník kyseliny, který má průměrnou zásobu na čtvrt roku, je instalován v samostatné místnosti. Je osazen filtrem s ionexovou náplní. Barva čerstvé ionexové náplně je modrá, ionexová kolona slouží k úniku emisí kyseliny chlorovodíkové do ovzduší. Vyčerpání náplně je sledováno obsluhou podle barevnosti ionexové náplně. Pokud je celá náplň bezbarvá, je nutné ji vyměnit za novou.

V zásobníku kyseliny je instalován snímač, které v případě minimální anebo maximální hladiny signalizuje do řídicího panelu stanice informaci o zaplnění zásobní nádrže kyselinou.

Parametry čerpadla: dávkování roztoku HCl 31%, dávka pro vstupní vodu 136 mg HCl 31%/l, pH upravené vody v rozmezí 6,9-7,3.

Dávkovací zařízení antiscalantu

Stejně jako u dávkovacího zařízení kyseliny je řízeno průtokem prošlé vody.

Slouží k stabilizaci látek působících na tvrdost vody, sloučenin železa, síranu a silikátů. Používá se téměř pro všechny jakosti vody. Není jedovatý, neobsahuje žádné fosfáty, naopak je ekologický a biologicky odbouratelný. Má velmi dobrou rozptýlenost anorganických usazenin a polutantů. Výhodou je nízké dávkování a tím pádem je velmi úsporný. Typově se hodí pro všechny membrány.

Čerpadlo je instalováno na rámu stanice RO.

Nejdůležitější parametry čerpadla: maximální tlak 1 MPa, dávka antiscalantu se liší podle provozovatele, ředění 1:10 (Nováková, 2017)

4.4.2 Technologie úpravny vody reverzní osmózou

Využívání reverzní osmózy je velice rozmanité, využívá se v domácnostech, akvaristice, laboratořích jako náhrada destilace, strojírenství a gastronomii.

Umožňuje odstranit částice tak malé jako jsou ionty. Póry v membráně jsou jen o velikosti 0,00005 mikronů, bakterie jsou od 0,2 do 1 mikronu a viry jsou o velikosti 0,02 do 0,4 mikronů.

Podzemní voda je nejprve zfiltrována na dvojici rukávových filtrů. Čerpá se ze studny čerpadlem, které má výkon posíleno posilovacím čerpadlem. Nominální průtok je 36 m³/h při tlaku 2 bary. Vstupní tlak je měřen manometry na vstupu rukávového filtru. Vzorkovací ventil umožňuje odběr vzorku. Tlaková ztráta na každém z filtrů měřena manometry. Za těmito filtry je přívodní potrubí, které se rozbočuje na dvě ramena.

První rameno napájí stanici reverzní osmózy obsahující jednotku s řídicím panelem a jednotku membránových modulů, na kterých je voda rozdělena na permeátový a koncentrátový proud. Aby se předešlo nebezpečí, tak je stanice reverzní osmózy zabezpečena, tím že je do vody dávkována kyselina chlorovodíková pro úpravu pH a antiscalant pro zamezení tvorby nerozpustných sedimentů. Permeát skladovaný v nádrži se využívá pro preventivní výplachy.

Druhé rameno přivádí vodu k filtru s náplní aktivního uhlí. Filtr má nominální průtok 8m³/h při lineární rychlosti 15 m/h. Je osazen automatickou řídicí hlavou a armaturami zajišťujícími automatický provoz a praní. Ventil slouží k odpouštění tlaku a vzorkování vody před filtrací. Zpětným ventilem proudí voda, průtok je měřen plovákovým průtokoměrem, tlaková ztráta se měří manometry. Praní filtru je zahájeno podle nastaveného času a je prováděno pitnou vodou přes automatický ventil. Když začne praní, tak je současným impulzem pro odstavení RO stanice z provozu.

Voda dále vstupuje do distribuční jednotky stanice RO. Měří se tu vodivost čidlem, dále je zde zaústěno vstřikování dávkovacího čerpadla minerální kyseliny. Za tímto vstřikovacím čerpadlem je umístěn hlavní ručně ovládací, uzavírací ventil. Po změření pH sondou je v potrubí začleněno vstřikování antiscalantu. Na výstupu pracovního čerpadla je umístěn ventil s regulační schopností.

Voda je z distribuční jednotky odváděna do systému modulů s RO elementy. Před vstupem do prvního stupně je změřen průtokoměrem vstupní průtok. V prvním stupni jsou zapojeny tři moduly, ve druhém stupni dva a ve třetím stupni jeden. Ventily slouží k přestavení potrubní trasy při operaci čištění nebo sanitaci. Koncentrátový proud je odváděn do distribuční jednotky. Každý z modulů je osazen

na permeátovém odvodním potrubí vzorkovacím ventilem. Permeát z každého modulu se odvádí do sběrného potrubí a zpátky se vrací do distribuční jednotky.

V distribuční jednotce je v hlavní koncentrátové větvi měřen pracovní tlak čidlem, ventilem s regulační funkcí je nastavován pracovní bod RO stanice. Poté opouští koncentrát při standartním provozu stanice a je odveden do kanalizace.

Na hlavní permeátové větvi je osazen ventil pro odběr směsného permeátu. Přes ruční ventil a zpětnou klapku je odváděn do směšovacího uzlu a je přiváděna voda po filtraci na aktivní uhlí. Při překročení nebo podkročení limitu hodnoty pH slouží údaj sondy k odstavení stanice. Poměr míšení se nastavuje automaticky, když čidlo vyhodnotí vodivost na výstupním potrubí.

Směs vody za mísícím uzlem je vedena do vodojemu. Voda je přiváděna do vodojemu rozstřikovacemi tryskami. Trysky jsou instalovány na potrubí ve tvaru obdélníku. *(Pavelka, Fejtek, 2000)*

V distribuční jednotce je na permeátové větvi odbočeno potrubí k mezizásobníku permeátu. Z nádrže jsou přes vstup prováděny preventivní proplachy modulů RO po odstavení stanice.

Další odbočka z potrubí slouží k odvedení nekvalitního permeátu do kanalizace.

Při čištění nebo sanitaci RO stanice je roztok na koncentrátové a permeátové větvi. V tomto režimu jsou moduly přestaveny, aby vznikla konfigurace, tedy 3+3.

Kyselina chlorovodíková je do systému čerpána ze zásobníku čerpadlem. Antiscalant je dávkován přímo z přepravního obalu.

Vyrobený permeát z RO je smíšen s filtrovanou vodou v automatickém směšovacím zařízení umístěném na distribuční jednotce RO. Výsledná směs je přiváděna do vodojemu a následně je dopravována ke konečným spotřebitelům.

Nejdůležitější parametry zařízení RO: produkce permeátu při 12°C je 23 m³/h, konverze se pohybuje v rozmezí 65-70%, pracovní tlak 10,2 MPa. (*www.reverzni-osmoza.cz*)

4.4.3 Filtr s aktivním uhlím

Filtr slouží k zachycování velkého množství chlorovaných uhlovodíků, které jsou obsaženy v studniční vodě. Je opatřen automatickým ovládacím ventilem, který má funkci pravidelného proplachování filtrační náplně.

Nádoba filtru je vytvořena ze skelného laminátu. Materiál zaručuje spolehlivost, nepropustnost a zabraňuje korozi. Náplň filtru tvoří dvě vrstvy písku o zrnitosti 2 - 3 mm a 0,3 - 0,5 mm a vrstva aktivního uhlí.

Výměna náplně aktivního uhlí se průměrně provádí 1x ročně.

Nejdůležitějšími parametry jsou náplň filtru o zrnitosti 2 – 3 mm písku na 50l, aktivní uhlí F 100 na 500 l, pracovní tlak maximálně 0,6 MPa, pracovní průtok maximálně 7m³/h. (Nováková, 2017)

4.4.4 Směšovací zařízení

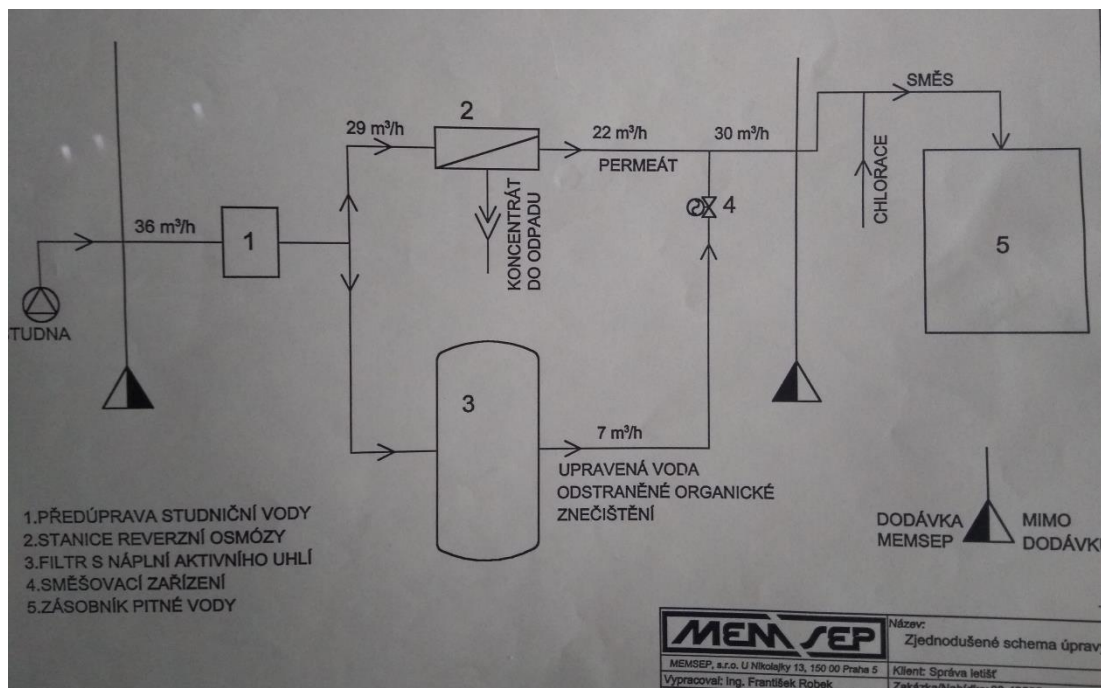
Jeho úkolem je zajistit správné mísení permeátu z RO s vodou vystupující z technologie filtru s aktivním uhlím. Proud upravené surové vody, který se reguluje dle vodivosti směsi, se promíchává s permeátem. Vodivost se zadává tak, aby výsledná směs odpovídala požadavkům pitné vody výsledné směsi.

V případě odchýlení hodnoty vodivosti se hlásí jako porucha, složení vyprodukované pitné vody je pod neustálou kontrolou. Dále se měří pH směsi. Obě hodnoty se neustále předávají do sítě řídicího systému letiště. Voda se zabezpečuje chlorací a probíhá na výstupu z vodárny Jih.

4.4.5 Zásobník pitné vody

Využívají se 2 vodárenské vodojemy o objemech 560 a 650 m³. Vodojemy jsou uzavřeny v betonových zásobnících. Před úpravnou jsou z přívodního potrubí pravidelně odebírány vzorky k rozboru v akreditovaných laboratořích. Provozovatel vodárenského systému požaduje, aby výsledná směs vodovodní vody a upravené studniční vody pro areál LP splňovala předepsané legislativní požadavky.

obr. č. 2 Blokové schéma úpravy vody



Zdroj: (Mempsep s.r.o., 2001)

4.5 Vliv pitné vody na zdraví

Pokud se v pitné vodě nachází celkově málo minerálních látek anebo naopak celkově mnoho minerálních látek a voda je konzumována pravidelně a dlouhodobě, tak představuje pro člověka určité zdravotní riziko. Samozřejmě, že pitná voda o určitém složení a obsahu některých složek bude mít na fyzickou kondici prospěšný a ochranný účinek.

Celkový obsah minerálních látek se pohybuje v rozmezí 150-400 mg/l. Voda s obsahem minerálních látek nižších než je 100 mg/l napomáhá ztrátám některých podstatných složek z organismu a může vést až k chorobám spojeným s nedostatkem vápníku a hořčíku. Voda s obsahem minerálních látek vyšších než 1000 mg/l může být rizikem pro vznik kloubních poruch, močových a ledvinových kamenů, kamenů žlučníku a slinných žláz a vysokému krevnímu tlaku. Vápník a hořčík především pozitivně přispívají k lidskému zdraví.

Vápník a hořčík jsou nejdůležitější součástí tvrdosti vody, čili čím je jejich obsah vyšší, tím je voda tvrdší. Určitý obsah vápníku snižuje riziko úmrtnosti na srdečně-cévní choroby. Tvrdá voda je ochranným faktorem, ale naopak voda měkká představuje vysoké riziko kardiovaskulárních nemocí. Nízký obsah vápníku ve vodě způsobuje neurologické poruchy ve stáří, hypertenze a zlomenin kostí u dětí. Nízký obsah hořčíku v pitné vodě znamená riziko v těhotenství, poruch motorických nervů a hypertenze. (Kožíšek & kol. 2006)

tab. č. 2 Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele vody

Ukazatel	Hlavní zdroje znečištění	Význam ukazatele	Zdravotní riziko
Hořčík	Přirozenou součástí vod, obsah se někdy mírně zvyšuje při stabilizaci vody pomocí dolomitu.	Určitá minimální koncentrace ve vodě je žádoucí kvůli prevenci úmrtnosti na srdečně-cévní onemocnění.	Nad 100 mg/l může mít společně se sírany projímavý účinek.
Vápník	Přirozená součást vod, obsah se někdy zvyšuje při stabilizaci vody pomocí vápenného mléka nebo vápenatých sloučenin.	Určitá minimální koncentrace ve vodě je žádoucí kvůli prevenci některých nemocí a snížení korozivního účinku vody.	Ve vyšších koncentracích může ovlivnit chuť vody a tvorbu vodního kamene.

Zdroj: (Kožíšek & kol. 2006)

5 Výsledky

5.1 Vybrané parametry vstupních hodnot u surové vody

tab. č. 3 ukazatele vstupních hodnot podzemní vody

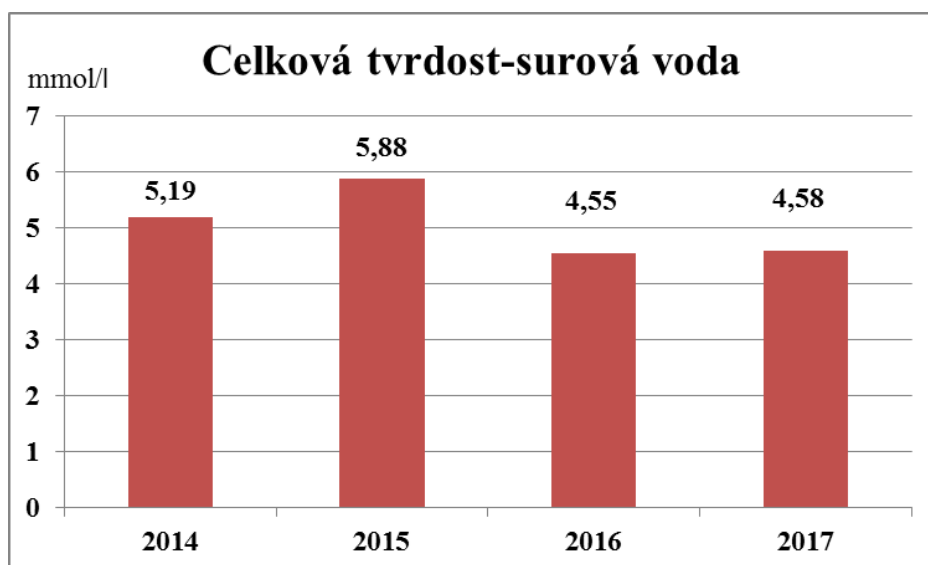
Ukazatel	limit dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.	2014 (3.12.)	2015 (10.11.)	2016 (7.12.)	2017 (19.5.)
pH	6,5-9,5	7,2	7,12	7,01	7,02
CHSK	3,0 mg/l	<0,5	<0,5	0,65	<0,5
Ca	30 mg/l	164	181	140	137
Mg	10 mg/l	26,7	32,9	25,7	28,2
celková tvrdost	2-3,5 mmol/l	5,19	5,88	4,55	4,58
dusičnany	50 mg/l	39	48,1	46,9	42,1
dusitany	0,50 mg/l	<0,005	<0,02	<0,02	<0,1
amonné ionty	0,50 mg/l	<0,05	0,06	<0,05	0,06
chloridy	100 mg/l	10,9	16,9	13,9	13,4
vodivost	125 mS/m	92,8	92,6	90,5	92,1
Sírany	250 mg/l	77,2	105	75,3	76

Zdroj: (Letiště Praha, 2014)

Požadavky na parametry pitné vody podléhají vyhlášce č. 252/2004 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

V **tab. č. 3** jsem porovnávala hodnoty ukazatelů u podzemní vody ve 4 letém období. Celková tvrdost byla překročena ve všech uvedených letech (zvýrazněno barevně). U hodnot ukazatelů vápníku a hořčíku je stanovena dle vyhlášky minimální hodnota.

graf. č. 1 Celková tvrdost u surové vody v letech 2014 až 2017



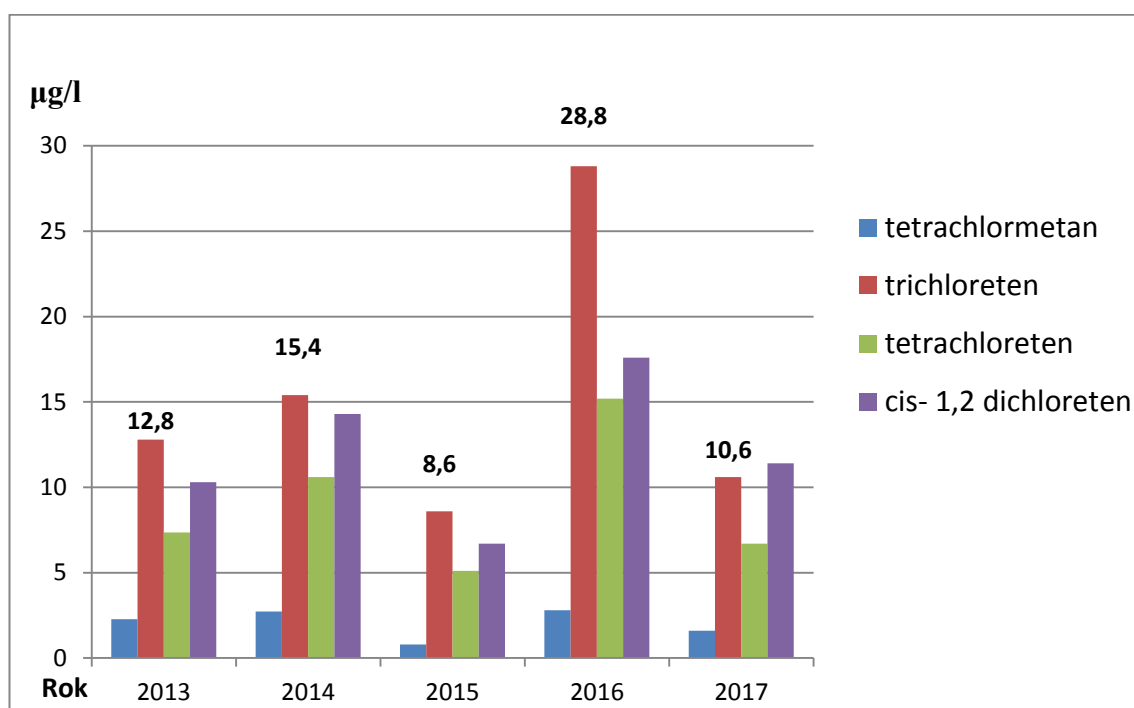
tab. č. 4 hodnoty chlorovaných uhlovodíků v surové vodě

Ukazatel	limit dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. (µg/l)	2013	2014	2015	2016	2017
tetrachlormetan	2	2,28	2,72	0,8	2,8	1,6
trichloreten	10	12,8	15,4	8,6	28,8	10,6
tetrachloreten	10	7,36	10,6	5,1	15,2	6,7
cis- 1,2 dichloreten	50	10,3	14,3	6,7	17,6	11,4

Zdroj: (Letiště Praha, 2014)

V **tab. č. 4** jsou uvedeny naměřené hodnoty chlorovaných uhlovodíků za uvedené roky. Hodnoty nevykazují stabilní vývoj, jelikož podzemní voda je ovlivněna starými ekologickými zátěžemi.

graf č. 2 Hodnoty chlorovaných uhlovodíků v surové vodě



tab. č. 5 Koncentrace znečištění v surové vodě v regionu Bitterfield (Německo)

Ukazatel	koncentrace (mg/l)
cis 1,2 -dichloreten	0,03-0,2
trichloreten	0,05-0,2
chlorbenzen	8,0-50
dichlorbenzen	0,7-1,0
sírany	550-1000
chloridy	100-400

(Herbert & Kovar, 1998)

V **tab. č. 4** jsou uvedeny naměřené hodnoty chlorovaných uhlovodíků za uvedené roky. Hodnoty nevykazují stabilní vývoj, jelikož podzemní voda je silně ovlivněná starými ekologickými zátěžemi. Pro porovnání jsem vybrala region Bitterfield ve východním Německu viz **tab. č. 5**, kde je lokalita ovlivněná průmyslovou produkcí. Podzemní voda je zde silně znečištěna chlorovanými uhlovodíky. Jediným pozoruhodným aspektem jsou vysoké koncentrace síranů a chloridů. Na rozdíl od surové vody na letišti Praha, kde jsou koncentrace chlorovaných uhlovodíků jen lehce zvýšené

5.2 Parametry hodnot u vyrobené vody

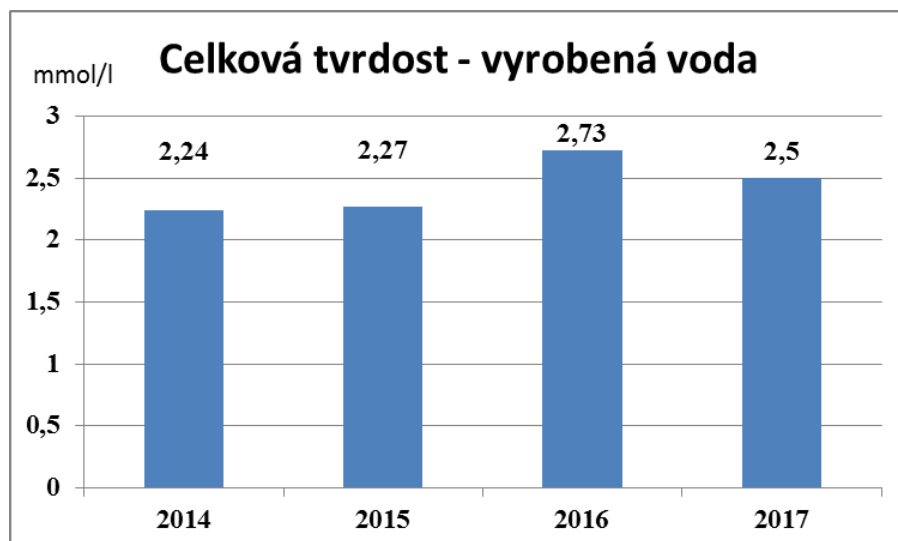
tab. č. 4 Výsledné ukazatele u vyrobené vody

Ukazatel	limit dle vyhlášky č. 252/2014 Sb.	2014 (3.12.)	2015 (2.2.)	2016 (7.12.)	2017 (19.5.)
pH	6,5-9,5	6,97	7,11	6,76	6,78
CHSK	3 mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ca	30 mg/l	70	69,4	78,9	78,2
Mg	10 mg/l	11,9	13,1	18,4	13,4
celková tvrdost	2-3,5 mmol/l	2,24	2,27	2,73	2,5
dusičnany	50 mg/l	18,5	-	24,3	18,9
dusitany	0,05 mg/l	<0,005	-	<0,02	<0,1
amonné ionty	0,5 mg/l	<0,05	-	<0,05	<0,05
chloridy	100/250 mg/l	4,87	-	6,79	6,33
vodivost	125 mS/m	45,2	-	44,8	45
sírany	250 mg/l	31,8	-	35,2	32,9

(Zdroj: Letiště Praha, 2014)

Veškeré hodnoty uvedené v tabulce splňují Vyhlášku č. 252/2014 Sb.

graf č. 3 Celková tvrdost u vyrobené vody v letech 2014 až 2017

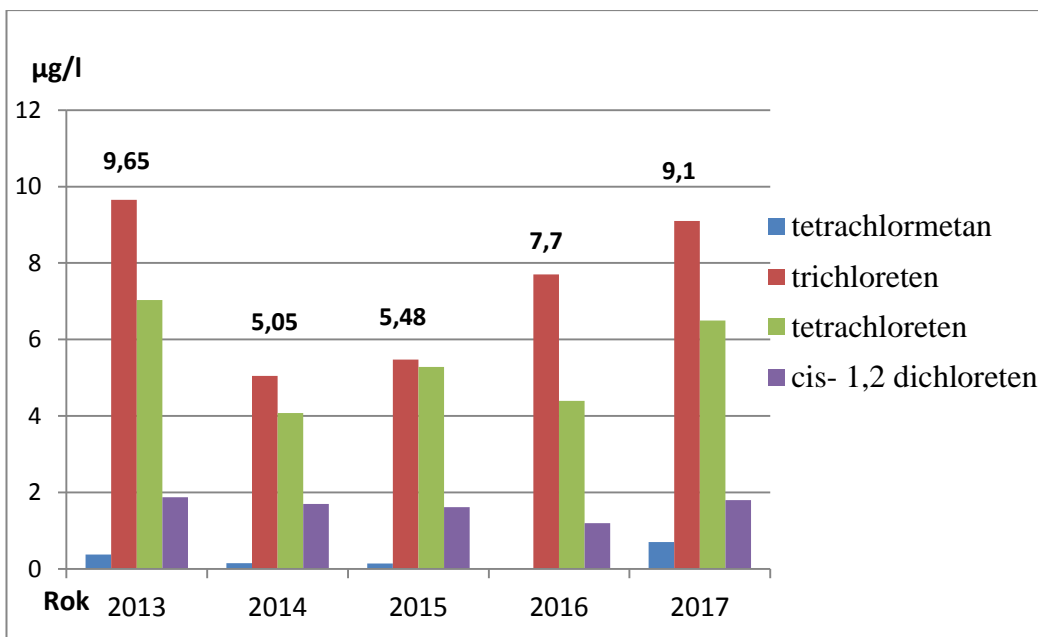


Z grafu vyplívá, že hodnoty celkové tvrdosti vykazují stabilní hodnoty.

tab. č. 6 hodnoty chlorovaných uhlovodíků ve vyrobené vodě (letišťe Praha)

Ukazatel	limit dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. (µg/l)	2013	2014	2015	2016	2017
tetrachlormetan	2	0,38	0,15	0,14	0,5	0,7
trichloreten	10	9,65	5,05	5,48	7,7	9,1
tetrachloreten	10	7,03	4,08	5,28	4,4	6,5
cis- 1,2 dichloreten	50	1,88	1,7	1,62	1,2	1,8

graf č. 4 Hodnoty chlorovaných uhlovodíků ve vyrobené vodě



Chlorované uhlovodíky nejlépe odstraňuje technologie filtrace s aktivním uhlím, reverzní osmóza je nedokáže odstranit.

5.3 Parametry hodnot u permeátu

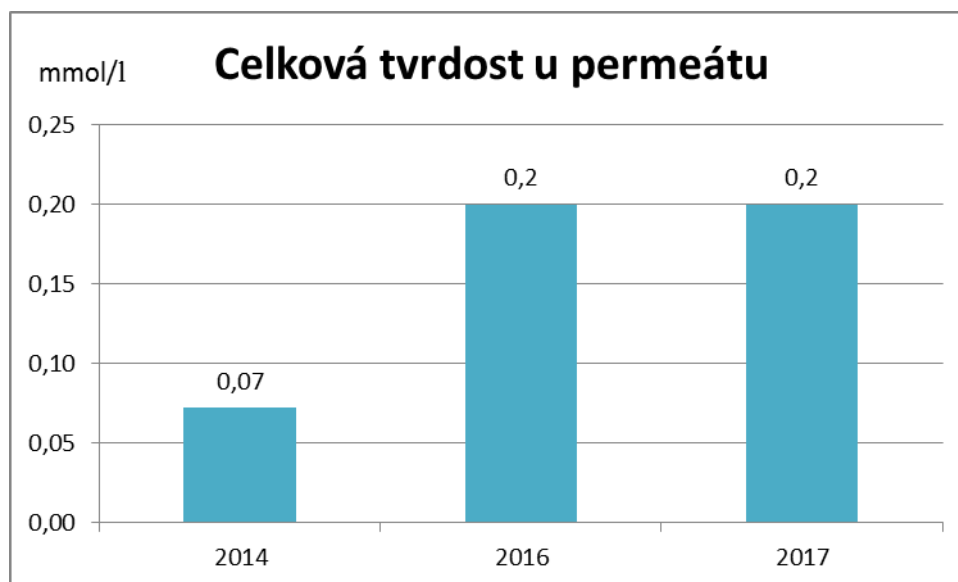
tab. č. 6 Výsledné ukazatele u permeátu

Ukazatel	limit dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.	2014 (3.12.)	2016 (7.12.)	2017 (19.5)
pH	6,5-9,5	5,31	5,58	5,6
CHSK	3,0 mg/l	<0,5	<0,5	<0,5
Ca	30 mg/l	2,38	6,07	5,01
Mg	10 mg/l	0,311	<3	<3
celková tvrdost	2-3,5 mmol/l	0,0721	0,2	0,2

Zdroj: (Letiště Praha, 2014)

Hodnoty uvedené v tab. č. 5 jasně dokazují, že permeát nesplňuje parametry pitné vody a proto je nutné jej směšovat s předčištěnou vodou z výstupu z filtru s aktivním uhlím (směšovací zařízení jako součást stanice RO). Hodnoty ukazatelů jsou překročeny ve všech letech. CHSK jako jediná splňuje limit z vyhlášky.

graf č. 5 Celková tvrdost u permeátu v roce 2014, 2016 a 2017



Hodnoty celkové tvrdosti v grafu č. 3 jsou velice nízké, jedná se o velmi měkkou vodu.

5.4 Parametry hodnot u filtru s aktivním uhlím

tab. č. 7 Výsledné ukazatele u filtru s aktivním uhlím

Ukazatel	limit dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.	2014 (3.12.)	2016 (7.12.)	2017 (19.5)
pH	6,5-9,5	7,22	7,09	7,07
CHSK	3,0 mg/l	<0,5	<0,5	<0,5
Ca	30 mg/l	161	163	163
Mg	10 mg/l	27,3	32,5	33,4
celková tvrdost	2-3,5 mmol/l	5,13	5,4	5,45

Zdroj: (Letiště Praha, 2014)

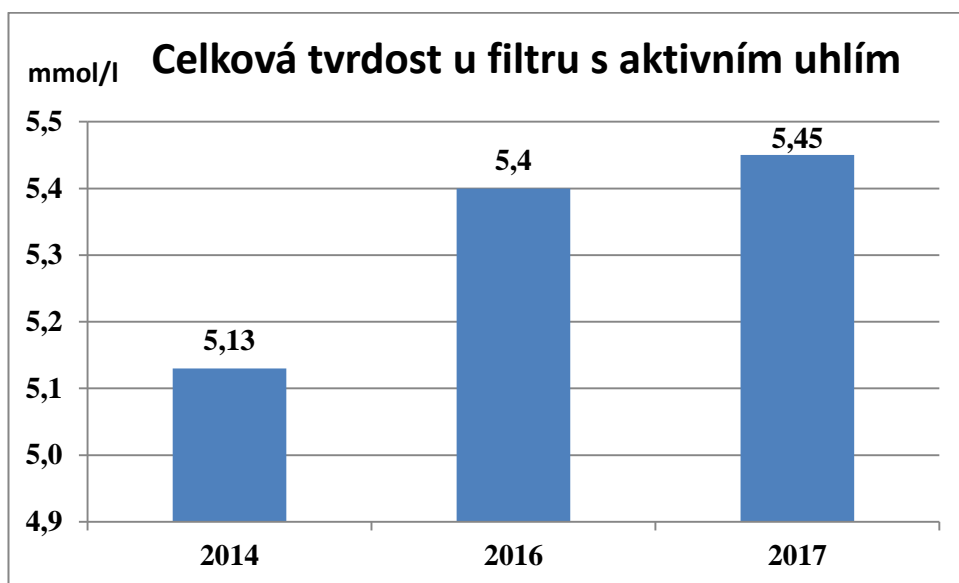
(Barevně zvýrazněné hodnoty jsou hodnotami, které nesplňují vyhlášku č. 252/2004 Sb.)

Hodnoty pH se pohybují v daném limitu stanoveném vyhláškou č. 252/2004 Sb. a nevykazují výkyvy hodnot. U vápníku a hořčíku platí jako minimální hodnota 30 mg/l a 10 mg/l. Pro všechny vody platí, že tam kde je to možné, tak by se mělo usilovat o dosažení doporučené hodnoty. Pro vápník je doporučená hodnota stanovena na 40-80mg/l a u hořčíku 20-30 mg/l. Celková tvrdost výrazně přesahuje limit z vyhlášky.

Jakost pitné vody je dosažena tím, že dojde ke smíšení toho proudu předčištěné vody s permeátem.

Filtr s aktivním uhlím odstraňuje specifické látky například chloroform, bromoform, tetrachlormetan, trichloreten a tetrachloreten. Zachovává tvrdost vody a slouží k zachycování látek na povrchu náplně aktivního uhlí.

graf č. 6 Celková tvrdost u filtru s aktivním uhlím v roce 2014, 2016 a 2017



6 Diskuze

Letiště Praha využívá podzemní vodu z vlastních zdrojů k výrobě pitné vody. Zbylé množství vody musí nakupovat od provozovatele Pražských vodovodů a kanalizací. Výhoda vlastní výroby je především v nezávislosti na externích dodávkách. Je důležité zamyslet se nad tím, jestli by nebylo výhodnější nakupovat méně vody od dodavatele pitné vody společnosti Pražské vodovody a kanalizace a vyrábět si pitnou vodu ve vlastní režii. Kdyby ano, tak by letiště muselo vynaložit finanční investici do úpravní vody a do zdrojů surové vody. Bylo by nutné vyhodnotit návratnost této investice. Není však jednoznačné, zda by se letišti Praha vyplatilo vyrábět větší množství pitné vody z vlastních zdrojů. Technologie reverzní osmózy demineralizuje vodu, tedy snižuje nejen obsah vápníku a hořčíku, ale i dalších solí. Oproti tomu filtrace s aktivním uhlím odstraňuje specifické organické látky, ale neovlivňuje tvrdost vody. Směs těchto dvou proudů má následně optimální složení pro použití vody jako vody pitné. Respektive splňuje níže uvedenou podmínku z vyhlášky: U surových nebo pitných vod, u kterých je při úpravě uměle snižován obsah vápníku nebo hořčíku, nesmí být po úpravě obsah hořčíku nižší než 10 mg/l a obsah vápníku nižší než 30 mg/l.

Podzemní voda v regionu Bitterfield je silně ovlivněna průmyslem, proto se také v surové vodě nachází vysoké koncentrace chlorovaných uhlovodíků. Jediným pozoruhodným aspektem jsou vysoké koncentrace síranů a chloridů. Na rozdíl od surové vody na letišti Praha jsou koncentrace chlorovaných uhlovodíků jen lehce zvýšené. Pro odstraňování chlorovaných uhlovodíků jsou nejvhodnější membránové technologie, které pomalu vnikají do průmyslových odvětví. Filtr s aktivním uhlím se využívá právě při požadavku na odstranění chlorovaných uhlovodíků a dalších organických látek jako jsou například pesticidy.

Je důležité zmínit také nejnovější technologie úpravy vod, které budou hrát velkou roli pro budoucí výzkum. Nanočástice železa, dokáží redukovat chlorované uhlovodíky. Nicméně komplikací při použití nanočástic k dekontaminacím může být jejich tendence ke shlukování. Při tvorbě shluků dochází k nárůstu velikosti částic až do mikro nebo i větších rozměrů. Tím se snižuje povrch částic, jejich reaktivita a mobilita v horninovém prostředí. Rozsáhlé studie se věnují problematice shlukování různých typů nanočástic (např. Au, Ag, oxidů železa) a jejímu řešení. Vhodným

stabilizátorem pro nZVI a železné potahované nanočástice je např. škrob nebo sodná sůl karboxymethylcelulosity.

7 Závěr

Zásadním řešeným problémem současné doby je světový nedostatek pitné vody. Nedostatek pitné vody je problém zejména rozvojových zemí, kde je potřeba zajistit efektivní a ekonomicky výhodnou technologii pro zajištění úpravy vody. Zejména v oblasti rozvojových zemí jsou ve vodě přítomny patogenní organismy, které je těžké odstranit. Současné technologie dezinfekce vody jsou poměrně nákladné, pokud jde o kapitál, provozní náklady a údržbu objektů. Globální hrozba nedostatku pitné vody a touha po dosažení ekologicky šetrnějších technologiích, dokazuje perspektivní využití nanotechnologií i v oblasti čištění i úpravy vody.

Podzemní vody jsou v České republice nejvíce ohrožovány a je důležité, aby se kladl důraz na ochranu a šetrnému zacházení s nimi. Někteří lidé si ani neuvědomují, co mohou způsobit, když vypouštějí škodlivé látky do vod, které mohou mít až katastrofální následky. Jakmile dojde k znečištění podzemní vody, tak její sanace bývá často zdlouhavá, nákladná a někdy dokonce i neproveditelná.

Kdybychom měli srovnávat dostupné technologie, tak u změkčování by nám vyšla sice investičně nejlevnější, ale technologicky nevhodná a provozně nejnákladnější úprava vody. Dekarbonizace je investičně nejnákladnější technologií, není vhodná pro jakost surové vody, příznivě vychází pouze provozní náklady. Reverzní osmóza má nejnižší náklady na pořízení než ostatní uvažované technologie. Její výhodou je, že je šetrná k životnímu prostředí.

Výhoda vlastní výroby je především v nezávislosti na externích dodávkách. Vždy je nezbytné hledat nejvhodnější způsob úpravy vody s ohledem na jakost a množství čerpané vody. V případě úprav je vždy nutné vyhodnotit návratnost této investice.

Zařízení reverzní osmózy je nejvýhodnější z dosud dostupně známých technologií z hlediska posouzení investičních a provozních nákladů řešení pro letiště Praha s ohledem na jakost surové vody. Nicméně nejnovější technologie úpravy jako jsou nanočástice železa se jeví jako slibnou metodou pro odstraňování chlorovaných uhlovodíků z vod.

Všechny činnosti na letišti Praha/Ruzyně směřují k maximálnímu snížení nebezpečí úniku znečišťujících látek (zejména ropných látek) do půdy a následně do podzemních vod.

Seznam obrázků a tabulek

obr. č. 1 Zákres aktuálních pitných zdrojů v areálu LP

obr. č. 2 Blokované schéma úpravy vody

obr. č. 3 Úprava vody na Letišti Praha

tab. č. 1 Druhy tvrdosti pitné vody

tab. č. 2 Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele vody

tab. č. 3 Ukazatele vstupních hodnot podzemní vody

tab. č. 4 Výsledné ukazatele u vyrobené vody

tab. č. 5 Koncentrace znečištění v surové vodě v regionu Bitterfield (Německo)

tab. č. 6 Výsledné ukazatele u permeátu

tab. č. 7 Výsledné ukazatele u filtru s aktivním uhlím

graf č. 1 Celková tvrdost u surové vody v letech 2014 až 2017

graf č. 2 Hodnoty chlorovaných uhlovodíků v surové vodě

graf č. 3 Celková tvrdost u vyrobené vody v letech 2014 až 2017

graf č. 4 Hodnoty chlorovaných uhlovodíků ve vyrobené vodě

graf č. 5 Celková tvrdost u permeátu v roce 2014, 2016 a 2017

graf č. 6 Celková tvrdost u filtru s aktivním uhlím v roce 2014, 2016 a 2017

8 Přehled literatury a použitých zdrojů

- 1) LETIŠTĚ PRAHA, 2017: *Vodárenský systém letiště Praha*. Nováková Irena, 59 s., „nepublikováno“. Dep. Intranet Letiště Praha
- 2) Kovář L., Čípera J., 2008: *Tajemství vody*, H&H Vyšehradská, s.r.o., Praha, 189 s.
- 3) Pytl V., Broncová D., 2012: *Podzemní vody České republiky*, Milpo media, Praha, 175 s.
- 4) Zelinka Z., Formánek Z., 2005: *Úpravny vody*, ERA group, Brno, 66 s.
- 5) Mikulášek P., a kol. 2013: *Tlakové membránové procesy*, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 254 s.
- 6) Strnadová N., Janda V., 1999: *Technologie vody I. 2.*, přepracované vyd., Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 226 s.
- 7) Pitter P., 2009: *Hydrochemie. 4.*, aktualizované vydání, Vydavatelství VŠCHT Praha, 579 s.
- 8) Kožíšek F., Kos J., Pumann P., 2006: *Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství: Učební pomůcka pro získání znalostí nutných k ochraně veřejného zdraví z hlediska prevence nemocí způsobených vodou*, Sovak vydavatelství, 75 s.
- 9) Adámková P., Říhová J., Ambrožová J., Škopová V., 2013: *Perspektiva a využití nanočástic stříbra v technologiích úpravy a čištění vod*. In: Růžičková I., Fuka T., Wanner J.: 10. bienální konference voda: Sborník přednášek a posterových sdělení. Tribun EU, Brno. S. 155-162.
- 10) Barloková D., Ján Ilavský J., 2014: *Využitie filtrality pre odstraňovanie železa a mangánu z vody*, Sborník konference pitná voda 2014. České Budějovice. S. 139-144
- 11) Drbohlav J., Vožeh A., Lanč R., 2014: *Úpravna vody Želivka - příprava modernizace a doplnění technologie úpravy vody*, Sborník konference pitná voda 2014. České Budějovice: W&ET Team, S. 305-310
- 12) Herbert M., Kovar K., 1998: *Groundwater Quality: Remediation and Protection*. Germany: IAHS Publ. No 250, S. 595
- 13) Newsome L., Morris K., Cleary A., Masters-Waage N. K., Boothman Ch., Joshi N., Atherton N., Lloyed J. R., 2019: *The impact of iron nanoparticles on technetium-contaminated groundwater and sediment microbial communities*. Journal of Hazardous Materials 364, S. 134-142.

- 14) Tyagi S., Rawtani D., Khatri N., Tharmavaram M., 2018: Journal of Water Process Engineering. Strategies for Nitrate removal from aqueous environment using Nanotechnology. S. 84-95
- 15) Mdlovu V. N., Lin K-S., Chung-Yu CH., Mavuso F. A., Kunene S. CH., Espinoza M. J. C., 2019: In-situ reductive degradation of chlorinated DNAPLs in contaminated groundwater using polyethyleneimine-modified zero-valent iron nanoparticles. Chemosphere 224, S. 816-826
- 16) Karn B., Kuiken T., Otto M., 2009: Nanotechnology and in Situ Remediation: A Review of the benefits and Potencial Risks. Environ Health Perspect. S. 1813-1831
- 17) Vandas S. J., Winter C. T., Battaglin, 2002: Water and the Environment. American Geological Institute. 64 s.
- 18) Orr K., Rouge B., ©2019: How to keep U.S, Groundwater Safe and Abundant. About half of the nations drinking water comes from groundwater sources (online) [cit.28. 03. 2019] dostupné z: <https://www.scientificamerican.com/article/keeping-groundwater-safe-and-abundant/>
- 19) Deto Brno, spol. s r.o., ©2019: Úprava vody, změkčovače vody (online) [cit. 30. 03 .2018] dostupné z: <http://deto.cz/produkty/zarizeni-na-upravu-vody-zmekcovace-blokove-upravny/dekarbonizace-vody>
- 20) Pure System s.r.o., ©2019: Nanofiltrace (online) [cit. 9. 04. 2019] dostupné z: <http://www.puresystem.cz/technologie-upravy-vody/fyzikalni/nanofiltrace/>
- 21) G-servis, s.r.o., ©2019: Ultrafiltrace při úpravě vody (online) [cit. 9. 04. 2019] dostupné z: <https://www.voda.tzb-info.cz/13403-ultrafiltrace-pri-uprave-vody>
- 22) Letiště Václava Havla Praha, ©2019: Monitoring vlivu provozu (online) [cit. 12. 04. 2019] dostupné z: <https://www.prg.aero/monitoring-vlivu-provozu>
- 23) IVAR CS, s.r.o., ©2019: Změkčování vody (online) [cit. 12. 04. 2019] dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-voda-kanalizace/2705-zmekcovani-vody>
- 24) Reverzní osmóza, filtrace vody, úprava vody, © 2018: [cit. 13. 04. 2018]. dostupné z: <http://www.reverzni-osmozy.cz/co-je-to-reverzni-osmoza-a25>
- 25) Pure System s.r.o., ©2018: Mikrofiltrace (online) [cit. 13. 04. 2018] dostupné z: <http://www.puresystem.cz/technologie-upravy-vody/fyzikalni/mikrofiltrace/>
- 26) Mapy.cz., ©2018 (online) [cit. 13. 04. 2018] dostupné z: <https://en.mapy.cz/zakladni?x=14.2621233&y=50.1084365&z=17&base=photo&source=base&id=1703769&q=leti%C5%A1t%C4%9B%20praha>

- 27) PVK, a.s., ©2018: Cena vodného a stočného (online) [cit. 13. 04. 2018].
dostupné z: <http://www.pvk.cz/vse-o-vode/cena-vodneho-a-stocneho/>
- 28) PVK, a.s., ©2018: Úpravny vody (online) [cit. 13. 04. 2018] dostupné z:
<http://www.pvk.cz/o-spolecnosti/technicka-a-vyrobni-data/zakladni-informace/upravny-vody/>
- 29) Státní ústav radiační ochrany, v.v.i., ©2018: Radioaktivita vody a možná opatření (online) [cit. 13. 04. 2018] dostupné z:
<https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/radioaktivita-vody-a-mozna-opatreni>

Zákony

- 30) Vyhláška č. 252/2004 Sb., která byla novelizována vyhláškou č. 83/2014 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody
- 31) Zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů
- 32) Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů
- 33) Vyhláška č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
- 34) Zákon atomový zákon č. 263/2016 Sb.

9 Přílohy



Příloha č. 1 technologie reverzní osmózy



Příloha č. 2 dávkovací zařízení a zásobník antiscalantu



Příloha č. 3 dávkovací zařízení a zásobní kyseliny chlorovodíkové



Příloha č. 4 filtr s náplní aktivního uhlí



Příloha č. 5 dávkování chlornanu sodného pro hygienické zabezpečení pitné vody



Příloha č. 6 dvojice rukávových filtrů



Příloha č. 7 čerpadla sloužící k distribuci pitné vody spotřebitelům LP