

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



Využití reverzní osmózy při kultivaci rostlin

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Josef Sobota, CSc.

Diplomant: Bc. Jan Bürger

2010

Univerzita: Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta: životního prostředí

Katedra: vodního hospodářství
a environmentálního modelování

Školní rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro:

Jana Bürgera

obor:

DRES

Název tématu:

Využití reverzní osmózy při kultivaci rostlin

Use of reverse osmosis in plant cultivation

Zásady pro vypracování:

1. Popište zařízení úpravny vody s reverzní osmózou.
2. Vyhodnoťte rešeršní poznatky o využívání reverzní osmózy
3. Uskutečňte a zpracujte měření z využívání reverzní osmózy při kultivaci rostlin.

Rozsah grafických prací: bude upřesněn během zpracování.

Rozsah průvodní zprávy: bude upřesněn během zpracování

Seznam odborné literatury:

Grünwald,A. (1997): Zdravotně vodohospodářské stavby. Úprava vody. Skripta ČVUT

Hübner,P. et al. (2006): Úprava vody pro průmyslové účely. VŠCHT Praha,
ISBN 80-7080-624-9


Sobota,J.(2007): Vodárenství a stokování. Učební texty ČZU Praha

Vedoucí diplomové práce: Ing.Josef Sobota CSc.

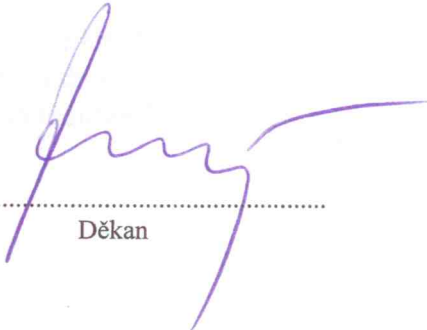
Datum zadání diplomové práce: září 2009

Termín odevzdání diplomové práce: červen 2010

L.S.


.....
Vedoucí katedry




.....
Děkan

V Praze..... dne

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Využití reverzní osmózy při kultivaci rostlin“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Josefa Soboty, CSc., a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze, dne 26. dubna 2010

.....
podpis autora práce

Poděkování

Děkuji Ing. Josefu Sobotovi, CSc. za odborné vedení a cenné připomínky při zpracování mé diplomové práce a mým kolegům v Botanické zahradě hl. m. Prahy za umožnění realizace měření a pokusů. Zároveň děkuji všem členům mé rodiny, kteří mě během celého studia a při psaní této práce podporovali.

Využití reverzní osmózy při kultivaci rostlin

Use Of Reverse Osmosis In Plant Cultivation

Abstrakt

Diplomová práce obsahuje popis principu reverzní osmózy a rešerši možností jejího využití v oblasti vodárenství a v dalších průmyslových oborech. Zaměřuje se na využití reverzní osmózy při úpravě vody pro zálivku rostlin. Prezentuje rešerši stanovení kritérii kvality zálivkové vody.

Praktická část práce je věnována stanovení a hodnocení ekonomických ukazatelů u konkrétní úpravy vody pro zálivku rostlin včetně vyčíslení celkových provozních nákladů. Popisuje posouzení vlivu kvality vody na kultivaci rostlin.

Klíčová slova

Měrná vodivost; konverze; ultračistá voda; zálivková voda; provozní náklady.

Abstract

The thesis describes the principle of reverse osmosis, searching for possibilities to utilize it in the area of the public water supply and other industrial sectors. The thesis is focused on utilizing reverse osmosis in water treatment in order to use for plant irrigation; it presents the search for specifying the criteria for irrigation water quality.

The practical part of this thesis is devoted to specifying and evaluating the economic indicators for a particular water treatment system (treating water for plant irrigation), including the total operation costs. This part also analyses the effect of water quality on the cultivation of plants.

Keywords

Specific conductivity; conversion; ultra pure water; irrigation water; operating costs.

Obsah

1. Úvod.....	1
1.1 Námět diplomové práce	1
1.2 Cíle práce	2
1.3 Metodický postup	3
2. Teoretická část	4
2.1 Ultračistá voda.....	4
2.2 Objasnění funkce reverzní osmózy (RO)	4
2.3 Konstrukční principy RO	6
2.3.1 Membránové elementy a membránové moduly	7
2.3.2 Zanášení membrán.....	8
2.4 Možnosti využití RO	8
2.4.1 Využití RO při úpravě vody	11
2.4.1.1 Základní prvky úpravy vody RO	12
2.4.1.2 Předúprava vody pro RO	12
2.4.1.3 Konverze – výtěžnost.....	12
2.4.2 Využití RO pro vodárenské účely	13
2.4.3 Odsolování mořské vody (SWRO).....	14
2.4.4 Osmotická elektrárna	16
2.5 Zařízení pro zvýšení efektivity úpravy vody RO.....	18
2.6 Využití RO při úpravě vody pro kultivaci rostlin	20
2.6.1 Předúprava vody	21
2.6.2 Kvalita závlivkové vody	21
2.6.2.1 Srážková voda v přírodních oblastech	23
2.6.2.2 Použití srážkové vody pro závlivku	24
2.6.2.3 Komplexní parametry závlivkové vody	25
2.6.3 Dodávání živin.....	26
2.6.4 Potřeba množství závlivkové vody	27
2.7 Ekonomické faktory úpravy vody RO pro závlivku rostlin	27

2.7.1	Vliv konverze na ekonomiku provozu	28
2.7.2	Skladba nákladů úpravny vody RO	28
2.7.2.1	Investiční náklady	29
2.7.2.2	Provozní náklady.....	29
2.7.3	Celkové náklady na úpravu vody pro zálivku.....	30
2.8	Vliv kvality vody na kultivaci rostlin.....	30
3.	Praktická část	31
3.1	Zálivková voda v tropickém skleníku Fata Morgana	31
3.2	Popis konkrétní úpravny vody RO pro kultivaci rostlin.....	31
3.3	Náklady na provoz vybrané úpravny vody RO.....	32
3.3.1	Definice měřících bodů a měřených veličin (měřící sestava)	32
3.3.2	Období a četnost měření.....	33
3.3.3	Použitá měřidla	33
3.3.4	Odečty hodnot.....	34
3.3.4.1	Snížení výkonu a sanace modulů RO	34
3.3.5	Výsledky měření a výpočty	36
3.3.5.1	Výpočet konverze a spotřeby elektřiny při sníženém výkonu RO.....	36
3.3.5.2	Výpočty hodnot při jmenovitém výkonu RO.....	37
3.3.5.3	Nárůst teploty vody v RO	37
3.3.6	Vyčíslení celkových provozních nákladů na úpravu vody pro zálivku	38
3.3.6.1	Náklady předúpravy	39
3.3.6.2	Náklady vlastní RO.....	39
3.3.6.3	Celkové provozní náklady	40
3.4	Posouzení vlivu kvality vody na kultivaci rostlin	40
3.4.1	Rostliny vysazené v pokusné kultuře.....	41
3.4.2	Typy a zdroje použité vody	42
3.4.3	Vyhodnocení stavu rostlin v pokusné kultuře	43
3.4.4	Vyhodnocení počtu kvetoucích rosnatek	46

4. Výsledky	48
4.1 Provozní náklady úpravny RO.....	48
4.2 Vliv kvality zálivkové vody na kultivaci rostlin.....	49
5. Diskuze.....	51
6. Závěr.....	53
7. Seznam literatury	54
8. Seznam obrázků, tabulek, fotografií a vzorců.....	59
9. Převody jednotek	61
10. Seznam zkratk a symbolů	62
11. Fotodokumentace	
12. Přílohy	

1. Úvod

1.1 Námět diplomové práce

Stále pokračující kácení deštných pralesů, mizení mnoha vzácných přírodních oblastí na celém světě a vymírání rostlinných a živočišných druhů, si v současné době již dobře uvědomujeme. Proto je správné vykonávat maximum činností, aby k těmto negativním jevům na Zemi nedocházelo nebo alespoň v co nejmenší míře. Snažíme se chránit ohrožené druhy, mimo jiné i přenosem do kultury a zakládáním genobank. Kultivace vzácných rostlin, jejich množení a tím zachování jejich genetické unikátnosti je pro dnešní společnost v oblasti ochrany přírody celosvětově významný úkol.

V přírodních oblastech, které nejsou dotčeny lidskou činností, jsou abiotické podmínky pro vegetaci ovlivněny edafickými a hydrickými poměry, které se formují především půdami a klimatem. Antropogenní znečištění je zde zatím malé. Většina vody, kterou rostliny přijímají v přírodě, pochází z atmosférických srážek. Část srážkové vody se vypaří zpět do atmosféry a část jí odteče po povrchu. Významná část se jí infiltruje do půdy, kde vytváří velký vodní rezervoár a tranzitní cestu pro doplňování podzemní vody. Půdní voda je poutána různými silami a především ve formě kapilární a gravitační vody je pro většinu rostlin jejich nejvýznamnějším zdrojem a nejdůležitější podmínkou růstu.

Pro kultivaci rostlin potřebujeme přirozeně zajistit také odpovídající podmínky, což se kromě světla, teploty, vlhkosti vzduchu a složení substrátu týká především množství a kvality závlivkové vody. Nemáme-li k dispozici dostatečně kvalitní zdroj vody, musíme její úpravou z dostupného zdroje připravit vodu požadované kvality. Dnes již rozšířená technologie reverzní osmózy umožňuje vyrobit vodu o maximální čistotě, která je vhodná pro přípravu závlivkové vody s potřebnou kvalitou.

Z důvodu ochrany přírody a životního prostředí je velmi významná efektivita i ekonomická stránka úpravy vody reverzní osmózou, protože požadujeme co nejmenší spotřebu energií, provozních materiálů i vstupní vody.

Pozornost si zaslouží také všechny nejmodernější technologie, ve kterých je možné princip reverzní osmózy využít k šetrnému zacházení s přírodními zdroji a jejich získávání obnovitelným způsobem.

1.2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je seznámení s technologií úpravy vody na principu reverzní osmózy a prezentace rešeršních podkladů o oblastech jejího využití. Dále pak popis a hodnocení ekonomiky provozu konkrétní úpravny vody s reverzní osmózou, stanovení základních parametrů kvality závlivkové vody a posouzení vlivu různé kvality závlivkové vody na kultivaci rostlin.

Práce obsahuje vyčíslení provozních nákladů u konkrétního zařízení úpravny vody pro závlivku rostlin a některá doporučení k možnostem úpravy vody pro závlivku.

1.3 Metodický postup

Základním krokem je shromáždění a pečlivé nastudování rešeršních podkladů o využití reverzní osmózy při úpravě vody a v dalších oborech. Dalším krokem je stanovení ekonomických ukazatelů k posouzení provozu úpravní vody s reverzní osmózou pro zálivku rostlin. Dále stanovení kritérií pro hodnocení kvality vody pro zálivku rostlin a posouzení vlivu různé kvality zálivkové vody na jejich kultivaci.

Tato diplomová práce rozšiřuje téma, které jsem řešil ve své bakalářské práci (BÜRGER, 2007), a pro jeho pochopení je nutné popsat základní terminologii, vztahy a principy dané problematiky. Ve své bakalářské práci jsem se věnoval reverzní osmóze a membránovým separačním procesům v teoretické i praktické rovině a v daleko širším rozsahu. Z těchto důvodů přebírám ze své bakalářské práce některé nejpodstatnější informace.

K dosažení stanovených cílů jsem postupoval následujícím způsobem:

- popsání principu osmózy, reverzní osmózy a základních termínů a vztahů,
- shromáždění odborných rešeršních podkladů o technologii reverzní osmózy a možnostech jejího využití,
- shromáždění odborných a firemních rešeršních podkladů o možnostech zvyšování efektivity provozu reverzní osmózy při úpravě vody,
- shromáždění odborných rešeršních podkladů a formulace kritérií pro hodnocení kvality vody pro kultivaci rostlin,
- stanovení ekonomických ukazatelů při úpravě vody reverzní osmózou,
- popis konkrétní úpravní zálivkové vody s reverzní osmózou,
- definice měřících bodů a měřených veličin na konkrétním zařízení úpravní vody,
- odečty měřených veličin a výpočty ukazatelů z naměřených hodnot,
- posouzení ekonomiky provozu úpravy vody na základě naměřených a vypočtených hodnot,
- stanovení pokusu vlivu kvality vody na kultivaci rostlin,
- vyhodnocení a popis pozorovaných vlivů kvality vody na kultivaci rostlin,
- shrnutí a diskuse zjištěných výsledků.

2. Teoretická část

2.1 Ultračistá voda

Množství ve vodě rozpuštěných látek (KOŽÍŠEK, 2001), a tedy jejímu znečištění, odpovídá její měrná vodivost. Proto je měrná vodivost významným kritériem pro posouzení kvality vody.

Pro srovnání schopnosti vody a vodných roztoků vést elektrický proud byla zavedena **měrná** (elektrolytická, specifická) **vodivost**, nazývaná také konduktivita nebo „electric conductivity“ (EC). Jednotkou vodivosti elektrického proudu je Siemens „S“. Jedná se o převrácenou hodnotou jednotky elektrického odporu Ohm „ Ω “. Měrná vodivost představuje převrácenou hodnotu elektrického odporu roztoku mezi dvěma elektrodami o stejné ploše 1 m², ve vzdálenosti 1 m od sebe. Jednotkou měrné vodivosti je 1 S/m. Běžněji se však používá jednotka mS/m nebo $\mu\text{S/cm}$ (AQUAR, 2007).

Kapalina, která je chemicky složená pouze z iontů H⁺ a OH⁻, respektive z iontů H₃O⁺ a OH⁻ se nazývá ideálně čistá voda (SOBOTA, 2007). V praxi se tato voda nazývá **ultračistá voda** nebo velmi čistá voda, ta však obvykle obsahuje stopové množství nějakého znečištění. Většinou se jedná o zbytky organických látek, solí a částic (HÜBNER, 2007), jejichž obsah bývá často nižší než 1 mg/l. Měrná vodivost ultračisté vody se blíží k 1 $\mu\text{S/cm}$, může být však i méně (KOŽÍŠEK, 2001).

Vlastnosti velmi čisté vody stanovuje norma ČSN ISO 3696 „Jakost vody pro analytické účely. Specifikace a zkušební metody“. Norma rozlišuje tři stupně čistoty vody, kde stupeň 1 je nejméně kvalitní. Voda kvality stupně 2 a 3 má vlastnosti ultračisté vody (ČSN ISO 3696).

Pro ideálně čistou vodu se také používá termín **demineralizovaná voda** nebo zkráceně demivoda, případně deionizovaná voda a někdy také nesprávně destilovaná voda bez ohledu na technologii její výroby, kterou může být destilace, iontová výměna, elektrodialýza, elektrodeionizace nebo membránové procesy (KOŽÍŠEK, 2001).

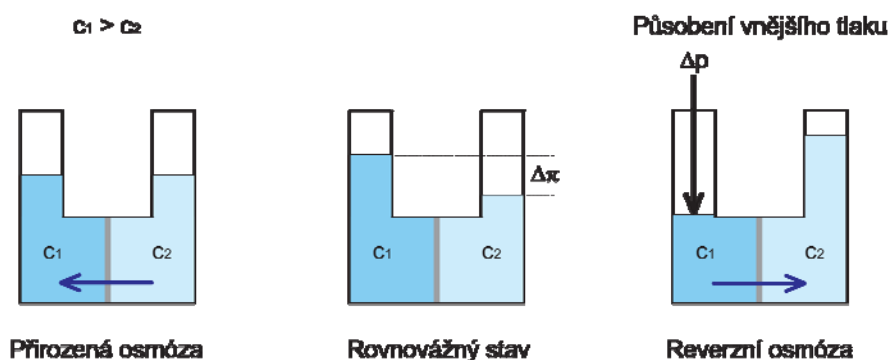
2.2 Objasnění funkce reverzní osmózy (RO)

Oddělíme-li dva různě koncentrované roztoky polopropustnou membránou, která propouští pouze rozpouštědlo, v tomto případě vodu, začne přirozenou cestou proudit voda z prostředí zředěnějšího do prostředí koncentrovanějšího. Tento jev se nazývá **přirozená osmóza**. Po určité době dojde k ustálení rovnováhy a v části s koncentrovanějším roztokem

se hladina ustálí výše. Tento stav se nazývá **osmotická rovnováha**. Rozdíl hladin odpovídá **osmotickému tlaku**, který je dán hlavně rozdílem koncentrací jednotlivých roztoků.

Působíme-li na koncentrovanější roztok tlakem, začíná se průtok vody ze zředěnějšího do koncentrovanějšího roztoku zpomalovat a při vyrovnání osmotického tlaku s vnějším tlakem se průtok vody zastaví. Zvýšíme-li vnější tlak nad tlak osmotický, začíná proudit voda opačným směrem a nastává děj, který se nazývá obrácená neboli **reverzní osmóza (RO)** (HÜBNER, 2006).

Obrázek 1. Znázornění dějů při osmóze a reverzní osmóze



Zdroj: GRÜNWALD, 2002, strana 92; HÜBNER, 2006, strana 56; upravil JB

Mezi osmotickým tlakem a koncentrací jednotlivých roztoků platí vztah:

Vzorec 1. Změna velikosti osmotického tlaku

$$\Delta\pi = \Delta c \cdot R \cdot T$$

Vzorec 2. Rozdíl koncentrací roztoků

$$\Delta c = c_1 - c_2$$

$\Delta\pi$ osmotický tlak [Pa],

Δc rozdíl koncentrací roztoků [mol.m⁻³],

R plynová konstanta ideálního plynu (8,314 J.K⁻¹.mol⁻¹),

T teplota [°K].

Čím je molekulová hmotnost určité látky nižší, tím je při stejném rozdílu koncentrací větší osmotický tlak. Chceme-li z roztoku solí připravit demineralizovanou vodu, musíme osmotický tlak překonat, pak $\Delta p > \Delta\pi$. Aby byl proces ekonomický, je nutno zvýšit vnější tlak minimálně na dvojnásobek osmotického tlaku (GRÜNWALD, 2002).

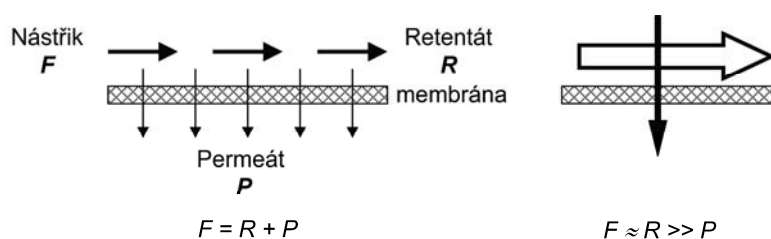
2.3 Konstrukční principy RO

Reverzní osmóza patří mezi separační procesy, při kterých ze zařízení vystupují minimálně dva toky látek s odlišnou kvalitou – proudy. U membránových separací se proud látek, který prostupuje membránou, nazývá **permeát (P)** neboli diluát. Proud látek, které membrána zadržuje a zůstávají tak na nástřikové straně membrány se nazývá **retentát (R)** neboli **koncentrát**. Vstupující proud se nazývá **nástřik** nebo „feed“ (**F**) (ÚKCHB, 2006). Průtok permeátu je závislý zejména na pracovním tlaku, teplotě nástřiku a na koncentraci vstupních solí (HÜBNER, 2006).

Užší zařazení reverzní osmózy mezi separačními procesy je zařazení do membránových filtračních procesů, které jsou založeny na vlastnostech polopropustných (semipermeabilních) membrán. Tyto membrány zachycují ve vodě přítomné částice určité velikosti, případně určitého elektrického náboje. Reverzní osmóza při tlacích vyšších než 5 MPa zbavuje vodu veškerých rozpuštěných solí i organických látek s částicemi menšími než 0,001 μm (GRÜNWALD, 2002).

Z pohledu charakteristiky toků, je pro většinu membránových procesů typické uspořádání s příčným neboli tangenciálním tokem („crossflow“ filtrace). Díky němu nedochází k hromadění (akumulaci) zadržovaného materiálu (částic, molekul, iontů) před membránou. Toto uspořádání výrazně prodlužuje kontakt nástřiku s membránou a zajišťuje získání vyššího množství permeátu.

Obrázek 2. Uspořádání toků při membránové filtraci s příčným tokem – „crossflow“



Zdroj: ÚKCHB, 2006, strana 6

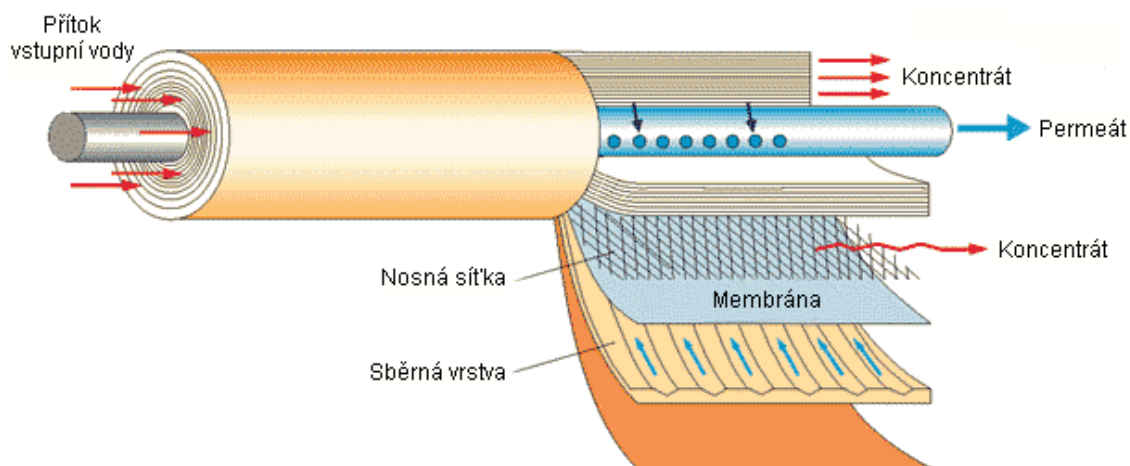
2.3.1 Membránové elementy a membránové moduly

Membrány se nejčastěji vyrábějí v těchto základních tvarech:

- ploché membrány – listy různé velikosti,
- tubulární membrány – o průměru od 0,1 mm do několika cm, nástřiková strana membrány je většinou na vnitřní stěně vlákna a permeát je odváděn z vnější strany membrány; jsou označovány jako dutá vlákna „hollow fiber“.

Častým využitím plochých membrán je jejich uspořádání do **spirálně vinutého elementu**. Výhoda je dosažení lepšího poměru efektivní plochy membrány k objemu celého zařízení. Nevýhodou může být v některých případech obtížnější sanace díky kompaktnosti konstrukce elementu (ÚKCHB, 2006).

Obrázek 3. Schéma spirálně vinutého elementu

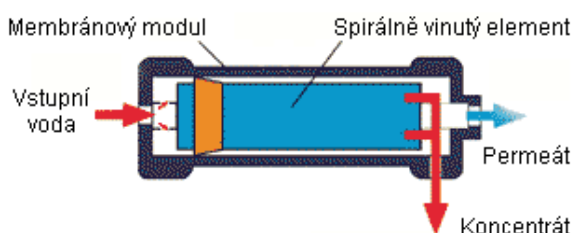


Zdroj: AQUA-AUREA, 2007; upravil JB

Moderní spirálně vinuté elementy obsahují tak zvané „spacery“, které zajišťují potřebnou turbulenci mezi jednotlivými membránami, aby nedošlo ke vzniku „mrtvých koutů“ a k usazování nečistot v elementu. Spirálně vinuté elementy jsou obvykle řešeny jako svitek membrán ve formě obálek (kapes), které jsou zapuštěny do středové trubky odvádějící permeát z elementu. Koncentrát prochází kolem těchto obálek do dalšího elementu (HÜBNER, 2006).

Membránové elementy se vkládají do válcovitých tlakových nádob – **modulů reverzní osmózy – membránových modulů**, přičemž množství elementů v jedné tlakové nádobě se pohybuje od 1 do 6. V některé cizojazyčné literatuře, například v NANOMEMPRO (2009) se používá termín membránové moduly i pro RO elementy a tlakové nádoby se nazývají pouzdra („housing“).

Obrázek 4. Schéma membránového modulu



Zdroj: AQUA-AUREA, 2007; upravil JB

2.3.2 Zanášení membrán

V průběhu membránové separace dochází k postupnému snižování toku permeátu. Tento jev nazýváme zanášení membrány („fouling“ efekt), který může být vratný nebo nevratný. U nevratného děje se jedná o **otravu membrány**. Otrava bývá způsobena ionty těžkých kovů a látkami, které reagují s membránou, například chlor, oxidovadla. U vratných dějů můžeme membránu regenerovat buď fyzikálními metodami, nebo s použitím chemických činidel (ÚKCHB, 2006).

2.4 Možnosti využití RO

Vývoj reverzní osmózy začal přibližně v padesátých letech 20. století, kdy byly hlavními aplikacemi odsolování vody nebo výroba ultračisté vody pro technické účely. V této době se v Evropě začaly používat membránové technologie při molekulárních separacích (NANOMEMPRO, 2009). V sedmdesátých a osmdesátých letech se nejčastěji používaly elementy s tubulárními membránami – dutými vlákny („hollow fiber“), v dnešní době se však nejvíce používají spirálně vinuté elementy (HÜBNER, 2006). Největší vývoj a rozšíření membránových procesů je však přibližně od konce devadesátých let minulého století. V Evropě i ve světě existuje několik výzkumných organizací, které sdružují vědce a odborníky z mnoha zemí (NANOMEMPRO, 2009). Vývoj výroby membrán se zaměřuje na jejich jednodušší a levnější výrobu, delší životnost a také na širší možnosti jejich využití.

V současné době je využití polopropustných membrán rozšířeno do mnoha oborů, které můžeme rozdělit do šesti základních oblastí:

- úprava vody pro vodárenské nebo technické účely,
- filtrace a separace organických látek,
- výroba potravin a nápojů,
- petrochemický a chemický průmysl,
- výroba paliv pro alternativní zdroje energie,
- zdravotnictví a farmacie.

Na předním místě je to stále úprava vody pro vodárenské a technické účely.

Po úspěšném uplatnění membrán při úpravě vody se rozšiřuje jejich využití při filtraci a separaci organických látek. Při zvýšení tlaku na látku před membránou nebo vyvinutím vakua na straně permeátu je možné separovat jednotlivé složky organických látek nebo jejich směsí až na molekulární úrovni. V potravinářském průmyslu se jedná například o zpracování rostlinných olejů nebo oddělování organických látek a vody, ve farmaceutickém a zdravotnickém průmyslu je to zpracování a dočištění finálních produktů.

Použitím membránové filtrace při výrobě potravin a nápojů získáváme jednoduchým a efektivním způsobem produkty s vyšší kvalitou a bez jejich poškození, a případně zachování jejich biologické aktivity. Také dochází ke zjednodušení procesu zpracování, zlepšení kontroly nebo vypuštění některých kroků, a tím snížení výrobních nákladů. V potravinářském průmyslu se membránové procesy používají hlavně k izolaci, zahušťování, dělení na jednotlivé složky, odsolování, čištění nebo konzervaci místo tepelných úprav (NANOMEMPRO, 2009). Konkrétně v mlékárenském průmyslu se membránová filtrace používá například při zpracování syrovátky nebo zahušťování mléka k výrobě sýrů. Zde je významným vedlejším produktem permeát obsahující syrovátkové bílkoviny, který se používá do některých výrobků jako náhrada odtučněného mléka (SUKOVÁ, 2004).

Stále častěji se membránové technologie používají také v petrochemickém a chemickém průmyslu kde nahrazují některé tradiční metody. Významný pokrok je využití při separačním zpracování parafínu s velkým rozsahem výsledných složek – alkenů. Technologie membránové separace uhlovodíkových plynů výrazně snižuje složitost výrobního procesu a náklady na výrobu. Tradiční frakční technologie jsou většinou založeny na fyzikálních vlastnostech jednotlivých složek směsi. Jsou-li však fyzikální vlastnosti složek podobné a hlavní odlišnosti jsou v chemických vlastnostech, membránové separace se kombinují s využitím destilačního gradientu. I když při zpracování ropných látek není možné dosáhnout dostatečné čistoty produktů, velký význam zde mají nízké provozní náklady.

Membránové technologie nám také pomáhají získávat alternativní zdroje energie, respektive environmentálně šetrná paliva, která nahrazují konvenční paliva (fosilní) a pohony. Významné jsou organické i anorganické membrány pro separaci plynů. Pomocí těchto membrán můžeme alternativní paliva vyrábět a dočišťovat je pro použití v mnoha aplikacích. V komerčním prostředí jsou již dostupné membrány pro výrobu vodíku včetně jeho separace a čištění, výrobu čistých technických plynů a membrány pro použití v palivových článcích.

Ve zdravotnictví mají membránové procesy stále rostoucí význam. Z pohledu lidského zdraví jsou v současné době tyto technologie nepostradatelné. Typickým příkladem je dialýza neboli umělá ledvina. Mezi nejvýznamnější aplikace ve zdravotnictví patří dodávání léčiv do organismu, výroba umělých orgánů, regenerace tkání, diagnostické přístroje, bioseparace a další. Ve zdravotnictví hrají roli také membrány, které jsou biokompatibilní a biodegradovatelné. Celková produkce membrán pro zdravotnictví je srovnatelná s produkcí membrán pro průmyslové účely. Výroba léčiv se bez membránové technologie také neobejde, ať už jde o přípravu ultračisté vody, nebo o využití při nejrůznějších výrobních postupech (NANOMEMPRO, 2009).

Z pohledu směrů současného výzkumu a vývoje průmyslových aplikací můžeme rozdělit membránové technologie na následující metodické oblasti:

- chemie,
- energetika,
- životní prostředí,
- potravinářství,
- zdravotnictví,
- materiály membrán.

Oblast chemie zahrnuje výzkum nových membránových procesů. Do oblasti životního prostředí patří příprava pitné vody a odsolování mořské vody. Samostatnou oblast zde tvoří vlastní výzkum, vývoj a výroba membrán. Ty jsou zaměřeny na výrobní postupy organických, anorganických a kompozitních membrán a další zdokonalování a nacházení nových materiálů (NANOMEMPRO, 2007).

2.4.1 Využití RO při úpravě vody

Čištění vody zaznamenalo s rozvojem membránových separačních procesů nové možnosti. Jejich využití při úpravě vody nám umožňuje zpracovávat vodu s mnohem širším rozsahem kvality vstupů nebo požadovaných produktů. Dnes už jsme schopni bez problému vyrobit ultračistou vodu s měrnou vodivostí o desetínách $\mu\text{S}/\text{cm}$. Reverzní osmóza se ve vodárenství využívá například k dosažení normované kvality pitné vody ze sladkovodních zdrojů nebo vyrobení pitné vody odsolováním vody mořské. Dokonce však membránovými procesy čistíme nebo dočišťujeme odpadní vody.

Použití reverzní osmózy pro úpravu vody je nejrozšířenější v následujících průmyslových oborech:

- úprava pitné vody,
- odsolování mořské vody,
- čištění nebo dočištění odpadních vod,
- výroba léčiv, zdravotnictví včetně laboratoří,
- chemické a analytické laboratoře,
- mikroelektronika,
- parní kotle a chladičové systémy.

Výroba léčiv a zdravotnické laboratoře se neobejdou bez ultračisté vody jak při přípravě preparátů, tak při chemických rozborech a zkouškách. Voda se před její spotřebou ještě sterilizuje, respektive desinfikuje, většinou UV zářením.

Moderní metody v analytické chemii jsou v současné době schopny identifikovat velmi malá množství zjišťovaných látek, proto i voda v chemických laboratořích musí splňovat přísná kritéria čistoty.

Stále více využíváme technologie, které pracují s čím dál tím menšími jednotkami, které se například v mikroelektronice pohybují dnes až v desítkách nanometrů a díky tomu jsou kladeny mnohem přísnější nároky na čistotu používané vody. Dříve byly požadavky pouze na minimální hodnotu měrné vodivosti, s vývojem stále menších rozměrů mikročipů se požadavky zpřísnují a přidávají se další přípustné limity různých látek a částic. Zvyšující se požadavky na kvalitu vyrobené vody způsobují nárůst počtu jednotlivých prvků úpravy vody a do procesu úpravy se přidává odstranění plynů, organických látek (TOC neboli „total organic carbon“), sterilizace a dodatečná filtrace organismů zabitých UV zářením.

V teplárenském a elektrárenském průmyslu musí také používaná voda splňovat určitá kritéria kvality. Ve vodě nebo páře dochází při vyšších teplotách k reakcím obsažených látek. Výroba ultračisté vody pro parní a horkovodní kotle musí kromě odstranění

rozpuštěných a organických látek zajistit také odstranění plynů neboli odplynění, hlavně CO₂ (HÜBNER, 2006).

2.4.1.1 Základní prvky úpravny vody RO

Úpravna vody s reverzní osmózou se kromě řídicí a měřicí jednotky skládá z jemné filtrace v řádech desetin, jednotek nebo desítek µm, vysokotlakého čerpadla, modulu či skupiny modulů s membránou a ventily v okruhu odvádění koncentráту pro nastavení pracovního tlaku a kvality permeátu (SOBOTA, 2007).

2.4.1.2 Předúprava vody pro RO

Membrány reverzní osmózy zadržují, a tedy ze vstupní vody odstraňují 96–99 % rozpuštěných látek a prakticky všechny organické a další látky. Díky jejich selektivě by však při použití znečištěné vstupní vody docházelo k příliš rychlému zanášení a znehodnocení. Znečištěná, případně tvrdá voda výrazně snižuje životnost čerpadel, rozvodů a dalších hydraulických částí úpravny. Z tohoto důvodu je nutné vodu před vstupem do reverzní osmózy předupravit. Intenzita a složitost předúpravy závisí na kvalitě vstupní (surové) vody. Při použití pitné vody se předúprava nejčastěji skládá z pískové předfiltrace, změkčovače a dechlorace.

Předfiltrace zajišťuje odstranění hrubých nečistot a používají se zde svíčkové nebo sítkové filtry a následně filtry s náplní z křemenného písku, případně směsi křemenného písku a hydroantracitu. **Hydroantracit** je filtrační materiál vyrobený speciální technologií z vysoce kvalitního uhlí (antracitu) a zvyšuje kapacitu filtrů až o 50 % (GHC, 2004).

Změkčování vody se provádí iontovou výměnou v duplexní sestavě, aby mohla být jedna nádoba změkčovače v provozu a ve druhé mohla současně probíhat regenerace ionexového média neboli **ionexu**. Ve vodě dochází ke kontinuální výměně iontů vápníku Ca²⁺ a hořčíku Mg²⁺, za ionty sodíku Na⁺.

Zbytkový chlór, kterým se provádí dezinfekce pitné vody, se odstraňuje dechlorací pomocí aktivního uhlí. **Aktivní uhlí** má schopnost absorbovat na svém ohromném povrchu široké spektrum látek, nejčastěji organické a nepolární látky, ale také chlór a další, čímž je odstraňuje z vody a plynů (BRUCHANOV, 2005).

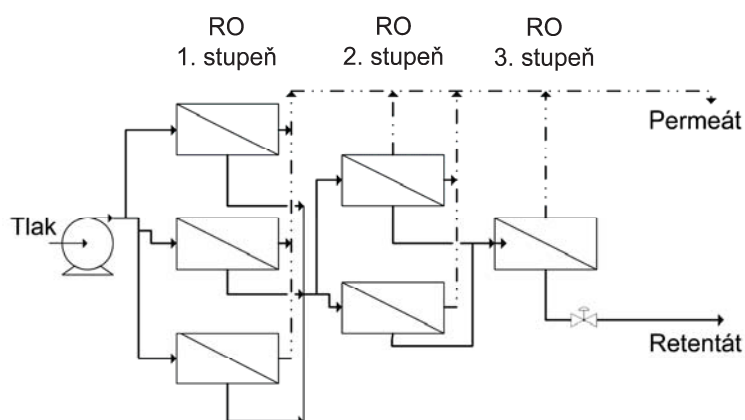
2.4.1.3 Konverze – výtěžnost

Pro hodnocení efektivnosti membránových separačních procesů se používá bezrozměrná veličina, která udává poměr množství získaného permeátu k množství nástřiku (vstupu), respektive **výtěžnost permeátu** a nazývá se **konverze**. Udává se buď jako desetinné číslo nebo v procentech. Konverze 0,5 odpovídá získání 50 % množství permeátu ze vstupního roztoku (HÜBNER, 2006). Například při použití předúpravy vody a následně reverzní

osmózy s konverzí 0,5 to znamená, že musíme předupravit dvojnásobné množství vody než je množství získaného permeátu, přičemž náklady na předúpravu vstupní vody mohou být značné.

Pro zvýšení konverze se využívá řazení modulů za sebe do stupňů, obvykle dvou až třech, přičemž výstup koncentrátu se použije jako nástřík dalšího stupně. Používá se také recyklace části koncentrátu zpět do vstupní vody nebo kombinace obou řešení (HÜBNER, 2006).

Obrázek 5. Trojstupňová reverzní osmóza



Zdroj: HÜBNER, 2006, strana 62

2.4.2 Využití RO pro vodárenské účely

Reverzní osmóza se při přípravě pitné vody v České republice rozšiřovala postupně. Úprava vody reverzní osmózou totiž z vody odstraní všechny rozpuštěné látky a tato voda je pro distribuci jako pitná nepřijatelná. Ultračistá neboli demineralizovaná voda je při konzumaci člověkem zdravotně nebezpečná. Po požití může dojít k podráždění sliznic, dochází ke zředování tělesných tekutin a klesá koncentrace iontů v těle, což může způsobit selhání orgánů (KOŽÍŠEK, 2001). Aby bylo možné ultračistou vodu využít jako pitnou, musíme jí nejprve doplnit o základní chemické prvky, hlavně ionty vápníku a hořčíku, provádíme **stabilizaci** neboli **remineralizaci vody** (GRÜNWARD, 2002).

Technologie reverzní osmózy je pro úpravu pitné vody navrhována pouze v případech, obsahuje-li zdrojová voda některý z prvků v nadlimitním množství nebo přesahuje-li některý parametr stanovený limit, přičemž není možné použít ke snížení množství nežádoucí látky některou ze základních vodárenských technologií uvedených v §14 vyhlášky č. 409/2005 Sb. (VYHLÁŠKA 409/2005) a současně není možné pro požadovaný účel (zásobování obyvatel, potravinářská výroba) zajistit jiný zdroj dostatečně kvalitní vody.

Součástí technologie je vždy mísicí uzel, který zajišťuje směšování odsoleného permeátu s předupravenou zdrojovou vodou, čímž dojde ke snížení nežádoucích látek pod stanovené limity. Výsledná voda musí splňovat hygienické požadavky na pitnou dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. (VYHLÁŠKA 252/2004). Například úpravna vody s reverzní osmózou instalovaná v obci Třebotov snižuje vysoký obsah dusičnanů ve zdrojové vodě a je v tomto případě ekonomicky nejvýhodnějším řešením. Úpravna na letišti v Ruzyni upravuje tvrdost vody, snižuje množství rozpuštěných látek a kontaminaci organickými látkami na hygienicky přijatelné hodnoty (KUTAL, 2007).

Čištění odpadních vod a opakované využití vyčištěné technické vody při výrobě patří mezi další významné využití. Reverzní osmózu je možné využít jako terciární stupeň úpravy v čistírně komunálních odpadních vod (KUTAL, 2007) nebo také při čištění skládkových vod, například při čištění kontaminované odpadní vody na skládce nebezpečných odpadů Nový Rychnov (MEMSEP, 2007). V mnoha průmyslových výrobcích je možné odpadní procesní vodu vyčistit a velké množství vody opět použít. Například čištění odpadní průmyslové vody z povrchových úprav hliníkových částí ve firmě Strojmetal Kamenice a.s. Nový způsob čištění průmyslových odpadních vod reverzní osmózou přinesl výrazné snížení odběru vody pro výrobu a zamezení vypouštění odpadní průmyslové vody, protože se všechna vyčištěná voda vrací zpět do výroby (BLF, 2007).

Šetrné hospodaření s vodou se dostává do popředí až v posledních letech. Membránové technologie se používají při čištění nebo dočištění odpadních vod z průmyslové výroby, skládkových a průsakových vod i komunálních odpadních vod (KUTAL, 2007). V průmyslové výrobě je díky tomu umožněno opakované využívání dostupné vody až od 40 % i více a tím snížení provozních nákladů (HÜBNER, 2006).

2.4.3 Odsolování mořské vody (SWRO)

Nalezení efektivnějšího způsobu získání pitné vody z vody mořské než jsou úpravy založené na tepelných procesech, byl jeden z hlavních impulzů vývoje RO membrán od počátku vzniku membránových separačních procesů v padesátých letech minulého století. Úpravny vody pracující na principu reverzní osmózy se v současnosti používají k výrobě pitné vody v mnoha tropických zemích, ve kterých je nedostatek kvalitních přírodních zdrojů sladké vody nebo také na zámořských lodích, které nemohou mít zásobu pitné vody na celou dobu plavby. **Odsolování mořské nebo brakické vody** neboli „seawater reverse osmosis“ (SWRO) je stále nejrozšířenější oblast využití reverzní osmózy ve vodárenství.

Prvním článkem odsolovací úpravy, za jímáním vody z brakických zdrojů nebo na otevřeném moři, je její předčištění – předúprava. Její složitost závisí na kvalitě vstupní vody a v nejhorsších případech může být odpad předúpravy až 60 % vody. Následuje odsolení

v RO modulech s využitím rekuperace zbytkového tlaku koncentráту. Tlak potřebný k efektivnímu procesu SWRO závisí na koncentraci solí ve vstupní vodě. U brakických vod se používá vstupní tlak 15–25 bar, u mořské vody 54–80 bar. Rekuperace energie zvyšuje efektivitu celého procesu úpravy a využití vstupní vody. Posledním článkem odsolení je dodatečná úprava vyrobené vody tak, aby splňovala kritéria pitné vody. Nejčastěji je nutné odstranit rozpuštěný CO₂, provést remineralizaci solemi vápníku Ca a sodíku Na a upravit pH (MILLER, 2003).

Největší odsolovací úpravna vody na světě je postavena poblíž města Ashkelon v Izraeli. Vzhledem k vysokému obsahu boru je provozován dvoustupňový proces a pro dosažení dostatečné úrovně solí je před distribucí do sítě vyrobený permeát alkalizován vápnem. V celé úpravně je ve 32 zařízeních reverzí osmózy instalováno **40 tisíc RO elementů FILMTEC** (KUTAL, 2007). **Denně je produkováno 330 000 m³ pitné vody.** V říjnu roku 2006 úpravna dodala svých prvních ročních 100 miliónů m³, což je 5–6 % celkové spotřeby Izraele a 13 % celkové spotřeby v domácnostech. V roce 2008 bylo vyrobeno 111 miliónů m³. Spotřeba elektrické energie jsou necelé 4 kWh na 1 m³ vyrobené vody.

Úpravna je navržena se zástupnými částmi odolnými proti výpadku a je rozčleněná do třech hlavních sekcí podle provozované technologie, kterými jsou vysokotlaká čerpadla, membránové moduly a rekuperace energie. Toto uspořádání umožňuje nezávislou optimalizaci jednotlivých částí úpravy. Čerpadla nasávají vodu z moře, která putuje do paralelní předúpravy, aby při poruše jedné z nich mohla úpravna dodávat alespoň poloviční kapacitu vody. Filtrace je dvoustupňová s delší dobou zdržení, obsahuje šterk, křemenný písek a antracit a zaručuje dostatečnou kvalitu vstupní vody do reverzní osmózy.

Rekuperace energie je řešena systémem DWEER, který zajišťuje maximální využití vložené elektrické energie a snižuje náklady na výrobu 1 m³ pitné vody. Izrael plánuje další výstavbu odsolovacích stanic podél středozemního pobřeží s celkovou produkcí pitné vody v roce 2020 až 750 miliónů m³ ročně (WATER-TECHNOLOGY, 2010). SWRO úpravy jsou instalovány v mnoha zemích po celém světě, z nichž nejvýznamnější producenti v roce 2003 byli Saudská Arábie, USA, Spojené Arabské Emiráty, Kuvajt, Japonsko, Libye, Katar, Španělsko, Itálie a další (MILLER, 2003).

Další často používané způsoby odsolování mořské vody jsou například „multi-stage flash“ (MSF) založený na principu odpařování a kondenzaci vodní páry, „vapor compression“ – podtlakové odpařování nebo elektrodialýza (ED) využívající polarizační membrány a průchodu stejnosměrného elektrického proudu. Největší rozšíření ve světě zaujímá MSF (44,4 %) a RO (41,1 %) s celkovým zastoupením přibližně 85 % (MILLER, 2003).

2.4.4 Osmotická elektrárna

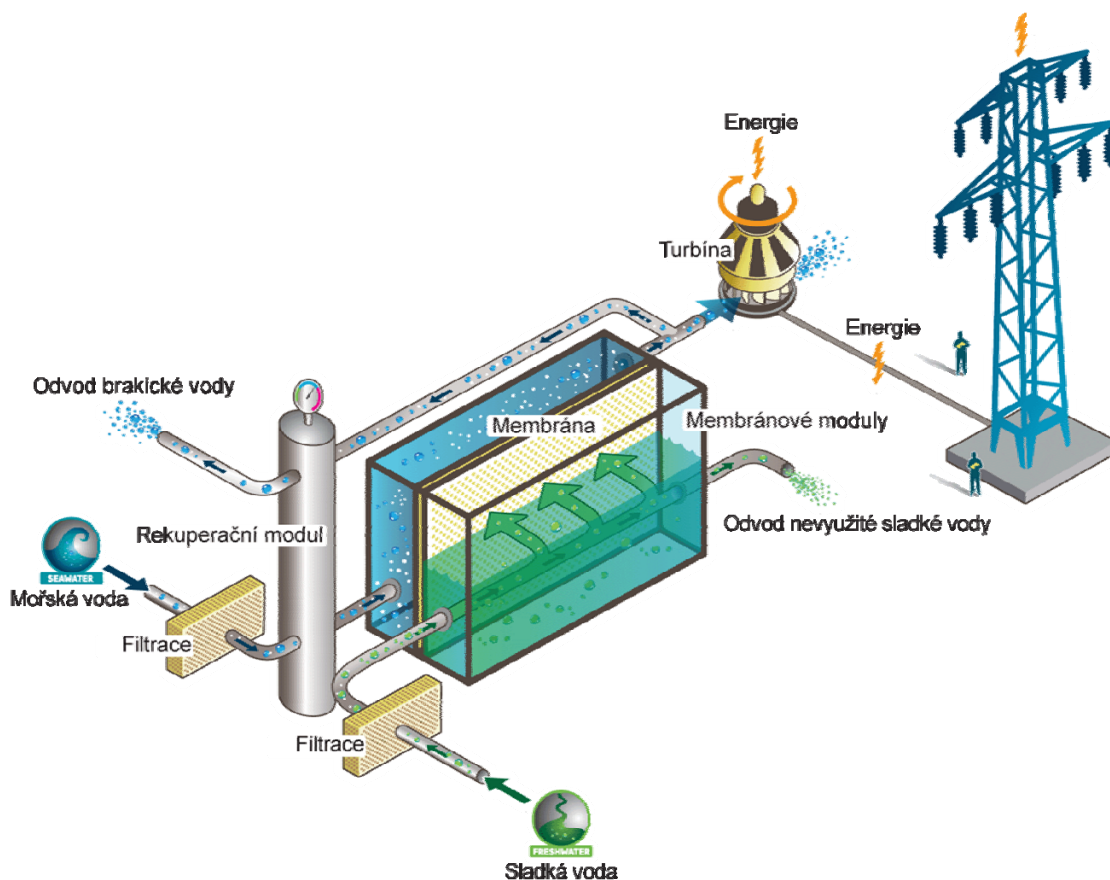
Norská společnost Statkraft se zaměřuje hlavně na obnovitelné zdroje energie a v listopadu roku 2009 představila v Norsku první prototyp osmotické elektrárny na světě, tak zvanou „osmotic power plant“. Tímto projektem rozšířila portfolio využitelných technologií pro výrobu elektrické energie bez produkce emisí oxidu uhličitého o další možnosti. Myšlenka využití energetického potenciálu, který vzniká při míchání sladké a mořské vody se postupně rozvíjela už od sedmdesátých let 20. století.

Při vlévání řeky do moře se míchá sladká a mořská voda a dochází k uvolňování velkého množství energie, které se však projevuje pouze nepatrným zvýšením teploty vody. Aby bylo možné tuto energii získat, je nutné použít jiné metody než její přeměnu na tepelnou energii. V současné době existují dva způsoby, kterými jsou reverzní elektrodialýza neboli „reversed electro dialysis“ (RED, EDR) a tlaková osmóza neboli „pressure related osmosis“ (PRO), také nazývaná „osmotic power“.

Reverzní elektrodialýza využívá chemického potenciálu mezi rozdílem koncentrací solí ve sladké a mořské vodě, který s použitím elektrodialyzačních membrán (selektivní iontovýmenné membrány) vyvolává tok elektrického proudu.

U tlakové osmózy (PRO) je energie chemického potenciálu přeměněna na tlak. Jedná se v podstatě o klasickou osmózu, která využívá rozdíl koncentrací dvou roztoků. V případě sladké a mořské vody vzniká osmotický tlak 24–26 bar v závislosti na koncentraci solí. Do systému vstupuje filtrovaná sladká a mořská voda. Důležité je, aby vstupní voda byla co nejčistší, veškeré znečištění snižuje efektivitu osmotického procesu. Před přivedením mořské vody do membránových modulů je její tlak zvýšen přibližně na polovinu osmotického tlaku, což je 12–14 bar. Tlaková voda, která vzniká v membránovém modulu při osmóze sladké a mořské vody se rozdělí na dvě části. Třetina tlakové vody se přivádí na vodní turbínu, která vyrábí elektrický proud. Zbytek tlakové vody je v rekuperačních modulech („pressure exchanger“) využit na zvýšení tlaku vstupní mořské vody. Odpadní výstupní voda ze zařízení se odvádí buď zpět do řeky pod elektrárnou, nebo do moře v dostatečné vzdálenosti od zdroje mořské vody, aby nemohlo dojít k jeho zředování (ØYSTEIN, 2008).

Obrázek 6. Blokové schéma osmotické elektrárny



Zdroj: STATKRAFT, 2010b, strana 1; upravil JB

Vhodná místa pro umístění osmotických elektráren jsou tam, kde se sladkovodní řeky vlévají do moře. Zde jsou v dostatečné blízkosti u sebe oba zdroje vody. Poloha musí být také vhodná z pohledu vlastní výstavby a odvedení vyrobené elektrické energie. Celosvětově existují taková místa prakticky na všech kontinentech.

Obrovský potenciál využívání tlakové osmózy k výrobě elektrické energie se odhaduje v Evropě až na 180 TWh a celosvětově 1600–1700 TWh ročně, což je pro srovnání přibližně 50 % spotřeby elektrické energie celé Evropské unie. Jen v Norsku se předpokládá pokrytí až 10 % celkové spotřeby.

Norský prototyp osmotické elektrárny je v současné době využívám především pro zkušební a vývojové účely, ale předpokládá se, že během několika let bude v provozu plně komerční verze. Obsahuje 2 000 m² speciálních PRO membrán a navržený výkon je 10 kW. Výkonová hustota současných membrán je 3 W na 1 m² plochy membrány, ale odhaduje se, že lze získat výkon až 5 W na 1 m². K dosažení výkonu 1 MW je potřeba průtoku 1 m³/s sladké a 2 m³/s mořské vody. Plánuje se, že osmotická elektrárna o výkonu

25 MW bude pomocí přibližně 5 km² celkové plochy membrán a spotřeby 25 m³/s sladké a 50 m³/s mořské vody schopna vyrobit 166 GWh elektrické energie ročně (STATKRAFT, 2010a).

Nyní se vědecké a vývojové týmy nejvíce zaměřují na zvyšování efektivity membránových modulů, výměníků tlaku a vodních turbín a zavedení této technologie do průmyslové praxe.

Osmotická elektrárna může pracovat a produkovat elektrickou energii 24 hodin denně po celý rok, což je oproti ostatním obnovitelným zdrojům energie velká výhoda (ØYSTEIN, 2009).

2.5 Zařízení pro zvýšení efektivity úpravy vody RO

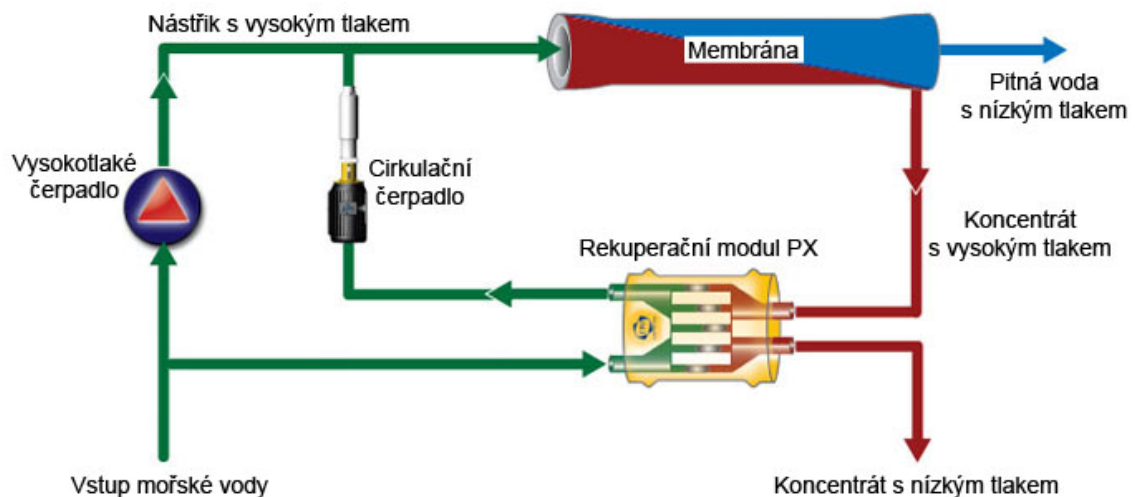
Permeát vytéká z reverzní osmózy pod nízkým tlakem, ale zbytkový tlak koncentrátu může být velmi vysoký a obsahuje tedy část energie, kterou jsme dodali tlakovým čerpadlem vstupnímu proudu. K využití této zbytkové energie se používají zařízení pro převedení zbytkového tlaku na vstup – **rekuperace tlaku**, respektive vstupní energie. Existuje mnoho způsobů rekuperace, které se zařazují na různá místa v celém systému reverzní osmózy. Rekuperace se uplatňuje v úpravách velkého rozsahu a v největší míře u odsolování mořské vody, kde jsou pracovní tlaky značné.

Odsolování mořské vody je prakticky nejrozšířenějším využitím reverzní osmózy, a proto se věnuje hodně pozornosti maximálnímu zvýšení efektivity a snížení nákladů celého procesu, tedy ceny 1 m³ vyrobené pitné vody. Je snaha o maximální využití vložené energie. Koncentrace solí v mořské vodě způsobuje její vysoký osmotický tlak oproti sladké vodě. Při odsolování mořské vody je nutné použít pracovní tlak nástřiku 54–80 bar, u brakických vod je to 15–25 bar. Zbytkový tlak koncentrátu je vysoký a díky jeho rekuperaci se výrazně zvýší účinnost celého procesu. S využitím rekuperace tlaku se udává účinnost odsolovacích zařízení až 95 % (MILLER, 2003).

- Systém rekuperace energie DWEER, který je instalován například v odsolovací úpravě vody v Ashkelonu v Izraeli, je schopen zvýšit účinnost až na 97 %. Koncentrát odchází z membrány pod vysokým tlakem a díky systému přepínacích ventilů pohání dva písky, které střídavě nasávají vstupní vodu. Předtlakovanou vstupní vodu přivádí pomocné čerpadlo na vstup membrány k hlavnímu nástřiku z tlakového čerpadla. Tím se snižuje množství potřebné energie pro tlakové čerpadlo (DWEER, 2004).
- Systém rekuperace energie ERI – PX je inovativní technologie, která také výrazně snižuje množství potřebné energie při odsolování mořské vody. Dochází k rekuperaci tlaku koncentrátu z membrány na zvýšení tlaku vstupní nástřikové vody. Srdcem

rekuperačního modulu PX je rotor uložený v hydrodynamickém ložisku, které je prakticky bez tření. Rotor je vyroben z keramického materiálu, který je odolný vůči chemikáliím, je mnohokrát tvrdší než ocel a nekoroduje. Ložiskové uspořádání je průběžně mazáno protékající mořskou vodou, nevyžaduje žádnou údržbu a neopotřebovává se. Jedná se v současné době o nejúčinnější zařízení pro rekuperaci energie při odsolování mořské vody reverzní osmózou. Systém PX je schopen snížit náklady na energii až o 60 % (ERI, 2010a), čímž se dostáváme na celkovou účinnost 98 % (STOVER, 2006).

Obrázek 7. Princip rekuperace tlaku koncentrátu s použitím systému ERI – PX



Zdroj: ERI, 2010b; upravil JB

- Systém rekuperace energie FEDCO – HPB poskytuje optimální rovnováhu mezi využitím energie ze zbytkového tlaku koncentrátu, pořizovacími náklady, spolehlivostí a jednoduchostí použití (FEDCO, 2009).
- Využitím peltonovy turbíny získáme rotační kinetickou energii. Turbína je roztáčena přivedením tlakového koncentrátu z membrány na její lopatky. Hřídel turbíny je spojená s rotorem tlakového čerpadla vstupní vody, které pak spotřebovává méně energie. Účinnost bývá maximálně 79 % (STOVER, 2006).
- Systém rekuperace energie Turbocharger je podobný peltonově turbíně, avšak rotační kinetická energie vznikající pohonem turbíny zvyšuje tlak vstupní vody za tlakovým čerpadlem. Tlakové čerpadlo se navrhuje s menším výkonem, což způsobí snížení energetických nároků. Účinnost je vyšší než při použití peltonovy turbíny, ale dosahuje pouze 80 % (STOVER, 2006).

2.6 Využití RO při úpravě vody pro kultivaci rostlin

Většina rostlin přijímá své potřebné množství vody kořenovým systémem z půdy (terestrické rostliny). Zdrojem půdní vlhkosti jsou v největší míře atmosférické srážky, nejvíce déšť. Kořeny aktivně nasávají vodu z půdy díky osmotickému potenciálu buněk v rostlinném těle. Některé rostliny však mohou přijímat vodu i průduchy na stoncích, listech a dalších nadzemních orgánech (například epifytní rostliny). Zde bývají zdrojem vody i mlha a rosa, která je kondenzátem vzdušné vlhkosti (HENDRYCH, 1984). U dlouhodobé kultivace (pěstování) rostlin musíme zajistit, aby voda, kterou rostliny zaléváme, neovlivňovala substrát a nedocházelo k jeho znehodnocení. U rostlin, které přijímají vodu i jinými orgány, nedocházelo k jejich zasolování a ucpávání průduchů.

Při úpravě vody reverzní osmózou není možné vyrobenou vodu (permeát) použít na závlivku rostlin přímo, protože demineralizovaná voda je pro živé organismy škodlivá. Měrná vodivost permeátu se pohybuje v jednotkách $\mu\text{S}/\text{cm}$, obvykle 2–5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Permeát tedy musíme před použitím buď remineralizovat nebo naředit na požadovanou koncentraci solí, respektive měrnou vodivost.

V závislosti na konkrétních podmínkách se používá **zpětné ředění permeátu** buď s předupravenou vstupní vodou, nebo s menším množstvím koncentráту z reverzní osmózy. V praxi častěji používané, například u úpravené pitné vody, je ředění permeátu s předupravenou vstupní vodou (KUTAL, 2007). Je však nutné zajistit buď konstantní tlak vstupní předupravené vody, nebo instalovat regulační systém, který bude stejný poměr ředění zajišťovat. V případě, že tlak vstupní předupravené vody kolísá, bude docházet ke změně ředícího poměru a kvalita výstupní vody bude proměnlivá. Pak je nutné použít zpětné ředění vyrobeného permeátu s koncentrátem z reverzní osmózy. Konstantní tlak v celé soustavě reverzní osmózy udržovaný tlakovým čerpadlem zaručuje stabilní poměr ředění. Tímto způsobem dosáhneme stejné kvality vody použitím menšího množství koncentráту než předupravené vody.

Reverzní osmóza odstraňuje z vody 95–99 % veškerého znečištění, ale neodstraňuje plyny. Koncentrace CO_2 , který je obsažen při použití pitné vody, zůstává stejná ve vstupní vodě i v permeátu. Rozpuštěný CO_2 , disociovaná kyselina uhličitá H_2CO_3 , ovlivňuje výsledné **pH permeátu**, které je kyselé a jeho hodnota je pH 7–5 (HÜBNER, 2006).

Využití reverzní osmózy najdeme například ve školkách a sklenících botanických zahrad, univerzit, soukromých pěstitelů, v zemědělství a rostlinné a okrasné produkci, v lesnictví nebo v laboratořích tkáňových kultur, kde se kromě závlivky využívá přímo permeát pro laboratorní práce a mytí skla.

2.6.1 Předúprava vody

Složitost a intenzita předúpravy záleží na původu a kvalitě vstupní vody a na použití dalšího čistícího procesu. Jednotlivé způsoby předúpravy se mohou kombinovat.

Při čištění pitných vod se nejčastěji používá sítková a svíčková předfiltrace, pískové filtry nebo často filtry se směsí křemenného písku a hydroantracitu. V současné době se již často místo křemenného písku a hydroantracitu používají zeolity, které mají výrazně lepší filtrační a adsorpční schopnosti. Jsou to krystalické hydratované alumosilikáty alkalických kovů a kovů alkalických zemin (ZEOPOL, 2010).

Vlivem tvrdosti vody by docházelo k zanášení čerpadel, rozvodů, ventilů a dalších částí, a výrazného snížení životnosti RO membrán. Proto se do předúpravy zařazují změkčovače. Používají iontoměniče s Na⁺ cyklem. Dochází k výměně iontů, vápníku Ca²⁺ a hořčíku Mg²⁺, které tvrdost způsobují, za ionty sodíku Na⁺.

Poslední stupeň bývá dechlorace aktivním uhlím.

2.6.2 Kvalita závlivkové vody

Posouzení kvality závlivkové vody se provádí z pohledu jejích fyzikálních, chemických a biologických vlastností. Z fyzikálních vlastností je nejdůležitější obsah rozptýlených nerozpustných látek a teplota vody. Biologické vlastnosti zahrnují obsah řas a dalších mikroorganismů. Nejvíce se však zaměřujeme na sledování chemických vlastností vody. Některá znečištění také zapříčiňují zanášení úpraven a zavlažovacích systémů a zkrácení jejich životnosti (ROBBINS, 2004).

Mineralizace neboli čistota vody a její pH ovlivňuje vlastnosti substrátu a následně podmínky pro růst rostlin a možnost přijímání živin z půdy. Při dlouhodobém používání nekvalitní závlivkové vody často dochází ke zvyšování koncentrace solí v substrátu a jeho zasolení. To způsobuje nasycení jeho sorpčního komplexu, jeho znehodnocení a často i změnu pH. Rostliny nejsou schopny z takového substrátu přijímat živiny a časem se pro ně stává toxický.

K posouzení kvality závlivkové vody používáme měrnou vodivost, která odpovídá množství ve vodě rozpuštěných látek a dalších nečistot, a tedy čistotě vody, respektive její mineralizaci.

Pro úspěšnou kultivaci rostlin se snažíme co nejvíce přiblížit kvalitě vody srážkové, a to nejlépe kvalitě vody z oblastí, ze kterých kultivované rostliny pochází, kde však voda bývá velmi málo mineralizovaná. Různé rostliny mohou být na kvalitu vody různě citlivé.

Kvalita srážkových vod není ve všech oblastech shodná a v mnoha místech, zejména s významnou průmyslovou činností, bývá často znečištěna emisemi. Její čistota nemusí být dostatečná. Globální přenos vzduchových mas prakticky vylučuje existenci regionu, kde by

kvalita srážkové vody nebyla ovlivněna lidskou činností. V blízkosti průmyslových oblastí, které jsou vybaveny účinnými zařízeními na čištění odpadních plynů, může být dlouhodobě kvalita srážkových vod relativně uspokojivá, ale hrozí zde riziko náhlé kontaminace vlivem úniku škodlivých látek, například při havárii. Může také dojít k průniku znečištěného vzduchu nasyceného škodlivými látkami na velkou vzdálenost od průmyslových center. Proto je při použití srážkové vody nutné průběžně měřit kvalitu vody a v případě jejího zhoršení nebo nedostatku, je nutné zajistit náhradní dodávku vody pro závlivku, například úpravu vody reverzní osmózou z jiného zdroje.

Při použití zdrojů podzemních vod je nutné část vody demineralizovat a tu pak zpětně míchat se zdrojovou vodou, abychom dosáhli požadované čistoty, případně snížení nežádoucích látek na dostatečnou úroveň.

Kromě měrné vodivosti je další významné kritérium kvality závlivkové vody její pH, které také ovlivňuje dostupnost živin v substrátu. Rostliny jsou k hodnotě pH závlivkové vody, respektive substrátu, méně nebo více tolerantní a obecně lépe snáší kyselou reakci. Pomineme-li karbonátové půdy a minerálně bohaté substráty, tak tropické rostliny deštných lesů jsou většinou acidofilní, naopak xerofytní společenstva aridních oblastí jsou více bazifilní nebo případně halofytní.

V případě, že se jedná o rostliny, které jsou na změnu pH příliš citlivé, můžeme jako poslední stupeň úpravy vody, tedy za reverzní osmózu, zařadit ještě úpravu pH.

Z toho vyplývá potřeba úpravy vody v diferencované kvalitě pro různé typy rostlinných kultur jak po stránce její mineralizace, tak po stránce pH.

Rozdílná kvalita upravené závlivkové vody, a tedy její rozdílná měrná vodivost, se řeší různými poměry ředění vyrobeného permeátu. Například v kultivačních místnostech tkáňových kultur, kde jsou rostliny na živných půdách ve sterilním prostředí, budou jistě přísnější požadavky než v pěstebních sklenících, kde jsou rostliny umístěny v květináčích nebo ve volném substrátu, případně jsou pěstovány hydroponicky.

Požadavek na rozdílné pH závlivkové vody se často nahrazuje pouze změnou skladby substrátu, respektive přidáním okyselujících (acidifikačních) nebo alkalizačních (bazifikačních) složek, například kyselá rašelina nebo mletého vápence.

Při hodnocení kvality vody se můžeme také setkat s pojmem tvrdost vody. Toto kritérium je však pro hodnocení kvality závlivkové vody z odborného hlediska nedostatečné. Ke změkčování tvrdé vody se nečastěji používají iontoměniče, ve kterých dochází k výměně iontů vápníku Ca^{2+} a hořčíku Mg^{2+} , které tvrdost způsobují, za ionty sodíku Na^+ . Koncentrace solí zůstává ve změkčené vodě stejná, navíc větší obsah sodíku po iontové výměně je pro rostliny mnohem nebezpečnější než původní obsah vápníku a hořčíku. Voda musí být úpravou odsolena neboli demineralizována, nikoli změkčena.

2.6.2.1 Srážková voda v přírodních oblastech

V České republice se začaly v osmdesátých letech 20. století díky nárůstu spalování fosilních paliv při výrobě elektrické energie a tepla zvyšovat koncentrace oxidů síry a dusíku v emisích, které vedly ke značnému okyselení srážkových vod – ke vzniku tak zvaných kyselých dešťů. Došlo k poškození lesních porostů především v Krušných horách a v Krkonoších. Je zřejmé, že srážkovou vodu srovnatelné kvality by nebylo možné použít ani na zálivku. Až teprve s instalací odsiřovacích zařízení došlo ke snížení emisí SO₂ a NO_x a zlepšení kvality ovzduší a srážkových vod. V roce 2008 bylo například v Krkonoších, lokalita Mísečky, průměrné pH srážkové vody 4,99 a na Šumavě, lokalita Zdíkov – Na lizu, průměrné pH 4,77 (ČHMÚ, 2008a).

Část srážek je zachycena v ekosystému, zejména v půdě a část odtéká jako povrchová voda. Stykem s půdou a horninami je kyselá srážková voda částečně neutralizována, například díky uvolňování kationtů výměnného sorpčního komplexu, a je podle horninového složení více či méně obohacovaná různými solemi. Podle kontaktu s půdou či horninami lze obecně tvrdit, že nejvíce solí obsahují podzemní vody, méně povrchové a nejméně vody srážkové.

Srážková voda v zimním období padá v pevném stavu anebo se dodatečně mění na led. Povrchové vody ledovcového či sněhového původu bývají často velmi slabě mineralizované. Mohou to být i mělké podpovrchové a puklinové vody, které se na povrch dostávají suťovými nebo puklinovými prameny. Zvýšená mineralizace se projevuje u vod, které přichází do styku s lehce erodovatelnými horninami, například sopečnými tufy (JÁNSKÝ, 2004).

Tabulka 1. Srovnání měrné vodivosti a pH srážkové vody v různých oblastech

Druh vody	Název lokality a rok měření	Měrná vodivost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH [-]
Podzemní voda	Haltýř 2005	769,0	7,41
Pitná voda z řadu	Želivka 2000	344,2	8,28
Povrchová voda	Vltava 2000	262,0	-
Srážková voda	Krkonoše 2008	16,9	4,99
Srážková voda	Šumava 2008	13,1	4,77
Srážková voda	Malajsie 2008	-	4,8–5,2
Srážková voda	Chile 2000	7,0	4,58
Puklinová voda	Apacheta 2000	4,4	-

Zdroj (pořadí podle řádků od shora): ECOCHEM, 2005; PRAHA-ŽP, 2000a; PRAHA-ŽP, 2000b; ČHMÚ, 2008b; ČHMÚ, 2008a; MMD, 2008; GREGORI, 2000; JANSKÝ, 2004

2.6.2.2 Použití srážkové vody pro zálivku

Po instalaci účinných odsiřovacích a dalších čistících zařízení tepelných elektráren, tepláren a ostatních producentů exhalací se v posledních deseti letech kvalita srážkových vod v České republice velmi zlepšila. Například v Praze Podbabě se v letech 1990 až 2006 měrná vodivost srážkové vody pohybovala přibližně od 25 do 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a pH od 4 do 6 (ENVIS, 2007).

Použití srážkové vody pro zálivku lze jednoznačně doporučit, je však nutné průběžně sledovat její kvalitu, aby nedošlo k poškození choulostivých rostlinných kultur. Důležité je sledovat pH, které je nejvíce proměnlivé. Při jeho významné změně musíme před použitím najímané srážkové vody provést úpravu pH.

Může se však stát, že dojde k náhlému zhoršení kvality srážkové vody, zvláště v blízkosti zdrojů znečištění ovzduší, a pak musíme využít alternativní zdroj vody o požadované čistotě. Problémem jsou také sezónní srážkové úhrny, zásoba najímané vody nemusí stačit na delší období bez srážek. V případě zhoršení kvality nebo nedostatku srážkové vody můžeme použít jako alternativní zdroj reverzní osmózu buď k naředění, nebo k doplnění zásoby zálivkové vody.

Na jímání dešťové vody je potřeba vhodná nádrž. Otázkou je její optimální velikost. Větší nádrž je sice schopna pojmout větší množství najímané srážkové vody, ale její pořízení nebo stavba bude investičně náročnější. Při návrhu velikosti jímací srážkové nádrže se

vychází z měsíčních srážkových úhrnů v dané lokalitě a předpokládané spotřeby vody na zálivku. Je samozřejmě možné použít i úhrny za kratší období, například dekády.

Zachycená srážková voda obsahuje mnoho hrubých nečistot, které musíme před použitím z vody odfiltrovat, například hrubou předfiltrací a následně jemnou pískovou filtrací. V některých případech se používá druhá nádrž pro přečerpávání a zásobu přefiltrované vody. Tato druhá nádrž může mít menší kapacitu, protože je dostatečné filtrovat takové množství vody, které bude tvořit zásobu pouze na několik dní. Doplňování zálivkové vody z reverzní osmózy se pak provádí do nádrže s přefiltrovanou vodou.

V případě dostatku srážek a velké zásoby srážkové vody může naopak nastat stav, kdy není reverzní osmóza v provozu delší dobu, například několik týdnů. Delší odstávka úpravný není vhodná, ať už z technických důvodů nebo proto, aby v zařízení nedocházelo k biologickému zarůstání. V takovém případě musíme provádět pravidelný hygienický proplach a s ohledem na velikost úpravný nechat zařízení v provozu po nějakou dobu, přibližně několik hodin jednou až dvakrát týdně.

2.6.2.3 Komplexní parametry zálivkové vody

Při dlouhodobých kultivacích a pečlivějším sledování stavu rostlin a kvality substrátu je nutné kromě základních chemických kritérií, kterými jsou elektrická vodivost a pH, použít komplexnější parametry k posuzování kvality zálivkové vody. Sleduje se množství konkrétních prků (iontů) a sloučenin nebo poměr množství nějaké látky k množství jiných látek.

Nejpřísněji jsou sledována hlavně množství sodíku Na, chlóru Cl, železa Fe, bóru B, fluóru F, zinku Zn a mědi Cu. Ty ve vyšších koncentracích působí negativně buď na substrát, nebo toxicky přímo na rostliny. Sodík spolu s vápníkem a hořčíkem způsobuje zasolení substrátu, postupnou změnu pH a snižuje proudění tekutin v rostlinném těle díky změně osmotického tlaku, případně může způsobit popálení listů. Chlór je ve větších koncentracích pro rostliny toxický a často se jeho vysoké množství vyskytuje s vysokým množstvím sodíku díky přítomnosti chloridu sodného NaCl. Výskyt železa způsobuje změnu zbarvení orgánů rostlin, toxické jsou až velmi vysoké koncentrace. Vysoký obsah bóru je většinou spojen se složením substrátu a jeho zásadité reakci. Při vyšších koncentracích způsobuje poruchy růstu rostlin. Některé rostliny jsou velmi citlivé dokonce na nízké koncentrace fluoru (ROBBINS, 2004).

Vysoká koncentrace sodíku způsobuje poškození struktury substrátu, snížení vzdušnosti, nasycení jeho sorpčního komplexu, až jeho znehodnocení. Vztah mezi množstvím sodíkových iontů Na^+ a množstvím iontů vápníku Ca^{2+} a hořčíku Mg^{2+} vyjadřuje sodíkový adsorpční poměr neboli „sodium adsorption ratio“ (SAR).

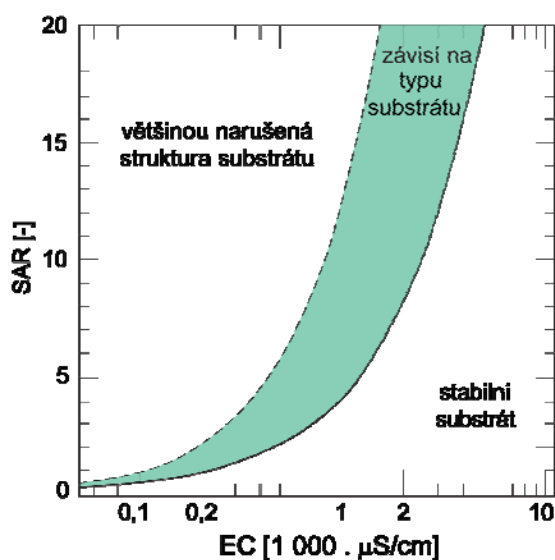
Vzorec 3. Výpočet sodíkového adsorpčního poměru

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

- SAR* sodíkový adsorpční poměr [-],
Na⁺ obsah sodíkových iontů [meq/l],
Ca²⁺ obsah vápníkových iontů [meq/l],
Mg²⁺ obsah hořčíkových iontů [meq/l].

K hodnocení kvality závlivkové vody se pak používá grafické znázornění vztahu měrné vodivosti vody a SAR (DERM, 2009) nebo procentního zastoupení sodíku (JOHNSON, 2003). Při větších vodivostech a nižších SAR je obecně závlivková voda kvalitnější a substrát stabilnější (DERM, 2009).

Obrázek 8. Vliv měrné vodivosti (EC) a SAR závlivkové vody na stabilitu substrátu



Zdroj: (DERM, 2009), strana 1; upravil JB

2.6.3 Dodávání živin

Závlivková voda vyrobená reverzní osmózou neobsahuje žádné živiny a jejich zásoba v půdě se časem vyčerpá nebo v případě hydroponie není žádná. Živiny musíme rostlinám dodávat. Živiny se mohou dodávat přímo do substrátu. Pak se používají pevná vícesložková anorganická, organická nebo kombinovaná hnojiva, nejčastěji s pozvolným uvolňováním

živin, nebo kapalná hnojiva. Používají se také hnojiva, která jsou určena pro závlivku na list (listová hnojiva), která jsou velmi vhodná pro epifytní rostliny.

Kapalná hnojiva se vyrábějí ve formě koncentrovaných roztoků. Ty se před aplikací ředí do závlivkové vody na roztoky s koncentrací hnojiva v desetínách nebo jednotkách procent.

Aplikace listových hnojiv se v závlahových systémech provádí automatickým dávkováním méně koncentrovaného roztoku do závlivkové vody. Do závlahového systému se zařazují automatické průtokové dávkovače. Umožňují nastavení výstupní koncentrace hnojiva, nebo jiného kapalného přípravku, kterým chceme rostliny ošetřit. Například průtokový dávkovač Dosatron umožňuje nastavit koncentraci od 0,07 do 20 % a vyrábí se v různých velikostech od minimálního průtoku závlivkové vody 10 l/hod až do 60 m³/hod (AGROTHERM, 2007).

2.6.4 Potřeba množství závlivkové vody

Výpočet potřeby závlivkové vody se skládá ze zjištění ploch jednotlivých plánovaných typů rostlinných kultur. U každé plochy se určí jejich požadavek na závlivku – množství vody na plochu za časové období. Zjištěné údaje s požadavky na intenzitu závlivky se vynásobí a dostaneme tak celkový požadavek na množství závlivkové vody za období. S ohledem na požadavky závlivkové vody se navrhuje kapacita zavlažovacího systému a typ a vydatnost závlahových detailů. Závlivka rostlin musí být také pravidelná s vhodným intervalem v závislosti na typu rostlinné kultury a aktuálních klimatických podmínkách.

Stanovení potřeby závlivkové vody při navrhování závlahových zařízení a staveb specifikuje norma ČSN 75 0434 „Potřeba vody pro doplňkovou závlahu“ (ČSN 75 0434).

2.7 Ekonomické faktory úpravy vody RO pro závlivku rostlin

Výsledná kvalita – čistota, mineralizace – upravené závlivkové vody velmi úzce souvisí s ekonomickou stránkou provozu, protože čím požadujeme čistší vodu, tím jsou náklady na její výrobu vyšší. Samozřejmě jsme schopni vyrobit vodu s měrnou vodivostí, která bude stejná jako je měrná vodivost srážkové vody ve vybraných lokalitách, dokonce můžeme výslednou kvalitu plynule měnit za provozu. Ekonomickou stránku úpravy vody je však vždy nutno zohlednit a vždy je to kompromis mezi požadovanou kvalitou vody a jejími výrobními náklady.

Východiskem pro zjištění ekonomických faktorů je vždy množství vyrobené závlivkové vody konkrétní čistoty, tedy měrné vodivosti, ke kterému vztahujeme všechny náklady na její výrobu.

2.7.1 Vliv konverze na ekonomiku provozu

Výtěžnost permeátu neboli konverze se týká zejména vlastní reverzní osmózy, případně včetně zpětného ředění nebo míchání s předupravenou vodou. Udává množství získaného permeátu z množství vstupní vody. Snahou samozřejmě je, aby byla konverze co možná nejvyšší, a vstupní vodu jsme využili v co největší míře, a její úprava byla co nejefektivnější. Při stupňovitém řazení modulů reverzní osmózy a recyklace části koncentrátu zpět na vstup se v dnešní době dosahuje konverze až 80 %, což však při udržení uspokojivých hydraulických poměrů a dostupné kvality vstupní vody bývá maximum (HÜBNER, 2006).

Vstupní voda představuje také náklad a její cena závisí na použitém zdroji, v případě použití pitné vody, je její cena významnou položkou při výpočtu provozních nákladů. Například při konverzi 50 % musíme předupravit dvojnásobné množství vstupní vody a výsledná upravená voda bude mít minimálně dvakrát vyšší cenu než voda vstupní.

2.7.2 Skladba nákladů úpravny vody RO

Úprava vody se skládá z mnoha stupňů od jímání surové vody, přes její dopravu a různě složitou předúpravu až po reverzní osmózu. Následně případné doupravy vyrobené vody a jímání konečného produktu. Všechny tyto stupně je nutné do nákladů započítat.

Náklady na úpravu se vždy skládají z investičních a provozních nákladů. Investiční náklady zahrnují vyhodnocení vhodnosti a výběr způsobu úpravy, projektové práce, stavební a technologickou přípravu pro instalaci a dodávku úpravny vody. Provozní náklady představují spotřebu chemikálií, energií a materiálu, a pravidelnou údržbu celé úpravny při vlastní výrobě vody s požadovanou kvalitou.

Úpravna vody má také svojí přepokládanou životnost. Obsahuje součásti, u kterých se přepokládá krátkodobá životnost a jejich pravidelná výměna, například po několika měsících. Tyto součásti označujeme jako spotřební materiál a frekvence jeho výměny souvisí s kvalitou vstupní vody. Nejčastěji to bývají vložky do filtrů, případně různá média do iontoměníčů a dalších dílčích stupňů celé úpravny.

Nejdůležitější částí reverzní osmózy jsou membránové elementy. Jejich životnost je také omezená a závisí především na kvalitě vstupní vody a účinnosti předúpravy. Předpokládaná životnost bývá několik let.

Dlouhodobá životnost se předpokládá u mechanické konstrukce, vodních rozvodů, ventilů, čerpadel, měřidel, tlakových nádob, elektroinstalace, řídicí elektroniky a dalších součástí. Porucha těchto dílů se přepokládá výjimečná a jedná se o havarijní stav.

2.7.2.1 Investiční náklady

Jednorázové celkové výdaje na zprovoznění úpravný vody danou technologií zahrnujeme do investičních nákladů. Zásadní vliv na investiční náklady je kapacita zařízení, tj. požadované množství upravené vody. Udává se v objemových jednotkách za konkrétní dobu, například l/h nebo m³/h. Investiční náklady výrazně ovlivňuje kvalita vstupní vody a předpokládaná kvalita výstupní vody – rámcový rozsah nebo přesná hodnota měrné vodivosti. Náklady investičního charakteru také zahrnují vlastnosti místa, kam bude úpravna instalována, včetně projekčních a přípravných stavebních a instalačních prací a složitost regulačního systému – měření a regulace, případně integrace řízení a sledování úpravný do již existujícího monitorovacího systému.

Podstatnou část investice tvoří části úpravný s dlouhodobou životností a membránové elementy a moduly. Výměna částí s dlouhodobou životností se předpokládá pouze v případě havárie a do provozních nákladů se jejich výměna nezapočítává, ale je možné si vytvářet finanční rezervu na odstranění havarijních stavů. Výměna membránových elementů se zahrnuje do provozních nákladů, i když jejich životnost bývá několik let.

2.7.2.2 Provozní náklady

Průběžné a pravidelné výdaje spojené s množstvím upravené vody, respektive vyrobené zálivkové vody, tvoří provozní náklady. Do nich zahrnujeme části úpravný s krátkodobou životností a jejich pravidelnou, často výrobcem předepsanou, výměnu. Základní sada těchto částí a provozního materiálu je již součástí investičních nákladů, aby bylo možné úpravnu předat plně funkční. Patří sem však také spotřeba vstupní vody bez ohledu na její zdroj a spotřeba energie, nejčastěji elektrické, na pohon tlakových čerpadel.

Provozní náklady zahrnují mnoho faktorů a jejich povaha a četnost je rozdílná, rozdělujeme je proto do několika základních skupin:

- spotřeba vstupní vody,
- spotřeba energie – nejčastěji elektrická,
- spotřeba chemikálií,
- spotřební materiál krátkodobý – filtrační vložky,
- spotřební materiál dlouhodobý – membránové elementy RO,
- spotřební materiál dlouhodobý – náplně médií v různých stupních úpravný,
- odstranění vzniklých odpadů,
- servisní práce při pravidelné údržbě zařízení.

Při pravidelné údržbě dochází k plánované odstávce, kterou je nutné zohlednit zejména u náročnějších provozů. Při návrhu zařízení je proto nutné brát v úvahu četnost a dobu

trvání odstávek. V případě, že je odstávka pro plánovaný provoz kritická musí se při návrhu počítat s redundancí neboli zdvojením některých částí, případně celé úpravný.

2.7.3 Celkové náklady na úpravu vody pro zálivku

Podmínka pro správné vypočtení celkových nákladů provozu reverzní osmózy je vztahení ke konkrétní kvalitě – měrné vodivosti – upravené vody. Vypočteme pak průměrnou cenu objemového množství upravené vody o dané kvalitě. Často také předpokládáme spotřebu upravené vody za nějaké období, například za rok. Pak můžeme vypočítat průměrné náklady na roční spotřebu upravené vody. Tento ukazatel je objektivní a ekonomicky akceptovatelný například při sestavování finanční rozpočtu.

2.8 Vliv kvality vody na kultivaci rostlin

Jednotlivé rostliny mají různé edafické i hydrické nároky, které mohou být posuzovány různými metodami. Například Ellenbergovy bioindikační hodnoty jednotlivých rostlinných druhů jako pH, obsah dusíku v půdě a další (ELLENBERG, 1979) charakterizují jejich ekologické nároky. Následně se dají používat například jako fytoindikace některých vlastností prostředí.

Kvalita zálivkové vody má na rostliny prokazatelný vliv, ovšem jeho míra není na první pohled jednoznačná. Aby bylo možné zjistit intenzitu vlivu použité vody, je nutné založit pokusnou rostlinnou kulturu a rozdělit ji na rovnocenné skupiny rostlin. Skupiny se pak zalévají vybranými typy vody a po určité době se provede vyhodnocení, které bude popisovat zjištěné rozdíly mezi rostlinami, případně také rozdíly mezi substráty.

Důležité je při tom vhodně zvolit druhy rostlin a kultivační období a podmínky. Je nutné vyloučit působení ostatních vlivů na rostliny, aby byl vliv kvality vody prokazatelný. Kultivační období by mělo být dostatečně dlouhé, aby se vliv vody projevil jak na rostlinách, tak i na substrátu. Může to být několik měsíců nebo také několik let.

Je možné provést přípravu typů vody tak, aby obsahovaly konkrétní látky v daném množství, pak můžeme přesně posoudit intenzitu vlivu konkrétní látky.

Podstatná je také volba substrátu, protože ten může obsahovat základní množství různých látek, například živin. Vliv zálivkové vody je pak hůře nebo není vůbec prokazatelný.

Vyhodnocení vlivu kvality vody se provádí spolu s posouzením obsahu jednotlivých látek ve vybraných typech vody.

Tento metodický postup může být při systematickém uspořádání použit například ke zjišťování vlivu různých škodlivých látek, případně jejich množství nebo kombinace, na jednotlivé rostlinné druhy, populace nebo celá společenstva.

3. Praktická část

3.1 Zálivková voda v tropickém skleníku Fata Morgana

V tropickém skleníku Fata Morgana (FM) v Botanické zahradě hl. m. Prahy v Tróji se k úpravě vody pro zálivku rostlin v expoziční části i v zázemí používá reverzní osmóza již od roku 2006. Zdrojem vody je pitná voda z vodovodního řádu. Měrná vodivost zálivkové vody je nastavena na 75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a tato hodnota se dlouhodobě pohybuje v toleranci $\pm 20\%$. Přesná hodnota měrné vodivosti z chemického rozboru z února roku 2010 je 93,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a pH zálivkové vody je 7,32 (ALS, 2010).

3.2 Popis konkrétní úpravny vody RO pro kultivaci rostlin

Pitná voda v tropickém skleníku Fata Morgana nespĺňovala požadovaná kritéria, zejména obsah solí, respektive hodnotu měrné vodivosti, pro dlouhodobou zálivku pěstovaných rostlin. Úpravna vody s reverzní osmózou byla instalována firmou GORO, spol. s r.o. v květnu roku 2006 a skládá se ze dvou nezávislých jednotek GORO MID 1000. Úpravna je navržena na maximální využití vstupní pitné vody a jmenovitá produkce upravené vody je 1 500 l/hod při teplotě vstupní vody 5 °C. Skládá se z předúpravy a vlastních jednotek reverzní osmózy.

Předúprava se skládá z filtru s hydroantracitem a křemenným pískem, zdvojeným změkčovačem (iontoměníč) a z dechlorace s aktivním uhlím.

Těsně před reverzní osmózou je zařazena zásobní nádrž, která eliminuje kolísání přítoku předupravené vody a paralelní zdvojená svíčková předfiltrace 5 μm .

Obě jednotky reverzní osmózy používají vlastní zdroj tlaku, kterým je čerpadlo Grundfos CR3-29 s příkonem elektrické energie 3 kW (GORO, 2005, GORO, 2006). Každá z jednotek obsahovala v době instalace 4 membránové moduly, tedy celkem 8 kusů. Vzhledem k nedostatečnému příkonu pitné vody bylo změněno uspořádání a v současné době je v provozu pouze 6 modulů (GOLDMAN, 2010).

Hodnota měrné vodivosti permeátu za reverzní osmózou je u první jednotky do 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a u druhé do 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Požadovaná měrná vodivost výstupní namíchané vody a její stabilita je zajištěna zpětným přimícháváním koncentrátu o konstantním tlaku s vyrobeným permeátem. Přesný poměr se nastavuje jehlovým ventilem. Výsledná kvalita vody za úpravou, a tedy její měrná vodivost se pohybuje v rozmezí 60–90 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Posledním prvkem úpravny je vířivý sítkový filtr, který promíchává obě složky (GORO,

2005, GORO, 2006). Výstupní upravená voda pro zálivku se jímá v zásobní nádrži skleníku, odkud se čerpá do zálivkového systému podle potřeby.

V roce 2010 byly obě jednotky reverzní osmózy připojeny k systému měření a regulace celého skleníku a díky tomu je požadovaná výstupní vodivost upravené vody přesně regulována elektronicky řízeným ventilem. Hodnota požadované vodivosti se nastavuje na osobním počítači ve vizualizaci systému měření regulace skleníku.

3.3 Náklady na provoz vybrané úpravy vody RO

Předmětem praktické části je vyčíslení provozních nákladů úpravy vody s reverzní osmózou. Investiční náklady jsou řádově ve stovkách tisíc Korun a cena se může u různých dodavatelů výrazně lišit, často také souvisí se složitostí použitých částí nebo celé sestavy. Typické je například použití regulační elektroniky, jejíž cena nebývá zanedbatelná.

Aby bylo možné vyčíslit náklady na provoz úpravy vody a zjistit cenu vyrobené zálivkové vody, je nutné mít k dispozici konkrétní údaje o spotřebě všech vstupů a jejich množství vztáhnout na jednotku vyrobené vody o stanovené kvalitě, respektive měrné vodivosti.

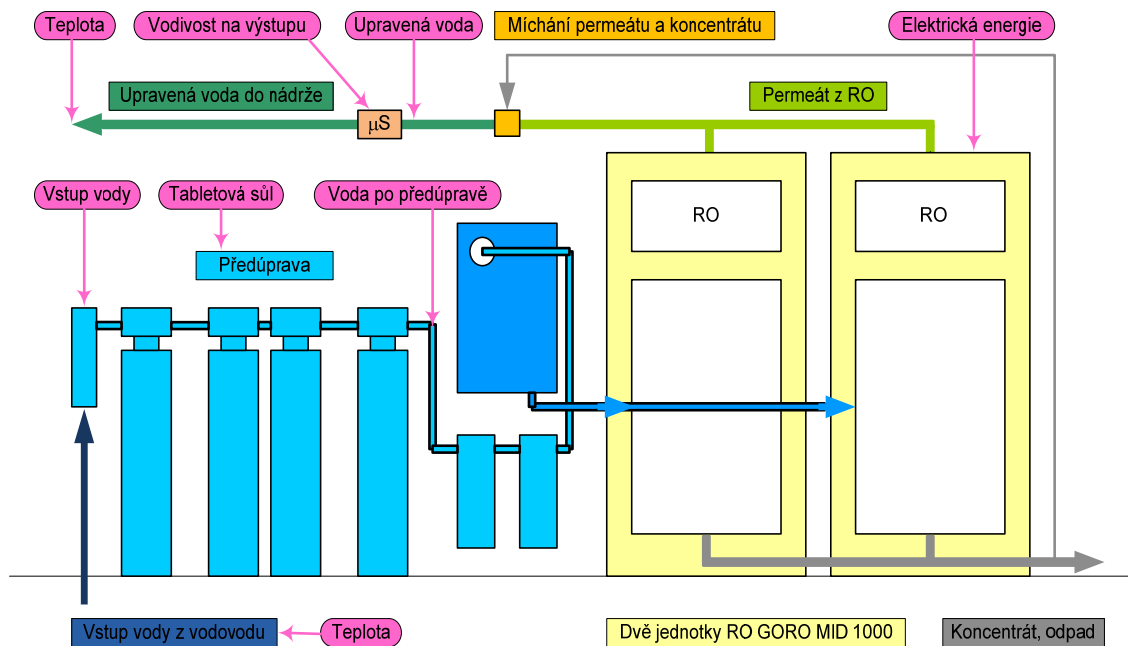
3.3.1 Definice měřících bodů a měřených veličin (měřící sestava)

Sledování provozu úpravy vody RO jsem provedl na popsané úpravě 2x GORO MID 1000 v tropickém skleníku Fata Morgana. Do systému úpravy jsem nechal nainstalovat podružná měřidla a stanovil jsem veličiny a konkrétní body měření v celém procesu úpravy vody, včetně četnosti odečtů.

Definoval jsem následující měřící body, které zahrnují předúpravu i reverzní osmózu včetně míchání produktů na požadovanou kvalitu zálivkové vody:

- stav spotřeby vstupní pitné vody z vodovodu [m^3] – A,
- stav množství předupravené vody za předúpravou [m^3] – B,
- stav množství upravené vody RO za mícháním [m^3] – C,
- aktuální vodivost namíchané vody [$\mu\text{S}/\text{cm}$] – D,
- spotřeba elektrické energie čerpadel RO [kWh] – E,
- množství doplněné tabletové soli NaCl na regeneraci změkčovače [kg] – F,
- teplota vstupní vody z vodovodu a upravené vody za mícháním [$^{\circ}\text{C}$].

Obrázek 9. Blokové schéma úpravny RO a celé měřicí sestavy, měřící body jsou vyznačeny růžovou barvou



Zdroj: GORO, 2005, strana 6 a 11; upravil JB

3.3.2 Období a četnost měření

Odečet hodnot pro zpracování a vyhodnocení provozu ve vybraném období jsem prováděl denně. Vybrané období zahrnuje také příkladné snížení výkonu reverzní osmózy a následnou nutnou výměnu membránových elementů z důvodu ukončení jejich životnosti.

V běžném provozu se odečet provádí vždy při pravidelné kontrole stavu tabletové soli NaCl, což je 3x za týden. Při hodnocení provozu úpravny za delší období, například za týden nebo za měsíc, je pak četnost odečtů dostačující.

Pro získání hodnot je možné také použít měřidla s pulzními výstupy a odečty zpracovávat automaticky regulačním systémem. Pak jednoduchým dotazem do systému okamžitě získáme průběžné hodnoty spotřeby nebo hodnoty za libovolně zvolené období.

3.3.3 Použitá měřidla

Spotřebu vody v definovaných místech měří tři vodoměry Gioanola DBRF/25 se jmenovitým průtokem Q_n 3,5 m³/h.

Celkovou elektrickou energii spotřebovanou tlakovými čerpadly obou reverzních osmóz měří elektroměr Applied Meters AMT B0C-SA4T. Spotřeba elektřiny pro předúpravu je velmi malá, protože je napájena pouze ovládací elektronika a řízení ventilů.

Tabletová sůl NaCl se dodává balená v pytlích s hmotností 25 kg. Počet doplněných pytlů soli jsem vynásobil 25 a získal jsem množství doplněné soli v kilogramech.

Aktuální hodnotu měrné vodivosti upravené vody měří panelový konduktometr Snail Instruments CM 32 s rozsahem 0–200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Teplota vody ve vodovodním řadu a v zásobní nádrži je automaticky pravidelně měřena regulačním systémem skleníku. Teplotní čidla jsou instalována do potrubních jímek nebo jako ponorná čidla v zásobní nádrži.

3.3.4 Odečty hodnot

Odečtené hodnoty spotřeby vody a elektrické energie jsem přepočítal na absolutní spotřebu za konkrétní období. Množství tabletové soli, které bylo doplněno je zapisováno v kilogramech a je to absolutní spotřeba, která odpovídá četnosti regeneraci ionexu, a tedy množství předupravené vody. Aktuální hodnotu měrné vodivosti upravené vody jsem odečítal pouze v době, kdy byla úpravna v provozu, aby byla naměřená hodnota objektivní. Interpretaci vztahu teploty vody ve vodovodním řadu a v zásobní nádrži jsem provedl z grafického zobrazení průběhu obou teplot ve vizualizaci systému měření a regulace skleníku (TLG-FM, 2010).

3.3.4.1 Snížení výkonu a sanace modulů RO

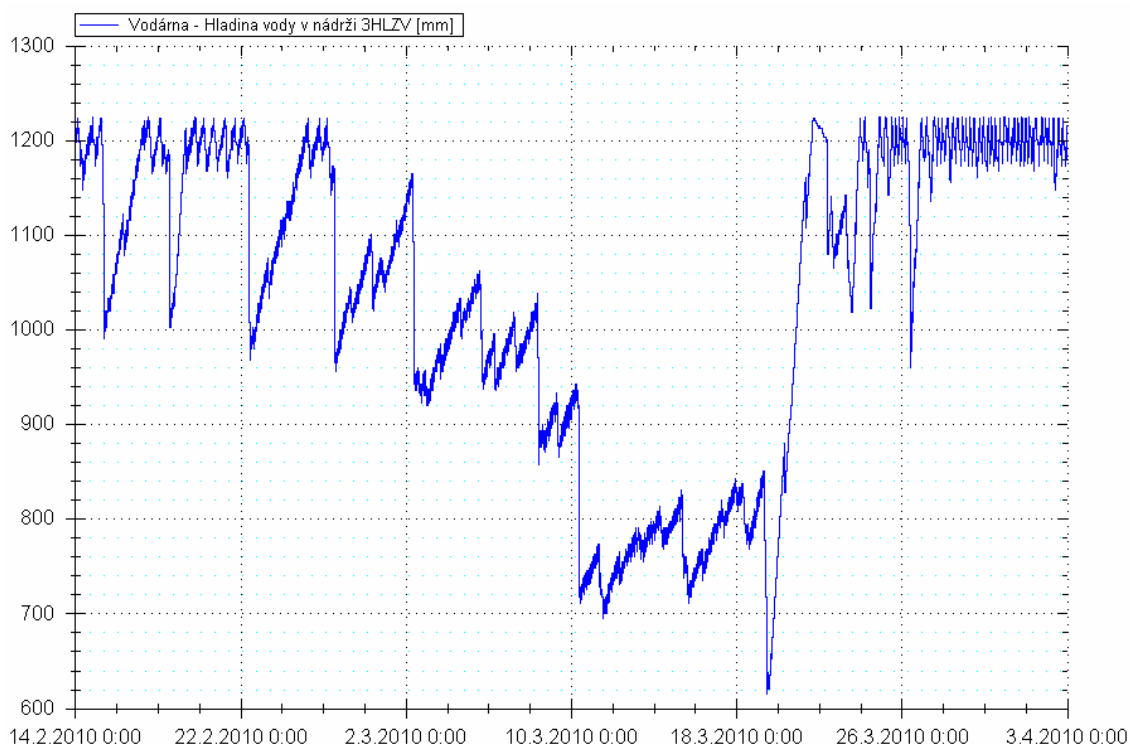
Při odečítání měřených hodnot, jejich průběžném vyhodnocování a kontrole hladiny upravené vody v zásobní nádrži jsem zjistil, že dlouhodobý stav výšky hladiny ke konci měsíce února 2010 výrazně klesá. Pokles byl způsoben snížením výkonu reverzní osmózy díky zanesení membrán, a tím zmenšení toku permeátu a množství upravené vody.

Se změnou ročních období a nárůstem venkovní teploty roste také intenzita větrání ve skleníku. Zvyšuje se potřeba zálivkové vody a díky nedostatečnému výkonu úpravy by mohlo dojít k jejímu nedostatku.

Při snížení výkonu reverzní osmózy se před rozhodnutím výměny membránových elementů, jejichž cena je poměrně vysoká, nejprve provádí jejich čištění – **sanace**.

Nejjednodušší je provedení oplachu elementů vstupní tlakovou vodou s otevřeným ventilem na koncentrátorové straně. Element není nucen k tlakové filtraci a všechny nečistoty, které je schopna tlaková voda uvolnit jsou odplaveny do odpadu.

Obrázek 10. Průběh výšky hladiny upravené vody v zásobní nádrži



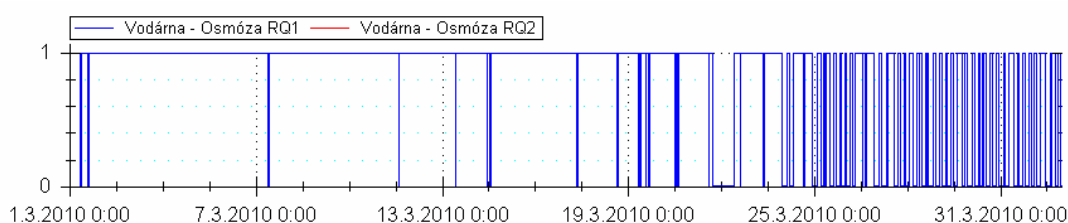
Zdroj: TLG-FM, 2010

Další a většinou úspěšné je propláchnutí elementů s použitím chemického čisticího, nejčastěji kyseliny. Je však nutné ověřit, zda není chemikálie příliš agresivní a nemůže dojít ke znehodnocení membrán. U syntetických membrán se k čištění často používá kyselina chlorovodíková HCl v koncentraci 1 %. Permeátový a koncentrátový vývod ze všech RO modulů se přivede zpět do nátokové nádrže pro tlakové čerpadlo reverzní osmózy a roztok kyseliny se nechá cirkulovat moduly 20–30 minut. Po uplynutí této doby se postupně odpouští část roztoku kyseliny z koncentrátové strany modulů a do nátokové nádrže se nechá přitékat vstupní předupravená voda. Kyselina se postupně vyplaví ze systému, až měrná vodivost permeátu klesne na původní hodnotu. Tento způsob sanace je schopen odstranit znečištění způsobené uhličitanovými solemi, které jsou kyselinou chlorovodíkovou HCl snadno rozpustné. U síranových solí nebo u látek reagujících s membránou je však neúspěšný. Účinnost propláchnutí se výrazně zvýší s použitím teplé vody (GOLDMAN, 2010).

Odborná servisní firma provedla dne 18. 3. 2010 nejprve propláchnutí modulů reverzní osmózy 1% roztokem kyseliny chlorovodíkové HCl. Sanace byla neúspěšná, protože látky obsažené ve vstupní pitné vodě způsobily vznik nerozpustných sloučenin na membránách

a jejich postupné zanesení a trvalé snížení jejich propustnosti – otravu membrán. Dne 23. 3. 2010 byly vyměněny všechny membránové elementy za nové. Opětovné navýšení výkonu úpravny je patrné z grafu. Protože je úpravna vody velmi vytížená, výrobcem deklarovaná životnost membránových elementů 4–5 let (GORO, 2005), se přiblížila méně příznivé variantě 4 roky.

Obrázek 11. Stav provozu jednotek reverzní osmózy, kde hodnota 0 znamená vypnuto a hodnota 1 znamená provoz



Zdroj: TLG-FM, 2010

Graf znázorňuje dobu provozu reverzní osmózy před a po výměně modulů dne 23. 3. 2010, kde před jejich výměnou byla reverzní osmóza prakticky nepřetržitě v provozu.

3.3.5 Výsledky měření a výpočty

Pro celkovou interpretaci naměřených hodnot jsem použil údaje odečítané při plném výkonu reverzní osmózy s novými membránovými elementy a jmenovité produkci upravené vody.

Z naměřených hodnot počítám množství spotřebovaných vstupů a konverzi reverzní osmózy při úpravě namíchané vody pro zálivku. Pro vyčíslení nákladů počítám spotřebu vstupů na jednotku upravené vody.

Tabulky odečtených a vypočítaných hodnot spotřeby jednotlivých vstupů jsou uvedeny v přílohách.

3.3.5.1 Výpočet konverze a spotřeby elektřiny při sníženém výkonu RO

Pro snížený výkon reverzní osmózy jsem spočítal pouze konverzi a množství spotřebované elektrické energie na jednotku upravené vody. Hodnoty jsem spočítal pro každý den odečtu.

Konverze je poměr množství namíchané vody pro zálivku k množství předupravené vody na vstupu reverzní osmózy. Průměrná hodnota konverze za sledované období je 56,8 %.

Průměrná spotřeba elektrické energie na 1 m³ upravené vody je 6,44 kWh/m³.

3.3.5.2 Výpočty hodnot při jmenovitém výkonu RO

Všechny výpočty a vyčíslení provozních nákladů jsem provedl z naměřených hodnot plného provozního výkonu reverzní osmózy. Spočítal jsem následující veličiny:

- konverzi reverzní osmózy při úpravě namíchané vody pro zálivku,
- množství elektrické energie na 1 m³ upravené vody,
- množství tabletové soli NaCl na 1 m³ upravené vody,
- množství vstupní vody z vodovodního řadu na 1 m³ upravené vody,
- množství odpadní vody na 1 m³ upravené vody.

Konverzi jsem spočítal pro každý den odečtu. Průměrná hodnota konverze za sledované období je 71,1 % při průměrném množství 19,08 m³ upravené vody za den.

Množství spotřebované elektrické energie na jednotu upravené vody jsem spočítal pro každý den odečtu. Průměrná spotřeba elektrické energie na 1 m³ upravené vody je 3,11 kWh.

Průměrná spotřeba tabletové soli NaCl na regeneraci změkčovače v předúpravě je 150 kg za týden, respektive 21,43 kg za den. Potřebné množství tabletové soli NaCl na úpravu 1 m³ namíchané vody je 1,12 kg.

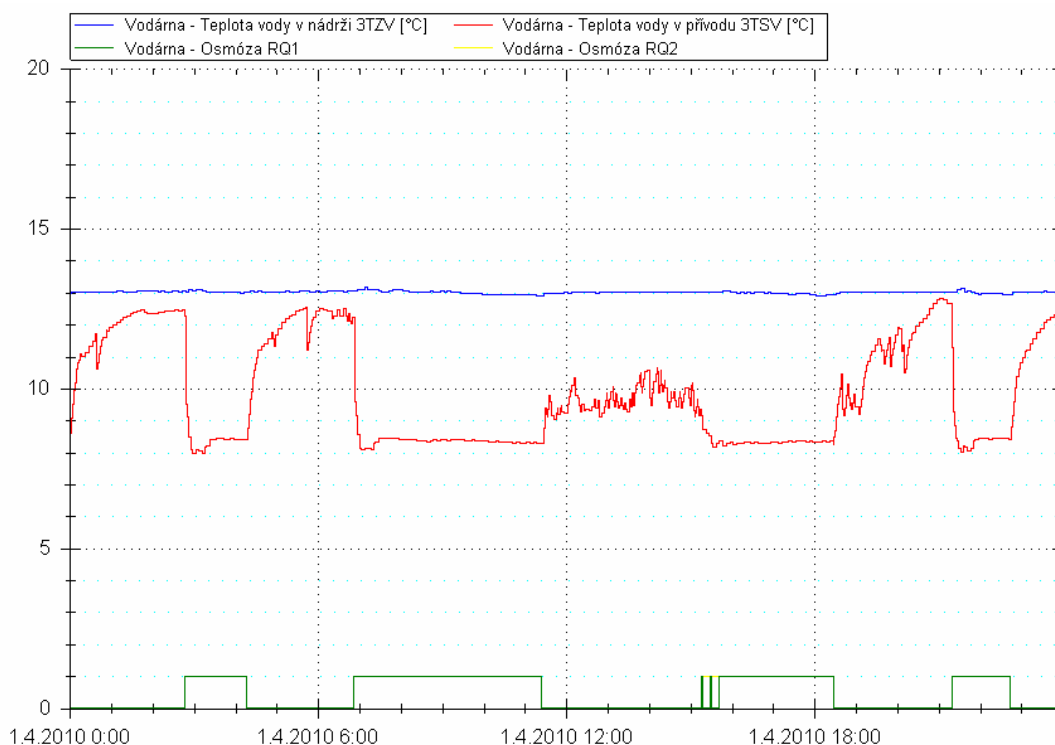
V předúpravě se spotřebuje část vstupní vody na regeneraci, další část vstupní vody odtéká do kanalizace ve formě koncentráту z reverzní osmózy. Celkové potřebné množství vstupní vody na úpravu 1 m³ namíchané vody je 1,50 m³, současně vzniká 0,50 m³ odpadní vody.

3.3.5.3 Nárůst teploty vody v RO

Vlivem tření v čerpadle a v modulech reverzní osmózy při průtoku vody o vysokém tlaku dochází k přeměně kinetické energie na energii tepelnou. Teplota vody za reverzní osmózou je vyšší než teplota vstupní vody. Tento jev také zvyšuje efektivitu reverzní osmózy, protože průtok permeátu membránou roste s teplotou nástríku.

Naměřené hodnoty teplot a průběh provozu úpravny je zobrazen v grafu.

Obrázek 12. Průběh teploty vstupní a výstupní vody a stavu provozu jednotek reverzní osmózy, kde hodnota 0 znamená vypnuto a hodnota 1 znamená provoz



Zdroj: TLG-FM, 2010

Je patrný rozdíl teplot vstupní a výstupní vody. Teplota vody z vodovodního řádu na vstupu je přibližně 8 °C, zatím co teplota výstupní vody za reverzní osmózou je průměrně 13 °C, což činí rozdíl teplot téměř 5 °C. Teplota vstupní vody je v grafu reprezentována nižší, poměrně vyrovnanou hodnotou těsně nad 8 °C, kdy je také v provozu reverzní osmóza – je zachován průtok vstupní vody (zelený průběh stavu provozu má hodnotu 1). Přechodné nárůsty teploty vstupní vody jsou způsobeny ohřevem vody v přívodním potrubí, které je umístěno poblíž topného rozvodu skleníku. V době, kdy není úprava v provozu (zelený průběh stavu provozu má hodnotu 0) se voda v potrubí stihne ohřát.

3.3.6 Vyčíslení celkových provozních nákladů na úpravu vody pro zálivku

Provozní náklady vztahují na 1 m³ upravené namíchané vody pro zálivku požadované kvality – měrné vodivosti. Jsme pak schopni zjistit provozní náklady s ohledem na množství upravené vody. Náklady na provoz rozdělují na provoz předúpravy a provoz vlastní reverzní osmózy. Patří sem průběžné spotřeby všech vstupů a odstranění odpadů, spotřeba chemikálií a výměna krátkodobého a dlouhodobého spotřebního materiálu. Za odstranění odpadní vody – stočné – se platí pouze z regenerace předúpravy a koncentrátu z reverzní

osmózy. Neplatí se z vyrobené zálivkové vody, protože ta se spotřebuje na zálivku ve skleníku a do kanalizační sítě se nedostane. Množství upravené vody je nutné odečítat na podružném vodoměru.

3.3.6.1 Náklady předúpravy

Do průběžných provozních nákladů předúpravy patří spotřeba vody na regeneraci, odstranění odpadní vody po regeneraci (stočné) a spotřeba tabletové soli NaCl. Množství odpadní vody vypočítáme jako rozdíl množství vstupní a předupravené vody.

Do provozních nákladů nezapočítávám spotřebu zdrojů pro ovládání filtrů a změkčovače. Příkon elektrické energie 3x 5W (GORO, 2005) je ve srovnání s příkonem tlakových čerpadel reverzní osmózy velmi nízký – řádově 1 ‰. Proto ho můžeme zanedbat.

Krátkodobý spotřební materiál předúprava neobsahuje.

Dlouhodobý spotřební materiál tvoří sítko do filtru mechanických nečistot na vstupu a všechny náplně filtrů a ionexů. Jedná se o filtrační písek s hydroantracitem, ionex ve změkčovači a náplň aktivního uhlí v dechloračním filtru. Životnost náplní filtrů a změkčovače bývá 8–10 let (GOLDMAN, 2010), někteří výrobci také udávají 10–15 let (ERSPOL, 2010). Většinou se provádí výměna všech náplní současně po skončení jejich životnosti. Objem náplní je 50 litrů křemenného písku s hydroantracitem, 2x 50 litrů ionexu a 50 litrů aktivního uhlí, přičemž ceny náplní jsou přibližně 70–100 Kč za litr náplně (GOLDMAN, 2010).

3.3.6.2 Náklady vlastní RO

Průběžné provozní náklady se skládají ze spotřeby předupravené vody, odstranění odpadní vody (stočné) – koncentrátu z reverzní osmózy a spotřeby elektrické energie tlakových čerpadel, která jsou zdrojem tlaku pro reverzní osmózu. Množství odpadní vody vypočítáme z konverze a množství upravené vody.

Krátkodobý spotřební materiál zde tvoří pouze 8 kusů vinutých PP filtračních vložek do svíčkových filtrů, které jsou zařazeny těsně před reverzní osmózu. Filtrační vložky s porozitou 5 μm se vyměňují jednou za dva měsíce. Původní porozita vložek při instalaci úpravny 0,5 μm a četnost výměny jednou za tři měsíce byla v průběhu provozu upravena. Cena filtrační vložky je 200 Kč za kus (GOLDMAN, 2010).

Dlouhodobý spotřební materiál reverzní osmózy jsou pouze membránové elementy, jejichž předpokládaná životnost je 4–5 let a závisí zejména na kvalitě vstupní vody, respektive charakteru znečišťujících látek, a na vytížení úpravny (GORO, 2005). Při velkém vytížení úpravny a prakticky nepřetržitém provozu je životnost kratší. Cena konkrétních membránových elementů pro úpravnu GORO MID 1000 je poměrně vysoká 19 800,- Kč

za kus (GOLDMAN, 2010). S vývojem technologie výroby a změn měnových kurzů se předpokládá snížení ceny elementů a v roce 2010 je cena pouze 17 900,- Kč za kus (GOLDMAN, 2010).

3.3.6.3 Celkové provozní náklady

Provozní náklady celé úpravny jsou vyčísleny v průměrných hodnotách za sledované období a jsou vztaženy k průměrným hodnotám množství a kvality upravené vody. Produkce výstupní namíchané vody pro zálivku s měrnou vodivostí 76,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ je 19,08 m^3/den při konverzi reverzní osmózy 71,1 %. Náklady jsou uvedeny v tabulce skladby provozních nákladů, která je uvedena v přílohách.

Protože jsou některé provozní náklady udávány k četnosti spotřeby materiálu nebo vstupů, provedl jsem přepočítání nákladů ve vztahu k průměrnému množství upravené vody za měsíc (30 dnů). Z průměrných měsíčních nákladů je možné vypočítat provozní náklady na 1 m^3 upravené vody nebo celkové provozní náklady za rok (360 dnů).

Přepočítaná průměrná produkce výstupní namíchané vody je 572,5 m^3 za měsíc a 6 870 m^3 za rok.

Celkové provozní náklady za měsíc (30 dnů) na úpravu 572,5 m^3 vody pro zálivku s měrnou vodivostí 76,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a konverzí reverzní osmózy 71,1 % jsou 42 571,- Kč. Roční náklady jsou pak při úpravě 6 870 m^3 510 858,- Kč.

Ceny vodného, stočného, elektrické energie a všech dalších materiálů a vstupů jsou průměrné hodnoty při odpovídajících odběrech platné v roce 2009. Všechny ceny jsou uvedeny bez daně z přidané hodnoty (DPH).

Roční produkce upravené vody pro zálivku je modelově vypočtena z průměrných hodnot naměřených za sledované období a nerovná se celkové produkci a její spotřebě ve skleníku Fata Morgana.

Náklady na výměnu dílů jako jsou rozvody, ventily, pouzdra filtrace a RO elementů, čerpadla, vodoměry, plováky, měřidla vodivosti a další neuvádím, protože se předpokládá jejich dlouhodobá životnost odpovídající životnosti celého zařízení.

Neuvádím také ceny servisních prací a cestovní náklady, jejichž rozsah a četnost se mohou u různých zařízení a dodavatelů lišit.

3.4 Posouzení vlivu kvality vody na kultivaci rostlin

Abych ověřil vliv kvality zálivkové vody na kultivaci rostlin, založil jsem pokusnou rostlinnou kulturu. Vybral jsem rostlinné druhy, které se dají dobře pěstovat v podmínkách tropického skleníku v zimním období. Krátká doba slunečního svitu (krátký den) a nedostatek světla je z části nahrazena umělým dosvětlením. Založil jsem 4 shodné skupiny

rostlin, přičemž každou z nich jsem zaléval jiným typem vody s odlišnou kvalitou. Pokus jsem uskutečnil v zásobní části skleníku Fata Morgana v Botanické zahradě hl. m. Prahy a probíhal od 27. 11. 2009 do 1. 4. 2010.

3.4.1 Rostliny vysazené v pokusné kultuře

Anthurium bakeri Hook. (anturium) z čeledi *Aracea* (áronovité) je rozšířeno v areálu zahrnujícím Střední Ameriku. Rostliny koření v humusové vrstvě půdy většinou kyselé reakce. Rod *Anthurium* má převážně neotropické druhy rozšířené především jako epifyty či podrost v tropických deštných lesích (HEYWOOD, 2007). Rostliny anturií jsem vysadil dne 3. 12. 2009 jako mladé semenáčky na vzdušný epifytní substrát ve složení: drcená borová kůra, rašelina, rašeliník, molitan, perlit.

Vyhodnocení jsem provedl dne 1. 4. 2010.

Drosera pulchella Lehm. (rosnatka) z čeledi *Droseraceae* (rosnatkovité) je původem ze západní Austrálie, kde je subtropické klima. Jako všechny masožravé rostliny rostou na substrátech velmi chudých dusíkem a v kyselém prostředí. Vysadil jsem gemmy rosnatek dne 9. 12. 2009 na substrát tvořený směsí rašeliny a křemičitého písku o zrnitosti 0,5 cm v poměru 1:1.

Gemmy jsou vegetativní rozmnožovací orgány trpasličích rosnatek. Jsou to přeměněné základy listů, které nesou zárodek nové rostliny. Slouží pro překonání nepříznivých klimatických podmínek (CCPS, 2009).

Vyhodnocení jsem provedl dne 1. 4. 2010.

Streptocarpus prolixus C. B. Clarke (tořivka) z čeledi *Gesneriaceae* (podpětovité) je rozšířený především v oblasti paleotropů Jižní Afriky a Kapska. U rostlin tořivky jsem použil předpěstované semenáčky z výsevu, který byl proveden v dubnu 2009. Několikaměsíční rostliny byly přesázeny jednotlivě do květináčů se substrátem ve složení: výsevní substrát, písek křemičitý 0,5 cm, říční písek, a jemný tuf v poměru 3:1:1:1.

Začátek pokusu, tedy rozdělení rostlin do pokusných skupin, jsem provedl dne 27. 11. 2009.

Vyhodnocení jsem provedl dne 24. 2. 2010.

Foto 1. *Drosera pulchella* a *Anthurium bakeri* přibližně měsíc po začátku pokusu



3.4.2 Typy a zdroje použité vody

1. Typ vody „DESTILKA“ je demineralizovaná voda – permeát z druhé jednotky reverzní osmózy úpravny vody pro zálivku ve skleníku FM.
2. Typ vody „ZÁLIVKA“ je namíchaná zálivková voda ve skleníku FM.
3. Typ vody „VODOVOD“ pitná voda z vodovodního řadu ve skleníku FM.
4. Typ vody „STUDNA“ je podzemní voda ze studny na pozemku na jihozápadním okraji obce Jesenice u Prahy. V těsné blízkosti studny, přibližně několik stovek metrů, se nachází intenzivně obhospodařovaná zemědělská půda.

Jednotlivé typy vody se odlišují zejména svojí měrnou vodivostí, tedy sumárním množstvím rozpuštěných látek, a dalšími parametry, což je patrné z jejich chemického rozboru (ALS, 2010). Podrobný chemický rozbor vody je uvedený v příloze.

Tabulka 2. Vybrané parametry jednotlivých typů vody pro zálivku pokusné kultury

Parametr	DESTILKA	ZÁLIVKA	VODOVOD	STUDNA
měrná vodivost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	17,7	93,7	469	1040
pH [-]	7,79	7,32	8,36	8,25
dusičnany [mg/l]	<2,00	<2,00	20,4	167
sírany SO_4^{2-} [mg/l]	<5,00	9,56	56,3	155
hydrogenuhlčitaný [mg/l]	5,0	34,1	141	227
CO_2 celkový [mg/l]	6,77	28,39	103,46	165,30
rozpuštěné látky [mg/l]	<10	95	302	697
vápník Ca [mg/l]	<0,0050	<0,0050	79,7	126
draslík K [mg/l]	<0,015	0,103	4,80	0,973
hořčík Mg [mg/l]	<0,0030	0,0114	8,71	59,1
sodík Na [mg/l]	1,84	17,6	14,1	28,2

Zdroj: ALS, 2010

Významný je rozdílný obsah dusičnanů, síranů, hydrogenuhlčitanů, vápníku, hořčíku a sodíku. Vyšší obsah sodíku a velmi nízký obsah vápníku a hořčíku ve vodě „ZÁLIVKA“ je způsobený změkčením vstupní vody v předúpravě, tedy nahrazením iontů vápníku Ca^{2+} a hořčíku Mg^{2+} za ionty sodíku Na^+ .

3.4.3 Vyhodnocení stavu rostlin v pokusné kultuře

Pozorované projevy na rostlinách jsem uspořádal podle typu použité zálivkové vody a následně podle skupin rostlin. Popisují nejvýraznější projevy ve vztahu k předpokládané příčině a tedy vlivu konkrétních parametrů daného druhu vody. Posuzuji základní chemické vlastnosti druhů vody, protože vzhledem ke zdrojům vody předpokládám minimální vliv biologické aktivity.

1. Typ vody „DESTILKA“

Z důvodu minimální mineralizace vody nedochází k vysrážení solí na povrchu substrátu.

Rostliny anturií mají menší počet listů. Ani jedna rostlina nemá více než dva pravé listy. Nedostatek solí ve vodě způsobuje pomalý růst a vývoj rostlin, které jsou z pokusných skupin v nejhůrší kondici.

Rostliny rosnatek jsou v dobré kondici a kvetou, protože obsah solí v substrátu je schopen v krátké době nahradit nedostatek solí ve vodě. Rosnatky jsou masožravé rostliny

adaptované na nízký obsah živin v substrátu, takže se vliv nízké mineralizace vody v době trvání pokusu neprojevil.

U rostlin tořivek dochází ke žloutnutí listů dříve, než dorostou do dospělé velikosti. Listy začínají odumírat brzy (jsou suché) a díky tomu mají rostliny prakticky bezlistý stonek. Zelené (živé) jsou pouze mladé listy při vrcholu. Ostatní listy jsou žloutnoucí (chlorotické). Stonek rostlin se prakticky nevětví, nevznikají boční výhony a pokračuje pouze růst již založených apikálních meristémů. Všechny tyto projevy jsou způsobeny nízkou mineralizací vody, což poukazuje na nedostatek živin.

2. Typ vody „ZÁLIVKA“

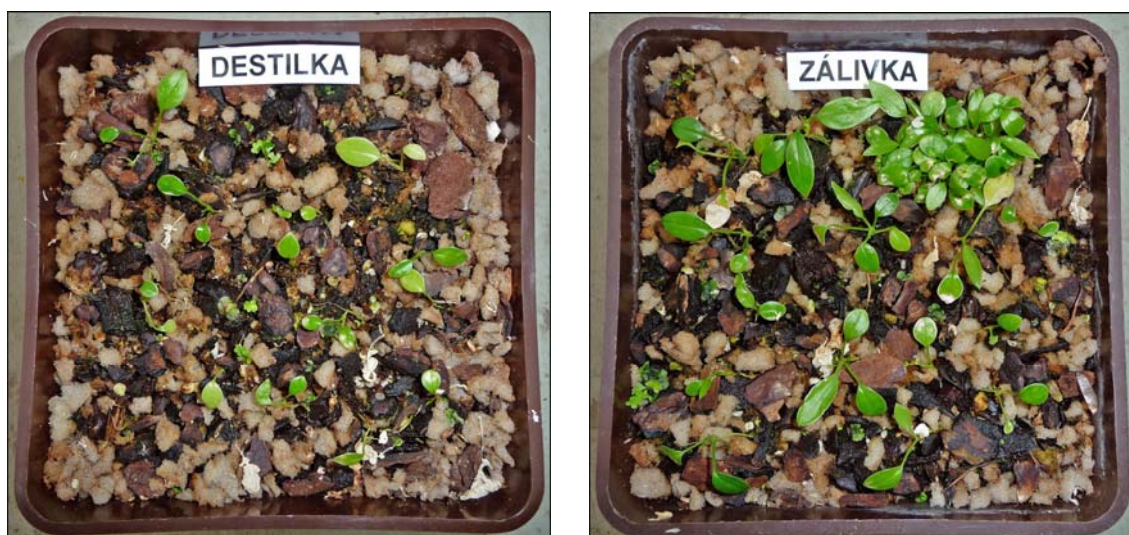
Za sledované období se vysrážení solí na povrchu substrátu neprojevalo.

Rostliny anturií mají dva až pět pravých listů a jejich kondice je dobrá.

Rostliny rosnatek jsou také v dobré kondici a kvetou. V době trvání pokusu se vliv obsahu solí ve vodě neprojevil.

Rostliny tořivek jsou v relativně dobré kondici. Mají méně žloutnoucích listů, které později odumírají. Listy však nedorůstají dospělé velikosti v zeleném stavu, ale již žloutnoucí. U rostlin se vyskytuje větvení hlavního stonku, boční výhony jsou však žluté (chlorotické). Voda patrně neobsahuje dostatek živin pro zdravý růst a vývoj rostlin.

Foto 2. a 3. *Anthurium bakeri* při vyhodnocení pokusu, typ vody „DESTILKA“ a „ZÁLIVKA“



3. Typ vody „VODOVOD“

Za sledované období se vysrážení solí na povrchu substrátu neprojevalo.

Všechny druhy rostlin jsou ve srovnatelné kondici jako u typu vody „ZÁLIVKA“.

Z dlouhodobého hlediska, v horizontu jednoho roku a více, není však tento typ vody pro závlivku použitelný. Měrná vodivost je mnohonásobně vyšší než u typu vody „ZÁLIVKA“ a vyšší obsah rozpuštěných látek by způsobil zasolení substrátu i závlahové technologie.

4. Typ vody „STUDNA“

Vysoký obsah vápníku, hořčíku, sodíku, uhličitanů a síranů způsobuje vysrážení solí na povrchu substrátu.

Rostliny anturium mají ze všech skupin nejdelší a větší čepele listů, což je způsobeno vysokým obsahem dusíku (živin).

Rostliny tořivky jsou ve velmi dobré kondici. Vysoká mineralizace vody, zejména vysoký obsah dusíku, způsobuje dorůstání zdravých zelených listů až do dospělé velikosti a jejich pozdější odumírání. Žloutnutí listů se projevuje výrazně později. Rostliny mají celkově větší listovou plochu, větší počet živých listů a více se větví. Boční výhony jsou ve větším množství a se zelenými listy.

Rostliny rosnatek jsou jednoznačně v nejhorší kondici, vůbec nekvetou, zakrňují a projevuje se u nich výrazná mortalita. Mají menší průměry listových růžic a menší, často nedovyvinuté listy. Některé listy vůbec nemají masožravou čepel, nebo mají menší plochu čepele než řapíku. Tyto projevy odpovídají u rosnatek vysokému obsahu dusíku (živin), vápníku, hořčíku a sodíku.

Voda ze zdroje „STUDNA“ nespĺňuje kritéria kvality pitné vody, i když před několika lety byla používána jako zdroj pitné vody pro rodinné domy. Obsah dusičnanů je třikrát vyšší, než připouští vyhláškou stanovený limit pro pitnou vodu (VYHLÁŠKA 252/2004).

Všechny typy vody mají srovnatelné pH v rozmezí ± 1 , proto by hodnota pH mohla mít pouze minimální vliv na stav rostlin pokusné kultury. Významné rozdíly jsou však v měrné vodivosti, tedy v množství rozpuštěných látek, respektive v obsahu živin. Tyto parametry mají na rostliny patrně nejvýznamnější vliv.

Foto 4. a 5. *Anthurium bakeri* při vyhodnocení pokusu, typ vody „VODOVOD“ a „STUDNA“



Další fotografie rostlin v době vyhodnocení pokusu jsou uvedeny ve Fotodokumentaci.

3.4.4 Vyhodnocení počtu kvetoucích rosnatek

Rosnatky vypěstované z gemm dosáhly během trvání pokusu svého dospělého věku, protože jsou schopny se pohlavně rozmnožovat – kvetou. Je pozorovatelný rozdíl v počtu kvetoucích rosnatek v jednotlivých skupinách rostlin. Počty živých a kvetoucích rosnatek v jednotlivých skupinách jsem uspořádal do tabulky, abych mohl provést statistické vyhodnocení, jestli je počet kvetoucích rosnatek závislý na typu závlivkové vody.

Tabulka 3. Počet živých a kvetoucích rosnatek v jednotlivých kulturách

Typ vody	Počet živých rostlin	Počet rostlin s květním stvolem
DESTILKA	48	11
ZÁLIVKA	49	22
VODOVOD	50	24
STUDNA	31	0

Formuluji nulovou hypotézu H_0 , že podíl kvetoucích rosnatek je vždy stejný a nezávisí na typu použité závlivkové vody.

Testuji nulovou hypotézu H_0 s použitím χ^2 testu v programu R 2.10.1 pro Windows (R Development Core Team, 2009).

Výsledek χ^2 testu:

$\chi^2=17,6925$ $rdf=3$ a $p=0,000509$, kde rdf je zbývající počet stupňů volnosti.

Na základě výsledku χ^2 testu platí nulová hypotéza H_0 s pravděpodobností $p=0,000509$ a proto jí na hladině významnosti $\alpha=0,05$ zamítám.

Počet kvetoucích rosnatek tedy závisí na typu použité závlivkové vody. Ostatní kultivační podmínky byly pro všechny skupiny rostlin shodné.

4. Výsledky

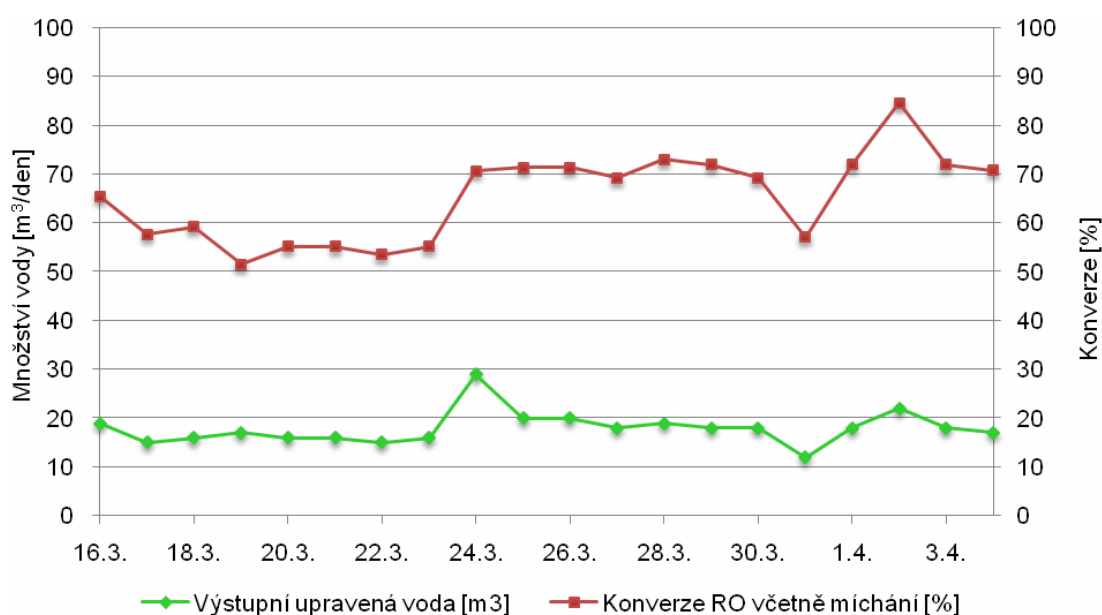
Při úpravě vody pro závlivku rostlin je vždy cílem získat čistší vodu než je voda z dostupného zdroje. Složitost a skladba úpravy závisí na kvalitě dostupné (vstupní) vody a na požadavcích na kvalitu upravené vody, v tomto případě se jedná o využití reverzní osmózy. Proto je nutné vyhodnotit jak nákladovost úpravy vody na požadovanou kvalitu, tak samozřejmě i vliv dané kvality vody na rostlinné kultury. Požadovaná kvalita vody dosažená ředěním permeátu reverzní osmózy je kompromisem mezi ekonomikou provozu a čistotou namíchané závlivkové vody, a tedy vlivem závlivkové vody na kultivaci rostlin.

4.1 Provozní náklady úpravy RO

Provozní náklady jsou závislé na čistotě namíchané závlivkové vody, a proto musí být vždy vztaženy ke konkrétní kvalitě vody. Průměrná hodnota měrné vodivosti namíchané závlivkové vody je $76,6 \mu\text{S}/\text{cm}$ při průměrné produkci $19,08 \text{ m}^3/\text{den}$.

Parametr, který popisuje efektivitu vlastní reverzní osmózy, v tomto případě včetně ředění permeátu, je konverze. Ta je při úpravě vody na uvedenou kvalitu $71,1 \%$.

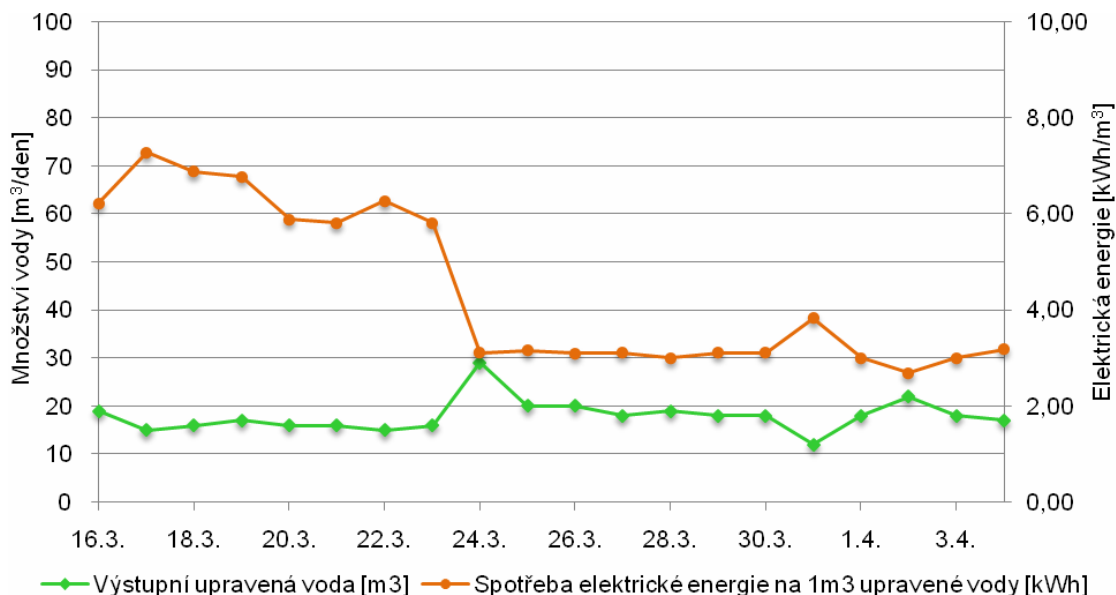
Obrázek 13. Množství upravené vody pro závlivku a konverze reverzní osmózy včetně ředění permeátu (míchání)



Pro možnost srovnání provozních nákladů a zjištění ceny upravené vody dané kvality se všechny vstupy vztahují na jednotkové množství upravené vody, tedy 1 m^3 . Na úpravu 1 m^3

namíchané vody je potřeba 1,5 m³ vstupní vody, 1,12 kg tabletové soli NaCl pro regeneraci předúpravy a 3,11 kW elektrické energie.

Obrázek 14. Spotřeba elektrické energie reverzní osmózy na 1 m³ upravené vody



Celkové provozní náklady na úpravu 572,5 m³ vody za měsíc jsou 42 571,- Kč. Roční náklady na úpravu 6 870 m³ vody jsou 510 858,- Kč. Ceny jsou platné v roce 2009 a jsou uvedeny bez daně z přidané hodnoty.

Tabulka skladby provozních nákladů, která obsahuje vyčíslení celkové ceny za měsíc a za rok, a tabulka průměrných spotřeb vstupů na 1m³ upravené vody jsou uvedeny v přílohách.

Nízké hodnoty konverze a vysoká spotřeba elektrické energie do 23. 3. 2010 byla způsobena snížením výkonu reverzní osmózy díky zanesení – otravě – membrán. Po výměně membránových elementů za nové se provozní parametry dostaly zpět na jmenovité hodnoty a všechny výpočty jsou provedeny z těchto hodnot.

4.2 Vliv kvality závlivkové vody na kultivaci rostlin

Z důvodu omezených prostorových možností v zázemí tropického skleníku Fata Morgana jsem mohl pokus provést pouze po relativně krátkou dobu – několik měsíců. Při delším trvání pokusu by se rozdílná kvalita závlivkové vody projevila intenzivněji, zejména u vody s vysokou mineralizací, kde se již za současných podmínek objevilo srážení solí na povrchu substrátu.

Ověřil jsem, že kvalita použité závlivkové vody, má vliv na kultivaci rostlin. Z výsledků pokusu na rostlinách je patrné, že intenzita mineralizace závlivkové vody má také odlišný vliv

na různé rostlinné druhy. Demineralizovaná voda neobsahuje ani minimum živin a po vyčerpání jejich zásoby v substrátu rostliny neprosívají a jejich růst je omezený.

Naopak vysoká mineralizace závlivkové vody může být pro některé rostlinné druhy krátkodobě významným zdrojem živin, ale pro jiné druhy, které nejsou tolerantní k vysokému obsahu živin, to je velmi negativní činitel, až fatální.

Provedl jsem vyhodnocení počtu kvetoucích rosnatek v jednotlivých pokusných skupinách. Ověřil jsem, že počty kvetoucích rosnatek jsou závislé na typu použité závlivkové vody. S použitím χ^2 testu jsem prokázal, že zjištěné počty kvetoucích rosnatek mohou být vždy stejné s pravděpodobností $p=0,000509$.

5. Diskuze

Kvalitou zálivkové vody se zabývá mnoho institucí a odborných týmů z různých oborů již delší dobu. Často se setkáváme s přísným sledováním kvality zálivkové vody v zemědělství, kde je kladen důraz na produkci. Cílem je vždy získat dostatečně kvalitní, tedy čistou vodu bez škodlivých látek, avšak za ekonomicky přijatelných podmínek. Výslednou kvalitou upravené vody se snažíme přiblížit ke kvalitě vody srážkové, ale výroba tak čisté vody by byla příliš nákladná. Jako sumární kritérium kvality vody používáme její měrnou vodivost. Také se sleduje přítomnost některých látek, které jsou pro rostliny zvláště škodlivé. V tomto případě nesleduji přítomnost konkrétních látek ve vodě, protože zalévané rostlinné kultury většinou nejsou tak citlivé. Jako vstupní voda pro úpravu reverzní osmózou je použita pitná voda, která navíc díky svým přísným hygienickým požadavkům zaručuje nízké hodnoty škodlivých látek. Voda označená „ZÁLIVKA“, která se používá k zálivce rostlin v tropickém skleníku Fata Morgana, má v poměru k ostatním látkám pouze významnější obsah sodíku. To je způsobeno změkčením vody v předúpravě.

Vypočítané průměrné provozní hodnoty a náklady charakterizují konkrétní úpravnu vody s reverzní osmózou a odpovídají nastavené kvalitě výstupní upravené vody. Technická specifikace této úpravny 2x GORO MID 1000 udává při ředění permeátu množstvím 25 % předupravené vstupní vody konverzi 73 % (GORO, 2006). Protože tlak vstupní pitné vody kolísá, docházelo ke změně poměru míchání, a tím k proměnlivosti kvality výstupní vody. Způsob míchání byl upraven na ředění koncentrátem z reverzní osmózy. Permeát i koncentrát vychází ze zařízení pod konstantním tlakem a poměr ředění je neměnný a nezávislý na tlaku vstupní vody. Průměrná konverze spočítaná z odečtených hodnot množství vody je 71,1 %, což prakticky odpovídá předpokladu.

Snížený výkon reverzní osmózy, nárůst spotřeby elektrické energie a prodloužení denního provozu úpravny, signalizuje znečištění nebo otravu membrán. Životnost membrán závisí na typu a množství látek obsažených ve vstupní vodě. Předpokládaná životnost membránových elementů se díky velkému vytížení úpravny a obsahu látek, které nevratně zanášejí membrány, přiblížila k dolní hranici, která je 4 roky (GORO, 2005). Konverze reverzní osmózy včetně ředění permeátu byla při sníženém výkonu pouze 56,8 % a spotřeba elektrické energie na výrobu 1m³ upravené vody 6,44 kWh, zatím co při nominálním výkonu byla konverze 71,1 % a spotřeba elektrické energie 3,11kWh, což je méně než polovina. Z toho vyplývá, že čím více jsou membránové elementy zaneseny, tím je, kromě nižší produkce permeátu, provoz reverzní osmózy méně účinný a nákladnější.

Přeměnou kinetické energie v čerpadlech a v modulech reverzní osmózy dochází k ohřevu vody. U této konkrétní úpravy se zvýší teplota výstupní vody přibližně o necelých 5 °C. Dojde k mírnému zvýšení efektivity procesu reverzní osmózy, protože tok permeátu je závislý na teplotě nástřiku. Větší část zbytkové energie, která je přeměněna na tepelnou, však zůstává nevyužita a dochází k jejím ztrátám. Vyzáření získané tepelné energie je možné zamezit adekvátní izolací zásobní nádrže na upravenou vodu.

V celém procesu úpravy vody reverzní osmózou vznikají různé odpady. Otázkou je zda by bylo možné tyto odpady dále využít a jestli je jejich využití ekonomicky výhodné nebo vůbec přijatelné.

Havárie zařízení a výměna nefunkčních dílů a s tím související odstávka, je vyjádřena rizikem, které je nutné při návrhu kapacity nebo konfigurace úpravy zohlednit. Riziko je možné výrazně omezit redundantním návrhem úpravy. Redundantní zařízení mají vyšší investiční náklady, při kompletním zdvojení až dvojnásobné, ale za to zajišťují prakticky nepřetržitý provoz úpravy. Existují také návrhy, kde je redundance zajištěna rozdělením požadované celkové kapacity úpravy na dvě nebo více částí, které běží současně. Při odstávce se provádí údržba pouze na jedné části zařízení a ostatní části zůstávají v provozu. Po dobu údržby pracuje úpravna se sníženým výkonem, ale celkové investiční náklady bývají pouze o málo vyšší než při konstrukci kompletně redundantní konfigurace.

Zajištění plánovaných i neplánovaných výpadků úpravy také významně řeší velikost zásobní nádrže na upravenou vodu. Je však třeba zohlednit maximální přípustnou dobu zdržení vody před její spotřebou. Nádrž se obvykle navrhuje tak, aby její zásoba vystačila na několik dní, případně týdnů. Pořízení zásobní nádrže je další investiční náklad a i zde je nutné posoudit plánovanou velikost zásoby a cenu. Zásobní nádrž však kromě výpadku úpravy řeší i výpadek dodávky vstupního zdroje vody, a proto je její zařazení do koncepce systému řešení úpravy vody a závlah velmi důležité.

Pokus vlivu různého typu zálivkové vody na rostliny jsem provedl v relativně krátké době, ale i přes to se vliv kvality vody na substrát i na pěstované rostliny zřetelně projevil. Je jasné vidět, že pro optimální podmínky různých rostlin je nutné použít odlišnou kvalitu vody. V případě podrobnějšího výzkumu v oblasti vlivu kvality vody nebo vlivu konkrétních látek a jejich množství na kultivaci rostlin je nutné založit dlouhodobý pokus s trváním několik let a sledovat pěstované rostliny specializovanějšími metodami z oborů botanika, ekologie a dalších. Například produkci biomasy, počty květů nebo semen, či počty vegetativních rozmnožovacích orgánů. Můžeme také použít Ellenbergovy bioindikační hodnoty (ELLENBERG, 1979). Důležité je také sledovat vlastnosti substrátu, jeho složení, chemickou reakci, přítomnost některých specifických látek, ale také například mikrobiální život.

6. Závěr

Zpracováním diplomové práce byly získány nové poznatky, a tím přínosy k dané problematice. Mezi významné výsledky a přínosy patří například:

- Rozsáhlá rešerše o využití reverzní osmózy ve vodárenství a v nejrůznějších průmyslových oborech.
- Rešerše možností zvyšování efektivity při odsolování mořské vody s použitím rekuperace energie.
- Prezentace nového obnovitelného zdroje elektrické energie – osmotické elektrárny.
- Rešerše vlivů a posuzování kvality zálivkové vody při kultivaci rostlin.
- Možnosti používání srážkové vody pro zálivku rostlin a uvedení základních principů hospodaření se srážkovou vodou.
- Stanovení kvality vody při úpravě vody reverzní osmózou.
- Zdůvodnění potřeby sledování nákladů na úpravu vody, vzhledem k ekonomice její výroby.
- Provedení výkladu technologických schémat úpravy vody s reverzní osmózou a navržení komplexního a vhodného umístění měřících bodů sledovaných veličin.
- Stanovení ekonomických ukazatelů úpravy vody s reverzní osmózou.
- Stanovení postupu výpočtu provozních nákladů a jejich vyčíslení ve vztahu k produkci množství upravené vody dané kvality za konkrétní období.
- Porovnání provozních parametrů reverzní osmózy při sníženém výkonu v případě zanesení membránových elementů a parametrů při plném výkonu.
- Ověření, že kvalita zálivkové vody má intenzivní vliv na kultivaci rostlin.
- Popsání principů hospodaření s upravenou vodou pro zálivku.
- Uvedení některých odkazů, které u nás zatím nejsou veřejnosti běžně známé.

7. Seznam literatury

- AGROTHERM. 2007.** Dosatron. Dávkovací čerpadlo pro přihnojování. *Agrotherm s.r.o. Závlahy*. [Online] 2007. [Citace: 8. 11. 2007.]
<http://www.agrotherm.cz/clanek/pdf/9.9.1.pdf>.
- ALS. 2010.** *Úplný chemický a fyzikální rozbor vody (UCHR), matrice Pitná voda (PV). Skleník Fata Morgana, Botanická zahrada hl. m. Prahy, vzorky „DESTILKA“, „ZÁLIVKA“, „VODOVOD“, „STUDNA“, odběr dne 19.2.2010.* Praha: ALS Czech Republic, s.r.o., 2010.
- AQUA-AUREA. 2007.** Čo je osmóza. *Aqua-Aurea*. [Online] 2007. [Citace: 3. 11. 2007.]
<http://www.aqua-aurea.sk/osmoza.htm>.
- AQUAR. 2007.** Vodivost vody (konduktance). *Jiří Rejřiv AQUAR*. [Online] 2007. [Citace: 6. 11. 2007.]
<http://www.aquar.cz/vodivost.html>.
- BLF. 2007.** Čištění odpadní průmyslové vody z moření hliníkových výkovků. *Business Leaders Forum – BLF*. [Online] 2007. [Citace: 16. 3. 2010.]
<http://www.blf.cz/cena/2007/25.pdf>.
- BRUCHANOV, M. 2005.** Ultračistá voda. *Fyzikální metody v medicíně. ČVUT FEL*. [Online] 26. květen 2005. [Citace: 22. 10. 2007.]
http://bruxy.regnet.cz/fel/02FM1/ultracista_voda.pdf.
- BÜRGER, J. 2007.** *Úprava vody reversní osmózou: Bakalářská práce.* Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, 2007.
- CCPS. 2009.** Gemmy. *Česká společnost pěstitelů masožravých rostlin – CCPS o. s.* [Online] 6. duben 2009. [Citace: 8. 4. 2010.]
http://masozravky.org/index.php?option=com_content&task=view&id=354&Itemid=42.
- ČHMÚ. 2008a.** Průměrné koncentrace vážené srážkovým úhrnem. Zdíkov – Na lizu. *Český hydrometeorologický ústav*. [Online] 2008a. [Citace: 26. 3. 2010.]
http://www.chmi.cz/uoco/isko/tab_roc/2008_enh/cze/precipitation_y_avg_total/y_avg_total_2723635.html.
- ČHMÚ. 2008b.** Průměrné koncentrace vážené srážkovým úhrnem. Mísečky. *Český hydrometeorologický ústav*. [Online] 2008b. [Citace: 26. 3. 2010.]
http://www.chmi.cz/uoco/isko/tab_roc/2008_enh/cze/precipitation_y_avg_total/y_avg_total_2723515.html.

- ČSN 75 0434. 1994. Meliorace. Potřeba vody pro doplňkovou závlahu. Praha : Český normalizační institut, 1994.
- ČSN ISO 3696 (68 4051). 1994. Jakost vody pro analytické účely. Specifikace a zkušební metody. Praha : Český normalizační institut, 1994.
- DERM. 2009. Irrigation water quality – salinity and soil structure stability. *Department of Environment and Resource Management*. [Online] 2009. [Citace: 6. 2. 2010.]
<http://www.nrm.qld.gov.au/factsheets/pdf/water/w55.pdf>.
- DWEER. 2004. Dual Work Exchanger Energy Recovery. *Calder AG*. [Online] 2004. [Citace: 8. 4. 2010.]
<http://www.calder.ch/htm/dweeer.htm>.
- ECO-CHEM. 2005. *Úplný chemický a fyzikální rozbor vody (UCHR), matrice Pitná voda (PV). Pramen Haltýř, odběr dne 19.2.2010*. Praha : Ecochem, a. s., 2005.
- ELLENBERG, H. 1979. *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica 9*. Göttingen, 1979.
- ENVIS. 2007. Atmosférická depozice, kvalita srážek. *ENVIS – Informační servis o životním prostředí v Praze*. [Online] 2007. [Citace: 9. 2. 2010.]
[http://envis.praha-mesto.cz/\(lyfx4gyud3e4ur3mr5xy5mye\)/zdroj.aspx?typ=2&Id=80014&sh=640754979](http://envis.praha-mesto.cz/(lyfx4gyud3e4ur3mr5xy5mye)/zdroj.aspx?typ=2&Id=80014&sh=640754979).
- ERI. 2010a. Products Overview. *Energy Recovery Inc*. [Online] 2010a. [Citace: 8. 4. 2010.]
<http://www.energyrecovery.com/index.cfm/0/0/36-PX-Device-Product-Overview.html>.
- ERI. 2010b. Desing and Installation. *Energy Recovery Inc*. [Online] 2010b. [Citace: 8. 4. 2010.]
<http://www.energyrecovery.com/index.cfm/0/0/36-PX-Device-Product-Overview.html>.
- ERSPOL. 2010. Technické informace – Ionexy. *ERSPOL, s.r.o.* [Online] 2010. [Citace: 22. 3. 2010.]
<http://www.erspol.cz/index.php?site=report>.
- FEDCO. 2009. HPBe Hydraulic Pressure Booster. *Fluid Equipment Development Company (FEDCO)*. [Online] 2009. [Citace: 8. 4. 2010.]
http://www.fedco-usa.com/prod_hpb.html.
- GHC. 2007. Filtrační materiál. *GHC Invest, s.r.o.* [Online] 2007. [Citace: 2. 11. 2007.]
<http://www.ghcinvest.cz/index.php3?lan=cz&art=nauvo&pod=filma>.
- GOLDMAN, J. st. 2010. Nabídka na výměnu modulů reverzní osmózy. *GORO, spol. s.r.o.* [Online] 2010. [Citace: 19. 3. 2010.] email: goldman@goro.cz.
- GORO. 2005. *Nabídka na úpravu vody na principu reverzní osmózy*. Praha 9.12.2005 : GORO, spol. s r.o., 2005.

- GORO. 2006.** *Předávací dokumentace. Úprava vody pro potřeby skleníku Fata Morgana.* Praha 31.5.2006 : GORO, 2006.
- GREGORI, I. et al. 2000.** Copper and Selenium in Rainwater, Soils and Alfalfa from Agricultural Ecosystems of Valparaiso Region, Chile. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química. Roč. 45, Sv.1.* [Online] 2000. [Citace: 8. 4. 2010.]
http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0366-16442000000100017&script=sci_arttext&tlng=en#31. ISSN 0366-1644.
- GRÜNWALD, A. 2002.** *Zdravotně inženýrské stavby 40. Úprava vody.* Praha : ČVUT Praha, 2002. ISBN 80-01-01658-7.
- HENDRYCH, R. 1984.** *Fytogeografie.* Praha : Státní pedagogické nakladatelství, n. p., 1984. ISBN 14-416-84.
- HEYWOOD, V. H. et al. 2007.** *Flowering Plant Families of the World.* Kew : Royal Botanic Gardens, 2007. ISBN 1-84246-165-6.
- HÜBNER, P. et al. 2006.** *Úprava vody pro průmyslové účely.* Praha : VŠCHT Praha, 2006. ISBN 80-7080-624-9.
- JANSKÝ, B. et al. 2004.** *K pramenům Amazonky.* Praha : Ottovo nakladatelství, s.r.o., 2004. ISBN 80-7181-125-4.
- JOHNSON, G. et ZHANG, H. 2003.** Classification of Irrigation Water Quality. *Oklahoma Cooperative Extension Service.* [Online] 2003. [Citace: 6. 2. 2010.]
http://www.soiltesting.okstate.edu/Extn_Pub/F-2401web.pdf.
- KOŽÍŠEK, F. 2001.** Zdravotní rizika pití demineralizované vody. *Státní zdravotní ústav.* [Online] 7. březen 2001. [Citace: 22. 10. 2007.]
<http://www.szu.cz/chzp/voda/pitna-voda/demivod.html>.
- KUTAL, T. 2007.** Praktické zkušenosti firmy Veolia Water Solutions & Technologies s využitím membránových separačních metod pro úpravu pitné vody. *VWS MEMSEP s.r.o.* [Online] 2007. [Citace: 30. 10. 2007.] email: Tomas.Kutal@veoliawater.com.
- MEMSEP. 2007.** Skládka Nový Rychnov. *Reference – Odpadní voda.* *VWS MEMSEP s.r.o.* [Online] červen 2007. [Citace: 16. 3. 2010.]
<http://www.memsep.cz/lib/memsep/D7C4u4wQe8j1H25GdbdIsEaA.pdf>.
- MILLER, J. E. 2003.** Review of Water Resources and Desalination Technologies. *Materials Chemistry Department Sandia National Laboratories.* [Online] březen 2003. [Citace: 6. 2. 2010.]
http://www.sandia.gov/water/docs/MillerSAND2003_0800.pdf.

- MMD. 2008.** Rainfall Acidity 2008. *Malaysian Meteorological Department (MMD)*. [Online] 2008. [Citace: 26. 3. 2010.]
http://www.met.gov.my/index.php?option=com_content&task=view&id=226&Itemid=1112.
- NANOMEMPRO. 2007.** Strategic Business & Research Agenda. *European Membrane House*. [Online] 2007. [Citace: 2. 2. 2010.]
http://www.euromemhouse.com/Download-document/62-Membranes_SBRA_2007.html.
- NANOMEMPRO. 2009.** NanoMemPro Final Dissemination Report April 2009. *European Membrane House*. [Online] duben 2009. [Citace: 25. 2. 2010.]
<http://www.euromemhouse.com/Download-document/35-NanoMemPro-Final-Dissemination-Report.html>.
- ØYSTEIN, S. S. et al. 2009.** Power Production based on Osmotic Pressure. *Waterpower*. XVI, 2009, Sv. červenec.
- ØYSTEIN, S. S. et STEIN, E. S. 2008.** Status of technologies for harnessing Salinity Power and the current Osmotic Power activities. *Annual report of the IEA-OES*. 2008.
- PRAHA-ŽP. 2000a.** Pitná voda. *Ročenka Praha – Životní prostředí*. [Online] 2000a. [Citace: 26. 3. 2010.]
http://envis.praha-mesto.cz/rocenky/Pr_01/b2_02.htm.
- PRAHA-ŽP. 2000b.** Povrchová voda. *Ročenka Praha – Životní prostředí*. [Online] 2000b. [Citace: 26. 3. 2010.]
http://envis.praha-mesto.cz/rocenky/Pr_01/B2_01.htm.
- R Development Core Team. 2009.** *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2009. ISBN 3-900051-07-0.
- ROBBINS, J. et KLINGAMAN G. 2004.** Irrigation Water for Greenhouses and Nurseries. *University of Arkansas. Division of Agriculture*. [Online] 2004. [Citace: 3. 2. 2010.]
http://www.uaex.edu/Other_Areas/publications/PDF/FSA-6061.pdf.
- SOBOTA, J. 2007.** *Studijní texty předmětu Úprava pitných a čištění odpadních vod. 1. část. Úprava pitných vod*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, 2007.
- STATKRAFT. 2010a.** Q&A Osmotic Power. *Statkraft*. [Online] 2010a. [Citace: 5. 3. 2010.]
<http://www.statkraft.com/energy-sources/osmotic-power/qa/>.
- STATKRAFT. 2010b.** Osmotic Power. *Statkraft*. [Online] 2010b. [Citace: 5. 3. 2010.]
http://www.statkraft.com/Images/Osmotic%2009%20ENG_tcm9-4591.pdf.

- STATKRAFT. 2010c.** Osmotic Power. *Statkraft*. [Online] 2010c. [Citace: 5. 3. 2010.]
<http://www.flickr.com/photos/44290727@N07/4109948126/sizes/o/in/set-72157622731791006/>.
- STOVER, R. L. 2006.** Energy Recovery Devices for Seawater Reverse Osmosis. *Energy Recovery Inc.* [Online] listopad 2006. [Citace: 9. 2. 2010.]
<http://www.energyrecovery.com/UserFiles/file/archives/news/documents/ERDsforSWRO.pdf>.
- SUKOVÁ, I. 2004.** Použití membránové techniky v mlékárenství. *ÚZEI*. [Online] 11. říjen 2004. [Citace: 15. 3. 2010.]
<http://www.agronavigator.cz/default.asp?ch=13&typ=1&val=29830&ids=421>.
- TLG-FM. 2010.** *Vizualizace systému měření a regulace skleníku Fata Morgana*. Praha : CCC s.r.o. pro Botanickou zahradu hl. m. Prahy, 2010.
- ÚKCHB. 2006.** Separace v biotechnologiích (syllabus). *Ústav kvasné chemie a bioinženýrství. VŠCHT*. [Online] 2006. [Citace: 3. 11. 2007.]
<http://www.vscht.cz/kch/kestazeni/sylaby/separ.pdf>.
- Vyhláška MZ č. 252/2004 Sb.** kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.
- Vyhláška MZ č. 409/2005 Sb.** o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody.
- WATER-TECHNOLOGY. 2010.** Ashkelon Desalination Plant Seawater Reverse Osmosis (SWRO) Plant, Israel. *Water Technology*. [Online] 2010. [Citace: 16. 3. 2010.]
<http://www.water-technology.net/projects/israel/>.
- ZEOPOL. 2010.** Zeolity. *ZEOPOL, s.r.o.* [Online] 2010. [Citace: 3. 4. 2010.]
<http://www.zeopol.com/zeolity.htm>.

8. Seznam obrázků, tabulek, fotografií a vzorců

Obrázky

Obrázek 1. Znázornění dějů při osmóze a reverzní osmóze.....	5
Obrázek 2. Uspořádání toků při membránové filtraci s příčným tokem – „crossflow“	6
Obrázek 3. Schéma spirálně vinutého elementu	7
Obrázek 4. Schéma membránového modulu	8
Obrázek 5. Trojstupňová reverzní osmóza.....	13
Obrázek 6. Blokové schéma osmotické elektrárny	17
Obrázek 7. Princip rekuperace tlaku koncentráту s použitím systému ERI – PX	19
Obrázek 8. Vliv měrné vodivosti (EC) a SAR záливkové vody na stabilitu substrátu	26
Obrázek 9. Blokové schéma úpravny RO a celé měřicí sestavy,.....	33
Obrázek 10. Průběh výšky hladiny upravené vody v zásobní nádrži.....	35
Obrázek 11. Stav provozu jednotek reverzní osmózy,	36
Obrázek 12. Průběh teploty vstupní a výstupní vody a stavu provozu jednotek reverzní osmózy, kde hodnota 0 znamená vypnuto a hodnota 1 znamená provoz	38
Obrázek 13. Množství upravené vody pro záливku a konverze reverzní osmózy včetně ředění permeátu (míchání)	48
Obrázek 14. Spotřeba elektrické energie reverzní osmózy na 1 m ³ upravené vody.....	49

Tabulky

Tabulka 1. Srovnání měrné vodivosti a pH srážkové vody v různých oblastech	24
Tabulka 2. Vybrané parametry jednotlivých typů vody pro záливku pokusné kultury	43
Tabulka 3. Počet živých a kvetoucích rosnatek v jednotlivých kulturách	46

Fotografie

Autor: © Jan Bürger 15. 1. 2010, 1. 4. 2010

Foto 1. *Drosera pulchella* a *Anthurium bakeri* přibližně měsíc po začátku pokusu..... 42

Foto 2. a 3. *Anthurium bakeri* při vyhodnocení pokusu, typ vody „DESTILKA“
a „ZÁLIVKA“ 44

Foto 4. a 5. *Anthurium bakeri* při vyhodnocení pokusu, typ vody „VODOVOD“
a „STUDNA“ 46

Vzorce

Vzorec 1. Změna velikosti osmotického tlaku 5

Vzorec 2. Rozdíl koncentrací roztoků..... 5

Vzorec 3. Výpočet sodíkového adsorpčního poměru 26

9. Převody jednotek

Tlak

$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa}$$

Průtok

$$1 \text{ l/hod} = 0,001 \text{ m}^3/\text{hod} = 0,024 \text{ m}^3/\text{den}$$

$$1 \text{ m}^3/\text{hod} = 1\,000 \text{ l/hod}$$

Měrná (elektrolytická, specifická) vodivost – konduktivita (EC)

$$1 \text{ } \mu\text{S/cm} = 0,1 \text{ mS/m}$$

$$1 \text{ mS/m} = 10 \text{ } \mu\text{S/cm}$$

$$1 \text{ dS/m} = 100 \text{ mS/m}$$

$$1 \text{ dS/m} = 1\,000 \text{ } \mu\text{S/cm}$$

$$\mu\text{mhos/cm} = \text{ } \mu\text{S/cm}$$

Látkové množství

$$1 \text{ mmol/l} = 2 \text{ mval/l}$$

$$1 \text{ mval/l} = 0,5 \text{ mmol/l}$$

$$1 \text{ meq} = 1 \text{ mmol} \cdot \text{valence}$$

$$1 \text{ mg/l} = 1 \text{ ppm}$$

10. Seznam zkratk a symbolů

EC	konduktivita – měrná vodivost – Electric Conductivity – Specific Conductivity
ED	elektrodialýza – Electrodialysis
FM	Fata Morgana
JB	Jan Bürger
MSF	Multi-stage Flash
PRO	tlaková osmóza – Pressure Related Osmosis
RED, EDR	reverzní elektrodialýza – Reversed Electrodialysis
RO	reverzní osmóza – Reverse Osmosis
SAR	sodíkový adsorpční poměr – Sodium Adsorption Ratio
SWRO	odsolování mořské vody – Seawater Reverse Osmosis
TOC	celkový obsah organických látek – Total Organic Carbon

11. Fotodokumentace

Úpravna vody s reverzní osmózou pro zálivku v tropickém skleníku Fata Morgana, Botanické zahrady hl. m. Prahy.

Rostliny v pokusné kultuře při posuzování vlivu kvality zálivkové vody na kultivaci rostlin.

Autor: © Jan Bürger 5. 2. 2007, 15. 1. 2010, 1. 4. 2010

Foto 1. Předúprava vstupní vody	I
Foto 2. Svíčková předfiltrace 5 µm před reverzní osmózou	I
Foto 3. Celkový pohled na jednotku reverzní osmózy.....	II
Foto 4. Měření vodivosti, pracovního tlaku a průtoku na jednotce reverzní osmózy	III
Foto 5. Míchání permeátu a koncentrátu na požadovanou kvalitu (vodivost)	III
Foto 6. Expozice nížinného tropického deštného lesa ve skleníku Fata Morgana	IV
Foto 7. <i>Streptocarpus prolixus</i> při vyhodnocení pokusu.....	IV
Foto 8. <i>Drosera pulchella</i> při vyhodnocení pokusu, typ vody „DESTILKA“	V
Foto 9. <i>Drosera pulchella</i> při vyhodnocení pokusu, typ vody „ZÁLIVKA“	V
Foto 10. <i>Drosera pulchella</i> při vyhodnocení pokusu, typ vody „VODOVOD“	VI
Foto 11. <i>Drosera pulchella</i> při vyhodnocení pokusu, typ vody „STUDNA“	VI



Foto 1. Předúprava vstupní vody



Foto 2. Svíčková předfiltrace 5 μm před reverzní osmózou



Foto 3. Celkový pohled na jednotku reverzní osmózy



Foto 4. Měření vodivosti, pracovního tlaku a průtoku na jednotce reverzní osmózy



Foto 5. Míchání permeátu a koncentrátu na požadovanou kvalitu (vodivost) výstupní vody pro zálivku



Foto 6. Expozice nížinného tropického deštného lesa ve skleníku Fata Morgana



Foto 7. *Streptocarpus prolixus* při vyhodnocení pokusu



Foto 8. *Drosera pulchella* při vyhodnocení pokusu, typ vody „DESTILKA“



Foto 9. *Drosera pulchella* při vyhodnocení pokusu, typ vody „ZÁLIVKA“



Foto 10. *Drosera pulchella* při vyhodnocení pokusu, typ vody „VODOVOD“



Foto 11. *Drosera pulchella* při vyhodnocení pokusu, typ vody „STUDNA“

12. Přílohy

Příloha 1. Odečty měřených veličin	A
Příloha 2. Vypočítané hodnoty spotřeby	B
Příloha 3. Grafické zobrazení denní spotřeby vody a elektrické energie	C
Příloha 4. Skladba provozních nákladů a celková cena provozu za měsíc a za rok	D
Příloha 5. Průměrná spotřeba vstupů na 1m ³ upravené vody a spotřeba za den, měsíc a rok	E
Příloha 6. Kvalita srážkových vod na stanicích Praha Libuš a Podbaba v roce 1990–2006 (ENVIS, 2007)	F
Příloha 7. Úplný chemický a fyzikální rozbor typů vody použitých na pokus vlivu kvality zálivkové vody na kultivaci rostlin (ALS, 2010)	G
Příloha 8. Technologické schéma úpravny vody pro zálivku v tropickém skleníku Fata Morgana, zobrazení ve vizualizaci systému měření a regulace (TLG-FM, 2010)	I
Příloha 9. Schéma prototypu osmotické elektrárny (STATKRAFT, 2010c)	J

Příloha 1. Odečty měřených veličin

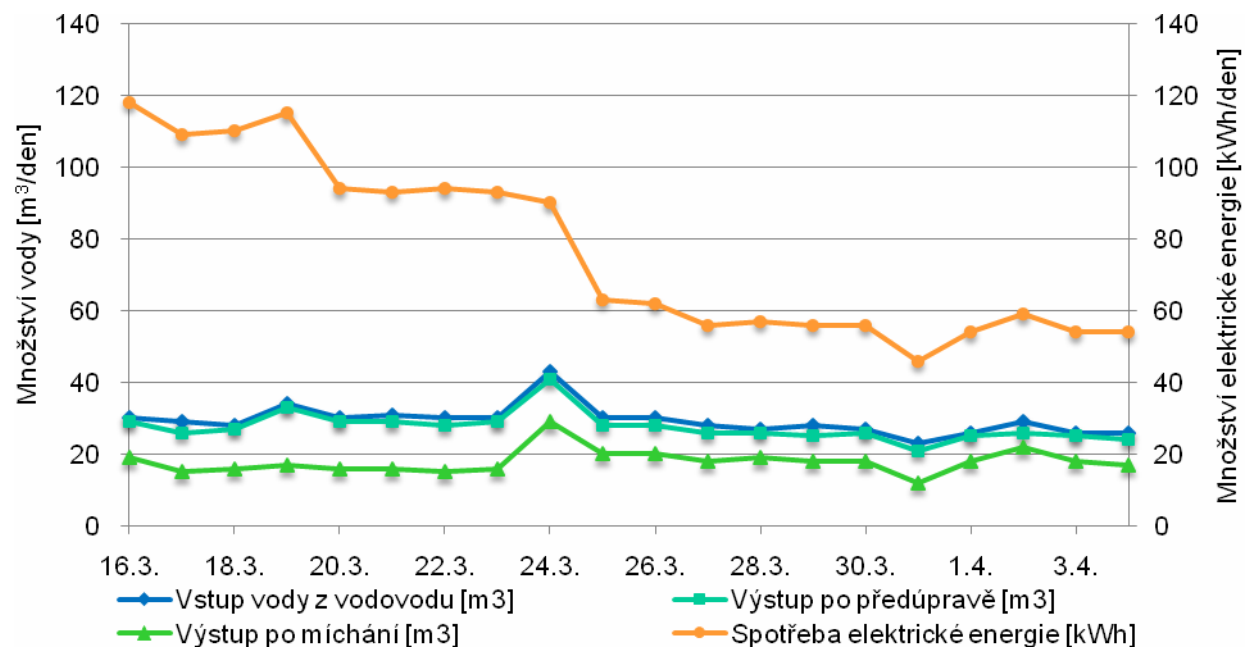
FM Zálivka							
Datum	Vstup vody z vodovodu [m ³]	Výstup po předúpravě [m ³]	Výstup po míchání [m ³]	Vodivost výstup [μS/cm]	Elektrická energie [kWh]	Sůl [kg]	Sůl týdně [kg]
	A	B	C	D	E	F	
15.3.2010	4577	9461	20716	44,7	14493	75	175
16.3.2010	4607	9490	20735	81,5	14611	25	
17.3.2010	4636	9516	20750	76,0	14720	0	
18.3.2010	4664	9543	20766	77,9	14830	25	
19.3.2010	4698	9576	20783	70,9	14945	50	
20.3.2010	4728	9605	20799	79,8	15039	0	
21.3.2010	4759	9634	20815	75,3	15132	0	
22.3.2010	4789	9662	20830	77,5	15226	0	125
23.3.2010	4819	9691	20846	75,2	15319	125	
24.3.2010	4862	9732	20875	74,2	15409	0	
25.3.2010	4892	9760	20895	73,5	15472	0	
26.3.2010	4922	9788	20915	71,7	15534	0	
27.3.2010	4950	9814	20933	78,8	15590	0	
28.3.2010	4977	9840	20952	83,5	15647	0	
29.3.2010	5005	9865	20970	84,5	15703	0	150
30.3.2010	5032	9891	20988	87,5	15759	75	
31.3.2010	5050	9907	21000	72,3	15794	0	
1.4.2010	5081	9937	21021	71,0	15859	0	
2.4.2010	5110	9963	21040	71,3	15918	75	
3.4.2010	5136	9988	21058	73,8	15972	0	
4.4.2010	5162	10012	21075	76,8	16026	0	
Suma						450	450

Žlutě obarvené řádky označují ponděli
 Snížený výkon reverzní osmózy 15.3.2010-22.3.2010
 Plný výkon reverzní osmózy 23.3.2010-4.4.2010

Příloha 2. Vypočítané hodnoty spotřeby

FM Zálivka								
Datum	Vstup z vodovodu přepočet [m ³]	Výstup po předúpravě přepočet [m ³]	Výstup po míchání přepočet [m ³]	Vodivost výstup [μS/cm]	Konverze zálivkové vody [%]	Elektrická energie přepočet [kWh]	Elektrická energie na 1 m ³ [kWh/m ³]	Sůl [kg]
16.3.2010	30	29	19	81,5	65,52	118	6,21	25
17.3.2010	29	26	15	76,0	57,69	109	7,27	0
18.3.2010	28	27	16	77,9	59,26	110	6,88	25
19.3.2010	34	33	17	70,9	51,52	115	6,76	50
20.3.2010	30	29	16	79,8	55,17	94	5,88	0
21.3.2010	31	29	16	75,3	55,17	93	5,81	0
22.3.2010	30	28	15	77,5	53,57	94	6,27	0
23.3.2010	30	29	16	75,2	55,17	93	5,81	125
24.3.2010	43	41	29	74,2	70,73	90	3,10	0
25.3.2010	30	28	20	73,5	71,43	63	3,15	0
26.3.2010	30	28	20	71,7	71,43	62	3,10	0
27.3.2010	28	26	18	78,8	69,23	56	3,11	0
28.3.2010	27	26	19	83,5	73,08	57	3,00	0
29.3.2010	28	25	18	84,5	72,00	56	3,11	0
30.3.2010	27	26	18	87,5	69,23	56	3,11	75
31.3.2010	23	21	12	72,3	57,14	46	3,83	0
1.4.2010	26	25	18	71,0	72,00	54	3,00	0
2.4.2010	29	26	22	71,3	84,62	59	2,68	75
3.4.2010	26	25	18	73,8	72,00	54	3,00	0
4.4.2010	26	24	17	76,8	70,83	54	3,18	0
Suma	585	551	359			1533		

Příloha 3. Grafické zobrazení denní spotřeby vody a elektrické energie



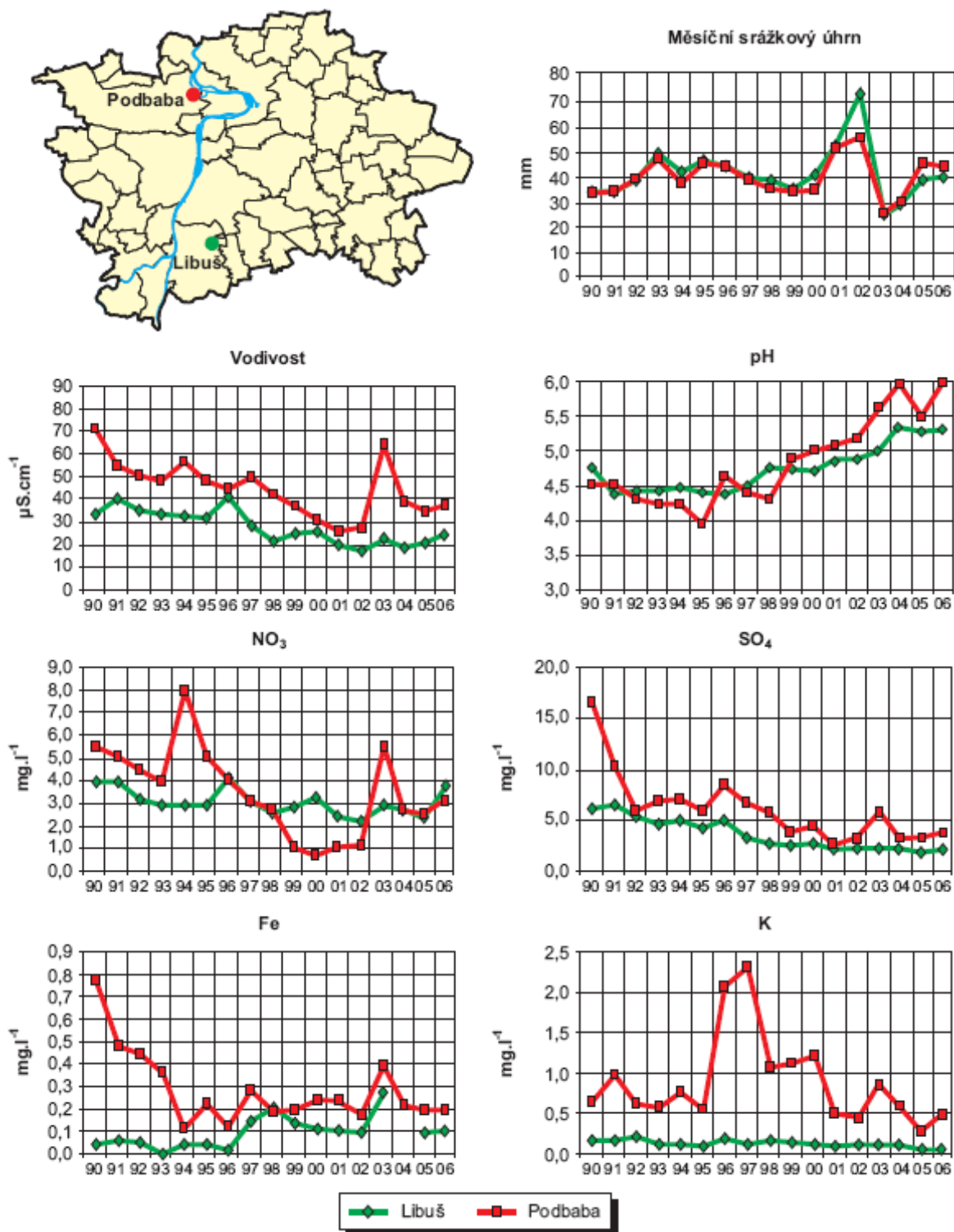
Příloha 4. Skladba provozních nákladů a celková cena provozu za měsíc a za rok

Provozní náklady bez DPH	Životnost [měsíc]	Jednotek za měsíc [-]	Cena za jednotku [Kč]	Měsíční náklady [Kč]	Roční náklady [Kč]
Filtrační vložka PP 5 µm (8 kusů)	2	0,50	1 600,00	800,00	9 600,00
Membránový element RO (6 kusů)	48	0,0208	107 400,00	2 237,50	26 850,00
Sítka do filtru mechanických nečistot (1 ks)	120	0,0083	800,00	6,67	80,00
Hydroantracit v předúpravě (50 l)	120	0,0083	3 000,00	25,00	300,00
Ionex v předúpravě (2x 50 l)	120	0,0083	7 000,00	58,33	700,00
Aktivní uhlí v předúpravě (50 l)	120	0,0083	3 000,00	25,00	300,00
Sůl na předúpravu (1 kg)		642,86	6,50	4 178,59	50 143,08
Voda na regeneraci předúpravy (1 m ³)		55,00	27,56	1 515,80	18 189,60
Předupravená voda pro RO (1 m ³)		802,50	27,56	22 116,90	265 402,80
Elektřina pro čerpadla RO (1 kWh)		1783,26	2,83	5 049,84	60 598,03
Stočné z předúpravy (1 m ³)		55,00	23,01	1 265,55	15 186,60
Stočné z koncentrátu RO (1 m ³)		230,00	23,01	5 292,30	63 507,60
Celkem				42 571,48	510 857,71

Příloha 5. Průměrná spotřeba vstupů na 1 m³ upravené vody a spotřeba za den, měsíc a rok

Vypočítaný ukazatel	Hodnota
Množství tabletové soli na úpravu 1 m ³ namíchané vody [kg]	1,12
Průměrná spotřeba elektřiny čerpadel RO na 1 m ³ vyrobené vody [kWh]	3,11
Množství vstupní vody na úpravu 1 m ³ namíchané vody [m ³]	1,5
Množství odpadní vody na úpravu 1 m ³ namíchané vody [m ³]	0,5
Průměrné množství upravené vody za den [m ³]	19,08
Průměrná celková spotřeba vody včetně předúpravy za den [m ³]	28,58
Průměrná spotřeba předupravené vody za den [m ³]	26,75
Spotřeba soli za den [kg]	21,43
Spotřeba soli za týden [kg]	150
Množství upravené vody za měsíc [m ³]	572,5
Celková spotřeba vody včetně předúpravy za měsíc [m ³]	857,5
Spotřeba předupravené vody pro RO za měsíc [m ³]	802,5
Spotřeba vody na regeneraci předúpravy za měsíc [m ³]	55
Množství koncentrátu RO za měsíc [m ³]	230
Spotřeba soli za měsíc [kg]	642,86
Spotřeba elektřiny čerpadel RO za měsíc [kWh]	1783,26

Příloha 6. Kvalita srážkových vod na stanicích Praha Libuš a Podbaba v roce 1990–2006 (ENVIS, 2007)



Příloha 7. Úplný chemický a fyzikální rozbor typů vody použitých na pokus vlivu kvality zálivkové vody na kultivaci rostlin (ALS, 2010)

Datum vystavení : 26.2.2010
 Stránka : 2 z 4
 Zakázka : PR1004140
 Zákazník : Botanická zahrada hl. m. Prahy



Výsledky zkoušek

Matrice: PITNÁ VODA

Parametr	Metoda	LOQ	Jednotka	Název vzorku		ZÁLIVKA		VODOVOD	
				Identifikace vzorku (lab.)		PR1004140002		PR1004140003	
				Datum odběru/čas odběru		19.2.2010 00:00		19.2.2010 00:00	
				Výsledek	NM	Výsledek	NM	Výsledek	NM
fyzikální parametry									
konduktivita (25 °C)	W-CON-PCT	0.10	mS/m	1.77	±10.0 %	9.37	±10.0 %	46.9	±10.0 %
pH	W-PH-PCT	1.00	-	7.79	±1.0 %	7.32	±1.1 %	8.36	±1.0 %
souhrnné parametry									
suma kationtů	W-CATFX-CC	0.20	mg/l	1.84	---	17.7	---	107	---
tvrdost	W-HARD-FX	0.00020	mmol/l	<0.00020	---	0.00047	---	2.35	---
suma kationtů mval/L	W-CATFX-CC	0.0070	mval/L	0.0800	---	0.769	---	5.43	---
tvrdost vápenatá	W-HARD-FX	0.00020	mmol/l	<0.00020	---	<0.00020	---	1.99	---
tvrdost hořečnatá	W-HARD-FX	0.00020	mmol/l	<0.00020	---	0.00047	---	0.358	---
suma aniontů	W-ANI-CC2	8.2	mg/l	<8.2	---	47.9	---	240	---
suma aniontů mval/L	W-ANI-CC2	0.18	mval/L	<0.18	---	0.88	---	4.45	---
anorganické parametry									
amoniak a amonné ionty	W-NH4-SPC	0.050	mg/l	<0.050	---	<0.050	---	<0.050	---
chloridy	W-CL-IC	1.00	mg/l	<1.00	---	4.23	±20.0 %	22.7	±20.0 %
CHSK-Mn	W-CODMNTIT	0.50	mg/l	<0.50	---	0.60	±41.8 %	0.60	±41.8 %
dusičnany	W-NO3-IC	2.00	mg/l	<2.00	---	<2.00	---	20.4	±20.0 %
dusitany	W-NO2-SPC	0.0050	mg/l	0.0115	±20.0 %	<0.0050	---	0.0178	±20.0 %
orthofosforečnany	W-PO4O-SPC	0.040	mg/l	<0.040	---	<0.040	---	0.064	±20.0 %
sířany jako SO4 (2-)	W-SO4-IC	5.00	mg/l	<5.00	---	9.56	±20.0 %	56.3	±20.0 %
hydrogenuhličitaný	W-CO2F-CC2	-	mg/l	5.0	---	34.1	---	141	---
KNK (pH 4.5)	W-ALK-PCT	0.150	mmol/l	<0.150	---	0.558	±15.0 %	2.38	±15.0 %
ZNK (pH 8.3)	W-ACID-PCT	0.150	mmol/l	<0.150	---	<0.150	---	<0.150	---
CO2 celkový	W-CO2F-CC2	0	mg/l	6.77	---	28.39	---	103.46	---
fluoridy	W-F-IC	0.200	mg/l	<0.200	---	<0.200	---	<0.200	---
KNK (pH 8.3)	W-ALK-PCT	0.150	mmol/l	<0.150	---	<0.150	---	<0.150	---
ZNK (pH 4.5)	W-ACID-PCT	0.150	mmol/l	<0.150	---	<0.150	---	<0.150	---
CO2 volný	W-CO2F-CC2	0	mg/l	3.13	---	3.79	---	0.40	---
RL sušené (105°C)	W-TDS-GR	10	mg/l	<10	---	95	±20.0 %	302	±20.0 %
CO2 agresivní	W-CO2F-CC2	0	mg/l	3.13	---	3.74	---	0	---
celkové kovy / hlavní kationty									
Ca	W-METAXFX1	0.0050	mg/l	<0.0050	---	<0.0050	---	79.7	±10.0 %
Fe	W-METAXFX1	0.0020	mg/l	<0.0020	---	0.0516	±10.0 %	0.0158	±10.0 %
K	W-METAXFX1	0.015	mg/l	<0.015	---	0.103	±10.0 %	4.80	±10.0 %
Mg	W-METAXFX1	0.0030	mg/l	<0.0030	---	0.0114	±10.0 %	8.71	±10.0 %
Mn	W-METAXFX1	0.00050	mg/l	<0.00050	---	0.00126	±10.0 %	<0.00050	---
Na	W-METAXFX1	0.030	mg/l	1.84	±10.0 %	17.6	±10.0 %	14.1	±10.0 %

Datum vystavení : 26.2.2010
 Stránka : 3 z 4
 Zakázka : PR1004140
 Zákazník : Botanická zahrada hl. m. Prahy

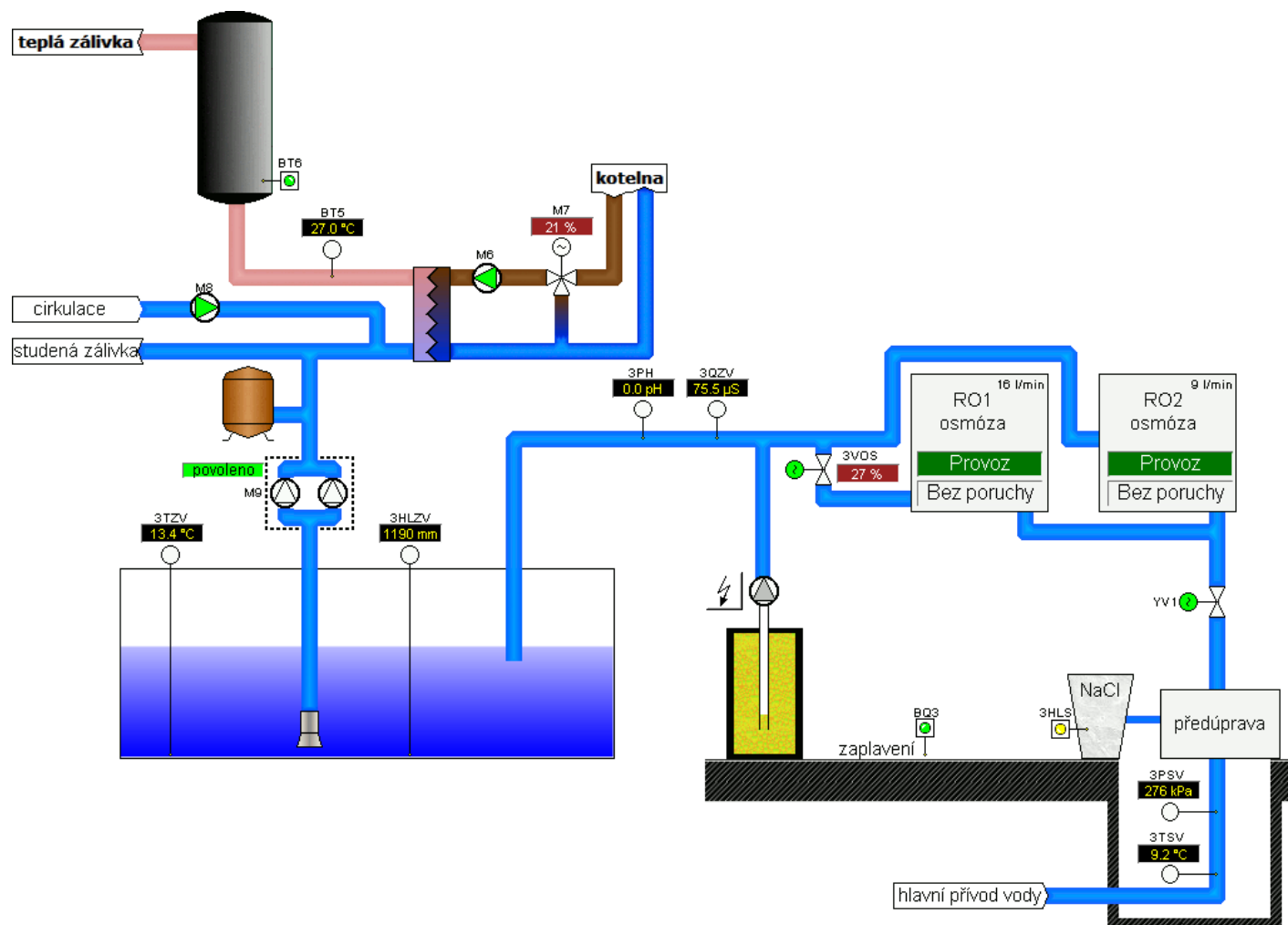


Matrice: PITNÁ VODA				Název vzorku		STUDNA		---		---	
				Identifikace vzorku (lab.)		PR1004140004		---		---	
				Datum odběru/čas odběru		19.2.2010 00:00		---		---	
Parametr	Metoda	LOQ	Jednotka	Výsledek	NM	---	---	---	---		
fyzikální parametry											
konduktivita (25 °C)	W-CON-PCT	0.10	mS/m	104	±10.0 %	---	---	---	---		
pH	W-PH-PCT	1.00	-	8.25	±1.0 %	---	---	---	---		
souhrnné parametry											
suma kationtů	W-CATFX-CC	0.20	mg/l	214	---	---	---	---	---		
tvrdost	W-HARD-FX	0.00020	mmol/l	5.57	---	---	---	---	---		
suma kationtů mval/L	W-CATFX-CC	0.0070	mval/L	12.4	---	---	---	---	---		
tvrdost vápenatá	W-HARD-FX	0.00020	mmol/l	3.14	---	---	---	---	---		
tvrdost hořečnatá	W-HARD-FX	0.00020	mmol/l	2.43	---	---	---	---	---		
suma aniontů	W-ANI-CC2	8.2	mg/l	599	---	---	---	---	---		
suma aniontů mval/L	W-ANI-CC2	0.18	mval/L	11.1	---	---	---	---	---		
anorganické parametry											
amoniak a amonné ionty	W-NH4-SPC	0.050	mg/l	<0.050	---	---	---	---	---		
chloridy	W-CL-IC	1.00	mg/l	50.1	±20.0 %	---	---	---	---		
CHSK-Mn	W-CODMNTIT	0.50	mg/l	0.50	±50.1 %	---	---	---	---		
dusičnany	W-NO3-IC	2.00	mg/l	167	±20.0 %	---	---	---	---		
dusitany	W-NO2-SPC	0.0050	mg/l	0.0858	±20.0 %	---	---	---	---		
orthofosforečnany	W-PO4O-SPC	0.040	mg/l	<0.040	---	---	---	---	---		
sířany jako SO4 (2-)	W-SO4-IC	5.00	mg/l	155	±20.0 %	---	---	---	---		
hydrogenuhlíčitany	W-CO2F-CC2	-	mg/l	227	---	---	---	---	---		
KNK (pH 4.5)	W-ALK-PCT	0.150	mmol/l	3.72	±15.0 %	---	---	---	---		
ZNK (pH 8.3)	W-ACID-PCT	0.150	mmol/l	<0.150	---	---	---	---	---		
CO2 celkový	W-CO2F-CC2	0	mg/l	165.30	---	---	---	---	---		
fluoridy	W-F-IC	0.200	mg/l	0.281	±20.0 %	---	---	---	---		
KNK (pH 8.3)	W-ALK-PCT	0.150	mmol/l	<0.150	---	---	---	---	---		
ZNK (pH 4.5)	W-ACID-PCT	0.150	mmol/l	<0.150	---	---	---	---	---		
CO2 volný	W-CO2F-CC2	0	mg/l	1.67	---	---	---	---	---		
RL sušené (105°C)	W-TDS-GR	10	mg/l	697	±20.0 %	---	---	---	---		
CO2 agresivní	W-CO2F-CC2	0	mg/l	0	---	---	---	---	---		
celkové kovy / hlavní kationty											
Ca	W-METAXFX1	0.0050	mg/l	126	±10.0 %	---	---	---	---		
Fe	W-METAXFX1	0.0020	mg/l	<0.0020	---	---	---	---	---		
K	W-METAXFX1	0.015	mg/l	0.973	±10.0 %	---	---	---	---		
Mg	W-METAXFX1	0.0030	mg/l	59.1	±10.0 %	---	---	---	---		
Mn	W-METAXFX1	0.00050	mg/l	<0.00050	---	---	---	---	---		
Na	W-METAXFX1	0.030	mg/l	28.2	±10.0 %	---	---	---	---		

Pokud zákazník neuvede datum a čas odběru vzorků, laboratoř uvede jako datum odběru datum přijetí vzorku do laboratoře a je uvedeno v závorce .
 Pokud je čas vzorkování uveden 0.00 znamená to, že zákazník uvedl pouze datum a neuvedl čas vzorkování. Nejistota je rozšířena nejistota měření odpovídající 95% intervalu spolehlivosti s koeficientem rozšíření k = 2.

Vysvětlivky: LOQ = Mez stanovitelnosti; NM = Nejistota měření

Příloha 8. Technologické schéma úpravny vody pro zálivku v tropickém skleníku Fata Morgana, zobrazení ve vizualizaci systému měření a regulace (TLG-FM, 2010)



OSMOTIC POWER PROTOTYPE

