

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Bakalářská práce

Možnosti získávání pitné vody

David Svoboda

© 2019 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

David Svoboda

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Možnosti získávání pitné vody

Název anglicky

Options obtaining drinking water

Cíle práce

Z dostupné literatury popsat principy možností získávání pitné vody, charakterizovat je a vzájemně je porovnat z hlediska nákladů a přínosů.

Metodika

Na základě studia dostupných materiálů vypracovat bakalářskou práci dle předložené osnovy. Předpokládá se rešeršní práce bez vlastních experimentů.

Doporučený rozsah práce

25 – 30 stran

Klíčová slova

Pitná voda, mořská voda, odsolování, reverzní osmóza, destilace.

Doporučené zdroje informací

HALLIDAY, D. – RESNICK, R. – WALKER, J. – VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, – OBDRŽÁLEK, J. *Fyzika : vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: Vutium, 2000. ISBN 80-214-1869-9.

MECHLOVÁ, E. – KOŠTÁL, K. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. Praha: Prometheus, 1999. ISBN 80-7196-151-5.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra fyziky

Elektronicky schváleno dne 21. 12. 2016

prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Možnosti získávání pitné vody" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. 3. 2019

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu RNDr. Janu Sedláčkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a cenné rady, které mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

Možnosti získávání pitné vody

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je charakterizování a vzájemné porovnání možností získávání pitné vody. Kapitola „Voda“ shrnuje poznatky o vodě z různých hledisek. Popisuje vodu jako sloučeninu dle chemických a fyzikálních vlastností. Dále definuje pojmy související s vodou, které se v práci vyskytují. V kapitole „Technologické možnosti odsolování“ jsou popsány počátky odsolování v lidské historii. Jednotlivé odsolovací metody jsou členěny dle základních principů fungování. Jednotlivé způsoby jsou charakterizovány a je vysvětlen jejich princip. V kapitole „Odsolování v praxi - Izrael“ je popsáno, jak Izrael začínal s odsolováním, proč s odsolováním začal a jaká je dnešní situace země s vodou. V kapitole „Porovnání odsolovacích metod“ jsou metody mezi sebou porovnány z hlediska přínosů a nákladů. U každé metody jsou vybrány její hlavní výhody a nevýhody. Metody jsou mezi sebou porovnány z ekonomického i technologického hlediska. V závěru práce je vybrána reverzní osmóza jako nejvýznamnější odsolovací způsob současnosti a pravděpodobně i blízké budoucnosti.

Klíčová slova: pitná voda, mořská voda, odsolování, destilace, reverzní osmóza

Options obtaining drinking water

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to characterize and compare the possibilities of obtaining drinking water. The chapter "Water" summarizes knowledge about water from various perspectives. It describes water as a chemical compound. Furthermore, it defines the terms related to water, which are further used in the thesis. In the chapter "Technological possibilities of desalination", the beginnings of desalination in human history are described. Individual desalination methods are structured according to the basic principles of the methods – thermal and membrane principle. Desalination methods are characterized and their principle is explained. The chapter "Desalination in Practice - Israel" describes the way how Israel began desalination, why desalination began and what the country's current water situation is. In the chapter "Comparison of Desalination Methods", the methods are compared with each other in terms of benefits and costs. For each method, its main advantages and disadvantages are selected. The methods are compared to each other from both economical and technological point of view. In the conclusion, the reverse osmosis is selected as the most significant desalination method of the present and probably also of near future.

Keywords: fresh water, salt water, desalination, distillation, reverse osmosis

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce	3
3 Metodika	3
4 Voda.....	4
4.1 Voda jako molekula	4
4.2 Pitná voda.....	5
4.2.1 Získávání pitné vody z podzemních a povrchových vod.....	6
4.2.2 Získávání pitné vody z dešťové vody	6
4.2.3 Získávání pitné vody z vody odsolené.....	6
4.2.4 Zdravotní rizika pití demineralizované vody.....	7
4.2.5 Zdravotní rizika pití vody s vysokým obsahem rozpuštěných látek.....	7
4.3 Voda ve světě	8
4.4 Voda v ČR.....	9
5 Technologické možnosti odsolování	10
5.1 Historie odsolování	11
5.2 Tepelné metody.....	11
5.2.1 Několikastupňové odpařování - MEE.....	11
5.2.2 Několikastupňová mžiková destilace - MSF	12
5.2.3 Komprese páry	13
5.2.4 Solární destilace	14
5.3 Membránové metody	15
5.3.1 Elektrodialýza	16
5.3.2 Reverzní osmóza.....	18
5.4 Ostatní metody	19
5.4.1 Vymrazování.....	19
6 Odsolování v praxi – Izrael	19
7 Porovnání odsolovacích metod	21
7.1 Technologické porovnání.....	21
7.2 Ekonomické porovnání	23
8 Závěr.....	25
9 Seznam použitých zdrojů	27

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Globální růst spotřeby vody a populace od roku 1900 [29]	2
Obrázek 2 - Anomálie vody [30]	4
Obrázek 3 - Poměr složení rozpuštěných látek v mořské vodě [31]	5
Obrázek 4 - Rozložení zásob vody na Zemi [32]	8
Obrázek 5 - Oběh vody [24, 33]	9
Obrázek 6 - Princip desalinačních zařízení [21]	10
Obrázek 7 - Poměr využívání jednotlivých způsobů odsolování [34]	10
Obrázek 8 - Několikastupňové odpařování [19]	12
Obrázek 9 - Několikastupňová mžiková destilace [21]	13
Obrázek 10 - Komprese páry [19]	14
Obrázek 11 - Solární destilace [21]	15
Obrázek 12 - Srovnání velikostí filtrovaných částic a možností odsolovacích metod [25]	16
Obrázek 13 - Základní princip membránových metod [19]	16
Obrázek 14 - Schéma elektrodialyzéru [19]	17
Obrázek 15 - Princip reverzní osmózy [19]	18
Obrázek 16 - Odsolovací závody v Izraeli [27]	20
Obrázek 17 - Přehled investičních nákladů a nákladů na kubický metr vody [36]	24

Seznam použitých zkratk

MSF – Multi-stage flash distillation - Několikastupňová mžiková destilace
MEE – Multiple-effect evaporation - Několikastupňové odpařování
MVC – Mechanical vapour compression - Mechanická komprese páry
TVC – Thermal vapour compression - Tepelná komprese páry
RO – Reverse osmosis - Reverzní osmóza
ED – Electrodialysis - Elektrodialýza

1 Úvod

Voda je jednou za základních podmínek vzniku a udržení života na planetě Zemi. Člověk je z 50 - 72 % tvořen z vody a denně k životu potřebuje 2 - 3 litry denně. Na světě žije přes 7 miliard lidí, z toho až 1,8 miliardy trpí nedostatečným přístupem k vodě. [1, 3]

Voda je fyziologickou podmínkou života, ale její dostupnost ovlivňuje mnoho dalších oblastí života, např.: zdraví, získání a zajištění potravy či volnočasové aktivity. Voda a její dostupnost je také mimořádně důležitým geopolitickým aspektem a je jedním z bodů politických jednání. Voda je zásadní pro zemědělství i průmysl. Zemědělství je vázáno na dostatek vody z důvodu zavlažování a téměř každý průmyslový produkt vyžaduje určitým způsobem vodu. Až 70 % světových zdrojů vody je použito při produkci jídla a v rozvojových zemích se použije na zavlažování v zemědělství až 90 % vody. Z těchto důvodů je voda nezbytná z hlediska státu jak pro zdraví populace, tak pro hospodářský růst. Nedostatek vody způsobuje bídu, hlad a v konečném důsledku války. Mnoho vojenských konfliktů ve světě bylo způsobeno právě nedostatkem vody. [1, 5]

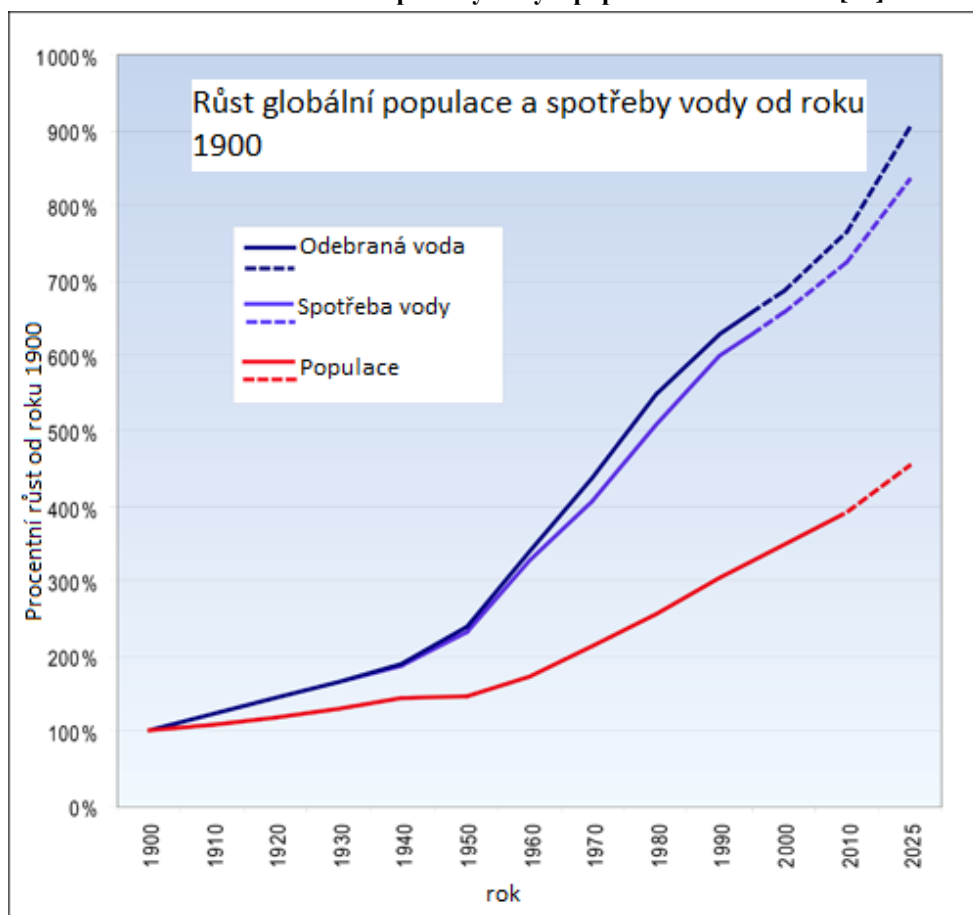
Poptávka po vodě se neustále zvyšuje – v důsledku pokroku a rostoucí populace. Poptávka po vodě roste dokonce rychleji než populace – od roku 1940 do roku 2006 se počet obyvatel na planetě zdvojnásobil, zatímco poptávka po vodě vzrostla čtyřnásobně. Špatné hospodaření s vodou a obrovská sucha jsou další faktory, které nedostatek vody způsobují. Spotřeba vody na osobu se ve světě velmi liší. V USA spotřebují průměrně 300 l denně, v České republice 120. V rozvojových zemích mají lidé k dispozici často pouhých 10 l vody na den. [1, 2, 4]

Mezi suchem nejvíce postižené oblasti patří Blízký východ, Afrika, Austrálie či západ USA. Zdroje podzemní a srážkové vody jsou v suchých oblastech často nedostatečné. [1]

Zásoby vody na planetě zemi jsou obrovské: 97,2 % vody ve světě je slaná a 2,7 % je sladká voda. Z toho pouze 0,5 % světových zásob vody je využitelných pro zajištění vody, kterou potřebuje ekosystém a lidská populace. Z tohoto důvodu roste snaha o získání pitné vody z vody slané. [5]

Odsolování neboli desalinace je proces, při kterém se ze slané vody odstraňují rozpuštěné soli. Tento proces je s nejvyšší pravděpodobností budoucnost řešení nedostatku pitné vody ve světě. Izrael je dnes průkopníkem v odsolování. Ze země, která ještě před několika lety řešila dramatický nedostatek vody, je dnes země, která přebytečnou vodu vyváží. [6]

Obrázek 1 – Globální růst spotřeby vody a populace od roku 1900 [29]



2 Cíl práce

Cílem práce je z dostupné literatury popsat principy možností získávání pitné vody. Charakterizovat tyto principy a vzájemně je porovnat mezi sebou z hlediska nákladů a přínosů.

3 Metodika

Práce je vypracována na základě studia dostupných materiálů dle předložené osnovy. Jedná se o rešeršní práci bez vlastních experimentů.

4 Voda

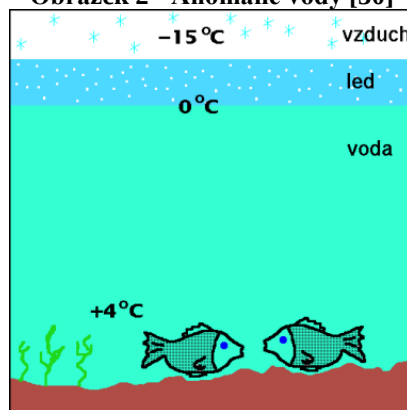
4.1 Voda jako molekula

Voda (H_2O) je nejrozšířenější a nejvýznamnější sloučenina vodíku. Může se vyskytovat ve třech skupenstvích. V kapalném – kapalná voda, v plynném – vodní pára a v pevném – led. Teploty varu a tání vody jsou základními body Celsiovy stupnice ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Voda má v pevném skupenství menší hustotu než v kapalném skupenství, jelikož objem vody při přechodu z kapalného do pevného skupenství vzrůstá až o 10 %. Voda je za běžné teploty bezbarvá kapalina bez chuti a zápachu. V silné vrstvě má namodralou barvu. [3]

Molekula vody má lomený tvar. Mezi kyslíkem a vodíkem je silně polární kovalentní vazba. Izolované molekuly vody jsou ve vodní páře. V kapalně vodě se mezi sebou molekuly sdružují vodíkovými vazbami. V ledu se molekula vody váže s dalšími čtyřmi molekulami. Tímto se vytváří objemné struktury se zvlněnými kruhy s prázdnými dutinami. Z tohoto důvodu má led větší objem a menší hustotu než kapalná voda. Vodíkové vazby ve vodě jsou příčinou dobré tepelné vodivosti. [3]

Při ochlazování horké vody se až do $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ zmenšuje objem, a tudíž se zvyšuje hustota. V případě, že v chlazení pokračujeme i pod $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, se voda opět začne roztahovat – zvyšuje se objem a zmenšuje hustota. Z toho vyplývá, že voda má nejvyšší hustotu při $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z tohoto důvodu zamrzají rybníky, moře a jezera odshora. Voda při postupném ochlazování klesá ke dnu. Jakmile však její teplota klesne pod $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, zůstává u povrchu a voda se přestane promíchávat. Voda tedy od povrchu zamrzává a u dna zůstává teplota $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. [15]

Obrázek 2 - Anomálie vody [30]



Voda je chemicky velmi stálá sloučenina. Na výchozí prvky se rozkládá až za velmi vysokých teplot. Voda je použitelná například jako rozpouštědlo či reakční prostředí. [3]

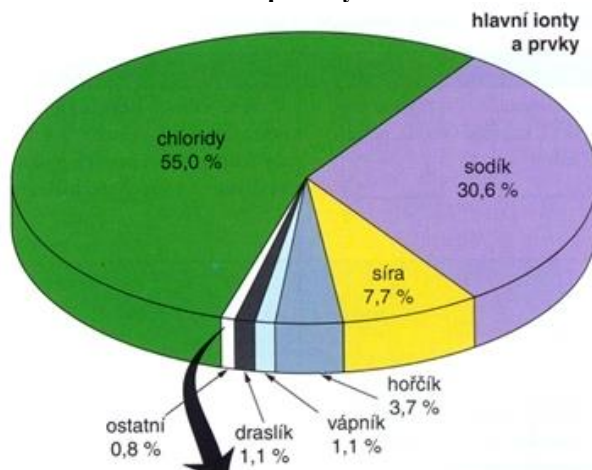
4.2 Pitná voda

Na pitnou vodu jsou kladeny velmi vysoké nároky ze zdravotních důvodů. Definice pitné vody je zakotvena v zákoně 258/2000 Sb.:

“ Pitnou vodou je zdravotně nezávadná voda, která ani při trvalém požívání nevyvolá onemocnění nebo poruchy zdraví přítomností mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým či pozdním působením zdraví fyzických osob a jejich potomstva, jejíž smyslově postižitelné vlastnosti a jakost nebrání jejímu požívání a užívání pro hygienické potřeby fyzických osob. Zdravotní nezávadnost se stanoví hygienickými limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních a chemických ukazatelů, které jsou upraveny prováděcím právním předpisem“. [8, 9]

Velmi důležitým faktorem pitné vody je množství rozpuštěných látek. V jednom litru pitné vody by jich mělo být optimálně 200 - 500 mg. Jako nejnížší mez je stanovena hranice 150 mg.l⁻¹ a maximální 1 000 mg.l⁻¹. Obsah rozpuštěných látek ve slané vodě se pohybuje okolo 35 000 mg.l⁻¹. Z tohoto důvodu při získávání pitné vody ze slané vody je potřeba rozpuštěné soli odstranit. Voda, která se získá odsolováním, se nazývá demineralizovaná. To znamená, že obsah v ní rozpuštěných látek je menší než 1 mg.l⁻¹. Demineralizovaná voda není ze zdravotních důvodů považovaná za vhodnou k pití. [8, 9, 11, 12]

Obrázek 3 - Poměr složení rozpuštěných látek v mořské vodě [31]



4.2.1 Získávání pitné vody z podzemních a povrchových vod

V České republice jsou prameny a studánky, kde lze čerpat vodu, která splňuje požadavky na pitnou vodu. K roku 1989 bylo na území České republiky evidováno přes 750 000 domovních studní a 20 000 veřejných studní. Odhaduje se, že voda ve více než 75 % z nich nesplňuje požadavky na pitnou vodu. Nejčastější závadou bývá mikrobiální kontaminace či nadlimitní obsah dusičnanů. [38, 39]

Podzemní a povrchová voda, která požadavky na pitnou vodu nesplňuje, musí projít mechanickým a chemickým čištěním, aby se dala považovat za vodu pitnou.

Postup přípravy pitné vody:

- **Mechanická předúprava** – Voda se filtruje nejprve přes mříž, která zachycuje nečistoty větší než 1 mm. Následuje jemné síto, které zachycuje jemnější částice.
- **Vločkování a odkalování** – Přidání koagulátoru do vody, který usnadňuje srážení vloček odpadu (prach, zbytky zeminy atd.). Vzniklé vločky se usazují na dně nádrže a přes 90 % je jich takto odstraněno.
- **Filtrace jemným pískem** – možná je také filtrace na bázi aktivního uhlí.
- **Ozonizace** – úprava vody ozonizací spočívá ve smíchání vody s ozonem, který reaguje na látky s organickým původem, a rozbíjí je na menší částice. Ozon má antibakteriální a antivirové účinky.
- **Chlorování** – při výstupu z úpravny vody se přidává chlor, který má zabránit následné kontaminaci vody. [10, 3, 7]

4.2.2 Získávání pitné vody z dešťové vody

Získání pitné vody z vody dešťové je možné, ale tento způsob není masivně využíván. Úprava dešťové vody spočívá ve filtraci a následné desinfekci pomocí UV záření. Jelikož spotřeba pitné vody v domácnosti činí pouze 4 % z celkové spotřeby vody, efektivnější je upravovat dešťovou vodu pouze na užitkovou. Tato úprava má menší nároky na čištění a je méně finančně náročná. [23]

4.2.3 Získávání pitné vody z vody odsolené

Odsolená voda musí projít dalšími úpravami: úprava minerálního složení, stabilizace a desinfekce.

Úpravu minerálního složení vody lze provést jedním ze tří dostupných způsobů:

- Smíchání vody demineralizované s vodou dosud neupravenou nebo s vodou z jiného zdroje v takovém poměru, aby výsledný produkt odpovídal požadavkům minimálního obsahu rozpuštěných látek
- Přidání směsi minerálů, které se ve vodě rozpustí – použití u menších objemů vody
- Filtrace přes materiál, který vodu obohatí o vybranou látku – nejčastěji uhličitán vápenatý (filtrace vody předem obohacené oxidem uhličitým přes mramor, dolomit nebo korál).

Je třeba poznamenat, že žádný z těchto tří uvedených způsobů nelze považovat za ideální. Ani jedna z těchto variant neobohatí vodu o všechny potřebné látky (např.: draslík, křemík). Avšak zmírňují negativní účinky demineralizované vody. [11,7]

4.2.4 Zdravotní rizika pití demineralizované vody

Pití demineralizované vody přináší mnohá akutní i chronická zdravotní rizika. Pití demineralizované vody způsobuje osmotické změny v krevní plazmě. Tyto změny způsobují redistribuci vody v organismu a vedou ke zvýšení objemu mimobuněčné tekutiny. Demineralizovaná voda má také sníženou schopnost zahánět žízeň. Akutní riziko může nastat v případě, kdy při velké fyzické námaze vypije jedinec několik litrů vody o nízké mineralizaci. V takovém případě může nastat záchvat, který má formu hyponatremického šoku až deliria. Tento stav je doprovázen otokem mozku, křečemi a metabolickou acidózou. [11]

U obyvatel, kteří dlouhodobě konzumují vodu se sníženým obsahem solí je zvýšené riziko vzniku hypertenze, ischemické srdeční choroby, vředové choroby žaludku a dvanáctníku, chronického zánětu žaludeční sliznice a různých novorozeneckých a kojeneckých komplikací. [11]

4.2.5 Zdravotní rizika pití vody s vysokým obsahem rozpuštěných látek

Příliš vysoká celková mineralizace vody může při dlouhodobé konzumaci vést ke zvýšené pravděpodobnosti vzniku určitých fyziologických poruch či chorob. Jedná se například o hypertenzi, zhoršení ženských reprodukčních funkcí, choroby močového systému, poruchy vývoje dětí, onemocnění trávicího traktu, zvýšená tvorba močových, žlučových

a dalších kamenů. Dále bylo pozorováno urychlení procesů stárnutí u experimentálních zvířat. Voda se zvýšenou mineralizací má nižší schopnost odvádět močí z těla odpadní metabolické produkty. Určit přesnou hranici, kdy se obsah minerálních látek ve vodě stává rizikovým, je velmi obtížné. Hranice chuťové únosnosti se pohybuje okolo 1 000 mg.l⁻¹ vody. [12]

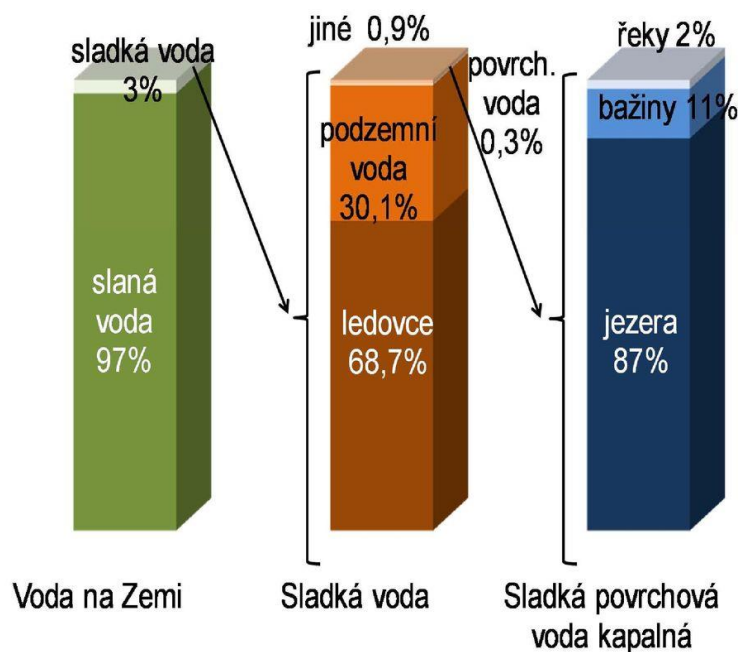
4.3 Voda ve světě

Povrch oceánů a moří zabírá 70,8 % povrchu Země. Voda je na planetě Zemi nerovnoměrně rozložena. Na severní polokouli je poměr povrchu oceánu vůči povrchu pevniny 61:39, na jižní polokouli je poměr 81:19. Objem veškeré vody na planetě Zemi je přibližně 1,4.10⁹ km³. To odpovídá celkové hmotnosti 1,4.10¹⁸ tun. To zahrnuje veškerou vodu v oceánech, atmosféře, v zemi či na zemi. Světový oceán má objem, který odpovídá 0,1 % objemu Země. [5, 14]

Zásoby pitné vody na Zemi jsou ve srovnání se zásobami slané vody mizivé. Přesné rozdělení světových zásob vody můžeme vidět na obrázku č. 4.

Obrázek 4 - Rozložení zásob vody na Zemi [32]

Rozložení zásob vody na Zemi



Voda se na planetě Zemi pohybuje a mění skupenství. Koloběh vody je poháněn sluneční a gravitační energií. Cyklus vody na Zemi je založen na čtyřech principech: srážky, odtok, výpar a vsak. Celý koloběh vody můžeme vidět na obrázku. [14]

Obrázek 5 - Oběh vody [24, 33]



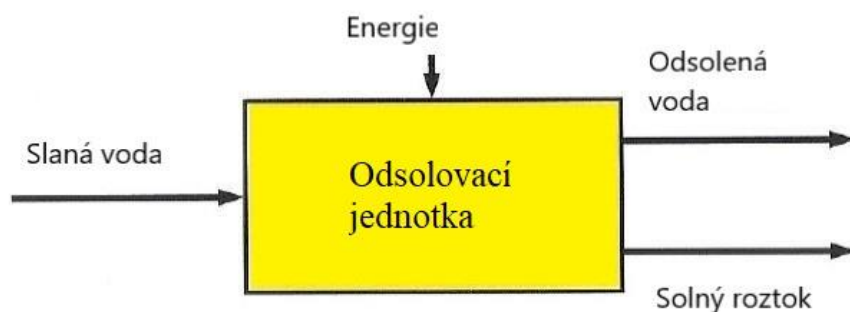
4.4 Voda v ČR

Průměrné srážky v České republice činí za rok 693 mm/m². Česká republika se nachází na rozvodnici tří moří – Severního, Baltského a Černého. Naprostá většina významných toků odvádí vodu z České republiky do sousedních zemí. Z tohoto důvodu vodní zdroje v České republice zcela závisí na atmosférických srážkách. Délka vodních toků v ČR je 108 000 km. V České republice je 165 významných vodních nádrží, 24 000 rybníků. Máme celkem 2 557 čistíren odpadních vod. V České republice od roku 1990 až do současnosti klesá odběr povrchových vod. V současné době je 43,8 % úrovně v roce 1990. Odběr podzemních vod také výrazně klesl, ale již dále neklesá od roku 2005. Spotřeba vody v České republice klesla od roku 1989 do roku 2011 téměř na polovinu, což může být způsobeno velikým vzestupem ceny za m³. [17, 18]

5 Technologické možnosti odsolování

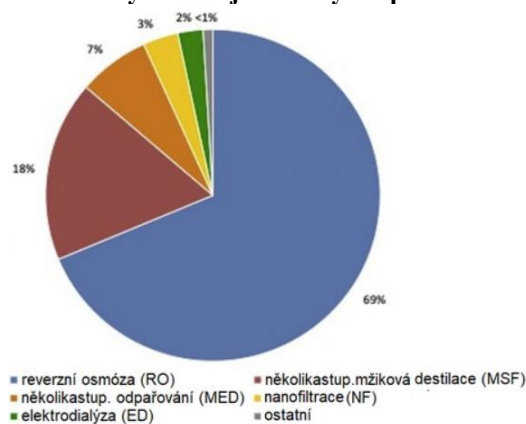
Odsolování je proces, při kterém jsou téměř veškeré rozpuštěné látky odstraněny z vody. V praxi je odsolování dnes velmi vyžívaným způsobem získávání pitné vody a pro suché přímořské oblasti je často jedinou možností, jak pitnou vodu získat. Odsolování využívá převážně dva různé typy procesů – tepelné a membránové. Avšak základní princip zůstává podobný – viz obrázek. Proud slané vody je veden do odsolovacího zařízení, kde je za působení energie ve formě tepla, vodního tlaku či elektřiny separován na proud čisté odsolené vody a proud solného roztoku neboli solanky. [21, 22]

Obrázek 6 - Princip desalinačních zařízení [21]



Na obrázku č. 7 můžeme vidět porovnání počtu odsolovacích zařízení na světě dle odsolovací metody. Reverzní osmózu momentálně využívá 69 % všech odsolovacích zařízení na světě. Několikastupňová mžiková destilace zajímá druhé místo s 18 %.

Obrázek 7 - Poměr využívání jednotlivých způsobů odsolování [34]



5.1 Historie odsolování

První praktické použití odsolování sahá až do 2. století, kdy námořníci využívali destilaci při plavbách. Na počátku 20. století vznikala první odsolovací zařízení na Arabském poloostrově či na ostrově Curaçao. Na rozvoj odsolovacích technik začal být kladen důraz v polovině dvacátého století a posledních 30 let zažíváme exponenciální růst staveb odsolovacích zařízení. Za posledních 50 let vývoje se odsolování stalo výrazně efektivnější a nákladově únosnější. V roce 1952 bylo po celém světě 225 odsolovacích zařízení o celkové odsolovací kapacitě 100 000 m³ denně. V roce 2014 to bylo již 15 000 odsolovacích zařízení po celém světě o celkové kapacitě 65 milionů m³ denně. Dnes existuje mnoho způsobů, jak získat odsolenou vodu, ale historie odsolování je založena na tepelných způsobech – destilaci. Membránové procesy, jako je reverzní osmóza, rozvíjejí odsolování posledních 30 let. [19, 20]

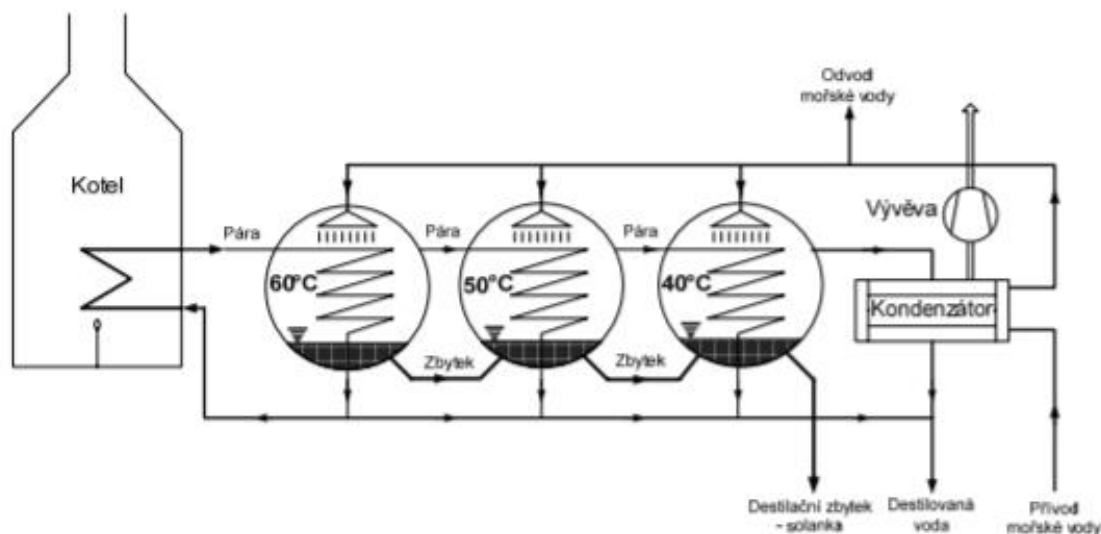
5.2 Tepelné metody

Destilace je proces, při kterém se směs látek dělí na základě rozdílných bodů varu. Destilace je známa lidstvu mnoho let. Již Aristoteles (384-322 př. n. l.) využil destilaci k získání čisté vody z vody mořské. Kolem roku 200 n. l. začali námořníci využívat jednoduché destilační přístroje k získávání pitné vody. Při odsolování vody je nutné zpracovávat obrovské objemy vody. Proto je ekonomika celého procesu velmi důležitá. Dnes se používají vícestupňové destilace – např.: několikastupňová mžiková destilace (multi-stage flash – MSF destillation) či několikastupňové odpařování (multiple-effect evaporation – MEE). [19]

5.2.1 Několikastupňové odpařování - MEE

Několikastupňové odpařování (multiple-effect evaporation – MEE) bylo poprvé uvedeno do provozu v roce 1845. Zařízení mělo sloužit v cukrovarnickém průmyslu – pro koncentraci cukrové šťávy a odstranění vody. Postupně se proces začal využívat i pro získání vody. [19]

Obrázek 8 - Několikastupňové odpařování [19]



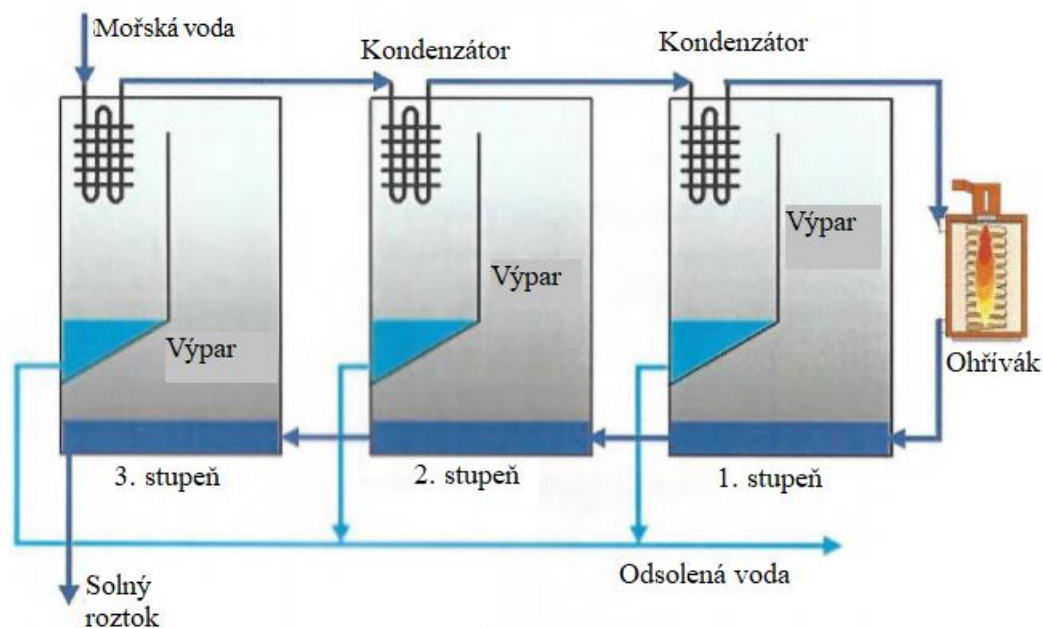
Mořská voda je předehřívána při průchodu kondenzátorem, kde funguje jako chladicí kapalina. Část vody se nastříkuje do jednotlivých stupňů. V jednotlivých stupních voda dopadá na trubky, v nichž prochází pára a odpařuje se. Pára vzniklá v prvním stupni, který je zahříván kotlem, je vedena do dalšího stupně, kde je nižší teplota a tlak. Zbytky po odpařování, které se shromažďují na dně, postupně prochází všemi stupni a v posledním stupni jsou vedeny pryč. Kondenzátor se nachází za posledním stupněm. Kromě již zmíněného předehřátí mořské vody slouží k ochlazení páry. Na kondenzátor je připojena vývěva, která slouží k udržování sníženého tlaku v zařízení. [19, 20, 21]

Základní problém této metody spočívá v tvorbě nánosů na trubkách. Nánosy je třeba odstraňovat chemickým a mechanickým čištěním. Z tohoto důvodu došlo k přechodu k technologii MSF. [19]

5.2.2 Několikastupňová mžiková destilace - MSF

Několikastupňová mžiková destilace (multi-stage flash – MSF) byla vyvinuta v roce 1957 a výrazně začala být využívána v šedesátých letech 20. století. MSF metoda je dnes použita pro získání 80 % odsolené vody, která je vyrobena pomocí destilace. Některé velké odsolovací zařízení využívají jako zdroj tepla odpadní teplo z elektráren. [19]

Obrázek 9 - Několikastupňová mžiková destilace [21]



Proces je založen na zahřátí mořské vody a jejím vypaření. Sladká voda je následně díky kondenzaci odebírána. Mořská voda, která vstupuje do zařízení, plní nejprve chladicí funkci. Postupně prochází jednotlivými stupni, až dojde k ohříváku, kde je mořská voda ohřáta na vhodnou teplotu. Z ohříváku je mořská voda vedena do prvního stupně, kde je snížen tlak a voda se začne okamžitě vařit. Část mořské vody se v mžiku přemění na páru, která kondenzuje na povrchu trubek, jimiž prochází chladná mořská voda. Voda, která se neodpaří, prochází postupně všemi stupni a nabývá na salinitě. V každém dalším stupni je nižší tlak než v předchozí. Celé zařízení může být složeno ze 4–40 stupňů. Ke snížení tlaku soužijí parní ejektor. Energetická náročnost činí 23-27 kWh.m⁻³, což je několikanásobně více než u reverzní osmózy. Velikou výhodou u této metody je absence tvorby nánosů na trubkách. [19, 20, 21]

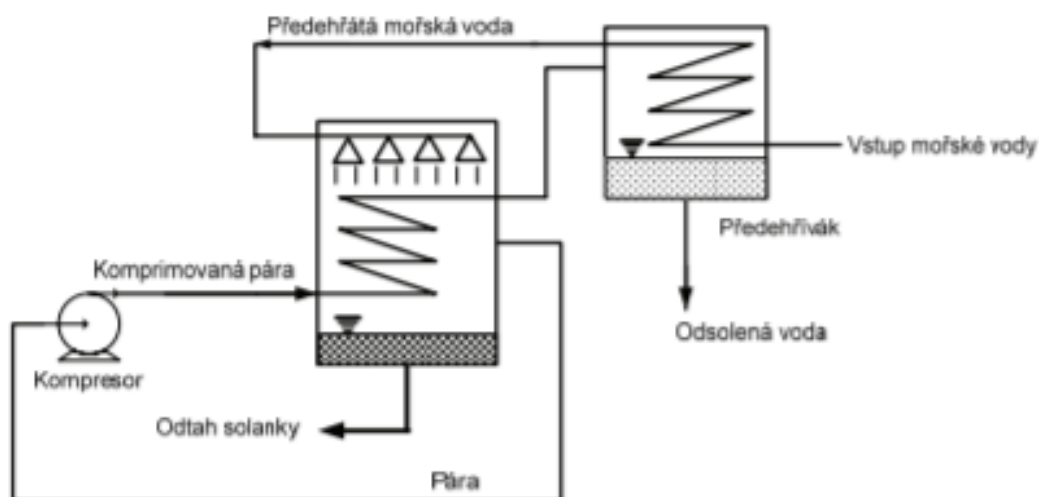
5.2.3 Komprese páry

Pára se vytváří z mořské vody za pomoci zdroje tepla. Dále se teplo dodává pomocí komprese páry. Komprese lze docílit použitím buďto mechanického kompresoru nebo parního ejektoru. Mořská voda se přehřívá při průchodu kondenzátorem a je dále nastříkována do nádoby, kde je snížený tlak. Zde se část vody, díky sníženému tlaku a teplu komprimované páry, odpaří. Snížený tlak se vytváří pomocí kompresoru, který má také funkci vývěvy. Mořská voda je použita k ochlazení páry, která kondenzuje a je odebírána jako destilovaná voda. [19]

Jednotky na kompresi páry můžeme dělit na dvě skupiny:

- **MVC – Mechanical vapour compression – Mechanická komprese páry**
- **TVC – Thermal vapour compression – Tepelná komprese páry**

Obrázek 10 - Komprese páry [19]

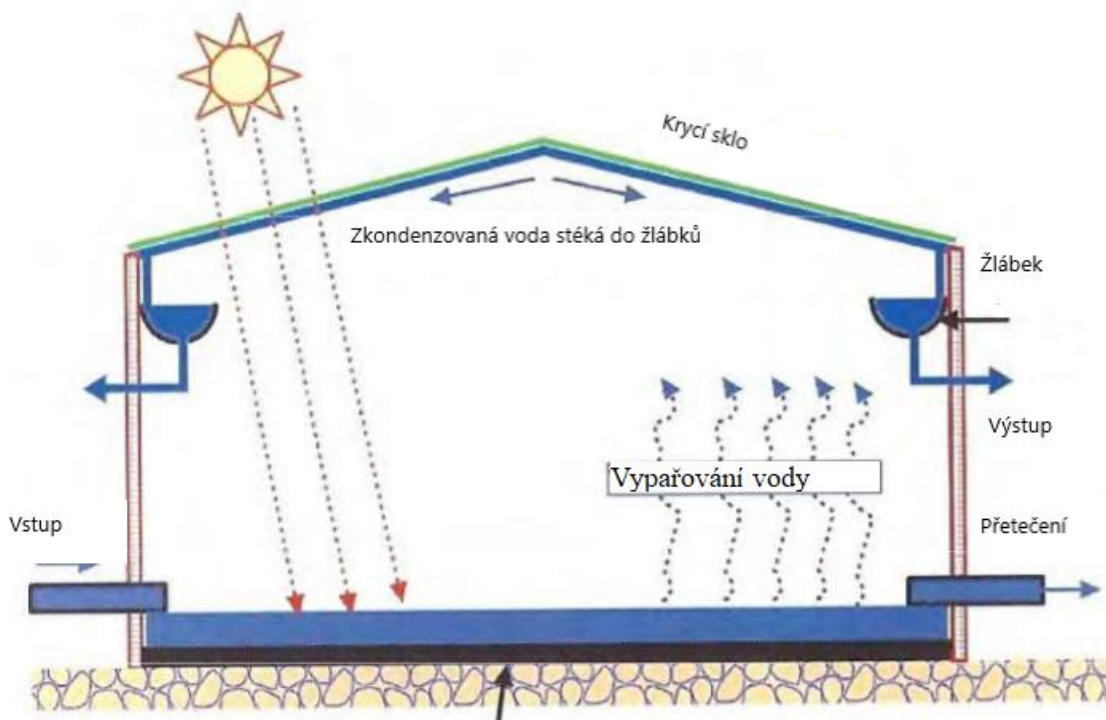


Komprese páry je obvykle používána v případech, kdy jsou požadavky na množství pitné vody poměrně malé. Příkladem mohou být menší komunity, lodě či hotelové resorty. Odsolovací zařízení komprese, které používají mechanický kompresor páry, mají obvykle pouze jeden stupeň a denní výkon přibližně 3 000 m³. Odsolovací zařízení, která používají parní ejektor, bývají složitější a obvykle mají několik stupňů. Denní výkon mohou mít až 20 000 m³. V Austrálii v roce 2002 byla komprese páry za použití parního ejektoru druhým nejpoužívanějším způsobem odsolování po reverzní osmóze s podílem 18 % australské odsolovací kapacity. [19, 21]

5.2.4 Solární destilace

Metoda solárního odsolování je velmi jednoduchá a mnoho let známá. Je vhodná pouze pro malé objemy vody. Princip spočívá v zahřívání mořské vody pomocí sluneční energie. Odpařená voda následně kondenzuje na krycí skleněné vrstvě. Voda následně po skle stéká a je odebírána jako destilovaná voda. Tento způsob je z hlediska nákladů poměrně levný.

Obrázek 11 - Solární destilace [21]



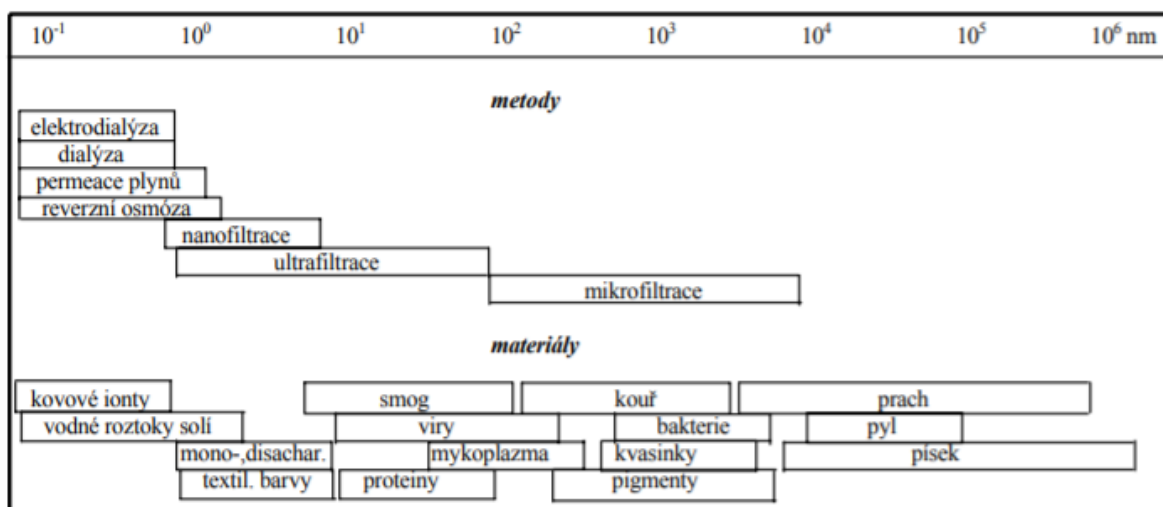
Nejnákladnější je dopravení mořské vody do zařízení a odvod sladké vody. Je třeba zajistit velmi dobré těsnění, aby se zamezilo únikům tepla. Dobře situované solární destilační zařízení je schopné produkovat denně až 8 litrů na m^2 skla. [19, 21]

5.3 Membránové metody

Membránový proces je proces, při kterém probíhá selektivní transport jedné složky směsi skrze membránu díky rozdílným vlastnostem dělených látek. Transport látek je třeba zajistit hnací silou. Hnací sílu může vytvořit rozdíl koncentrací, teploty, tlaku anebo působení elektrického pole. [19]

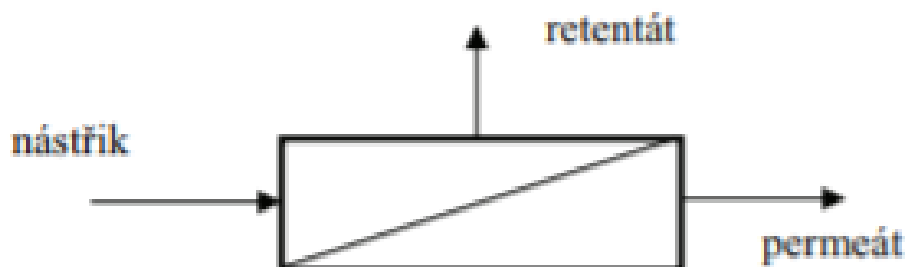
Membránové metody mají mnohé výhody oproti ostatním separačním metodám. Separované látky nejsou vystaveny výrazným změnám teploty či prostředí. Dále jsou oproti jiným separačním metodám méně energeticky náročné. Z těchto důvodů je v současné době vývoji membrán věnována velická pozornost. [19]

Obrázek 12 - Srovnání velikostí filtrovaných částic a možností odsolovacích metod [25]



Základní princip fungování membránových procesů můžeme vidět na obrázku č. 13. Nástrík je vstupující proud – směs látek, kterou potřebujeme rozdělit. Retentát je proud, který neprošel membránou, a permeát je proud, který membránou prošel. V našem případě je tedy retentát solanka – koncentrovaný solný roztok a permeát destilovaná voda. [19, 25]

Obrázek 13 - Základní princip membránových metod [19]

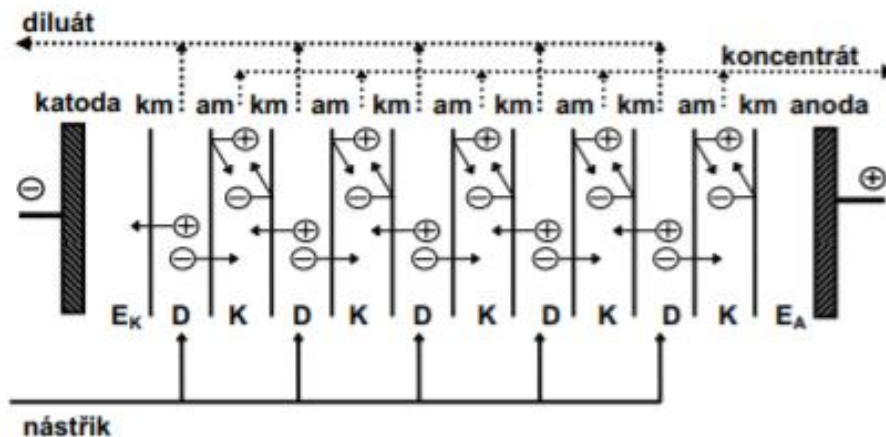


5.3.1 Elektrodialýza

Elektrodialýza je membránový proces, při kterém působením stejnosměrného elektrického proudu dochází k pohybu disociovaných iontů. K separaci dochází díky použití katexových a anexových membrán, které propouštějí pouze ionty s danou polaritou. Katexové membrány propouštějí kladně nabitě ionty a anexové membrány propouštějí záporně nabitě ionty. Zařízení, které k odsolování využívá elektrodialýzu, se nazývá elektrodialyzér. Elektrodialyzér je tvořen řadou komor, které jsou ohraničené katexovou (km) a anexovou (am) membránou. Komory, kde vzniká ochuzený roztok, se nazývají diluátové komory

- (D). Komory, ve kterých vzniká koncentrovaný roztok, se nazývají koncentrátové komory
 (K) Schéma elektrodialyzéru můžeme vidět na obrázku č. 14. [19, 21]

Obrázek 14 - Schéma elektrodialyzéru [19]



V praxi používané odsolovací zařízení využívající elektrodialýzu jsou složena z mnoha set membrán. Elektrodialýza je první membránový typ odsolování, který měl komerční úspěch. Ačkoliv je elektrodialýza stále používaná, upřednostňovaná je dnes metoda reverzní osmóza. [19, 21]

Použití elektrodialýzy má několik nevýhod. Stejně jako u ostatních membránových metod je zde riziko znehodnocení membrán membránovými jedy. U iontově selektivních membrán působí jako jedy vícevalenční ionty, které mají schopnost nevratně obsadit funkční skupiny a deaktivovat část membrány. Slabě ionizované organické látky membránami špatně procházejí a usazují se na povrchu membrán. Tím blokují pohyb ostatních iontů. Povrchově aktivní látky mohou zablokovat povrch membrán, čímž vzrůstá odpor elektrodialyzéru. Dalším rizikem je přílišné odsolení diluátu. Při příliš nízké koncentraci solí klesá elektrická vodivost a tím roste odpor. Průchodem proudu tudíž dochází k zahřívání diluátu a hrozí poškození elektrodialyzéru. Z těchto důvodů se v praxi odsoluje na úroveň stovek maximálně desítek mg na litr. [19, 21]

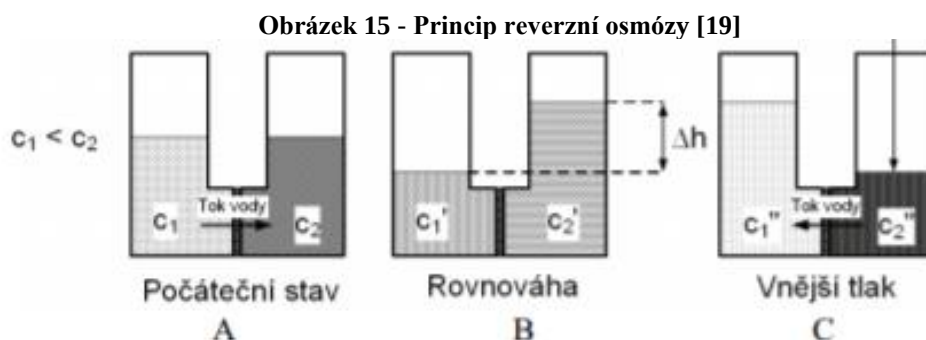
Elektrodialýza je konkurenční proces vůči reverzní osmóze. Výběr metody je třeba posoudit individuálně, ale obecně platí, že elektrodialýza je výhodná pro odsolování vody s koncentrací NaCl do 2 000 mg.l⁻¹. U vyšší koncentrace je výhodnější použití reverzní osmózy. Nákladnost elektrodialýzy stoupá přímo úměrně obsahu rozpuštěných látek. Na odsolení 1 m³ o koncentraci 1000 mg.l⁻¹ je energetická náročnost 0,88 kWh. Při odsolení

stejného množství vody o koncentraci $5\,000\text{ mg.l}^{-1}$ je zapotřebí 3,3 kWh. Dnes jsou vedle malých jednotek, které produkují jednotky m^3 za den, jsou dnes na světě i jednotky produkující až $10\,000\text{ m}^3$ za den. [19, 21]

5.3.2 Reverzní osmóza

Reverzní osmóza je tlakový membránový proces. Jako hnací síla je využíván tlak. Reverzní osmóza se využívá jak pro získání technické odsolené vody, tak i pro výrobu vody pitné. Reverzní osmóza umožňuje transport vody skrze membránu, zatímco rozpuštěné látky membrána zachycuje. [19, 21]

V případě, kdy permeabilní membrána rozděluje roztoky o různé koncentraci solí, bude přirozeně docházet k osmóze, která vyrovná koncentrace na obou stranách. V případě, kdy je vyvíjen na koncentrovanou stranu tlak, bude se tok vody do koncentrovaného roztoku skrze membránu zpomalovat. Pakliže bude vyvíjený tlak srovnatelný s osmotickým tlakem, pohyb vody se zastaví. Pro obrácení toku je třeba, aby vyvíjený tlak byl vyšší než tlak osmotický. V takovém případě voda prochází skrze membránu do méně koncentrovaného roztoku a dochází k reverzní osmóze. Princip reverzní osmózy můžeme vidět na obrázku č. 15. [19, 21]



U reverzní osmózy se používají pro úpravu mořské vody tlaky okolo 5 – 7 MPa. Při odsolování brakické vody o koncentraci 10 g na litr stačí použít tlak okolo 3 – 5 MPa a při použití u povrchové vody dostačují tlaky okolo 1,5 – 1,8 MPa. [19, 21]

První membrány používané u reverzní osmózy byly z acetátu celulózy. Nyní se používají kompozitní materiály, které jsou složeny z několika vrstev. Spodní vrstva je tvořena

mikroporézní membránou z polysulfonu. Ta nese tenkou neporézní vrstvu z aromatického polyamidu. Membrány dále bývají vyztuženy textilií. [19, 21]

Reverzní osmóza je použitelná jak pro domácí a mobilní použití, tak i pro industriální. Největší odsolovací zařízení na světě, využívající metody reverzní osmózy, vzniklo v Soreku v Izraeli. V roce 2015 začalo produkovat maximální denní množství vody – 627 000 m³ za den. [19, 21]

Energetická náročnost reverzní osmózy se pohybuje okolo 4,7 - 5,7 kWh.m⁻³. To je výrazně méně než u tepelných metod.

5.4 Ostatní metody

5.4.1 Vymrazování

Tato metoda je založena na krystalizaci vody. Snížením teploty dochází k vylučování krystalů čisté vody a sůl se koncentruje v nezamrzlém zbytku. Pro získání pitné čisté vody je třeba následně oddělit krystaly vody od nezamrzlého koncentrovaného roztoku soli. Z tohoto důvodu je vymrazování používané velmi zřídka. [26]

6 Odsolování v praxi – Izrael

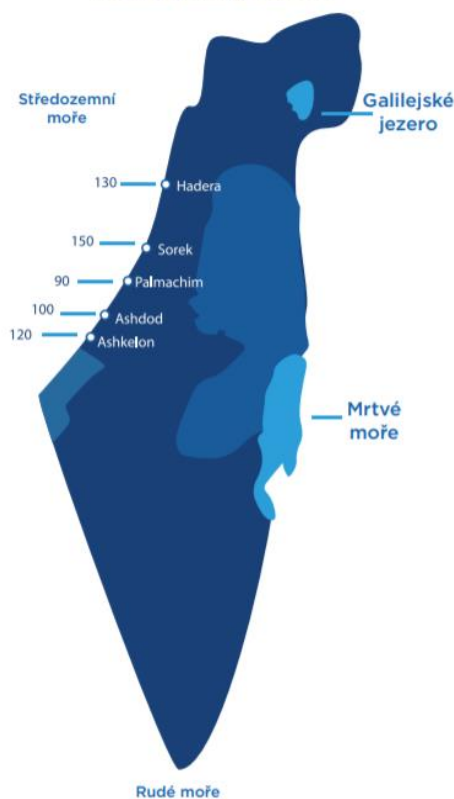
Izrael se nachází v polosuché klimatické zóně a více než 60 % jeho území tvoří poušť. Izraelský národ se s nedostatkem vody potýkal celou svou historií. V roce 2008 se Izrael nacházel na pokraji tragédie, jelikož byl již deset let zasažen suchem. Poptávka po vodě vysoce převyšovala možnosti obnovitelných zdrojů sladké vody. Hlavní zdroj sladké vody je pro Izrael Galilejské jezero. V roce 2008 dosáhla hladina Galilejského jezera hraniční úroveň. Kdyby klesla ještě níže, do Galilejského jezera by se dostala mořská voda a jezero by bylo navždy zničeno. [6, 27]

V roce 2007 Izrael v reakci na vysychání Galilejského jezera nařídil instalaci úsporných splachovadel a sprch do všech domácností a zahájil výstavbu čistících systémů, které byly schopny zrecyklovat až 87 % odpadních vod. Recyklovaná odpadní voda se využívá

k zavlažování. I po aplikaci tohoto opatření chybělo Izraeli 500 milionů m^3 pitné vody ročně. Proto se Izrael rozhodl vydat cestou odsolování za použití reverzní osmózy. [6, 27]

Obrázek 16 - Odsolovací závody v Izraeli [27]

Odsolovací závody v Izraeli a jejich výrobní kapacita, v milionech kubických metrů (MKM) za rok.



V roce 2005 odsolila továrna v Aškelonu 127 milionu m^3 vody. V roce 2009 továrna v Chadeře vyprodukovala 140 milionu m^3 vody. V roce 2016 továrna v Soreku vyprodukovala 150 milionu m^3 vody. Tím se definitivně pokryla izraelská poptávka po vodě, a dnes má země vody nadbytek a vyváží ji. Galilejské jezero díky odsolování zůstává plné a izraelské zemědělství díky dostatku zavlažování prosperuje. [6, 27]

Továrna v Soreku vyprodukuje 1 000 l pitné vody za 0,58 \$. [6, 27]

7 Porovnání odsolovacích metod

7.1 Technologické porovnání

Existuje mnoho metod, jakými lze vodu odsolovat. Výše popsané metody se liší v mnoha faktorech. Porovnání metod mezi sebou není snadné, jelikož výběr vhodné metody velmi závisí na konkrétní aplikaci a použití.

Základní technologické výhody a nevýhody výše popsaných metod [28]

Metoda	Výhody	Nevýhody
Několikastupňové odpařování	• Malé požadavky na předúpravu vody • Vhodné pro komerční užití o vysokých objemech vody	• Tvorba nánosů na trubkách • Riziko koroze • Energeticky náročný proces
Několikastupňová mžiková destilace	• Malé požadavky na předúpravu vody • Vhodné pro komerční užití o vysokých objemech vody	• Vysoká energetická náročnost • Riziko koroze
Komprese páry	• Možnost mobilního užití • Malé požadavky na předúpravu vody	• Omezení pro malé jednotky
Solární odsolování	• Minimální provozní náklady	• Nevhodné pro komerční využití
Reverzní osmóza	• Nízká energetická náročnost • Vhodné pro odsolování mořské vody	• Omezená životnost membrán • Vysoké požadavky na předúpravu vody
Elektrodialýza	• Nízká energetická náročnost. • Vhodné pro odsolování vody s nízkým obsahem rozpuštěných látek	• Vysoké požadavky na předúpravu vody • Nevhodné pro vodu s vysokým obsahem rozpuštěných látek • Zanášení membrán
Vymrazování	• Vymražení vody je méně energeticky náročné než odpaření	• Nutnost separace krystalů vody od solného roztoku

Jednotlivé metody lze mezi sebou porovnat dle mnoha kritérií. Při výběru vhodné odsolovací metody je třeba zvážit kapacitu zařízení, energetickou náročnost, obsah rozpuštěných látek v neodsolené a odsolené vodě, náklady na výrobu jednoho m³ pitné vody či ekologické zatížení. Z těchto důvodů je výběr vhodné metody velmi individuální. [28]

Tepelné metody jsou energeticky výrazně náročnější než membránové metody, ale vyžadují menší předúpravy vody. Oproti tomu membránové metody mají nízkou energetickou náročnost, ale přináší jiná úskalí. Membrány jsou náchylné na zanášení, je třeba je čistit a mají omezenou životnost. Tepelné metody jsou velmi výhodné tam, kde vzniká odpadní teplo – např. u elektrárny. [28, 36]

Vymrazování se k výrobě pitné vody nepoužívá, ačkoliv zmrazení vody je energeticky méně náročné než její vypaření. Je to z důvodu vysoké technologické náročnosti oddělení krystalů čisté vody od koncentrovaného solného roztoku. V porovnání s ostatními metodami je tato metoda neefektivní pro výrobu pitné vody. [26]

Solární odsolování je energeticky nenáročná metoda díky využití sluneční energie. Ačkoliv má tato metoda velmi nízké provozní náklady, není běžně využívána pro získání pitné vody. Je to z důvodu nutnosti velké plochy pro získání vody. Z metru čtverečního lze denně při ideálním postavení zařízení získat 8 l vody. Zařízení pro komerční výrobu pitné vody by tedy muselo mít obrovské rozměry. V porovnání s ostatními metodami není solární destilace schopná poskytovat dostatečné množství vody. [21]

Komprese páry je energeticky náročný proces. Tato metoda produkuje destilovanou vodu. Metoda je ideální pro malé objemy produkované vody. Ideální použití komprese páry je produkce vody na lodích či v malých komunitách, kde poptávané množství vody není veliké. [19]

Elektrodialýza je energeticky poměrně nenáročný proces. Tato metoda se používá v případech, kdy odsolená voda má mít obsah rozpuštěných látek na úrovni stovek až desítek mg.l⁻¹. Proto elektrodialýza není vhodná pro výrobu destilované vody. Oproti reverzní

osmóze je vhodná pro odsolování vody s obsahem NaCl do 2 000 mg.l⁻¹. U vyšších koncentrací je již výhodnější použít reverzní osmózu. [19]

Průmyslově využívané pro velká odsolovací zařízení jsou převážně tyto metody: MEE, MSF a RO. Metody MEE a MSF jsou velmi podobné. Výhoda metody MSF je absence tvorby nánosů na trubkách. Z tohoto důvodu je dnes mezi destilačními metodami upřednostňována právě metoda MSF. Reverzní osmóza je méně energeticky náročná oproti MSF a MEE. Z tohoto důvodu dnes většina vznikajících závodů na výrobu pitné vody využívá právě reverzní osmózu. MSF metoda se zdá být výhodnější k použití pouze tam, kde je možnost využití odpadního tepla – např. u elektráren. Základní nevýhodou RO oproti MSF je již zmíněná omezená životnost membrán a nutnost jejich čištění. S tím souvisí další nevýhoda RO, a to je nutnost výrazné předúpravy vody – z důvodu ochrany membrán a prevence jejich zanášení. [19, 28, 35]

7.2 Ekonomické porovnání

Není jednoznačné, jaká odsolovací metoda je ekonomicky nejvýhodnější. Základním prvkem pro ekonomické zhodnocení je energetická náročnost na výrobu vody.

Tabulka – přehled energetické náročnosti [37]

Metoda	Energetická náročnost (kWh.m ⁻³)
MSF	19,58 – 27,25
MED	14,45 – 21,35
MVC	7 – 12
TVC	16,26
RO	4 – 6

Z tabulky lze jednoznačně vidět, že energetická náročnost všech metod je výrazně vyšší než u RO. Z toho vyplývá, že reverzní osmóza bude nejvýhodnější v naprosté většině případů. Použití metod MSF a MED bude ekonomicky výhodné tam, kde je možnost použití odpadního tepla.

Výběr vhodné metody závisí také na investičních nákladech a následně na nákladech na výrobu m³ vody. Přehled nákladů můžeme vidět na obrázku č. 17. Jednoznačně vyplývá,

že reverzní osmóza má nejnižší jak investiční náklady, tak i náklady na výrobu m³. Ve většině případů bude tedy nejvýhodnější volba reverzní osmóza.

Obrázek 17 - Přehled investičních nákladů a nákladů na kubický metr vody [36]

	MSF	MED	VC	RO
Specifické investiční náklady [\$ / m ³ / den]	1,200 – 1,500	900 – 1,000	950 – 1,000	700 - 900
Celkové náklad na produkt [\$ / m ³]	1.10 – 1.25	0.75 – 0.85	0.87 – 0.95	0.68 – 0.82

Hypotéza:

Kapacita zařízení: 30 000 m³ za den

Úroková sazba: 7 %

Životnost projektu: 20 let

Cena elektrické energie: 0,065 \$ / kWh

S postupem času dokonce investiční a provozní náklady u reverzní osmózy klesají: od roku 1995 do roku 2005 klesly náklady na třetinu. Využití reverzní osmózy se s postupem času stává ekonomicky výhodnější. [36]

Z výše uvedených důvodů se dá očekávat, že preferování reverzní osmózy oproti destilačním technologiím bude pokračovat. Mezi hlavní důvody patří průběžné klesání nákladů u RO, nutnost menších investic a menší energetická náročnost. Využití MSF je oproti RO výhodnější obvykle pouze za použití odpadního tepla.

8 Závěr

Téma mé závěrečné práce jsem si zvolil, jelikož nedostatek vody je zásadní globální problém. V práci jsem popsal možnosti získávání pitné vody a dále jsem detailně charakterizoval hlavní odsolovací metody. Metody jsem mezi sebou porovnal jak z ekonomického, tak technologického hlediska. V celé práci jsem čerpal z širokého spektra odborných zdrojů.

Odsolování je proces, který byl objeven několik set let před naším letopočtem. Zásadní význam mělo pro námořníky, kteří pomocí destilace získávali pitnou vodu na plavbách. Pro širší veřejnost získalo odsolování větší význam v minulém století. Je to z důvodu výrazného růstu populace, a ještě výraznějšího růstu poptávky po vodě. Poněkud opačný směr představuje poptávka po vodě v západních zemích, která v litrech na osobu má již klesající tendenci. Mnoho přímořských sušších oblastí bylo v posledních desetiletích postiženo obrovskými suchy. V jejich důsledku vzniklo několik válečných konfliktů. Dostatečný přístup k vodě omezuje možnost vzniku válečných konfliktů, zajišťuje dostatek závlahy pro zemědělství, a především snižuje počty zemřelých v důsledku nedostatku vody.

Voda může být odsolována několika metodami, ale jen některé jsou vhodné pro velkovýrobu pitné vody. V současné době jsou využívány hlavně tři metody. Dvě jsou tepelné (několikastupňová mžiková destilace, několikastupňové odpařování) a jedna membránová (reverzní osmóza). Reverzní osmóza je metoda, která má výrazně menší energetickou náročnost než metody tepelné. Investice do závodu využívajícího reverzní osmózu je také menší než do metod tepelných. Díky intenzivnímu rozvoji membrán a obecně reverzní osmózy klesly náklady s ní spojené na třetinu. Z toho jednoznačně vyplývá, že v současné době je nejvýhodnější použití reverzní osmózy. Tepelné metody je vhodné použít tam, kde je možnost využití odpadního tepla či tam, kde jsou nízké ceny energie. Za běžných podmínek je reverzní osmóza ekonomicky nejvýhodnější. Lze očekávat, že naprostá většina, v blízké budoucnosti vystavěných závodů na výrobu pitné vody, bude využívat reverzní osmózu. Tepelné metody budou obvykle využívány pouze při užití odpadního tepla.

Dá se očekávat, že rozvoji odsolovacích metod bude dále věnována velká pozornost, jelikož nedostatek vody je závažné a aktuální téma. Odsolená voda se nedá považovat za kvalitní pitnou vodu, ale při vhodné úpravě minerálního složení je poměrně zdravotně nezávadná. Odsolování bude mít s postupem času větší a větší význam. Již teď jsou některé přímořské suché oblasti na odsolování naprosto závislé.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] Fakta o vodě na Zemi. *Vodarenstvi.cz* [online]. 2017 [cit. 2019-03-19].
Dostupné z: <http://www.vodarenstvi.cz/2017/01/20/fakta-o-vode-na-zemi/>
- [2] Nejvíce vody spotřebují v USA, nejvíce zaplatí v Dánsku. *Ovodarenstvi.cz* [online]. 2009 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z:
<http://www.ovodarenstvi.cz/clanky/nejvice-vody-spotrebuji-v-usa-nejvice-zaplati-v-dansku>
- [3] VACÍK, Jiří. *Přehled středoškolské chemie*. SPN - pedagogické nakl., 2010. ISBN 9788004263881.
- [4] BRÁDKOVÁ, Hana. Spotřeba vody v rozvojovém světě jedno naše spláchnutí. *Ct24.ceskatelevize.cz* [online]. 2012 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z:
<https://ct24.ceskatelevize.cz/ekonomika/1183258-spotreba-vody-v-rozvojem-svete-jedno-nase-splachnuti>
- [5] BRÜESCH, Peter. *WATER Its Significance in Science , in Nature and Culture , in World Religions and in the Universe*. Swiss Federal Institute of Technology ETH. 2011. Dostupné také z: <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/152589>
- [6] JACOBSEN, Rowan. Izrael, jedna z nejvyprahlejších zemí světa, má dnes vody nadbytek. *Https://cs.globalvoices.org* [online]. 2016 [cit. 2019-03-23].
Dostupné z: <https://cs.globalvoices.org/2016/11/6235>
- [7] Jakou vodu pít. *Ovodarenstvi.cz* [online]. 2012 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z:
<https://cs.globalvoices.org/2016/11/6235>
- [8] *Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů*. In: . 2000, 258/2000 Sb. Dostupné také z:
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>

- [9] *Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu, a četnost a rozsah kontroly pitné vody*. In: . 2004, ročník 2004, 252/2004 Sb.
Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>
- [10] Výroba pitné vody. *Veolia.cz* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z:
<https://www.veolia.cz/cs/pro-zakazniky/sluzby-pro-zakazniky-spotrebitele/vyroba-pitne-vody>
- [11] KOŽÍŠEK, František. *Zdravotní rizika pití demineralizované vody* [online]. Státní zdravotní ústav, Praha, 2000 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z:
<https://www.vak.cz/soubory/demivod.pdf>
- [12] KOŽÍŠEK, František. *Zdravotní rizika pitné vody s vysokým obsahem rozpuštěných látek* [online]. Státní zdravotní ústav, Praha, 2008 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z:
http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/Kozisek_atestacni_prace_2008.pdf
- [13] KOŽÍŠEK, František. *Zdravotní význam "tvrdosti" pitné vody* [online]. Státní zdravotní ústav, Praha, 2000 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z:
<https://www.vak.cz/soubory/tvrdost.pdf>
- [14] RUDA, Aleš. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele*. *Is.muni.cz* [online]. 2014 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z:
https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/index.html
- [15] KOLAF, Jiří. *Struktura a anomálie vody*. *Vesmír* [online]. 2014 [cit. 2019-03-23]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/on-line-clanky/2014/07/struktura-anomalie-vody.html>
- [16] Podzemní vody. *Geology.cz* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z:
http://www.geology.cz/svet-geologie/ucitele/VV_podzemni_vody_PRACOVNI_LISTY_WEB.pdf

- [17] *Fakta o vodě v České republice* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2013 [cit. 2019-03-23]. ISBN 978-80-7434-048-2.
- [18] *Voda v ČR do kapsy* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2006 [cit. 2019-03-23]. ISBN 80-7084-498-1.
- [19] JELÍNEK, Luděk. *Desalinační a separační metody v úpravě vody* [online]. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008 [cit. 2019-03-23]. ISBN 978-80-7080-705-7.
- [20] KUCERA, Jane. *Desalination Water from Water* [online]. New Jersey: Scrivener Publishing, 2014 [cit. 2019-03-23]. ISBN 978-1-118-20852-6.
- [21] CLAYTON, R. *A Review of Current Knowledge Desalination for Water Supply* [online]. © Foundation for Water Research, 2015 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://www.fwr.org/desal.pdf>
- [22] FORTUNA, Carolyn. Humans Worth Their Salt? The Price Of Desalination = Brine Disposal. *Cleantechnica.com* [online]. 2019 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2019/01/17/humans-worth-their-salt-the-price-of-desalination-brine-disposal>
- [23] Lze udělat z dešťové vody pitnou?. *Eon.cz* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/lze-udelat-z-destove-vody-pitnou>
- [24] Koloběh vody v přírodě. *Zsnovestraseci-enviro.cz* [online]. 2015 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://www.zsnovestraseci-enviro.cz/1-stupen/kolobeh-vody-v-prirode>
- [25] Membránové procesy. *Vscht.cz* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.text.k27.membranove.procesy.pdf> <https://vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.text.k27.membranove.procesy.pdf>

- [26]MURTINGER, Karel. Odsolování vody: Destilace, vymražování, komprese a další. *Nazeleno.cz* [online]. 2010 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/technologie-1/odsolovani-vody-destilace-vymrazovani-komprese-a-dalsi.aspx>
- [27]Izrael: Světová velmoc v hospodaření s vodou a vodohospodářských technologiích. *Embassies.gov.il* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://embassies.gov.il/Praha/NewsAndEvents/Documents/Israel-GlobalLeaderinWaterTech_HR_TB_210x210_cmyk_cz_FINAL_nahled.pdf
- [28]HÁJEK, Zdeněk. *VÝZKUM ZAŘÍZENÍ PRO ÚPRAVU MOŘSKÉ VODY A DALŠÍ APLIKACE* [online]. Brno, 2014 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=81305. Disertace. Vysoké učení technické v brně.
- [29]Global water use and global population per cent growth since 1900. In: *Researchgate.net* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/The-rate-of-growth-in-freshwater-withdrawal-and-consumption-has-been-even-more-rapid-than_fig1_303994372
- [30]KOLAFA, Jiří. Struktura a anomálie vody. *Vesmír* [online]. 2014 [cit. 2019-03-23]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/on-line-clanky/2014/07/struktura-anomalie-vody.html>
- [31]Chemické vlastnosti mořské vody - Salinita. In: *Is.muni.cz* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/12-1-chemicke-vlastnosti.html
- [32]SLAVÍČKOVÁ, Kateřina. *VIZP VODOHOSPODÁŘSKÉ INŽENÝRSTVÍ A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ*. *Docplayer.cz*[online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/2895267-Vizp-vodohospodarske-inzenyrstvi-a-zivotni->

prostredi-prednaska-c-6-zdroje-vody-zasobovani-vodou-a-uprava-vody-pro-ucely-zasobovani-doprava-vody.html

[33] Watercycle. In: *Water.usgs.gov* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

[34] FORTUNA, Carolyn. Cenou za odsolování je přebytek solanky. In: *Voda.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/18661-cenou-za-odsolovani-je-prebytek-solanky>

[35] Seawater desalination technologies. In: *Legco.gov.hk* [online]. 2015 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.legco.gov.hk/research-publications/english/1415fs07-seawater-desalination-technologies-20150930-e.pdf>

[36] BANAT, Fawzi. Economic and technical assessment of desalination technologies. In: *Desline.com* [online]. 2007 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://desline.com/Geneva/Banat.pdf>

[37] COMPARISONS OF TECHNICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE OF THE MAIN DESALINATION PROCESSES WITH AND WITHOUT RENEWABLE ENERGY COUPLING. *Ases.conference-services.net* [online]. National Renewable Energy Laboratory [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://ases.conference-services.net/resources/252/2859/pdf/SOLAR2012_0591_full%20paper.pdf

[38] Jak mít dobrou vodu ze studny? Dělejte rozbor vody a o studnu se starejte. *Ekolist.cz* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/jak-mit-dobrou-vodu-ze-studni-delejte-rozbor-vody-a-o-studnu-se-starejte>

[39] Máte studnu? Nezapomeňte na jaře zkontrolovat kvalitu vody. *Ovodarenstvi.cz* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://www.ovodarenstvi.cz/clanky/mate-studnu-nezapomente-na-jare->

zkontrolovat-kvalitu-

vody?fbclid=IwAR2EkjxJY2Ol7xMvCa77Jlxec9VZPoQ3YEBWtBFUYI7lhph

5_n3dzfFfsJA