

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2016

JANA BRYCHTOVÁ

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav zoologie, rybářství, hydrologie a včelařství



**Snížení obsahu biogenů ve vodě za využití vodních
makrofyt**

Diplomová práce

Vedoucí práce:

doc. Ing. Radovan Kopp, Ph.D.

Vypracovala:

Jana Brychtová

Brno 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci *Snížení biogenů ve vodě za pomoci vodních makrofyt* vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

Poděkování

Děkuji celé své rodině za podporu jak finanční, tak morální během celého mého studia. Dále bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Radovanu Koppovi, Ph.D. za cenné rady, pomoc při realizaci praktické a cenné zdroje informací.

Abstrakt

Cílem práce bylo prokázat účinnost vodních rostlin při odstraňování biogenu z vod, vypracování seznamu vodních rostlin vhodných k tomuto účelu a laboratorní ověření na vybraných rostlinách při, kterém byly sledovány hodnoty pH, konduktivity, celkový N, celkový P, amoniakální dusík, dusitanový dusík, dusičnanový dusík, nárůst masy rostlin a intenzita světla. Data získaná při pokusech laboratorními měřeními jsou zpracovaná do grafické podoby a k dispozici jsou i tabulky naměřených hodnot. Pokusy byly prováděny v učebně a přilehlé laboratoři budovy M Mendelovy univerzity v Brně v termínech od 17.6.2015 do 31.3.2016. Vybranými rostlinami pro testy se staly okřehek menší (*Lemna minor*) a chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*). Testy probíhaly v délce od 7 do 14 dnů u okřehku a 7,5 měsíců u chrastice. Naměřené výsledky potvrdily informace získané z jiných prací a ověřily jejich platnost.

Klíčová slova

Biogeny, změna koncentrací N-NO₃⁻, změna koncentrací N-NO₂⁻, změna koncentrací N-NH₄⁺, celkový N, celkový P

Abstract

The aim of the thesis was to prove the efficiency of aquatic plants in removing of water biogens, to produce a list of aquatic plants suitable for this purpose and laboratory verification of the selected plants which were monitored for pH, conductivity, total N, total P, ammonia nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, plant growth capes and light intensity. Data obtained in experiments by laboratory measurements are processed into a graphic form and there are also available tables of measured values. Experiments were carried out in the classroom and anjanced laboratory building of the M Mendel University in the period from 17.6.2015 to 31.3.2016. The selected plants for tests became duckweed (*Lemna minor*) and reed canary grass (*Phalaris arundinacea*). Tests were carried out in the length of 7 to 14 days for the duckweed and 7.5 months for the canary. Measured results confirmed the information obtained from other works and verified the results.

Key words

Biogen, change of the concentration NO-N₃⁻, change of the concentrations N-NO₂⁻, change of the concentration N-NH₄⁺, total N, total P

Obsah

Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Klíčová slova	5
Abstract.....	5
Key words	5
1 ÚVOD.....	9
2 CÍL PRÁCE	10
3 LITERÁRNÍ PŘEHLED	11
3.1 Klasifikace vod	11
3.1.1 Ukazatele kvality vody	11
3.1.2 Klasifikace vody do 5 tříd.....	12
3.2 Přírodní čištění znečištěných vod	12
3.1.1 Klady přírodního čištění	12
3.1.2 Zápory přírodního čištění.....	13
3.1.3 Vegetace a její význam v procesu čištění	13
3.1.3 Vegetační kořenové čistírny	14
3.1 Eutrofizace	14
3.2 Vybrané biogenní látky znečišťující vodní prostředí.....	15
3.2.1 Dusík.....	15
3.2.2 Fosfor	17
3.4 Přehled vhodných makrofyt (vyšších rostlin) pro čištění vod	18
3.4.1 Okřehek menší (<i>Lemna minor</i>)	18
3.4.2 Rákos obecný (<i>Phragmites australis</i>).....	18
3.4.3 Orobinec široolistý (<i>Typha latifolia</i>)	19
3.4.4 Orobinec úzkolistý (<i>Typha angustifolia</i>)	19
3.4.5 Zblochan vodní (<i>Glyceria maxima</i>).....	19

3.4.6	Chrastice rákosovitá (<i>Phalaris arundinacea</i>)	20
3.4.7	Skřípinec jezerní (<i>Schoenoplectus lacustris</i>)	20
3.4.8	Zevar vzpřímený (<i>Sparganium erectum</i>)	20
3.4.9	Sítina rozkladitá (<i>Juncus effusus</i>)	21
3.4.10	Tokozelka vodní hyacint (<i>Eichhornia crassipes</i>)	21
4	MATERIÁL A METODIKA.....	21
4.1	Norma ČSN EN ISO 20079	21
4.2	Stanovení jednotlivých biogenů.....	22
4.2.1	Stanovení dusičnanového dusíku	22
4.2.2	Stanovení dusitanů	23
4.2.3	Stanovení amoniakálního dusíku	23
4.2.4	Stanovení fosforečnanů.....	23
4.2.5	Stanovení celkového dusíku	23
4.2.6	Stanovení celkového fosforu	24
4.2.7	Použité přístroje	24
4.3	Další sledované parametry	26
4.3.1	pH.....	26
4.3.2	konduktivita	26
4.4	Metodika pokusů.....	27
4.4.1	Pokus 1.....	27
4.4.2	Pokus 2.....	28
4.4.3	Pokus 3.....	28
4.4.4	Pokus 4.....	29
4.4.5	Pokus 5.....	29
5	VÝSLEDKY A DISKUSE	31
5.1	Vyhodnocení laboratorních testů	31
5.1.1	Pokus č.1	31

5.1.2 Pokus č.2	34
5.1.3 Pokus č.3	37
5.1.4 Pokus č.4	39
5.1.5 Pokus č.5	41
5.2 Diskuze k laboratorním testům	44
6 ZÁVĚR	48
7 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	49
8 SEZNAM OBRÁZKŮ	52
9 SEZNAM TABULEK	53
10 PŘÍLOHY	54
11 SEZNAM PŘÍLOH	69

1 ÚVOD

Voda je jedním ze základních předpokladů udržení života na Zemi. V současné době stále nových, výkonnějších technologií a zvyšující se životní úrovní narůstá počet zdrojů znečištění a zvyšuje se spotřeba vody. Jsou kladeny vyšší nároky na kvalitu vody do výrobních technologií a pro pitnou vodu. Proto je nutné hledat nové přirozené způsoby čištění vod s co nejmenšími nároků na spotřebu energie a technické vybavení, které by byly využitelné i v přirozených podmínkách na tocích, rybnících apod. Z tohoto hlediska se zdá velmi vhodné využití schopnosti rostlin akumulovat a zapracovávat škodlivé látky nebo látky přirozeně se vyskytující v přírodě, jejichž obsah byl nadměrně zvýšen lidskou činností např. dusičnany, amoniakální dusík, fosforečnany a další, které jsou ve velké míře produkovány lidskou činností zejména zemědělstvím (např. splavování hnojiv do vodních toků), používáním pracích a čisticích prostředků a jejich nedostatečným vyčištěním v čistírnách odpadních vod.

V neposlední řadě je nutné také zmínit rozmach přírodních způsobů čištění vody, jako jsou například kořenové čistírny a jiné, které jsou příjemnější alternativou klasických čistíren odpadních vod a jejich údržba a provoz nevyžadují velké dodávky energie zvenčí. V těchto zařízeních je maximálně využita schopnost rostlin a na nich přebývajících mikroorganismů k odstranění znečišťujících látek z vody přirozenou cestou. Nové technologie čištění vod přírodní cestou jsou nadále zkoumány a zdokonalovány. Zásoby dostupné pitné vody nejsou velké a vzhledem k úbytku srážek, povrchové a podzemní vody je nutné veškerou vodu co nejlépe využít a k tomu potřebujeme nové způsoby „regenerace“ vody.

Z těchto důvodů je nutné zabývat se touto problematikou a hledat nové způsoby a technologie, které budou efektivnější s žádným nebo minimálním dopadem na přírodu kolem sebe.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je vypracování přehledu druhů vodních rostlin s vysokou schopností odčerpávání biogenů zejména fosforu a dusíku v různých formách. V neposlední řadě je cílem ověřit tuto schopnost na vybraných druzích vodních rostlin a výsledky laboratorních testů zpracovat do tabulek, graficky znázornit a vyhodnotit výsledky získané těmito laboratorními testy. Pro dobrou čistící schopnost byl pro testy vybrány tyto rostliny: okřehek menší (*Lemna minor*) na kterém byly prováděny laboratorní testy na odčerpávání biogenů pomocí vodních rostlin za využití normy ČSN EN ISO 20079 Jakost vod – Stanovení toxických účinků složek vody a odpadní vody na okřehek (*Lemna minor*) – Zkouška inhibice růstu okřehek. Další vybranou rostlinou byla chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*).

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

V této části je přehled faktů zjištěných z různých literárních zdrojů a ověřených faktů týkajících se látek znečišťujících vodu, přírodního čištění vod, látek způsobujících eutrofizaci vod.

3.1 Klasifikace vod

Podle normy ČSN 75 7221 Hodnocení jakosti povrchových vod, doplněné o nařízení vlády č.401/2015 Sb. O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Využíváme skupinové ukazatele kvality vody.

3.1.1 Ukazatele kvality vody

3.1.1.1 Kyslíkový režim – je základním ukazatelem kvality vody (množství organických látek)

- BSK – biochemická spotřeba kyslíku
- CHSK – chemická spotřeba kyslíku

3.1.1.2 Základní chemické ukazatele

- pH, teplota, vodivost
- rozpuštěné látky, nerozpuštěné látky
- amoniakální dusík
- dusičnanový dusík
- veškerý fosfor
- TOC – celkový obsah uhlíku

3.1.1.3 Doplnující chemické ukazatele

- vápník, hořčík, chloridy, sírany
- tenzidy aniontové
- NEL – nepolární extrahovatelné „ropné“ látky
- AOX – organicky vázaný chlor

3.1.1.4 Těžké kovy

- rtuť, kadmium, arsen, olovo

3.1.1.5 Radioaktivita

- celkové objemové alfa a beta aktivity

3.1.2 Klasifikace vody do 5 tříd

- I. Třída – Velmi čistá vody: většinou vhodná pro veškerá užití, zejména pro vodárenské účely, koupaliště, chov lososovitých ryb, potravinářský a jiný průmysl, požadující jakost pitné vody,
- II. Třída – Čistá voda: většinou vhodná pro většinu užití, zejména pro vodárenské účely, chov ryb, zásobování průmyslovou vodou nebo vodní sporty,
- III. Třída – Znečištěné voda: většinou vhodná pouze pro zásobování průmyslu vodou, Vodárenské využití pouze v případě nepřítomnosti zdroje lepší jakosti, za předpokladu vícestupňové technologie úpravy. Má malou krajínotvornou hodnotu.
- IV. Třída – Silně znečištěná voda: většinou vhodná pouze pro omezené účely,
- V. Třída – Velmi silně znečištěná voda: většinou se nehodí na žádné účely (Polášková, 2011).

3.2 Přírodní čištění znečištěných vod

Kapitola pojednává o kladech a záporech přírodních metod čištění vod, úkolu rostlin při procesu čištění, kořenových čistírnách a vlivu přirozených druhů čištění na životní prostředí.

3.1.1 Klady přírodního čištění

- Využívání samočisticí probíhající v mokřadním, vodním a půdním prostředí podpořené vodní, mokřadní a terestrickou vegetací.
- Environmentální charakter zařízení.
- Možnost přirozeného začlenění do okolního prostředí.
- Jednoduché technologické provedení.
- Nízké investiční a provozní náklady.
- Minimální potřeba dodávané energie.
- Možnost nárazového přetížení balastními vodami.
- Poměrně dobrý čistící účinek od začátku používání.
- Poutání části fosforu a dusíku vegetací.
- Možnost čištění organicky nízko zatížených vod, u kterých není možnost klasického čištění umělými způsoby.
- Schopnost krátkodobého i dlouhodobého přerušení provozu.

- Zlepšení půdní úrodnosti, při použití vody pro závlahu (Šálek, Tlapák, 2006).

3.1.2 Zápory přírodního čištění

- Nepropracovanost technického a biologického uspořádání.
- Neznalost investorů a projektantů.
- Nekvalitní obsluha.
- Nedostatečné jednoduché zařízení pro odstranění přebytečné plovoucí biomasy z nádrží.
- Chybějící přemístitelné zařízení pro odkalování (odbahňování) nádrží a dořešení způsobu nakládání s odpadem.
- Náročnost na plochu.
- Nízká účinnost při odstraňování amoniakálního dusíku vzhledem k bezkyslíkatým poměrům v nádrži (vyřešeno u druhé generace).
- U přírodních neřízených mokřadů poměrně rychlé zanášení a zakolmatování erozními smyvy (Šálek, Tlapák, 2006).

3.1.3 Vegetace a její význam v procesu čištění

- Využití stopových prvků a živin k tvorbě biomasy rostlin.
- Vytvoření příznivých podmínek pro mikroorganismy, nezbytné při procesu čištění.
- Produkce kyslíku během fotosyntézy řasami a sinicemi, čímž se stávají důležitým zdrojem kyslíku, zejména při procesu čištění v biologických nádržích.
- Pomoc při vyrovnávání kyslíkové bilance, pomocí dodání kyslíku do kořenové zóny.
- Vytvoření přírodního mikroklimatu v oblasti přírodních způsobů čištění, pomocí transpirace, kterou převádějí velkou část vody do ovzduší.
- V chladných měsících vytváří opad tepelnou izolaci filtračního lože čímž i výrazně snižuje hloubku promrzání.
- Kromě dalších funkcí mají rostliny používané v přírodních čistírnách estetickou funkci jak v urbanizované prostředí, tak i v krajině.
- Bez vegetace by přírodní způsob čištění nebyl možný (Šálek, Tlapák, 2006).

3.1.3 Vegetační kořenové čistírny

První plnoprovozní kořenová čistírna odpadních vod v České republice byla postavena v obci Petrov u Jílového. Do provozu byla uvedena v roce 1989 (Vymazal, Kröpfelová, 2007).

Pokud jsou malé přírodní čistírny odpadních vod dobře vyprojektovány, navrženy, realizovány a provozovány, je pravděpodobná jejich dlouhodobá dobrá funkčnost. Toto bylo zjištěno na základě dlouhodobého sledování (15 let) těchto zařízení. Byly však nalezeny i menší nedostatky, která ovšem nemají zásadní vliv na funkčnost zařízení. Mezi tyto nedostatky patří například:

- zaplevelování kořenového pole (kopřivami, náletem keřů a stromů, svlačcem...), což je nutné řešit pletím.
- Problémové udržení vícedruhové složené rostlin, pro plnění estetické funkce. Nejhůře dosažitelní vícedruhové složení je dohromady s rákosem nebo chrasticí rákosovitou, které jsou dominantními druhy a dochází k vytlačení ostatních druhů.
- Při určitých klimatických podmínkách může docházet k mírnému zápachu.

I přes tyto nedostatky však převládají kladné zkušenosti, mezi které patří spolehlivost po dlouhou dobu, nízká pořizovací cena i provoz, není nutná energie, snadná údržba, tichost, estetické začlenění do krajiny, zvlhčení vzduchu, zvýšení biodiverzity, mohou pracovat i jako bezodtokové, kal ze septiků je možné kompostovat a další (Žáková, Žák, 2005).

3.1.4 Rozdělení kořenových čistíren

Vegetační kořenové čistírny můžeme rozdělit do 4 skupin:

- Vegetační kořenové čistírny s horizontálním povrchovým prouděním
 - Vegetační kořenové čistírny s horizontálním podpovrchovým prouděním
 - Vegetační kořenové čistírny s vertikálním prouděním směrem dolů
 - Vegetační kořenové čistírny s vertikálním prouděním směrem vzhůru
- (Pospíšilová, 2006)

3.1 Eutrofizace

Jednou z nejviditelnějších zátěží vod je eutrofizace. Eutrofizace je obohacování vod o živiny, zejména dusičnany a fosforečnany ze zemědělství, průmyslu i domácností. S rostoucím obsahem živin biodiverzita většinou klesá a obsah organických živin, však

nadále stoupá. Jelikož přemnožené mikroorganismy (zejména při úhynu) spotřebovávají kyslík a uvolňují toxiny, čímž způsobí likvidaci velkého množství původních druhů, zejména ryb (Polášková, 2011).

K eutrofizaci dochází v letních teplých měsících ve vodách bohatých na živiny. Dochází k přemnožení sinic a řas tvořící vodní květ. V důsledku přemnožení dochází k poklesu kyslíku, což ohrožuje ostatní život ve vodě. Koupání v eutrofní vodě může způsobit kožní onemocnění a alergické reakce (Červinka, 2005).

Vody jsou považovány za mezotrofní při koncentraci fosforu od $25 \mu\text{g.l}^{-1}$ a za eutrofní od $50 \mu\text{g.l}^{-1}$. V našich podmínkách považujeme za limitní faktor spíše fosfor, díky kterému u nás v ČR došlo ke zhoršení kvality vod (Polášková, 2011).

Charakteristickou vlastností eutrofních vod velký rozdíl obsahu kyslíku ve vodě během dne (intenzivní průběh fotosyntézy fytoplanktonu) nadbytek kyslíku, zatímco v noci obsah kyslíku klesá (následek dýchání vodních organismů a rozkladem organické hmoty) na kritické hodnoty pro život ryb. Ve vodě se vyskytuje velké množství rozpuštěného železa a manganu. Také je negativně ovlivněna chuť a pach. V neposlední řadě je dobře sledovatelný zákal (Noskovič, 2012).

3.2 Vybrané biogenní látky znečišťující vodní prostředí

V následující kapitole jsou popsány nejdůležitější biogenní látky znečišťující v současné době v nadlimitním množství vodní zdroje a způsobující eutrofizaci vodách plocha a s ní související problémy jako je například nedostatek kyslíku pro vodní živočichy nebo vytvoření toxického prostředí ve vodních nádržích apod.

3.2.1 Dusík

Dusík patří mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky. Řadíme jej do takzvaných nutrientů, které jsou nepostradatelné pro rozvoj mikroorganismů. Jeho uplatnění najdeme ve všech biologických procesech ve vodách podzemních, odpadních, podpovrchových a při biologických procesech úpravy a čištění vody (Pitter, 2009). Dusík se převážně vyskytuje v zemské atmosféře jako molekula N_2 , vzduch je tedy hlavním zdrojem pro tvorbu sloučenin dusíku. Vázaný dusík se vyskytuje v dusičnanech a bílkovinách. V přírodních podmínkách vzniká oxid dusnatý, dusný a dusičitý a amoniak převážně činností mikroorganismů (Vacík, 1999).

Dusík je důležitým prvkem a ve velké míře přispívá k eutrofizaci vodních ploch (nádrží, rybníků apod.).

3.2.1.1 Dusičnany

Dusičnany vznikají převážně sekundárně při nitrifikaci. Jsou též konečným stupněm při rozkladu dusíkatých organických látek v oxickém prostředí. Důležitým zdrojem se v posledních letech stala dusíkatá hnojiva a emise s ovzduší se spalování paliv. Dusičnany patří mezi 4 hlavní anionty a můžeme je nalézt téměř ve všech vodách. V důsledku nárůstu lidské populace a rozvoje zemědělství jejich koncentrace ve vodách neustále stoupá. Koncentrace dusičnanů se v přírodních vodách mění v závislosti na ročních obdobích. Nejvyšší koncentrace se vyskytuje v zimním mimovegetačním období. Nejnižší koncentrace je v létě, kdy jsou odčerpávány vegetací. Dusičnany jsou konečným stadiem mineralizace organických dusíkatých látek a v oxickém prostředí jsou stabilní, v anoxických podmínkách však podléhají denitrifikaci. Dusičnany nejsou samy o sobě škodlivé v trávicím traktu se však, mohou přeměnit na škodlivější dusitany. Dusičnany jsou též prekurzorem dusitanů. V pitné vodě by neměla být překročena koncentrace 50 mg.l⁻¹ u dospělých a 15 mg.l⁻¹ u kojenců (Pitter, 2009).

3.2.1.2 Dusitany

Dusitany vznikají zejména biochemickou oxidací amoniakálního dusíku tzv. nitrifikací, nebo biochemickou redukcí dusičnanů. Častější je vznik pomocí nitrifikace. Dusitany se zpravidla vyskytují v kombinaci s dusičnany a amoniakálním dusíkem. Vzhledem ke své biologické a chemické nestálosti se většinou vyskytují jen ve stopovém, nebo velmi malém množství. Jsou snadno redukovány nebo oxidovány. O tom zda budou redukovány, nebo oxidovány rozhoduje pH vody, ve které se vyskytují. Zdrojem dusitanů jsou odpadní vody z průmyslové výroby (barviv, chladicí vody při obrábění aj.) (Pitter, 2009).

Z hlediska hygienického, jsou dusitany většinou nepodstatné ve vyšších koncentracích, mohou způsobit methemoglobinemii. Náhlý nárůst koncentrací dusitanů ve vodách může ukazovat na fekální znečištění. Některé sloučeniny vznikající v kyselém prostředí N-nitrosoaminy lze označit za potencionálně karcinogenní. Působí toxicky na ryby, míry jejich toxicity je závislá na celkovém složení vody zejména na obsahu chloridů. Dusitany pronikají žaberním epitelem do krve a tvoří methemoglobin, který nepřenáší kyslík a dochází k dušení ryb (Pitter, 2009).

3.2.1.3 Amoniakální dusík

Amoniakální dusík vzniká rozkladem organických dusíkatých látek rostlinného a živočišného původu. Je důležitým ukazatelem fekálního znečištění podzemních vod. Antropogenním zdrojem N-NH₄ jsou zejména odpady ze zemědělských výroby a odpadní vody (domácností, galvanického pokovování, tepelného zpracování uhlí aj.). Dalším zdrojem mohou být emise amoniaku v okolí závodu živočišné výroby. V neposlední řadě jsou výrazným zdrojem dusíkatá hnojiva, která se infiltrací a splachem ze zemědělských ploch dostávají do podzemních, podpovrchových i vodních toků (Pitter, 2009).

Rozpouštěním amoniaku vznikají hydráty, které jsou přímo disociovány na ionty NH₄⁺ a OH⁻. Zvyšující se teplota a hodnota pH podporuje disociování NH₄⁺ na NH₃ z hlediska toxikologického (toxicita pro ryby) i hydrologického je tato skutečnost velice důležitá. Další formou amoniakálního dusíku mohou být aminokomplexy, které tvoří NH₃ sloučeniny s různými kovy. Některé komplexy jsou stabilní a mohou zabránit uvolňování hydratovaných oxidů kovů (Pitter, 2009).

V povrchových vodách ve většině případů není překročena koncentrace amoniakálního dusíku nad 1 mg/l. V silně alkalickém prostředí (pH 10-11) amoniakální dusík odstranit pomocí provzdušňování s účinností až 98%. Za oxických podmínek je ve vodách nestálý a snadno podléhá biochemické oxidaci (nitrifikace). Přítomnost amoniakálního dusíku zvyšuje korozi mědi a jejích slitin, v neposlední řadě působí toxicky na ryby (Pitter, 2009).

3.2.2 Fosfor

V přírodě se P vykytuje pouze ve sloučeninách. Nejvýznamnější sloučeninou fosforu je fosforečnan vápenatý, jenž tvoří základní složku apatitu a fosforitu, což jsou základní složky pro výrobu elementárního fosforu (Mareček, Honza, 1998).

Přirozeným zdrojem fosforu ve vodách je vyluhování a rozpouštění některých zvětralých hornin a minerálů (apatit, variscit aj.). Dále také rozklad zooplanktonu a fytoplanktonu na povrchu sedimentu. Z antropogenních zdrojů jsou to především odpadní vody z prádelny, fosforečná hnojiva, splaškové vody, odmašťovací a čisticí prostředky. Fosfor je jednou z klíčových látek při eutrofizaci vod (Pitter, 2009).

Nejdůležitější sloučeniny fosforu jsou oxidy, fosforečnany (fosfáty) a oxokyseliny. Nejběžnějším fosforečným hnojivem je superfosfát, který vzniká rozpuštěním Ca₃(PO₄)₂ v silné kyselině např. H₂SO₄ za vzniku dihydrogenfosforečnanu

vápenatého $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ tzv. superfosfátu. Mimo jiné jsou fosforečnany používány jako změkčovadlo v potravinářském průmyslu, v čistících práscích, při výrobě léků, pracích prostředcích aj. (Vacík, 1999).

Rozpustné ve vodě jsou pouze dihydrogenfosforečnany s^1 a s^2 – prvků, fosforečnany a hydrogenfosforečnany s^1 – prvků. Za pomoci silných kyselin lze převést nerozpustné formy na ve vodě rozpustné soli. V živých organizmech jsou fosforečnanové ionty vázané na organické molekuly jako například ATP, RNA, DNA (Vacík, 1999).

V zemské kůře je fosfor 11. nejrozšířenějším prvkem. Koloběh P je silně ovlivněn neexistencí těkavé sloučeniny, která by mohla cirkulovat pomocí atmosféry (Toužín, 2001).

3.4 Přehled vhodných makrofyt (vyšších rostlin) pro čištění vod

Kapitola poskytuje přehled druhů vodních rostlin vhodných pro využití při čištění vod.

3.4.1 Okřehek menší (*Lemna minor*)

Stanoviště: Vyskytuje se v zónách plovoucích rostlin stojatých vod. Často se vyskytuje v masách pokrývající vodní hladinu. Dalšími stanovišti jsou kaluže a příkopy. Jeho výskyt je velmi hojný (Aichele, 2001).

Zajímavosti a popis: Vytváří okrouhlé, oboustranně ploché, kožovité, maximálně 0,5 cm široké, zelené, ze spodu někdy červené lístky, mající na spodu jediný kořínek s tupou špičkou (Podubský, Štědranský, 1954). Lísky jsou na rubu ploché, široké 2 – 3 mm (Aichele, 2001). Samostatné rostlinky se udržují zelené i přes zimu při okraji rybníků (Podubský, Štědranský, 1954). Někdy se používá ke krmení kachňat, pro údajnou podporu jejich růstu (Aichele, 2001). Okřehek menší je nerozšířenější, velmi rychle se množícím druhem z rodu okřeheků u nás. Jsou rozšířeny v úživných rybnících a přehnojených návesních rybníčcích (Reichholf, 1998).

3.4.2 Rákos obecný (*Phragmites australis*)

Stanoviště: Stojaté a mírně tekoucí vody, ploché říční zátočiny, mělké pobřežní rybníky a jezera. Na substrát není náročný, roste jak na místech zabahněných tak písčitých. Nejvíce mu vyhovují vody minerálně bohaté a to zejména na vápník (Podubský, Štědranský, 1954).

Zajímavosti a popis: Vnější strany listové pochvy jsou drsné, uvnitř hladké. Při větru se snadno otáčí kolem stébla. Stéblo je zakončeno 25-40 cm dlouhou červenohnědou, po

dokvětu staženou latou. Po odkvětu se chloupky na latě prodlužují a tvoří tak huňatou latu. Rákos patří mezi naše největší trávy, dorůstá výšky až 4 m (Podubský, Štědranský, 1954). Radíme jej mezi nejúspěšnější pobřežní rostliny na Zemi. Má vysokou produkce jeho biomasy je srovnatelná s produkcí hospodářských rostlin. Stébla jsou zpevněna kyselinou křemičitou a poté co zdřevnatí, jsou stejně jako kolínka na stéblech pevná téměř jako ocelové trubky téhož průměru. Díky tomuto zpevnění vzdorují letním bouřím i zimním bouřím a po přikrytí sněhem vytváří vhodné zimoviště pro drobné živočichy. V posledních letech se tato rostlina dostává do středu zájmu vzhledem k její schopnosti zneškodnit nebezpečné fenolové sloučeniny a vyhubit ve vodě nebezpečné zárodky (Reichholf, 1998).

3.4.3 Orobinec širolistý (*Typha latifolia*)

Stanoviště: Stojaté vody, rákosiny, náročný na živiny, při začínajících stadiích zazemňování vod (Aichele, 2001).

Zajímavosti a popis: Pomocí samičích šištic, na které nasedají samčí (Aichele, 2001). Statnější než orobinec úzkolistý (Podubský, Štědranský, 1954). Květy samčí i samičí v dlouhých válcovitých stejně dlouhých palicích. Samičí palice mají černohnědou barvu. Listy dlouhé 10 – 20 mm široké modrozelené barvy. Výška rostliny je 90 – 250 cm. Kvete v měsících červen až srpen. Patří mezi rostliny jednoděložné vytrvalé (Aichele, 2001). Často se vyskytuje společně s orobincem úzkolistým. Oddenky lze použít jako krmivo bohaté na škrob pro skot a prasat. Lze jej také využít k výrobě provazů, pleteného zboží (Podubský, Štědranský, 1954).

3.4.4 Orobinec úzkolistý (*Typha angustifolia*)

Stanoviště: Vyskytují se v rákosinách pomalu tekoucích nebo stojatých vod. Hojný výskyt (Aichele, 2001). Nejlépe se mu daří v bahnitých okrajích rybníků. Má stejné nároky jako zblochan vodní (Podubský, Štědranský, 1954).

Zajímavosti a popis: Umístění samčích palic 1 – 15 cm nad samičími palicemi. Samičí i samčí květy jsou uspořádány v dlouze válcovitých palicích velmi malých velikostí. Listy jsou 5 – 10 cm široké, tmavě zelené barvy. Patří mezi rostliny jednoděložné vytrvalé. Kvete v období od června do srpna (Aichele, 2001).

3.4.5 Zblochan vodní (*Glyceria maxima*)

Stanoviště: Vyskytuje na březích stojatých i mírně tekoucích vod, v močálech i mírně tekoucích vodách. Dna mu vyhovují jak bahnitá tak písčítá. Nejlépe mu vyhovují bahnitá dna se zatopením mezi 20-30 cm (Podubský, Štědranský, 1954).

Zajímavosti a popis: Široké drsné listy, stejnosměrně rozložená lata složená z malých, vejčitých, nahnědlých ze stran zploštělých tří- až čtyřkvětých klásků. Žlutohnědá rostlina, vzhledem podobná rákosu, vytvářející z oddenku až 2 m vysoká a silná stébla. Má vegetační období od dubna do zámraz, což přispívá k jeho velkému rozrůstání. Po rákosu patří mezi nejrozšířenější trávy. Obilky a mladé výhonky jsou potravou pro ryby, proto je ryby rádi vyhledávají. Velice dobře snáší kosení díky jeho rychlému rozmnožování. Vytváří i plovoucí ostrůvky, prorůstáním náplavy (Podubský, Štědranský, 1954).

3.4.6 Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*)

Stanoviště: Hojně se vykytuje na březích vod, příkopech a mokřích loukách s dostatkem vláhy a humusu. Nejlépe prospívá v rybnících s hlinitými břehy a slunném místě (Podubský, Štědranský, 1954).

Zajímavosti a popis: Přímá, lesklá, 1,5 až 3 m dlouhá stébla se sivozelenými, širokým na pochvách a okrajích na okraji roztrepeným jazýčkem bez ouška. Patří mezi vytrvalé trávy s plazivými, výběžkatými oddenky. Má ráda kolísání vody. Je skvělým krmivem pro dojnice koně. Má dobré účinky na vývoj kostí a srsti při línání. Nejlépe je sklízet jí před květem, aby nedošlo k jejímu ztvrdnutí. Má velmi ráda vyšší množství dusíku (Podubský, Štědranský, 1954).

3.4.7 Skřípinec jezerní (*Schoenoplectus lacustris*)

Stanoviště: Kraje stojatých a mírně tekoucích vod, tůň a vodní příkopy. Dobře snáší i hlubší vody (Podubský, Štědranský, 1954).

Zajímavosti a popis: Statné oblé až 3 m vysoké lodyhy ze spodní části obepjaty fialově hnědými bezčepelnatými pochvami. Často tvoří složku rákosin promísenou s rákosem a orobincem. Porosty bývají často vysunuty dalece do vodní hladiny. V zanedbaných rybnících silně stínící porosty podporující zarůstání a zabahňování dna. Nejbujnější růst nastává v jarních měsících. Vápnění je rostlinou špatně snášeno (Podubský, Štědranský, 1954).

3.4.8 Zevar vzpřímený (*Sparganium erectum*)

Stanoviště: Převážně stojaté, nebo pomalu tekoucí vody, bahnité příkopy (Grau, 1998).

Zajímavosti a popis: 30 až 60 cm dlouze kvetoucí lodyha, poléhavý oddenek s výběžky. Listy jsou tvrdé a tuhé nahoře s kýlem, který na spodní straně dosahuje až ke špičce, přímé, na spodu trojhranné max. 50 cm dlouhé a až 1,5 cm široké (Grau, 1998).

3.4.9 Sítina rozkladitá (*Juncus effusus*)

Stanoviště: Je rozšířena po celé Evropě vyjímaje arktické oblasti (Grau, 1998). Hojně se vyskytuje na vlhkých loukách, na březích tekoucích i stojatých vod a bažinách (Podubský, Štědronský, 1954).

Zajímavosti a popis: Zářivě zelená tráva vysoká až 75 cm i více. Lodyha je hladká, vyplněná dřeví, vzácně slabě rýhovaná, přímá. Lodyha má pouze jedno květenství přesahující listenem. Kvete v období červen až srpen. Květenství je zdánlivě postranní kuželovité, volně svazčité a mnohokvěté. Tobolka je nahoře rozšířená, trojhranná, částečně vmáčklá, lehce hnědá čnělka je přisedlá v této prohlubni (Grau, 1998).

3.4.10 Tokozelka vodní hyacint (*Eichhornia crassipes*)

Stanoviště: Nepůvodní rostlina z Afriky. Přes léto pěstována jak ve stojatých tak mírně tekoucích vodách (Vaněk, Stodola, 1987).

Zajímavosti a popis: Nafouklý řapík obsahující vevnitř vzdušné pletivo. Listy dlouhé 5-15 cm, zelené, tvořící růžici listů srdčitého až ledvinovitého tvaru. Květy modrofialové, podobné hyacintu v květenstvích po 5 až 40 květech. Nejvyšší květ odlišený. Je nesouměrný se žlutou modře lemovanou skvrnou. Nutné zimování přes zimu. V mělkých vodách je schopna zakořenit v hlubších vodách, je volně unášena vodou. Má vynikající schopnosti jako vodní filtr škodlivých látek ve vodě. Je často pěstována jako okrasná rostlina jezírek. Má velice bujný růst. Kvete v období kveten až říjen. Dosahuje velikosti 35-40 cm (Vaněk, Stodola, 1987).

4 MATERIÁL A METODIKA

Kapitola popisuje metody použité při laboratorních testech a normu, podle které se laboratorní testy upravovaly, aby podmínky a výsledky byly snadno zopakovatelné a ověřitelné.

4.1 Norma ČSN EN ISO 20079

Norma určuje postup stanovení inhibice růstu okřehku (*Lemna minor*) látkami a směsmi obsaženými ve vodě. Dle této metodiky byly pěstovány kultury okřehku (*Lemna minor*) v živném mediu viz. Tab. 1

Tab. 1 složení Steinbergova media se stabilizovanou složkou pH (modifikované Altenburgem) makrosložky

Makrosložky	Koncentrace (mg.l ⁻¹)
KNO ₃	350,00

Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	295,00
KH ₂ PO ₄	90,00
K ₂ HPO ₄	12,60
MgSO ₄ ·7H ₂ O	100,00

Tab. 2 složení Steinbergova media se stabilizovanou složkou pH (modifikované Altenburgem) mikrosložky

Mikrosložky	Koncentrace (µg.l⁻¹)
H ₃ BO ₃	120,00
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	180,00
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	44,00
MnCl ₂ ·4H ₂ O	180,00
MnCl ₂ ·6H ₂ O	760,00
EDTA, disodná sůl, dihydrát	1 500,00

4.2 Stanovení jednotlivých biogenů

Kapitola obsahuje postupy použité při stanovení sledovaných látek. Všechny koncentrace látek byly určovány pomocí optické metody spektrofotometrie. Tato metoda je založena na výměně energie mezi látkou a zářením.

4.2.1 Stanovení dusičnanového dusíku

Podstatou stanovení je reakce dusičnanu ve vzorku s 2,6-dimethylfenolem v prostředí směsi koncentrovaných kyselin (fosforečná, sírová, amidosírová) za vzniku cihlově červené sloučeniny 4-nitro-2,6dimethylfenolu. Síla zabarvení je úměrná množství dusičnanů ve vzorku, které spektrofotometricky stanovíme při vlnové délce 330nm (Horáková, 2003).

4.2.1.1 Postup stanovení

Do fotometrické zkumavky odpipetujeme 0,5 ml vzorku, poté přidáme 3,5 ml činidla číslo jedna (směs kyselin sírové, fosforečné a amidosírové) a 0,5 ml činidla č. 2 2,6-dimethylfenol. Poté zkumavku uzavřeme, promícháme a po cca 15-60 minutách měříme na spektrofotometru. Před vložením do spektrofotometru zkumavku promícháme a otřeme.

4.2.2 Stanovení dusitanů

Principem stanovení je diazotace kyseliny sulfonilové dusitany obsaženými ve vzorku a kopulace diazoniové soli s N-(1-naftyl) ethylendiamindihydrochloridem při čemž dojde k vzniku červeného azobarviva. Síla zbarvení odpovídá koncentraci dusitanů ve vzorku (Horáková, 2003).

4.2.2.1 Postup stanovení

Do fotometrické zkumavky odpipetujeme 10 ml vzorku, poté přidáme 0,5 ml činidla číslo 1 (kyselina sulfanilová) a 0,5 ml činidla číslo 2 (kopulační roztok, N-/1-naftyl/-ethylendiaminhydrochlorid). Zkumavky uzavřeme, promícháme a po cca 20 minutách změříme na fotospektrometru při vlnové délce 540 nm.

4.2.3 Stanovení amoniakálního dusíku

Principem stanovení je reakce amonných iontů se salicylanem sodným a chlornanovými ionty v prostředí nitroprussidu sodného za vzniku modrého zbarvení. Síla vzniklého zbarvení je v určitém rozmezí úměrná koncentraci NH_4^+ iontů (Horáková, 2003).

4.2.3.1 Postup stanovení

Do fotometrické zkumavky odpipetujeme 10 ml vzorku, přidáme 0,5 ml činidla číslo 1 (vybarvovací činidlo) a 0,5 ml činidla číslo 2 (dichlorisokyanuratan sodný). Zkumavku uzavřeme, promícháme a po cca 30 minutách změříme na fotospektrometru při vlnové délce 665 nm.

4.2.4 Stanovení fosforečnanů

Principem stanovení je reakce orthofosforečnanů v kyselém prostředí kyseliny sírové za katalytického účinku antimonitých iontů s molybdenanem amonným. Při redukcí kyselinou askorbovou fosfomolybdenový modrý roztok, který lze fotospektrometricky stanovit (Horáková, 2003).

4.2.4.1 Postup stanovení

Do fotometrické zkumavky odpipetujeme 10 ml vzorku, přidáme 0,5 ml činidla číslo 1 (kyselina askorbová) a 1 ml činidla číslo 2 (roztok molybdenanu). Zkumavku uzavřeme, promícháme a po cca 15 minutách změříme na spektrofotometru.

4.2.5 Stanovení celkového dusíku

Principem metody je převedení veškerých forem dusíku na dusičnany (WTW, 2013).

4.2.5.1 Postup stanovení

Do varné zkumavky odpipetujeme 1 ml vzorku a doplníme 9 ml destilované vody, přidáme 1 dávku reagentu N-1K a 6 kapek reagentu N-K2. Zkumavky promícháme a dáme na 60 minut do rozkladače při teplotě 120 °C. Poté zkumavky necháme vychladnout a postupujeme jako při stanovení dusičnanů viz. stanovení dusičnanů. Při měření zvolíme na přístroji stanovení celkového dusíku.

4.2.6 Stanovení celkového fosforu

Podstatou stanovení je rozložení organických sloučenin fosforu a hydrolyzace veškerých polyfosforečnanů oxidací peroxodisíranu v prostředí kyseliny sírové (WTW, 2013).

4.2.6.1 Postup stanovení

Do varné zkumavky odpipetujeme 0,5 ml 1M H₂SO₄, poté přidáme 5 ml vzorku a dávku peroxodisíranu draselného. Zkumavky uzavřeme, promícháme a dáme do rozkladače při 120 °C na 60 minut. Poté zkumavky vyjmeme a necháme vychladnout. Do vychladlých zkumavek odpipetujeme 0,5 ml NaOH (6 mol.l⁻¹) a zamícháme, poté přidáme 0,5 ml kyseliny askorbové a 1 ml molybdenanu amonného. Necháme cca 20 minut stát, poté změříme.

4.2.7 Použité přístroje

Níže jsou uvedeny vybrané parametry používaných přístrojů při měření. Uvedené parametry jsou vybrány s ohledem na hodnoty měřené přístroji.

Tester COMBO pH/EC/TDS (mS.cm⁻¹) HI 98129 měření pH a vodivosti-konduktivity

Tab. 3 Tester Combo

Rozsah	-2,00 až 14,00 pH, 0,00 až 3999 μS/cm (microsiemens/centimetr), 0 až 2000 ppm - mg/L, 0 až 60°C
Kompenzace teploty	automatická
Rozlišení	0,01 pH, 1 μS /cm, 0,1°C
Přesnost	při 20°C +/-0,05 pH, +/- 80, +/- 40, +/-2% rozsahu EC/TDS), +/-0,5°C

(COMBO, 2016)



obr. 1 Tester pH a konduktivity



obr. 2 Terénní multimetr

HQ40D Digitální dvoukanálový multimetr obr. 2

Tab. 4 Terénní multimetr

Měření pH	0 - 14 pH
Měření pH do ustálené hodnoty	5 různých režimů stability
Parametry	pH, mV, ISE, DO, Conductivity, TDS, Salinity, Resistivity, ORP, Temp
Přesnost pH	± 0.002 pH

(HQ40D, 2016)

Spektrofotometr PhotoLab 6600 UV-VIS obr. 4

Tab. 5 Spektrofotometr

Rozsah vlnové délky	190-1100nm
Šířka pásma	4 nm
Zdroj světla	xenonová výbojka
Kyveta	kulatá průměr 16 mm hranaté 10, 20 a 50 mm automatické rozeznání kyvet
Rozměry	404x197x314 mm

(Spektrofotometr, 2016)

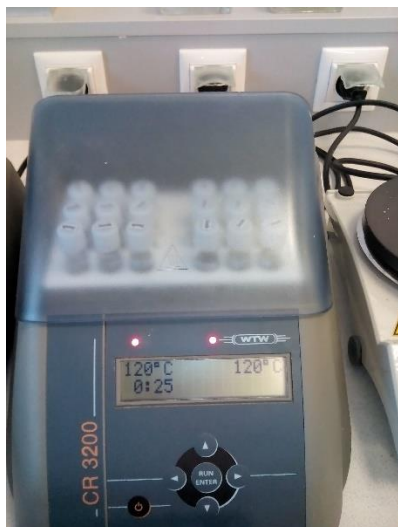
Termoreaktor CR 3200 WTW obr. 3

Tab. 6 Termoreaktor

Počet vzorků max.	2x12
Vlastní programy	8 s volbou 25-170 °C

Přesnost regulace	$\pm 1^{\circ}\text{C} \pm 1$ digit
-------------------	-------------------------------------

(Termoreaktory, 2016)



obr. 3 Termoreaktor CR 3200



obr. 4 spektrofotometr PhotoLab 6600 UV -VIS

4.3 Další sledované parametry

4.3.1 pH

pH je záporná hodnota dekadického logaritmu aktivity vodíkových iontů, vyjádřené v mol/l. Vzhledem k interakci iontů je aktivita vodíkových můstků nižší než její koncentrace a blíží se pouze u hodně zředěných vzorků (Říhová Ambrožová, 2003).

pH měříme prakticky u všech druhů vod a je velmi důležitým ukazatelem pro posuzování dalších vlastností zkoumaných vod. Je velké množství způsobů měření pH vod např. indikátorovými papírky, barevné indikátory a složitější elektromagnetické metody (Říhová Ambrožová, 2003).

pH vzorku se rychle mění vzhledem k chemickým, biologickým a fyzikálním pochodů, proto je nejvhodnější pH měřit přímo na místě, což umožňují pH-metry. Výsledky stanovení jsou do značné míry ovlivněny teplotou vzorku (změnou napětí na elektrodě – u moderních přístrojů kompenzováno teplotním čidlem a teplotní závislostí konstant látek obsažených ve vzorku) (Říhová Ambrožová, 2003).

Vlastní stanovení pH bylo měřeno pomocí přístroje HQ40D digitální dvoukanálový multimetr.

4.3.2 konduktivita

Konduktivita patří mezi základní vlastnosti elektrolytů. Konduktivita je převrácená hodnota odporu a její jednotkou je Siemens [S]. Stanovení konduktivity je

běžnou součástí chemického rozboru vody. Hodnota konduktivity nám umožňuje odhad celkové mineralizace a koncentrace iontově rozpuštěných látek. Hodnotu konduktivity můžeme použít např. při odhadu potřeby ředění vzorku nebo při kontrole kvality destilované vody. Konduktivita je závislá i na teplotě vzorku (Horáková, 2003). Většina moderních přístrojů má automatickou kompenzaci teploty a hodnotou konduktivity. Při pokusech byl k měření konduktivity použit tester COMBO pH/EC/TDS ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) HI 98129 s automatickou kompenzací teploty.

4.4 Metodika pokusů

Při přípravě pokusů byly použity tyto látky:

- dihydrogenfosforečnan draselný KH_2PO_4
- chlorid amonný NH_4Cl
- dusičnan draselný KNO_3
- dusitan sodný NaNO_2

4.4.1 Pokus 1

V pokusu č. 1 bylo namícháno 12 různých poměrů koncentrací N a P ve třech opakováních a probíhal od 9.6.2015 - 30.6.2015. Do 150 ml kádinek bylo odměřeno za pomoci odměrného válce 100 ml z odpovídajícího roztoku připravené varianty, poté bylo přidáno do každé kádinky 10 lístků okřehku menšího (*Lemna minor*). Ve variantě č. 1 byla dána destilovaná voda, jako kontrolní vzorek a ve variantě č.2 bylo dáno Z medium, které má vhodné složení pro rozvoj rostlin. Kádinky byly zadělány fleš folií a umístěny pod umělé osvětlení, které bylo nastaveno na rozmezí 7000-9020 luxů. Dále byly podmínky nastaveny tak, aby pokusné rostliny měly režim světla 12 hodin den/12 hodin noc. Pokus probíhal po dobu 14 dnů a rozborů byly prováděny 1, 7 a 21 den.

Tab. 7 Počáteční složení pokus 1

Varianta	N-NH ₄ ⁺ mg.l ⁻¹	N-NO ₃ ⁻ mg.l ⁻¹	P-PO ₄ ⁺ mg.l ⁻¹
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	7,630	0,018
3	0,000	49,850	3,100
4	0,000	7,650	0,810
5	0,000	7,610	4,970
6	0,000	18,880	0,023
7	0,000	50,000	0,025

8	10,600	7,340	0,020
9	43,500	7,930	0,021
10	9,600	19,900	0,970
11	47,000	56,600	7,280
12	88,000	97,500	7,700

4.4.2 Pokus 2

Při pokusu č. 2 byl použit okřehek pěstovaný v živném roztoku dle normy ČSN EN ISO 20079 a probíhal v období od 5.11 – 12.11.2015. Bylo přichystáno 5 různých variant ve třech opakování. Byly připraveny různé koncentrace P-PO₄⁺ (od 0,08 mg.l⁻¹ – 8,48 mg.l⁻¹). Pro přípravu koncentrací byla použita vodovodní voda. Dále byla sledována změna pH, konduktivity, N-NH₄⁺, N-NO₂⁻ a N-NO₃⁻. Pokus trval 7 dnů a hodnoty byly měřeny při zakládání pokusu a při jeho ukončení. Dále byl sledován i počet lístků a jejich vitalita.

Tab. 8 Počáteční složení pokus 2

Varianta	1	2	3	4	5
c přidané látky	vodovodní voda	P-PO ₄ ⁺ 0,083 mg.l ⁻¹	P-PO ₄ ⁺ 2,197 mg.l ⁻¹	P-PO ₄ ⁺ 4,083 mg.l ⁻¹	P-PO ₄ ⁺ 8,480 mg.l ⁻¹

4.4.3 Pokus 3

Pokus č. 3 probíhal v období od 10.3.2016 do 24.3. 2016. Byl použit okřehek pěstovaný v živném roztoku. Při pokusu č. 3 bylo přichystáno 6 variantách ve třech opakování s různou koncentrací fosforu. Koncentrace byly připraveny od nejnižší po nejvyšší. Byla sledována změna koncentrace celkového fosforu. Pokus probíhal po dobu 14 dní pod umělým osvětlením nastaveným na 12hodin noc/12 hodin den při nastaveném rozmezí 7000-9020 lumenů a při laboratorní teplotě. U tohoto pokusu byly sledovány hodnoty celkového fosforu P a celkového dusíku N. Na závěr pokusu byly stanoveny koncentrace i u N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ a P-PO₄⁺.

Tab. 9 Počáteční složení pokus 3

Varianta	1	2	3	4	5	6
c přidané látky	P celkový 0,040	P celkový 0,370	P celkový 0,665	P celkový 0,930	P celkový 1,580	P celkový 2,360

	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
--	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

4.4.4 Pokus 4

Pokus probíhal v období od 17.3.2016 do 31.3. 2016. Při pokusu č. 4 bylo přichystáno 6 variant ve 3 opakováních. Varianta č. 5 byla kontrolní destilovaná voda a varianta č. 6 byl živný roztok dle normy ČSN EN ISO 20079. Ve variantách č. 1-4 byly připraveny různé poměry dusíku a fosforu. Koncentrace fosforu zůstávala stejná (cca 0,35 mg.l⁻¹) a měnila se koncentrace dusíku N. Poměry P:N byly následující: varianta 1 - 0,35:12 varianta 2 - 0,35:17 varianta 3 - 0,35:37 varianta 4 – 0,35:50. Jak je vidět v níže uvedených grafech 13 – 16.

Varianty byly připraveny následovně. Do 150 ml kádinky bylo odměřeno odměrným válcem 100 ml příslušných roztoků, poté bylo do kádinky umístěno 10 lístků okřehku a kádinky byly překryty potravinářskou fólií a umístěny pod umělé světlo, které bylo nastaveno na rozmezí 7000-9020 lumenů a 12 hodin den/12 hodin noc, v laboratorní teplotě. Při tomto pokusu byla sledována změna koncentrace P celkového a N celkového. Na závěr byly stanoveny koncentrace také u N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ a P-PO₄⁺.

Tab. 10 Počáteční složení pokus 4

Varianta	P celkový mg.l ⁻¹	N celkový mg.l ⁻¹
1	0,349	12,280
2	0,358	17,280
3	0,362	37,200
4	0,352	50,933
5	destilovaná voda	
6	živný roztok	

4.4.5 Pokus 5

Pokus č. 5 byl nejdéle probíhajícím pokusem, trval 7,5 měsíce v období od 30.6.2015 do 17.3.2016 a byl umístěn ve skleníku na střeše budovy M. Jako pokusná rostlina zde byla použita chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*). Rostliny chrastice byly umístěny do boxů, ve kterých bylo na dno umístěno provzdušňování, a rostliny byly umístěny do kamenitého substrátu, poté byly zality připravenými roztoky a ponechány ve stálé teplotě ve skleníku. Během testu byly rostliny několikrát zastříhávány a úbytek vody

odparem byl kompenzován přidavkem destilované vody. Hodnoty koncentrací byly měřeny při zahájení pokusu po 1 měsíci a při ukončení pokusu po 7,5 měsících.

Tab. 10 Počáteční složení pokus 5

Varianta	N-NH₄⁺ mg.l⁻¹	N-NO₃⁻ mg.l⁻¹	N-NO₂⁻ mg.l⁻¹
1	0,000	8,450	0,044
2	8,750	8,850	0,049
3	0,000	8,800	0,882
4	0,000	8,850	3,815
5	0,000	20,750	0,795
6	9,300	21,500	0,831
7	0,000	20,750	10,000
8	0,000	8,850	8,100
9	0,000	48,400	8,140
10	9,300	48,400	7,860

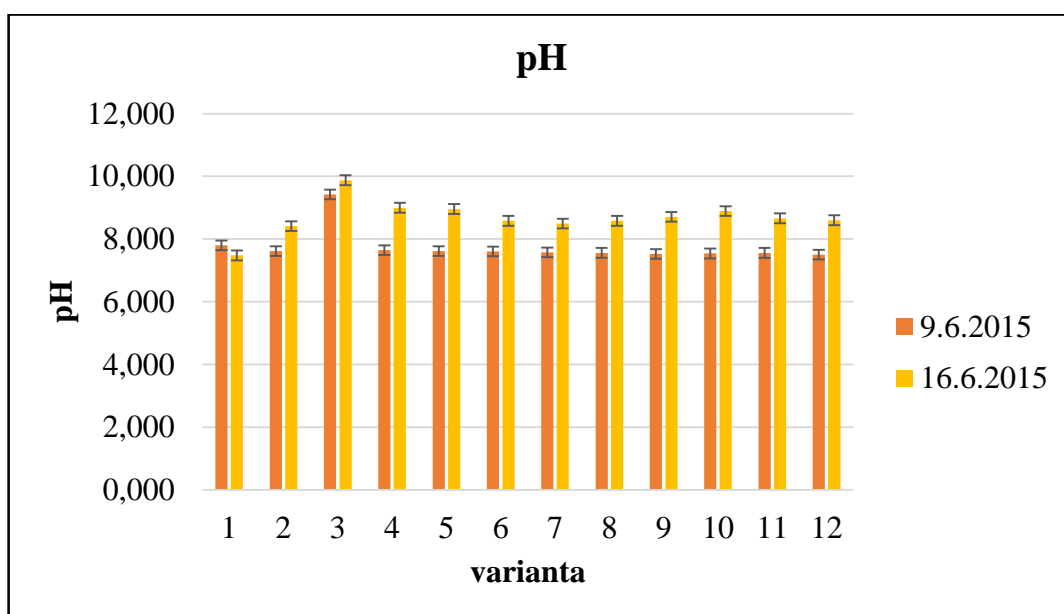
5 VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1 Vyhodnocení laboratorních testů

5.1.1 Pokus č. 1

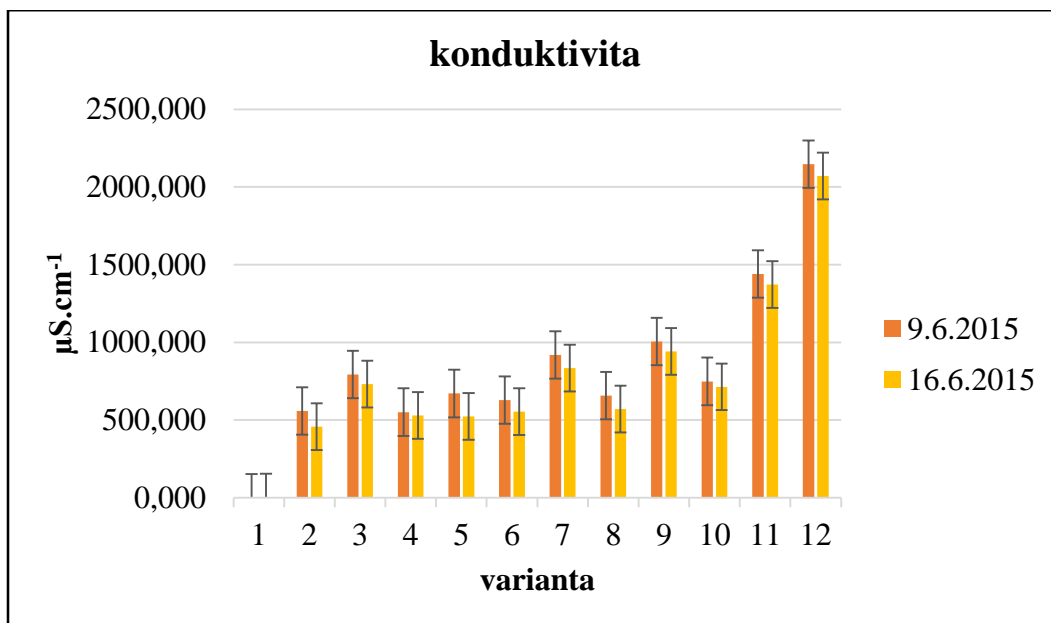
V grafech uvedených níže (Graf č. 1 - Graf č. 5) jsou uvedeny a shrnuty hodnoty zjištěné z měření a pozorování v průběhu pokusu. Veškeré naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce P7-P11 a P25-P26 v příloze.

V grafu 1 je znázorněna změna pH v průběhu pokusu. Ve většině případů, došlo k jejímu nárůstu pouze ve variantě 1 s destilovanou vodou, došlo ke snížení pH. Zvýšení pH bylo způsobeno fotosyntézou rostlin.



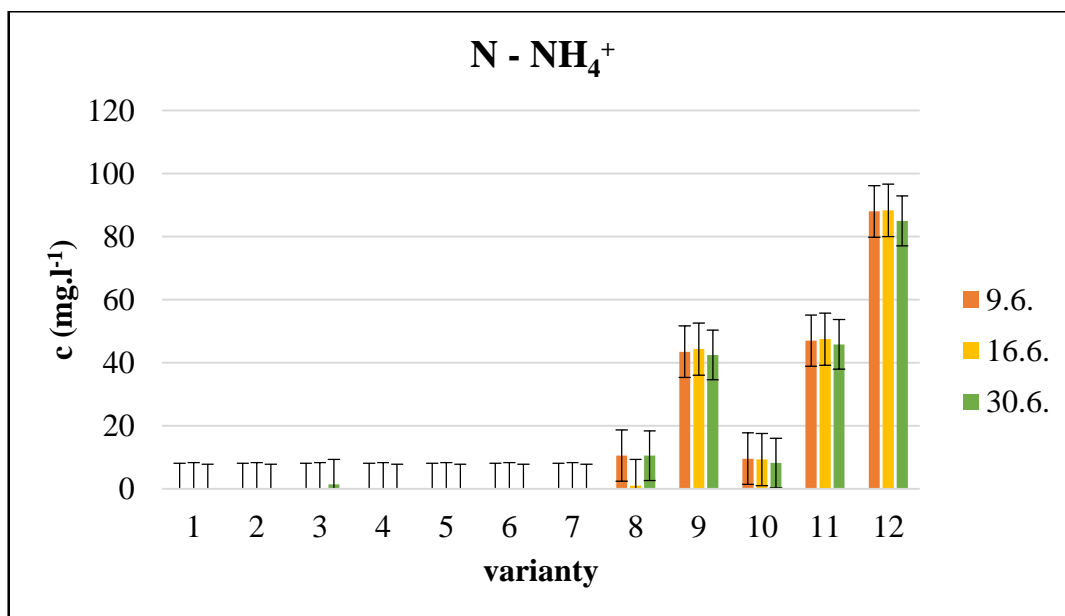
Graf č. 1 změna pH v průběhu pokusu č. 1

Grafu 2 je jasně viditelné snížení konduktivity, způsobené úbytkem solí ve vzorcích. Toto snížení solí koresponduje s úbytkem N-NH_4^+ , N-NO_2^- , N-NO_3^- a P-PO_4^+ .



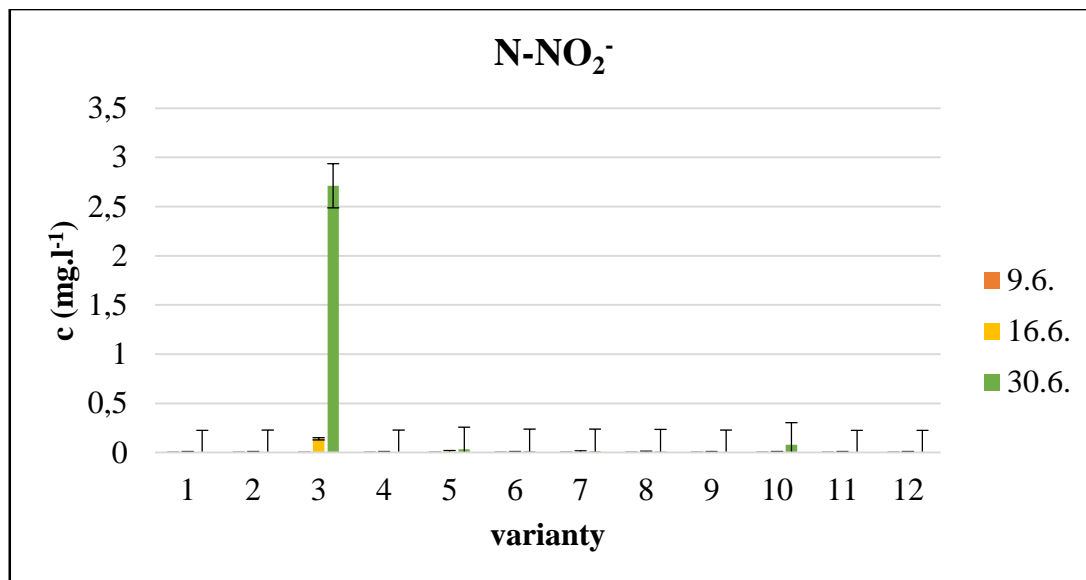
Graf č. 2 změna konduktivity v průběhu pokusu č. 1

V Grafu č. 3 je uvedena změna hodnoty amonného dusíku v průběhu pokusu. Z grafu je jasně patrný pokles amoniakální formy dusíku. Největšího poklesu dosáhla ve variantě č. 12, jejíž počáteční koncentrace byla v poměru $N-NH_4^+ : N-NO_3^- : P-PO_4$ 88 : 97,5 : 7,7. V některých variantách došlo k mírnému nárůstu v průběhu testu, což mohlo být způsobeno například odumíráním lístků a jejich následným rozkladem.



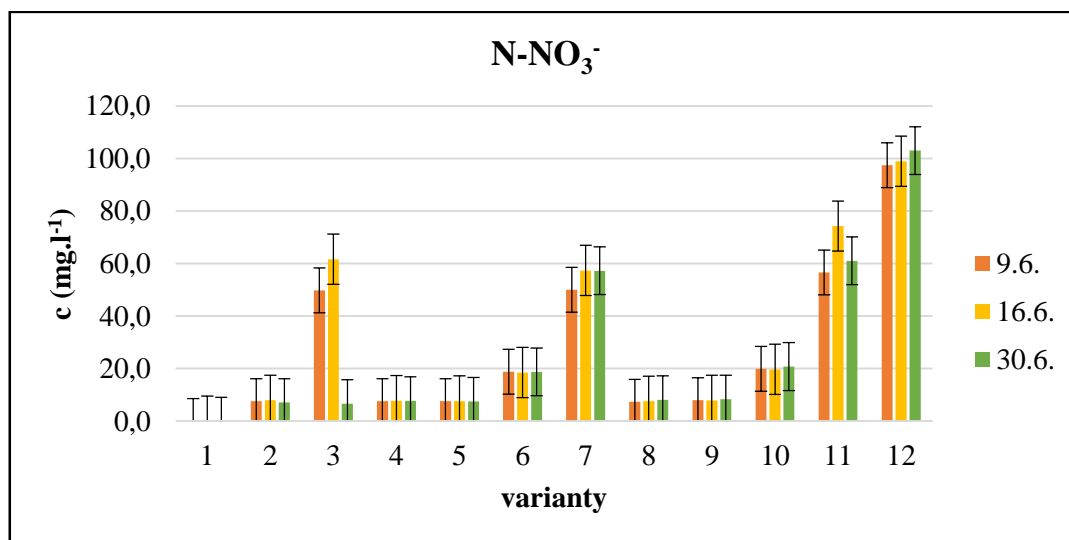
Graf č.3 Změna koncentrace $N-NH_4^+$ v průběhu pokusu č.1

Graf. č. 4, znázorňuje změnu obsahu $N\text{-NO}_2^-$ v průběhu testu. Množství, této formy dusíku bylo ve všech variantách pouze minimální a v průběhu testu došlo k nárůstu této formy dusíku. Hodnoty se pohybovaly v setinách miligramu na litr, a proto jsou zanedbatelné. K jejímu nárůstu mohlo dojít přeměnou jiné formy dusíku.



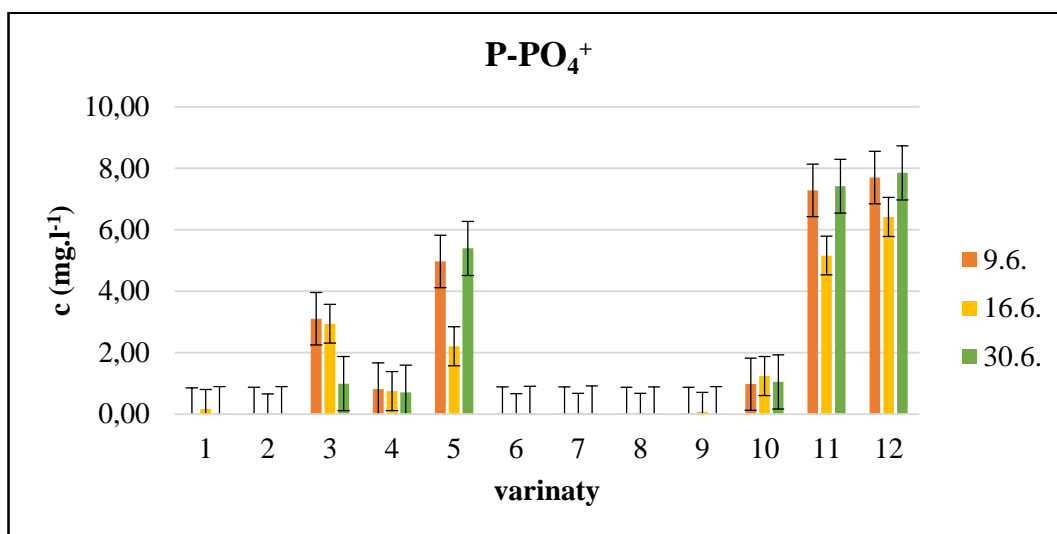
Graf č. 4 Změna koncentrace $N\text{-NO}_2^-$ v průběhu pokusu č. 1

V grafu č. 5 jsou jasně viditelné výkyvy v koncentraci $N\text{-NO}_3^-$ v některých případech mírný nárůst. Formy dusíku se ve vodách často mění, proto úbytek jedné formy může znamenat nárůst v jiné formě. Dále rostliny preferují určitou formu N, proto může být vidět i zřetelnější úbytek u jedné z forem.



Graf č. 5 Změna koncentrace $N\text{-NO}_3^-$ v průběhu pokusu č. 1

Podle grafu 6 došlo v devíti z 12 vzorků k poklesu $P-PO_4^+$, ve zbylých třech případech došlo k jeho nárůstu. Změny v koncentracích fosforu mohly být způsobeny i usazením sloučeniny fosforu po stranách a dně kádinky, či rozkladem organické hmoty.

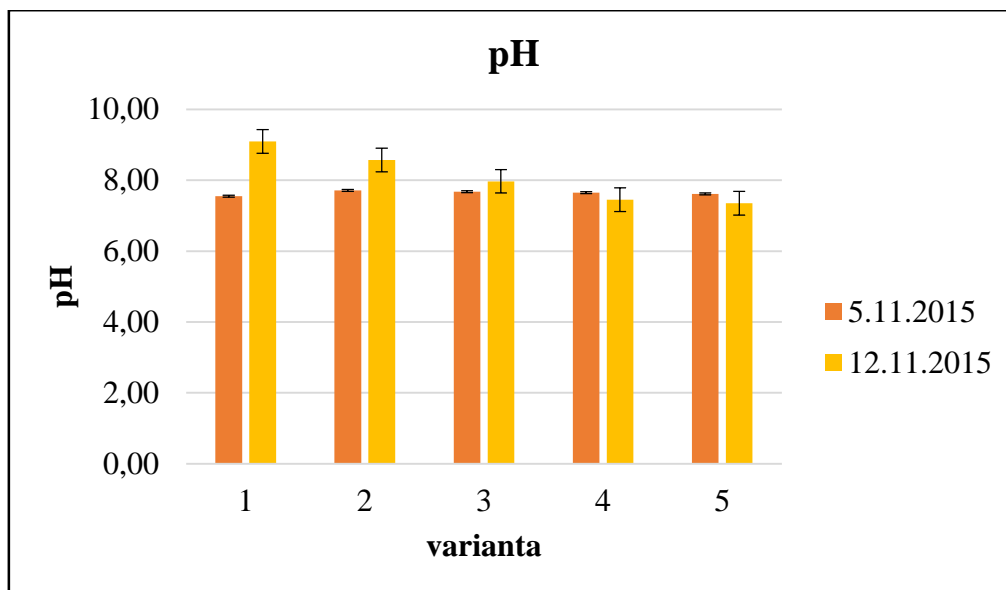


Graf č. 6 Změna koncentrace $P-PO_4^-$ v průběhu pokusu č. 1

V tomto pokusu byla prokázána schopnost okřehku odebírat živiny z vody a tím pomáhat jejímu čištění od znečištění. Životaschopnost a množství odčerpaných živin okřehku záleží ve velké míře i na jejich poměrech. Podle počtu a vitality lístků lze zřetelně rozpoznat příznivější i naopak méně příznivé koncentrace živin pro okřehky. Přehled naměřených hodnot tohoto pokusu je v přílohách P7-P11, P25-P26.

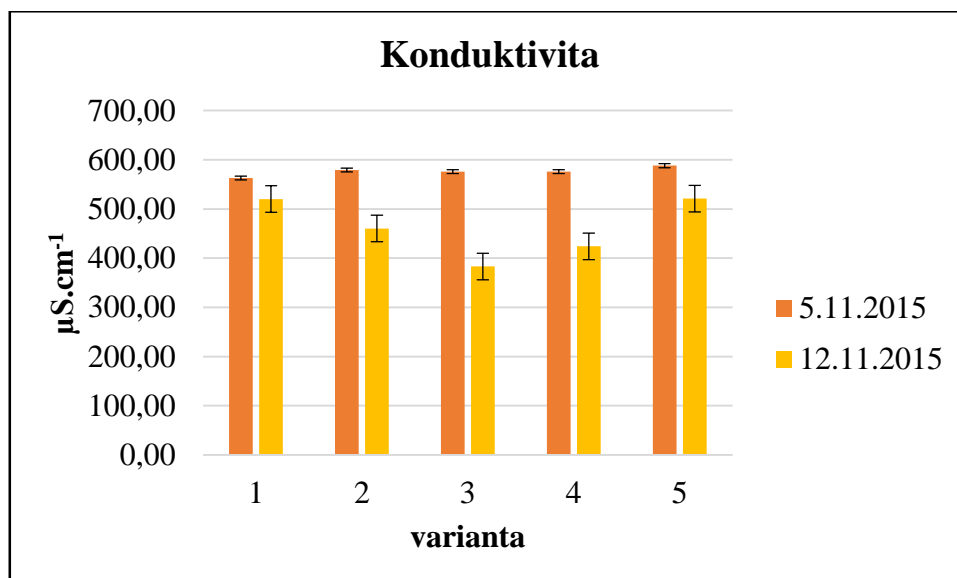
5.1.2 Pokus č. 2

U grafů č. 7 je viditelná změna pH v průběhu času. U variant s nižším obsahem $P-PO_4^+$ (varianta 1-3) došlo ke zvýšení pH na rozdíl od variant s vyšší koncentrací (varianta 4-5) $P-PO_4^+$ došlo ke snížení pH což mohlo být způsobeno menším množstvím chlorofylu v lístcích a z toho vyplývající menší fotosyntézou, která dokáže pH zvýšit. Nejvýraznější změna v pH byla ve variantě číslo 1. s nejnižší koncentrací $P-PO_4^+$, kde došlo ke zvýšení o 1,55 ze 7,55 na 9,10. Vliv na změnu pH měla fotosyntéza rostlin okřehku.



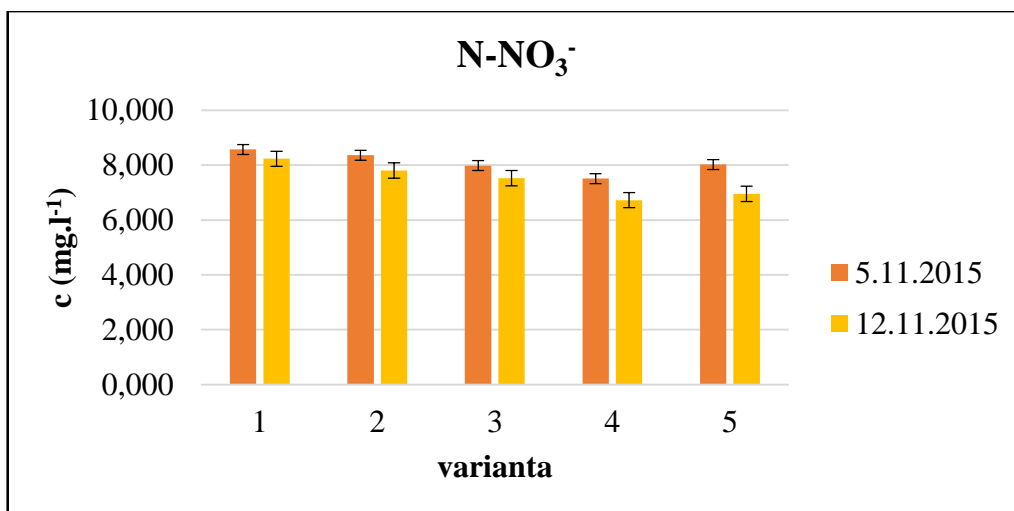
Graf č. 7 Změna pH v průběhu pokusu č. 2

V následujících grafu č. 8 je znázorněna změna konduktivity. Ve všech případech došlo k výraznému snížení konduktivity, což ukazuje na snížení solí ve vzorcích. Největší rozdíl 193 μS (počáteční (576,00 μS) a konečné (383,00 μS) byly naměřeny ve variantě č. 3 s počátečním obsahem P-PO_4^+ 4,08 mg.l^{-1} v následujících dvou variantách s vyšší koncentrací P-PO_4^+ se rozdíl v konduktivitě na začátku a na konci pokusu snižoval, byl ovšem pořád vyšší než v prvních dvou variantách. Z těchto hodnot lze usuzovat, že ideální koncentrace P-PO_4^+ pro nejúčinnější fytofarmaci P-PO_4^+ okřehkem se pohybuje kolem 4 mg.l^{-1}



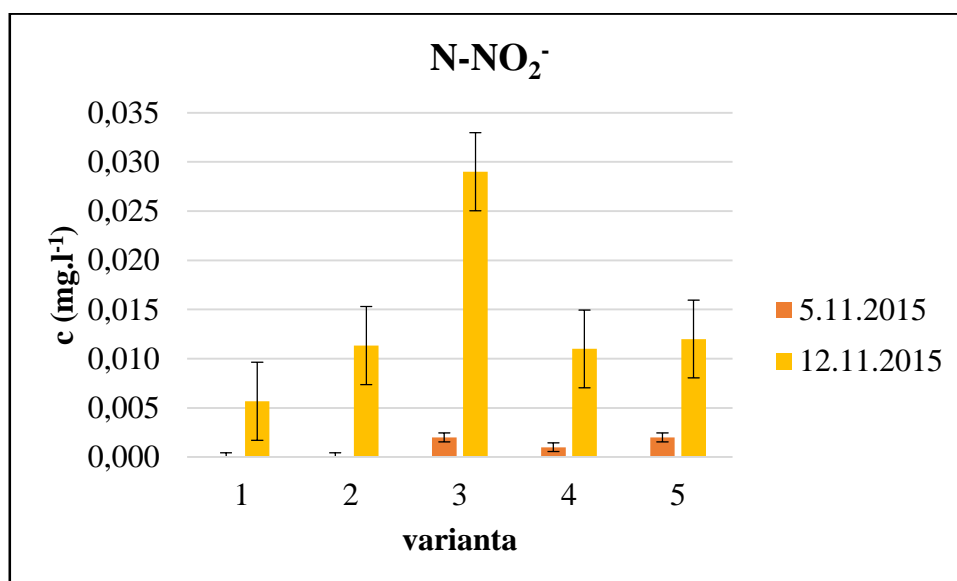
Graf č. 8 Změna vodivosti v průběhu pokusu č. 2

Z grafu 9, který znázorňuje změnu koncentrací N-NO_3^- je jasné patrné snížení koncentrace N-NO_3^- ve všech variantách. Největší snížení o $1,56 \text{ mg.l}^{-1}$ dosáhla varianta č. 4, množství N-NO_3^- je z použité vodovodní vody, kterou byl roztok připraven.



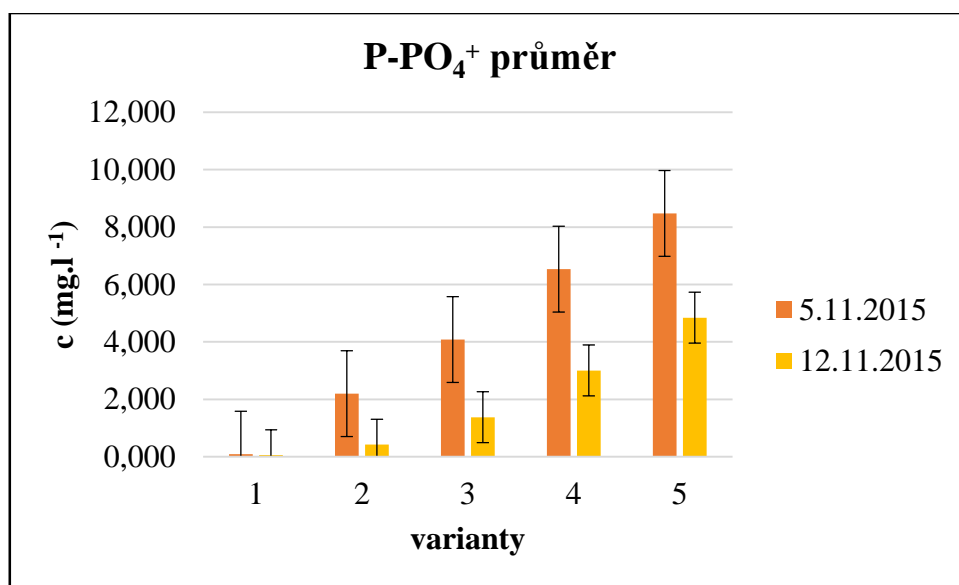
Graf č. 9 Změna koncentrace N-NO_3^- v průběhu pokusu č. 2

Graf č. 10 znázorňuje změny v koncentraci N-NO_2^- . Zdrojem N-NO_2^- byla vodovodní voda. Množství se pohybovalo v tisícinách mg.l^{-1} . V průběhu pokusu došlo k jeho mírnému nárůstu, který mohl být způsoben odumíráním lístků okřehku a následným rozkladem.



Graf č. 10 Změna koncentrace N-NO_2^- v průběhu pokusu č. 2

V tomto pokusu byla zejména sledována změna $P-PO_4^+$. Jak je vidět na grafu č. 11. Došlo k značnému úbytku $P-PO_4^+$. U varianty č. 2, 3 a 4 došlo ke snížení $P-PO_4^+$ o více jak polovinu. A to u varianty č. 2 o $1,78 \text{ mg.l}^{-1}$, u varianty č. 2 o $2,71 \text{ mg.l}^{-1}$ a u varianty č. 4 o $3,537 \text{ mg.l}^{-1}$. Vitalita okřehek však byla velice špatná a při posledním měření po 7 dnech byly všechny lístky bez chlorofylu, nebo odumřelé. Dá se říci, že fosfor ve vyšším množství nesvědčí, ani tak odolným rostlinám jakou bezesporu okřehek je. A proto je obtížné odčerpáním P za pomoci rostlin při vyšších koncentracích.

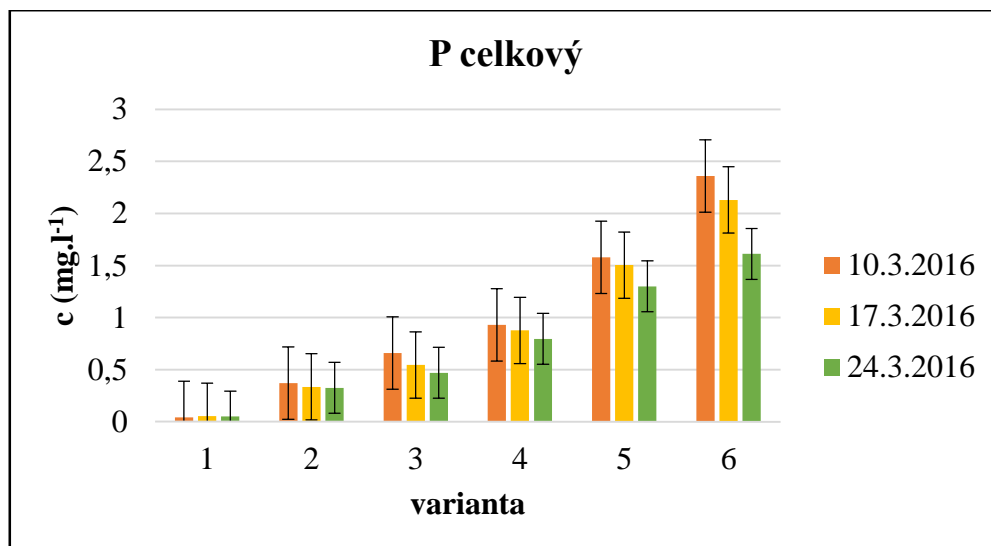


Graf. č. 11 Změna koncentrace $P-PO_4^+$ v průběhu pokusu č. 2

V pokus č. 2 ukázal problematické odčerpávání P pomocí rostlin ve vyšších koncentracích vzhledem k negativním účinkům na růst a životnost rostlin. Naměřené hodnoty jsou zpracovány v tabulkách v příloze P12-P13.

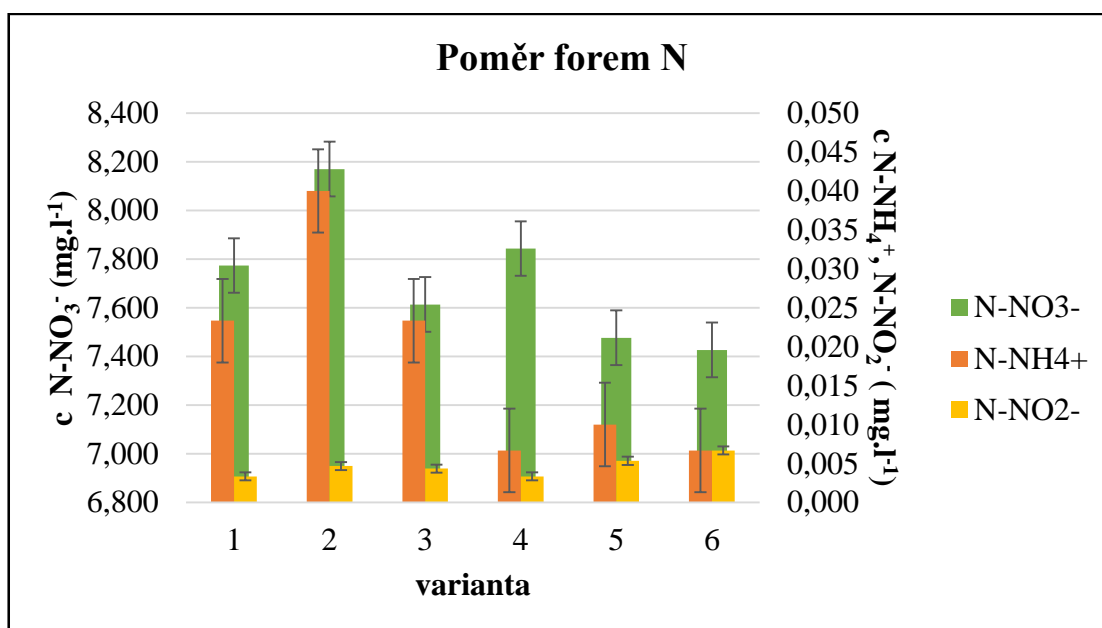
5.1.3 Pokus č. 3

Na grafech č. 12-14 je zaznamenána změna koncentrací celkového fosforu v průběhu testu (při založení, po 7 dnech a po 14 dnech). Je zde jasně viditelné snížení koncentrace celkového P ve všech variantách a opakovaní kromě první varianty, ve které došlo k mírnému zvýšení. K největšímu snížení od založení k ukončení pokusu došlo ve variantě č. 6 a to o $0,748 \text{ mg.l}^{-1}$, což je snížení i o 32% z původní koncentrace. Celkové můžeme říci, že k vyššímu úbytku došlo ve variantách s vyššími koncentracemi.



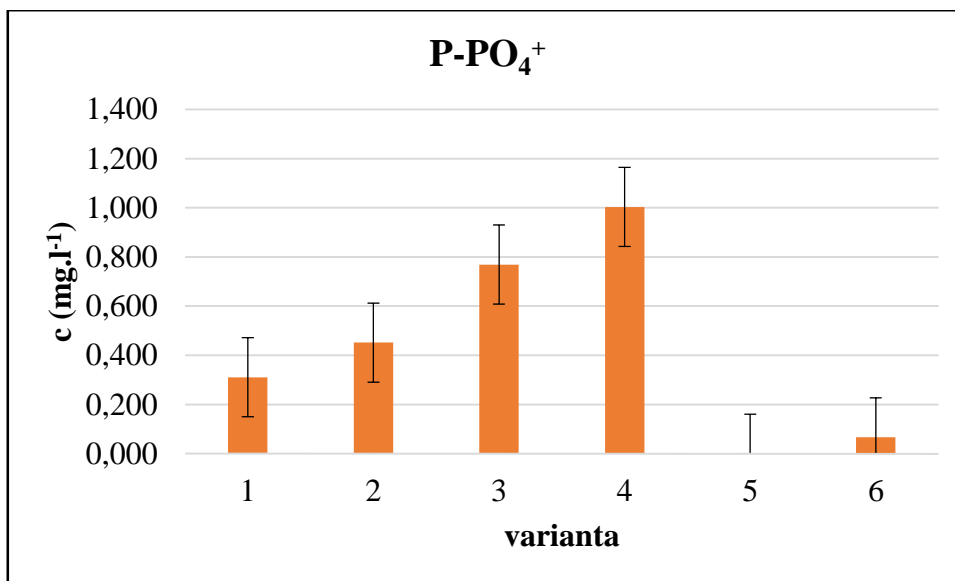
Graf č. 12 Změna koncentrace P celkového v průběhu pokusu č. 3

V následujícím grafu č. 13 je při závěrečném stanovení porovnávána koncentrace tří forem N a to N-NH_4^+ , N-NO_2^- a N-NO_3^- . Převládající formou je N-NO_3^- , která je nejstabilnější formou dusíku ve vodě a k jejímu odbourávání dochází nejobtížněji.



Graf č. 13 Porovnání koncentrací různých forem N v průběhu pokusu č. 3

V následujícím grafu 14 je znázorněná koncentrace P-PO_4^+ při ukončení pokusu. V této formě byly naměřeny vyšší hodnoty než u P celkového, což je pravděpodobně dáno chybou měření, nebo rozkladem organické hmoty.

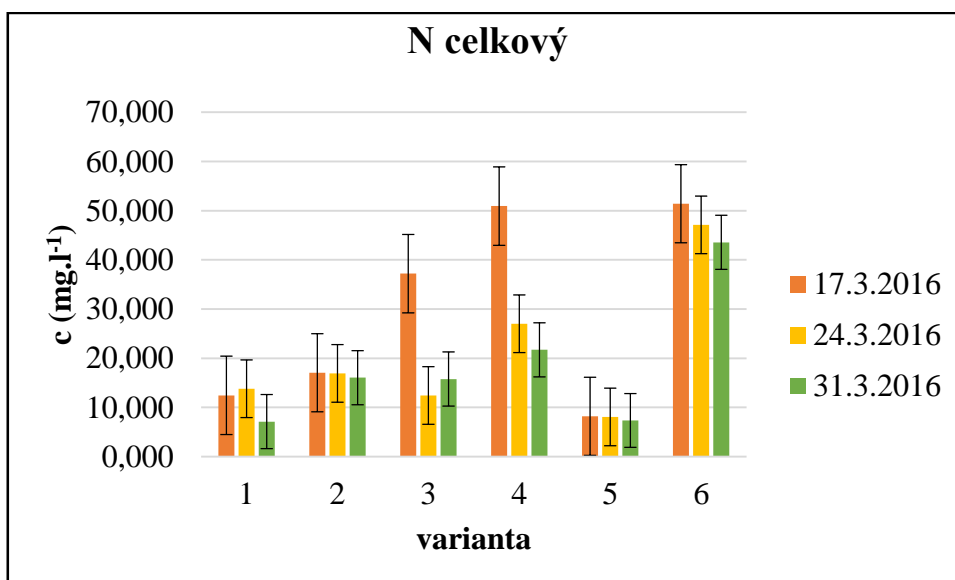


Graf č. 14 Koncentrace P-PO₄⁺ v průběhu pokusu č. 3

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze P14-P17.

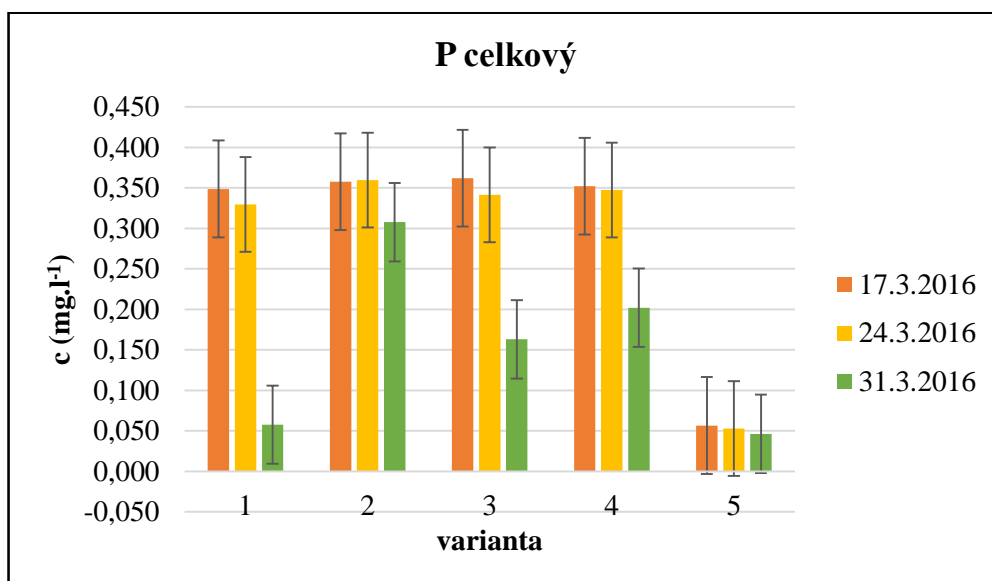
5.1.4 Pokus č. 4

V následujícím grafu č. 15 jsou ukázány změny koncentrací N v průběhu pokusu (po 7 a 14 dnech). Nejvýraznějšího úbytku došlo ve variantě č.4, kdy došlo k poklesu koncentrace dusíku o 29,2 mg.l⁻¹, což je pokles o 57%. I v ostatních variantách došlo k podstatnému snížení koncentrace N. V průběhu pokusu, došlo ve variantě číslo tři nejdříve k většímu snížení koncentrace N, následně k mírnému zvýšení což mohlo být způsobeno rozkladem organické hmoty (okřehku).



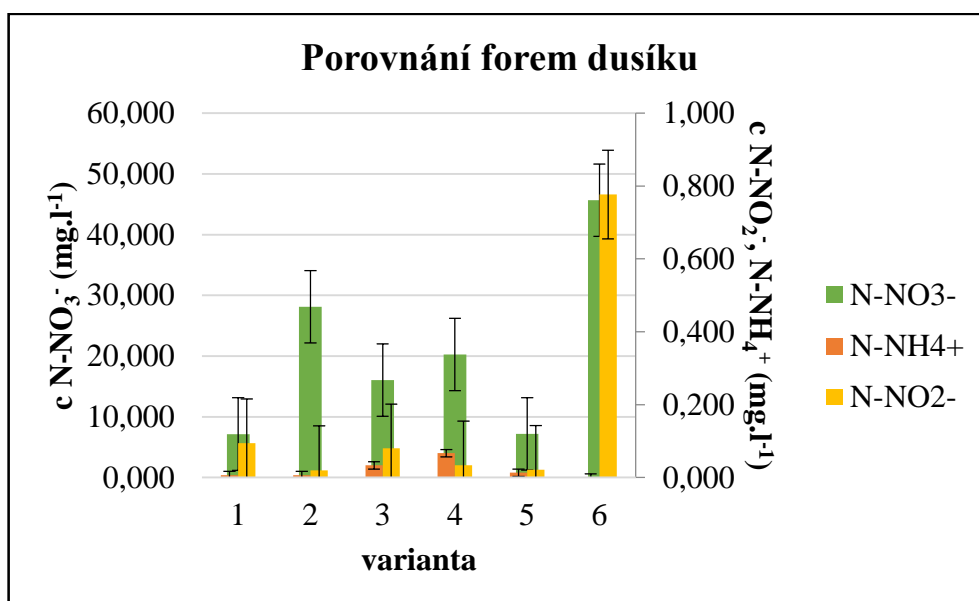
Graf č. 15 Koncentrace celkový N v průběhu pokusu č. 4

Graf č. 16 znázorňuje změnu koncentrací celkového P. Porovnáním s grafem 18 můžeme říci, že k největšímu úbytku fosforu došlo ve variantě 6 s poměrem N:P, 51:0,35, kde došlo k poklesu o 0,303 mg.l⁻¹ což je snížení o 87%.



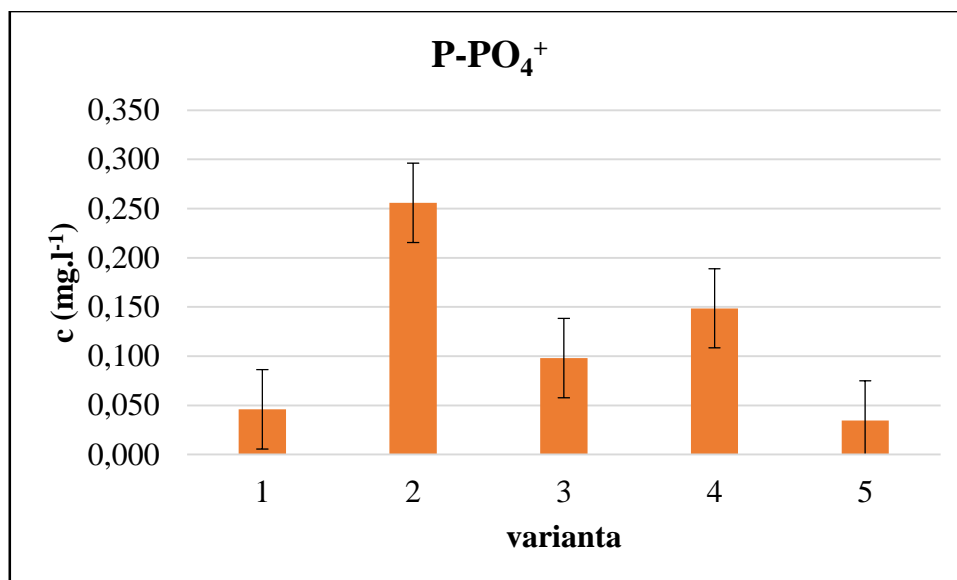
Graf č. 16 Koncentrace celkový P v průběhu pokusu č. 4

Graf č. 17 porovnává zastoupení třech forem dusíku (N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺), při závěrečném stanovení. Je zde jasně převládající forma N-NO₃⁻. Zdůvodnění převahy této formy N je odůvodněno již výše. Zastoupení ostatních forem je pouze malé v setinách maximálně v desetínách mg.l⁻¹.



Graf č. 17 Poměr koncentrací forem N v průběhu pokusu č. 4

Posledním graficky zpracovaným výstupem v tomto pokusu je koncentrace P- PO_4^+ . Tato forma P při závěrečném stanovení tvořila 73 - 83 % z celkově naměřeného P. K výkyvu došlo ve variantě č. 3, kde tato forma P tvořila pouze 16 %.

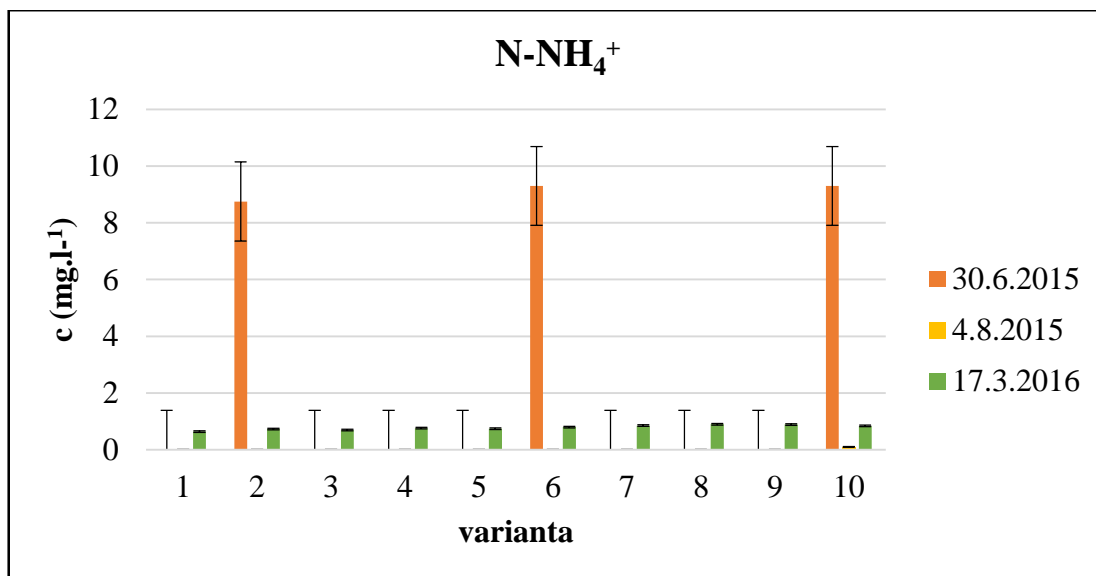


Graf č. 18 Koncentrace P- PO_4^+ závěrečné stanovení v průběhu pokusu č. 4

Při tomto pokusu byly zejména sledovány změny koncentrací dusíku v různých poměrech N:P. Nejvýraznější změny koncentrací N nastaly při poměru 50:0,35. K podobnému výsledku, jsme dospěly i u P, kdy nejvyššímu snížení došlo ve variantě č. 6 s poměrem 51:0,35. Vitalita okřehku při tomto pokusu byla velice dobrá což lze vidět i na množství nově narostlých lístků. Přesné hodnoty měření jsou uvedeny v příloze P18-P21.

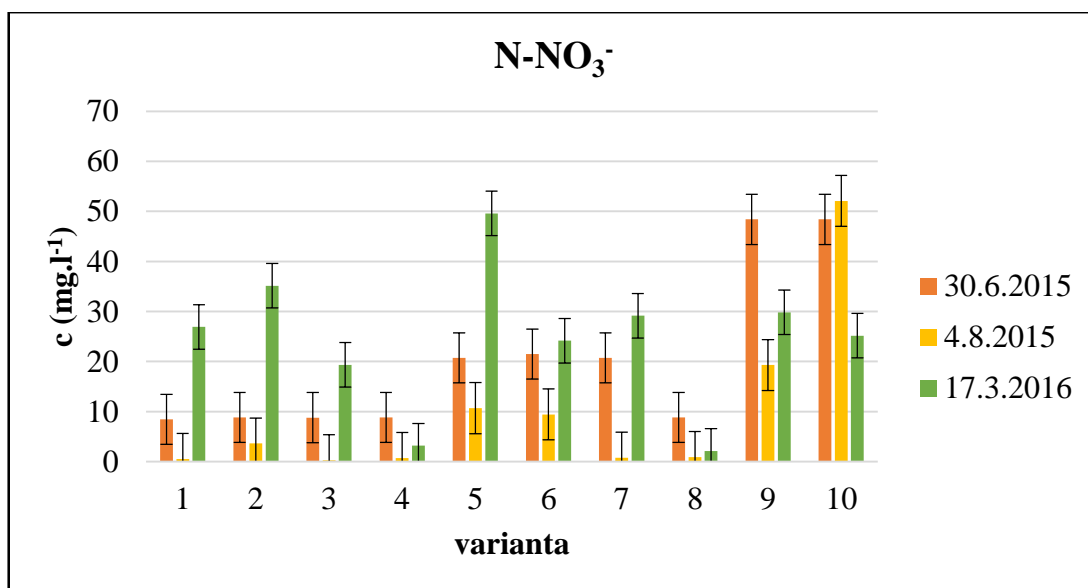
5.1.5 Pokus č. 5

V grafu č. 19 jsou uvedeny změny koncentrací N- NH_4^+ po jednom a 7,5 měsících. Ve variantách s přimíchanou formou dusíku N- NH_4^+ je vidět zřetelné snížení koncentrace této formy N. V ostatních variantách je vidět nepatrné zvýšení (v desetinách mg.l⁻¹) způsobeném postupným odumíráním starých listů chrastice nahrazenými novými listy.



Graf č. 19 Změna koncentrace N-NH₄⁺ po 1 a 7,5 měsících v průběhu pokusu č. 5

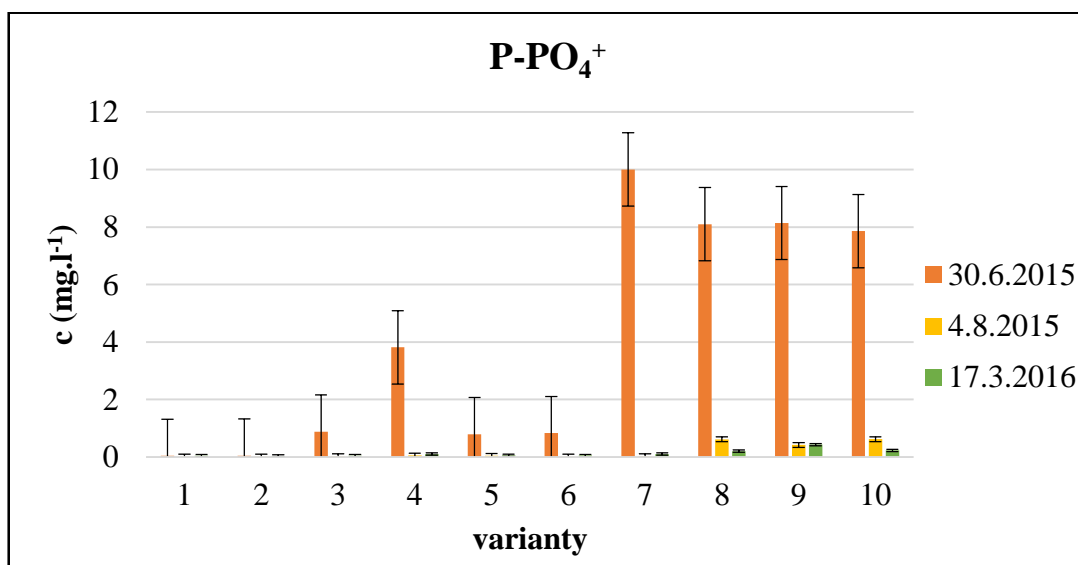
V grafu č. 20 je znázorněna změna koncentrace N-NO₃⁻. Je zde patrné zvýšení koncentrace této formy dusíku v 7 z 10 přichystaných variant. Ke zvýšení došlo po 7,5 měsících ve variantách a 1, 2, 3, 5, 6, 7 a 8. Výrazné snížení bylo ve variantách 4, 9 a 10. Zvýšení bylo způsobeno značným rozkladem organické hmoty rostlin.



Graf č. 20 Změna koncentrace N-NO₃⁻ po 1 a 7,5 měsících v průběhu pokusu č.5

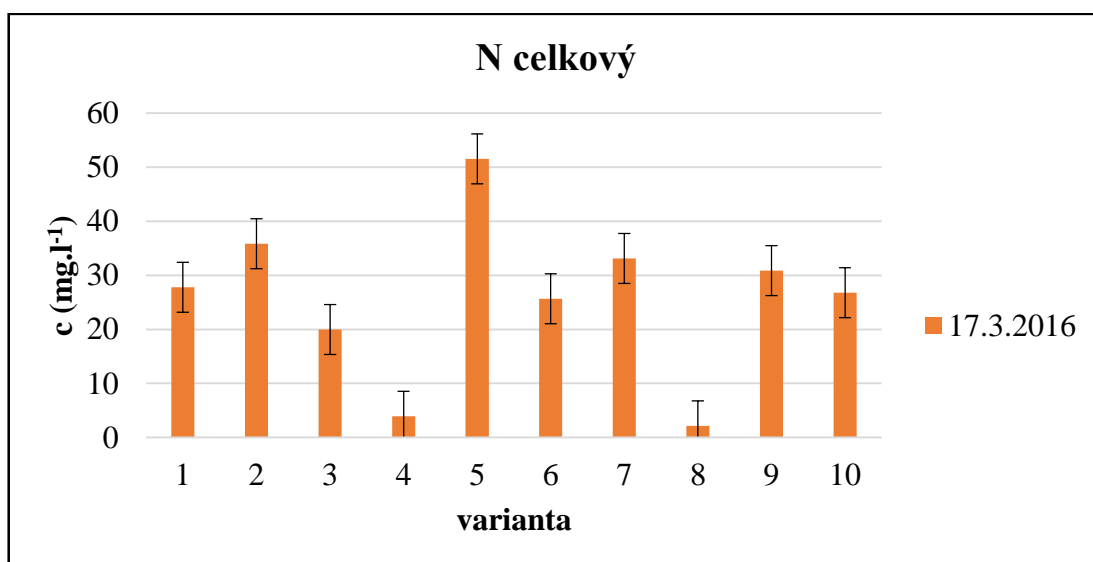
Graf č. 21 znázorňuje změnu P-PO₄⁺, kde je jasně patrné odbourání téměř veškerého množství této formy P. K nejvýraznějšímu poklesu došlo ve variantě 7, kde došlo ke snížení o 99 % v ostatních variantách s přidáním P (varianta 3, 4, 5, 6, 8, 9 a 10) došlo ke snížení o 95%, 98%, 93%, 93%, 97%, 95% a 97%. Z těchto výsledků lze

usuzovat možnost téměř 100% odbourání P-PO_4^+ z vody pomocí rostlin. Kromě odbourání rostlinami však musíme počítat s tím, že značná část fosforu se může navázat na substrát.



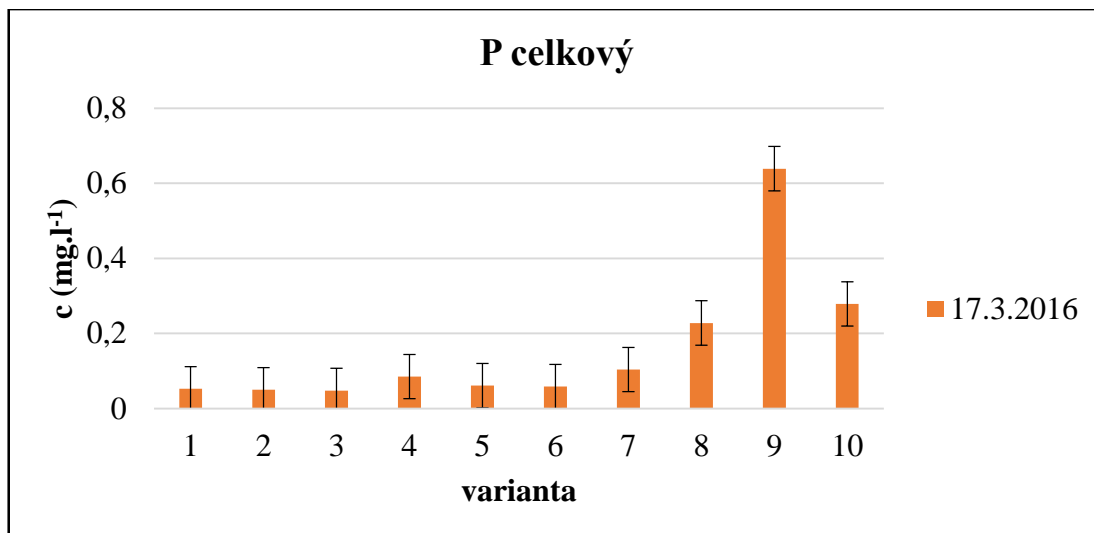
Graf č. 21 Změna koncentrace P-PO_4^+ po 1 a 7,5 měsících v průběhu pokusu č. 5

V předposledním grafu č. 22 je znázorněna konečná koncentrace celkového N. Při porovnání s grafy 18 a 17 je viditelné, se v závěru ve vodě vyskytoval dusík ve formě N-NO_3^- a N-NH_4^+ zatím co forma N-NO_2^- se v roztocích nevyskytuje již vůbec nebo v minimálním množství.



Graf č. 22 Koncentrace N celkový závěrečné stanovení v průběhu pokusu č. 5

Graf č. 23 znázorňuje koncentraci celkového P při ukončení pokusu. Graf téměř kopíruje graf 21, vzhledem k nepřítomnosti jiné formy P, nebo pouze v nepatrném množství. Vzniklé odchylky mohou být také dány chybou při stanovování jak při stanovení P-PO₄⁺ tak při stanovení celkového P.



Graf č. 23 Koncentrace P celkový závěrečné stanovení v průběhu pokusu č. 5

Během tohoto pokusu byla prokázána vysoká účinnost chrastice při odbourávání živin z vody. Bylo také potvrzeno, že chrastice právem patří mezi rostlin využívané v kořenových čistírnách odpadních vod. Její účinnost při odbourávání P a N je velmi vysoká. Je zde však nutná péče o rostliny, aby nedocházelo k nadměrnému odumírání hmoty rostlin a k znečištění vody vlastní rostlinou. Přesné hodnoty tohoto pokusu jsou uvedeny v příloze P21-P24.

5.2 Diskuze k laboratorním testům

Pokus č. 1 byl nejrozsáhlejším pokusem s nejvíce variantami a různými poměry živin. Pro tento pokus byl použit okřehek pěstovaný v nádrži. Z tohoto pokusu vyplynulo, že množství odebraných živin a životaschopnost okřehku závisí na poměru koncentraci těchto živin. Jak uvádí Kunik (1999) ve své diplomové práci Laboratorní ověření možností snižování eutrofní zátěže vod kulturou okřehku, nejdříve došlo k mírnému zvýšení koncentrace N-NO₃⁻ po 7 dnech a poté k jeho snížení (po 14 dnech). Za mírný nárůst hodnoty v prvních dnech u N-NO₃⁻ by mohla stát přeměna ostatních forem N na N-NO₃⁻. Oproti Kunikovi nedošlo při pokusu č. 1 k většímu odebrání N-NH₄⁺. Během pokusu také došlo ke snížení P-PO₄⁺. Dle Kunika došlo k absorbování P-PO₄⁺ okřehkem až na 50% toto zjištění se však při prvním pokusu neprokázalo a

v některých případech došlo dokonce k mírnému nárůstu. Tento nárůst mohl být způsoben rozkladem odumírajících okřehků, jak bylo podle Květa (1987) prokázáno a Pitter (2009) mezi zdroje P uvádí rozkládající se biomasu, což potvrzuje tuto hypotézu. Toto zjištění ještě zvyšuje důležitost nových a účinnějších způsobů odstraňování P z vod. Při tomto pokusu, byl také vyhodnocován počet lístků a jejich stav. Ve variantách s vyššími koncentracemi docházelo u lístků ke ztrátě chlorofylu a jejich následném odumírání. Tato změna mohla být způsobena toxický účinkem vysoké koncentrace P a N. Podle pokusů č. 1 2.3 lze říci, že okřehek lépe snáší vyšší koncentrace N-látek než P což, bylo jasně zřetelné na vitalitě lístků (jejich velikosti, zbarvení, počtu).

Dále byly při pokusech ověřeny některé z předností, díky kterým je okřehek často používán při dočišťování vod a to zejména jeho rychlý růst a vegetativní rozmnožování (Husák 1987). Při pokusu č. 4 v živném médiu došlo k nárůstu biomasy lístků o 900% (z původních 10 lístků na 106) za 14 dnů a i v ostatních případech došlo k rychlému růstu. Kromě pokusů, ve kterých nebyly žádné živiny (destilovaná voda), nebo naopak příliš vysoká koncentrace fosforu, která okřehku příliš nesvědčí, byl nárůst jeho biomasy velice rychlý. Rychlost růstu, můžeme brát jako klad, jelikož biomasa okřehku může být dále využita vzhledem k jejich vysokému obsahu proteinů dle Rejmánkové, Hapala a Květa (Kunik, 1999). Okřehek lze využívat také jako krmivo. Toto využití zkoumal Muzafanov, který došel ke zjištění, že krmení okřehkem mělo pozitivní vliv na kondici snášku a kondici slepic, dále také uvádí, že okřehek obsahuje velké množství vitamínů B₆, B₁ a karotenu. Dále je také možné využití okřehku jako krmení pro dobytek či ryby (Kunik, 1999).

V pokusu č.1 a č. 2 byly také měřeny hodnoty pH a bylo zde jasně prokázáno zvýšení této hodnoty. V pokusu č. 1 došlo k nárůstu hodnoty pH průměrně o 12,3 %. Ke snížení došlo v jediném případě a to ve variantě s destilovanou vodou, kde hodnota průměrně klesla o 4,1 %. Druhá vymykající se hodnota byla naměřena ve variantě 3, kde došlo k nárůstu pouze o 4,8 % zvýšení pH pomocí fotosyntézy, nepříznivě působí na koliformní druhy bakterií a proto i tímto způsobem, kromě odběru živin přispívají vodní makrofyty ke zvýšení kvality vody. Podle řady pokusů provedených Michailovským (Kunik, 1999) v laboratorních podmínkách se nejlépe daří okřehku v neutrálních až mírně zásaditých vodách, méně pak v kyselém. Proto by se dalo zvýšení pH fotosyntézou brát, jako pokus rostlin o vytvoření pro ně co nejideálnějších podmínek.

V následujících pokusech č. 2 - 4 byly hodnoty již přesnější vzhledem k použití okřehku předpěstovaného v živném roztoku. V pokusu č. 2 a č. 3 se potvrdily výsledky Kunika (1999), o snížení P-PO₄⁺ o 50% v některých případech došlo k ještě k většímu snížení koncentrace. V pokusu číslo 3 došlo taktéž k poklesu koncentrace P-PO₄⁺ avšak největší snížení bylo pouze o 32%.

U pokusu č. 5 s chrasticí rákosovitou (*Phalaris arundinacea*) došlo u ke zvýšení hodnot u N-NO₂⁻ a N-NO₃⁻, což mohlo být způsobeno rozkladem rostlinných zbytků a následnou nitrifikací N-NH₄⁺ na N-NO₂⁻ a N-NO₃⁻. Další možností, proč nedocházelo ke snížení těchto látek, je rychlé dosažení hranice akumulace živin, kdy je další akumulace živin zastavena a místo odčerpávání dochází k přidávání živin z opadávající hmoty rostlin, jak uvádí Véber a Zahradník (1986). Na vině by mohly být i nevyhovující podmínky ke konci pokusu (nedostatečná teplota ve skleníku). U N-NH₄⁺ bylo po 1 měsíci dosaženo k odbourání téměř veškerého N v této formě a voda by v této oblasti splňovala požadavky pitné vody a to obsah N-NH₄⁺ 0,5 mg.l⁻¹ i přísnější hodnotu pro kojeneckou a stolní vodu 0,25 mg.l⁻¹ (Pitter, 2009). V měření po 7,5 měsících došlo k mírnému (jak je uveden výše pravděpodobně rozkladem organické hmoty, což uvádí i Pitter (2009), jako zdroj N-NH₄⁺) nárůstu a tyto hodnoty by již nebyly splněny. Vyšší hodnoty při posledním měření se dají dle Fraser, Carty, Steer (2004), odůvodnit snížením teploty skleníku, které způsobilo zpomalení procesů odbourávání živin a zvýšilo podíl odumřelé hmoty rostlin způsobené nepříznivými podmínkami pro rostliny.

Celkově byl během probíhajících pokusů potvrzen předpoklad Vébra a Zahradníka (1986), že pro biologické dočišťování vod jsou vhodnější druhy s rychlým množením, které jsou z vodní plochy dobře odstranitelné, a dobře váží znečišťující látky. Tyto kritéria lépe splňují vodní rostliny plovoucí (natantní), což bylo prokázáno na okřehku menším v porovnání s chrasticí rákosovitou. Okřehek se jeví jako vhodná rostlina pro využití k odčerpání biogenů z vody například v kořenových čistírnách v dosazovacích nádržích.

V pokusu s chrasticí se také potvrdily závěry Fraser, Carty, Steer (2004), že chrastice rákosovitá lépe odčerpává P při vyšších koncentracích živin a naopak při nízkých koncentracích patří k méně účinným rostlinám, jak dokazují grafy č. 19-23, kde znázorněna změna koncentrací P a N. Dalším mínusem chrastice rákosovité nepodporující její využití např. v kořenových čistírnách je obsah halucinogenní látky DMT, která způsobuje krátkodobé intenzivní halucinace a mohlo by docházet k jejímu

zneužití, kdy v roce 2010 bylo její pěstování zakázáno jako halucinogenní látka. Vzhledem k velkým plochám a pěstování chrastice pro energetické a jiné účely bylo pěstování chrastice povoleno (Chrastice, 2015). Dále také jak uvádí Vymazal kořenící vodní rostliny, jsou při čistících procesech důležité zejména vytvořením požadovaných podmínek pro tyto procesy jako je okysličení, podklad pro růst bakterií na kořenech a další (Vymazal, 2012). Odstranění P a N je v současné době důležitým bodem při čištění vod vzhledem k množství antropogenní produkce těchto látek, kdy podle Pittera (2009) je denně vyprodukováno 12 mg N na osobu a 2-3 g P (prací prášky, odmašťovače a jiné) na osobu a den, aby se zabránilo eutrofizaci vod.

6 ZÁVĚR

Cílem práce bylo, vypracování seznamu vodních rostlin s vysokou schopností odčerpání biogenů zejména P a N z vody. Tato schopnost byla ověřena na dvou vybraných druzích vodních rostlin a to okřehku menším (*Lemna minor*) a chrasticí rákosovité (*Phalaris arundinacea*). S okřehkem byly založeny celkem 4 pokusy z toho jeden sedmidenní a tři čtrnáctidenní pokusy, které byly umístěny v učebně při stálé teplotě a osvětlení. S chrasticí byl založen pokus ve skleníku na budově M, kde jsou zajištěny stálé teplotní podmínky. Světelné podmínky se řídily podle ročního období.

Na základě těchto pokusů můžeme potvrdit účinnost okřehku při odbourávání biogenů N a P. Je však nutné říci, že účinnost okřehku závisela na poměrech živin a forem N a P, které byly připraveny. Podle vitality a nárůstu okřehku jsme mohly také pozorovat vliv množství koncentrace živin na jeho životnost. Při vyšších koncentracích především u fosforu, rostlin okřehku ztrácely chlorofyl a docházelo k výraznému odumírání lístků. Při nižších koncentracích však byla téměř 100 % účinnost. Vyšší koncentrace dusíku byly snášeny okřehkem poměrně dobře a i u tohoto biogenu dosahoval vysoké účinnosti.

Okřehkek kromě svých kladů má však i zápornou stránku a to vzhledem k vysoké rychlosti množení, což patří mezi klady při odčerpávání biogenů, je nutné časté sklizení biomasy okřehku, aby nedošlo k zarůstání vodní plochy a tak k jejímu stínění, nadměrnému odumírání okřehku, což by způsobilo opětovné znečištění vody živinami, zejména N. Jak už bylo uvedeno výše, této vlastnosti lze využít a brát ji jako klad.

V pokusu chrasticí byla též ověřena její vysoká účinnost v odbourávání živin. Při tomto pokusu však docházelo k odumírání hmoty chrastice a je v grafech jasně patrné zvýšení u některých látek. Při správné péči a podmínkách však může být velice účinným nástrojem v různých druzích přírodního čištění vod ať už v malém či velkém měřítku.

Závěrem můžeme říci, že cíl této diplomové práce byl splněn. Pomocí laboratorních pokusů byly ověřeny schopnosti rostlin odbourávat biogeny a sestaven seznam rostlin vhodných pro využití v čištění odpadních vod. V současné době jsou již v kořenových čistírnách tyto rostliny používány a těší se vysoké účinnosti, malé náročnosti na údržbu a dodávané energie. I přes některé nevýhody při čištění vod přírodní cestou si myslím, že je to správný směr, kterým by se měli lidé vydat a využívat tak potenciál přírody a tak pomoci nejen sobě, ale i přírodě.

7 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

1. AICHELE, Dietmar. *Co tu kvete?: kvetoucí rostliny střední Evropy ve volné přírodě*. 2. vyd. Praha: Ikar, 2001, 430 s. Průvodce přírodou (Ikar). ISBN 80-7202-808-1.
2. COMBO *pH/EC/TDS (μS/cm) HI 98129 měření pH a vodivosti-konduktivity* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.hanna-cz.cz/Combo-pH-EC-HI-98129-mereni-pH-a-vodivosti-konduktivity-d317.htm?tab=description>
3. ČERVINKA, Pavel. *Ekologie a životní prostředí: učebnice pro střední a odborné školy a učiliště*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti, 2005, 118 s. ISBN 80-86034-63-1.
4. FRASER, Lauchland H., Spring M. CARTY a David STEER. A test a four plant spesies to reduce total nitrogen and total phosphorus from soil leauchatein subsurface wetland microcosm. *www.sciencedirect.com*. 2004, , 8.
5. GRAU, Jürke. *Trávy: lipnicovité, šáchorovité, sítinovité a rostliny podobné travám Evropy*. Vyd. 1. Praha: Knižní klub, 1998. Průvodce přírodou (Knižní klub). ISBN 80-7202-260-1.
6. HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 80-708-0520-X.
7. *HQ40D Digitální dvoukanálový multimetr* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://cz.hach.com/hq40d-digitalni-dvoukanalovy-multimetr/product-details?id=25651819351>
8. HUSÁK, Štěpán. *Vegetační způsoby čištění vody a možnosti jejich aplikace Sborník přednášek: Makrofyta vhodná pro dočišťování odpadních vod*. Brno: ČSVTS, 1987.
9. Chrastice rákosovitá. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Chrastice_r%C3%A1kosovit%C3%A1
10. KLOUDA, Pavel. *Moderní analytické metody*. 2., upr. a dopl. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2003, 132 s. ISBN 80-86369-07-2.
11. KUNIK, Ladislav. *Laboratorní ověření možnosti snižování eutrofní zátěže vod kulturou okřešku*. Mendelova univerzita v Brně, 1999. Diplomová práce.

12. KVĚT, Jan. *Vegetační způsoby čištění vody a možnosti jejich aplikace Sborník přednášek: Možnost využití vodních rostlin k odběru minerálních ze zatíženého prostředí*. Brno: ČSVTS, 1987.
13. MAREČEK, Aleš a Jaroslav HONZA. *Chemie pro čtyřletá gymnázia*. 3., opr. vyd. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 1998. ISBN 80-7182-055-5.
14. NORMA ČSN EN IS 20079 *Jakost vody a odpadní vody na okřehek (Lemna minor) – Zkouška inhibice růstu okřehek*
15. NOSKOVIČ, Jaroslav. *Ochrana a tvorba životného prostředí*. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2012. ISBN 978-80-552-0873-2.
16. PODUBSKÝ, Václav a Eduard ŠTĚDRONSKÝ. *Vodní, bažinné a pobřežní rostliny: Výskyt, život a význam, zvláště v rybářství*. 2.vyd. / . Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1954.
17. POLÁŠKOVÁ, Anna. *Úvod do ekologie a ochrany životního prostředí*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2011. ISBN 978-80-246-1927-9.
18. POSPÍŠILOVÁ, Simona. *Kořenová čistírna odpadních vod jako řešení ochrany životního prostředí*. Mendelova univerzita v Brně, 2006. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Mgr. Ladislav Hanuš, Ph. D.
19. PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009, viii, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
20. REICHHOLF, Josef. *Pevninské vody a mokřady: ekologie evropských sladkých vod, luhů a bažin*. Vyd. 1. Praha: Ikar, 1998, 223 s. Průvodce přírodou (Ikar). ISBN 80-7202-185-0.
21. ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Aplikovaná a technická hydrobiologie*. Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 80-7080-521-8.
22. *SPEKTROFOTOMETR PHOTOLAB® 6100 VIS, 6600 UV-VIS: Spektrofotometr photoLab® 6100 VIS, 6600 UV-VIS* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.verkon.cz/spektrofotometr-photolabu-6100-vis-6600-uv-vis>
23. *TERMOREAKTORY WTW* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.verkon.cz/termoreaktory-wtw/>
24. TOUŽÍN, Jiří. *Stručný přehled chemie prvků*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2001. ISBN 80-210-2635-9.

25. VÉBER, Karel a Jaroslav ZAHRADNÍK. *Dočišťování vod autotrofními mikroorganismy a vyššími rostlinami*. 1. vyd. Praha: Academia, 1986.
26. VYMAZAL, Jan. Jan Vymazal: Kořenové čistírny mají výrazně nižší náklady na provoz. *Ekolist* [online]. 2012, , 1 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/jan-vymazal-korenove-cistirny-maji-vyrazne-nizsi-naklady-na-provoz>
27. VYMAZAL, Jan a Lenka KRÖPFELOVÁ. *Přírodní způsoby čištění a využití odpadních vod V sborník přednášek ze semináře: Vyhodnocení účinnosti kořenových čistíren v České republice za období 1991-2006*. Brno: Vysoké učení technické, 2007. ISBN 80-214-1862-1.
28. WTW, Komerčního návodu na stanovení od firmy WTW, Phosphate Cell Test P6/25, N. 173705, 2013
29. ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knihovnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7.
30. VACÍK, Jiří. *Přehled středoškolské chemie*. 4. vyd., v SPN - pedagogickém nakl. 2. vyd. Praha: SPN - pedagogické nakladatelství, 1999. ISBN 80-7235-108-7.
31. VANĚK, Vlastimil a Jiří STODOLA. *Vodní a vlhkomilné rostliny*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1987. Rostlinná výroba - 100 nejkrásnějších.
32. ŽÁKOVÁ, Zdeňka a Pavel ŽÁK. *Přírodní způsoby čištění a využití odpadních vod IV sborník přednášek ze semináře: Některé zkušenosti z provozu malých přírodních čistíren odpadních vod*. Brno: Vysoké učení technické, 2005. ISBN 80-214-1862-1.

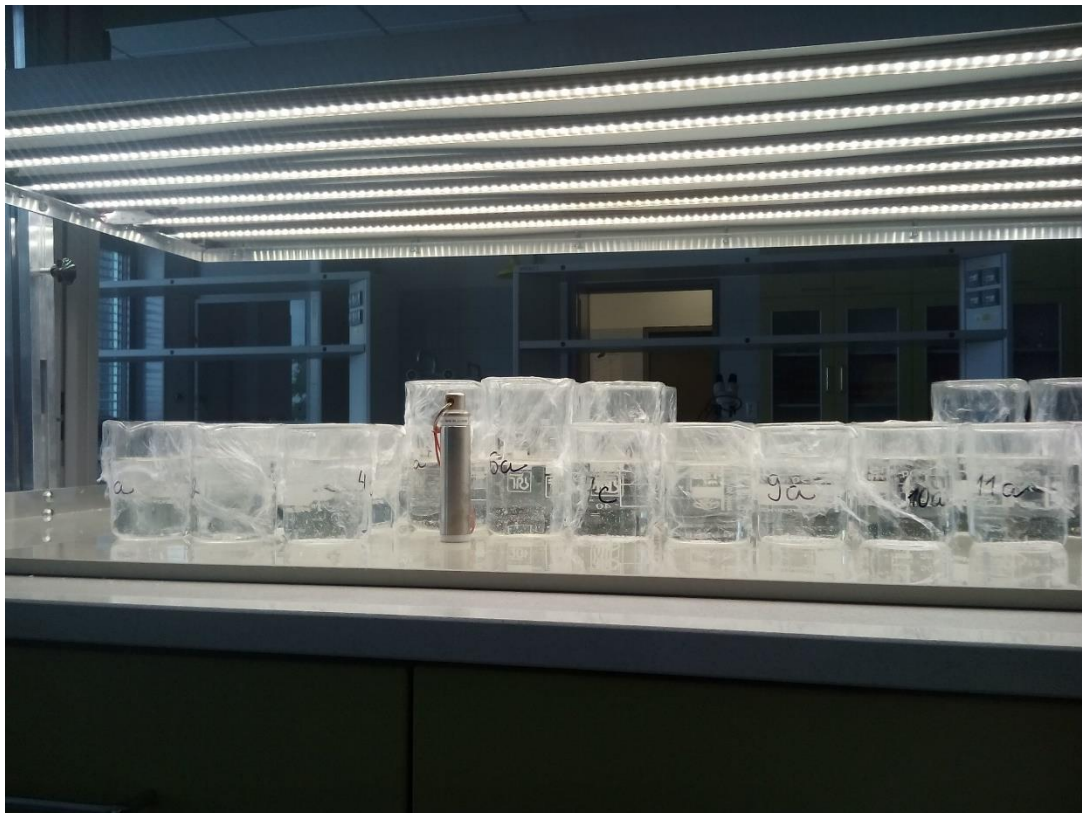
8 SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. 1 Tester pH a konduktivity	25
obr. 2 Terénní multimetr	25
obr. 3 Termoreaktor CR 3200 obr. 4 spektrofotometr PhotoLab 6600 UV -VIS..	26
Graf č. 1 změna pH v průběhu pokusu č. 1	31
Grafu č. 2 je jasně viditelné snížení konduktivity, způsobené úbytkem solí ve vzorcích. Toto snížení solí koresponduje s úbytkem N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₂ ⁻ , N-NO ₃ ⁻ a P-PO ₄ ⁺	31
Graf č. 2 změna konduktivity v průběhu pokusu č. 1	32
Graf č.3 Změna koncentrace N-NH ₄ ⁺ v průběhu pokusu č.1	32
Graf č. 4 Změna koncentrace N-NO ₂ ⁻ v průběhu pokusu č. 1	33
Graf č. 5 Změna koncentrace N-NO ₃ ⁻ v průběhu pokusu č. 1	33
Graf č. 6 Změna koncentrace P-PO ₄ ⁻ v průběhu pokusu č. 1.....	34
Graf č. 7 Změna pH v průběhu pokusu č. 2	35
Graf č. 8 Změna vodivosti v průběhu pokusu č. 2	35
Graf č. 9 Změna koncentrace N-NO ₃ ⁻ v průběhu pokusu č. 2	36
Graf č. 10 Změna koncentrace N-NO ₂ ⁻ v průběhu pokusu č. 2	36
Graf. č. 11 Změna koncentrace P-PO ₄ ⁺ v průběhu pokusu č. 2	37
Graf č. 12 Změna koncentrace P celkového v průběhu pokusu č. 3	38
Graf č. 13 Porovnání koncentrací různých forem N v průběhu pokusu č. 3	38
Graf č. 14 Koncentrace P-PO ₄ ⁺ v průběhu pokusu č. 3	39
Graf č. 15 Koncentrace celkový N v průběhu pokusu č. 4	39
Graf č. 16 Koncentrace celkový P v průběhu pokusu č. 4.....	40
Graf č. 17 Poměr koncentrací forem N v průběhu pokusu č. 4	40
Graf č. 18 Koncentrace P-PO ₄ ⁺ závěrečné stanovení v průběhu pokusu č. 4	41
Graf č. 19 Změna koncentrace N-NH ₄ ⁺ po 1 a 7,5 měsících v průběhu pokusu č. 5	42
Graf č. 20 Změna koncentrace N-NO ₃ ⁻ po 1 a 7,5 měsících v průběhu pokusu č.5.....	42
Graf č. 21 Změna koncentrace P-PO ₄ po 1 a 7,5 měsících v průběhu pokusu č. 5.....	43
Graf č. 22 Koncentrace N celkový závěrečné stanovení v průběhu pokusu č. 5.....	43
Graf č. 23 Koncentrace P celkový závěrečné stanovení v průběhu pokusu č. 5	44

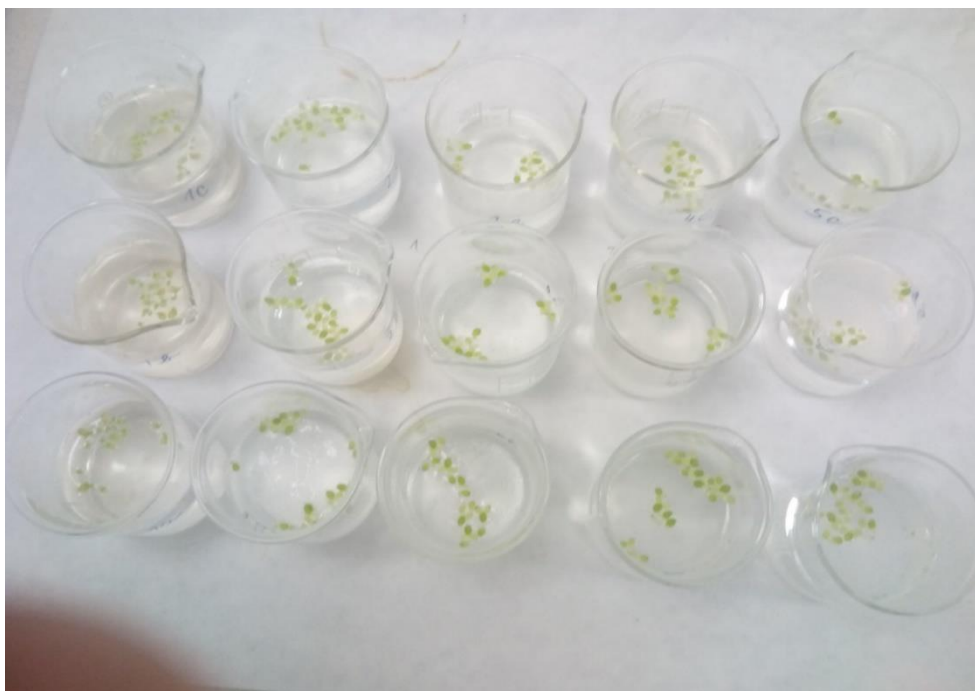
9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 složení Steinbergova media se stabilizovanou složkou pH (modifikované Altenburgem) makrosložky	21
Tab. 2 složení Steinbergova media se stabilizovanou složkou pH (modifikované Altenburgem) mikrosložky	22
Tab. 3 Tester Combo	24
Tab. 4 Terénní multimetr	25
Tab. 5 Spektrofotometr	25
Tab. 6 Termoreaktor	25
Tab. 7 Počáteční složení pokus 1	27
Tab. 8 Počáteční složení pokus 2	28
Tab. 9 Počáteční složení pokus 3	28
Tab. 10 Počáteční složení pokus 4	29
Tab. 10 Počáteční složení pokus 5	30

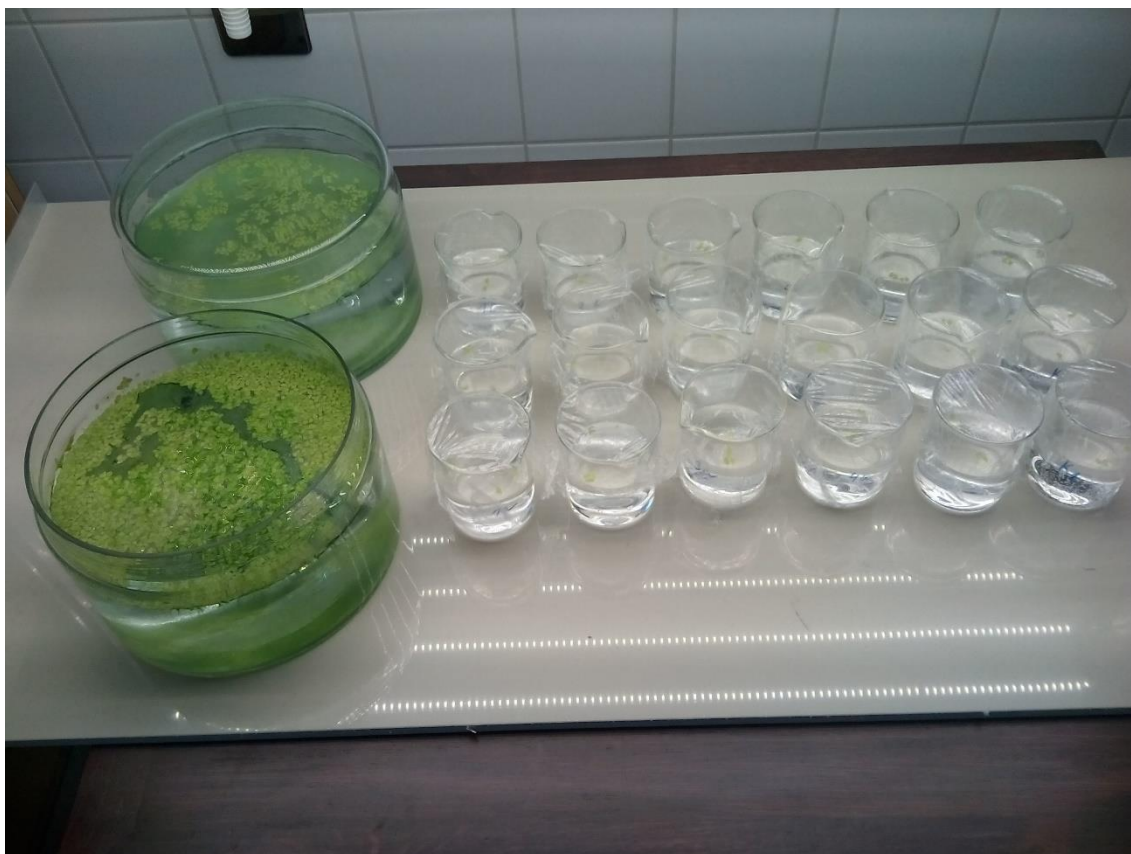
10 PŘÍLOHY



P 1 Okřehek pokus č.1



P 2 okřehek pokus 2



P 3 Okřehek pokus č.3 se zásobním okřehkem



P 4 Okřehek pokus č.4



P 5 Pokus č.5 chrastice



P 6 Ukázka stanovení

P 7 Naměřené koncentrace amoniakálního dusíku v průběhu pokus okřehek I(9.6. založení pokusu)

N-NH₄⁺	9.6.	16.6.	30.6.
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,010	1,433
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000
8	10,600	1,050	10,533
9	43,500	44,333	42,500
10	9,600	9,333	8,200
11	47,000	47,500	45,833
12	88,000	88,333	85,000

P 8 Naměřené koncentrace dusitanového dusíku v průběhu pokus okřehek I(9.6. založení pokusu)

N-NO₂⁻	9.6.	16.6.	30.6.
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,003
3	0,000	0,141	2,713
4	0,000	0,000	0,004
5	0,000	0,010	0,035
6	0,000	0,000	0,014
7	0,000	0,005	0,015
8	0,000	0,003	0,010
9	0,000	0,000	0,004
10	0,000	0,000	0,080
11	0,000	0,000	0,000
12	0,000	0,000	0,000

P 9 Naměřené koncentrace dusičnanového dusíku pokus okřehek I (9.6. založení pokusu)

N-NO₃⁻	9.6.	16.6.	30.6.
1	0,000	0,000	0,000

2	7,630	7,940	7,067
3	49,850	61,633	6,667
4	7,650	7,770	7,733
5	7,610	7,640	7,533
6	18,880	18,487	18,733
7	50,000	57,400	57,267
8	7,340	7,617	8,100
9	7,930	7,900	8,367
10	19,900	19,730	20,767
11	56,600	74,290	61,033
12	97,500	98,933	103,033

P 10 Naměřené koncentrace fosforu v průběhu pokusu okřehek I(9.6 založení pokusu)

P-PO₄⁺	9.6.	16.6.	30.6.
1	0,000	0,160	0,011
2	0,018	0,022	0,009
3	3,100	2,940	0,987
4	0,810	0,748	0,709
5	4,970	2,207	5,393
6	0,023	0,028	0,017
7	0,025	0,040	0,031
8	0,020	0,041	0,003
9	0,021	0,070	0,007
10	0,970	1,233	1,047
11	7,280	5,160	7,417
12	7,700	6,413	7,853

P 11 pokus okřehek I změna počtu lístků (+a – počet špatných lístků)

Datum měř.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.
varianta	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	6	6
Počet lístků	16 + 4a	28	17+2a	12	31+1a	0	17	16	16+8a	18	11+7a	12		
Počet lístků	21+3a	25	18+5a	16	32	0	17	15	19+8a	20	22+3a	15		
Počet lístků	15+4a	20	13+1a	12	33	0	16+2a	13	13+8a	15	13+4a	13		
Datum měř.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.	16.6.	30.6.
varianta	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12		
Počet lístků	14+1a	14	9+5a	4	8a	0	9+3a	0	11a+2	0	10a	0		
Počet lístků	23+1a	8	8+4a	2	13a	0	10+1a	0	7+4a	0	8a	0		
Počet lístků	13+2a	14	8+3a	4	10a	0	10+5a	0	11a+2	0	12a	0		

P 12 Naměřené hodnoty pokus okřehek 2 první část

Varianta	pH		Vodivost		průměr	N-NH ₄ ⁺		mg.l ⁻¹		průměr	N-NO ₂ ⁻		průměr
	5.11.2015	12.11.2015	průměr	5.11.2015		12.11.2015	5.11.2015	12.11.2015	5.11.2015		12.11.2015	5.11.2015	
1 a	7,55	9,07	9,10	563,00	529,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
b	7,55	9,13		563,00	502,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
c	7,55	9,09		563,00	529,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
2 a	7,71	8,74	8,57	579,00	492,00	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007
b	7,71	8,44		579,00	453,00	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013
c	7,71	8,54		579,00	436,00	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014
3 a	7,68	8,03	7,97	576,00	378,00	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,006
b	7,68	7,94		576,00	386,00	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,011
c	7,68	7,94		576,00	385,00	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,070
4 a	7,65	7,47	7,45	576,00	424,00	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,012
b	7,65	7,45		576,00	419,00	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,013
c	7,65	7,44		576,00	429,00	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,008
5 a	7,61	7,46	7,35	588,00	520,00	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,009
b	7,61	7,36		588,00	529,00	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,016
c	7,61	7,24		588,00	514,00	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,011

P 13 Naměřené hodnoty pokus okřehek 2 pokračování výsledků

N-NO ₃	mg.l ⁻¹		P-PO ₄ ⁺	mg.l ⁻¹		P-PO ₄ ⁺ průměr	Počet lístků celkem	Poškozené lístky	Procento špatných lístků %		Chlorofil
	12.11.2015	průměr		5.11.2015	12.11.2015				21.1.1900	12.11.2015	
8,570	8,140	8,230	0,083	0,055	0,051	38,000	8,000	21,053	68,08		
8,570	8,420			0,049		42,000	8,000	19,048			
8,570	8,130			0,049		42,000	5,000	11,905			
8,360	8,000	7,803	2,197	0,735	0,417	51,000	21,000	41,176	64,23		
8,360	7,920			0,314		56,000	27,000	48,214			
8,360	7,490			0,202		49,000	16,000	32,653			
7,980	6,980	7,523	4,083	0,950	1,373	41,000	17,000	41,463	48,84		
7,980	8,030			1,970		38,000	17,000	44,737			
7,980	7,560			1,200		38,000	16,000	42,105			
7,510	5,950	6,720	6,540	3,340	3,003	54,000	20,000	37,037	60,98		
7,510	7,270			2,750		45,000	19,000	42,222			
7,510	6,940			2,920		43,000	21,000	48,837			
8,020	6,710	6,950	8,480	4,510	4,843	58,000	14,000	24,138	58,61		
8,020	6,800			4,570		53,000	17,000	32,075			
8,020	7,340			5,450		41,000	15,000	36,585			
Destl.voda			0,056		0,052						
			0,050								
			0,051								

P 14 Naměřené hodnoty pokus okřehek 3 první část výsledků P celkový

	10.3.2016 (mg.l ⁻¹)			17.3.2016 (mg.l ⁻¹)			24.3.2016 (mg.l ⁻¹)		
	průměr	a	b	c	průměr	a	b	c	průměr
1	0,043	0,450	0,047	0,055	0,040	0,049	0,046	0,055	0,050
2	0,360	0,371	0,334	0,336	0,370	0,326	0,315	0,334	0,325
3	0,658	0,665	0,579	0,499	0,660	0,469	0,480	0,461	0,470
4	0,940	0,925	0,892	0,899	0,930	0,827	0,836	0,724	0,796
5	1,568	1,599	1,252	1,800	1,580	1,198	1,411	1,290	1,300
6	2,485	2,226	2,065	2,185	2,360	1,607	1,789	1,440	1,612

P 15 Závěrečné stanovení 24.3. 2016 pokus okřehek 3

	N-NH ₄ (mg.l ⁻¹)			N-NO ₂ (mg.l ⁻¹)			N-NO ₃ (mg.l ⁻¹)			P-PO ₄ (mg.l ⁻¹)				
	a	b	c	průměr	a	b	c	průměr	a	b	c	průměr		
1	0,000	0,060	0,010	0,023	0,000	0,007	0,003	0,003	7,680	7,750	7,773	0,322	0,304	0,307
2	0,010	0,010	0,100	0,040	0,010	0,001	0,003	0,005	8,270	8,110	8,170	0,455	0,464	0,437
3	0,010	0,060	0,000	0,023	0,006	0,002	0,005	0,004	7,610	7,340	7,613	0,772	0,771	0,763
4	0,010	0,000	0,010	0,007	0,002	0,003	0,005	0,003	7,740	7,770	7,843	1,034	0,945	1,003
5	0,010	0,010	0,010	0,010	0,004	0,007	0,005	0,005	7,230	7,580	7,477			0,000
6	0,000	0,020	0,000	0,007	0,011	0,008	0,001	0,007	6,890	7,430	7,427	0,060	0,083	0,058

P 16 Naměřené hodnoty pokus okřehek 3 stanovení N - celkového

24.3.2016	N celkový		(mg.l⁻¹)
a	b	c	průměr
8,850	8,150	8,190	8,397
8,710	8,280	8,220	8,403
9,090	8,460	8,480	8,677
8,370	8,210	8,990	8,523
8,580	8,120	8,230	8,310
8,240	8,310	8,150	8,233

P 17 Okřehek pokus 3 přehled nárůstu biomasy - počtu nových lístků okřehku (A- lístky bez chlorofylu)

Počet lístků	10.3.2016	17.3.2016			24.3.2016		
		a	b	c	a	b	c
1	10	27	16	20	A	A	A
2	10	21	16	16	A	A	A
3	10	28	19	40	A	A	A
4	10	21	29	24	A	A	A
5	10	24	20	17	A	A	A
6	10	24	46	25	A	A	A

P 18 Naměřené hodnoty pokus okřehek 4 P celkový

	17.3.2016 (mg.l ⁻¹)			24.3.2016 (mg.l ⁻¹)			31.3.2016 (mg.l ⁻¹)					
	a	b	c	průměr	a	b	c	průměr	a	b	c	průměr
1	0,070	0,530	0,047	0,216	0,342	0,292	0,355	0,330	0,046	0,077	0,050	0,058
2	0,356	0,357	0,360	0,358	0,352	0,365	0,362	0,360	0,294	0,362	0,267	0,308
3	0,355	0,368	0,363	0,362	0,348	0,344	0,332	0,341	0,306	0,076	0,107	0,163
4	0,347	0,351	0,358	0,352	0,342	0,338	0,362	0,347	0,054	0,222	0,330	0,202
5	0,349	0,348	0,349	0,349	0,075	0,046	0,038	0,053	0,043	0,047	0,049	0,046
6									2,775	2,492	2,675	2,647

P 19 Naměřené hodnoty pokus okřehek 4 N - celkový

	17.3.2016 (mg.l ⁻¹)			průměr	24.3.2016 (mg.l ⁻¹)			průměr	31.3.2016 (mg.l ⁻¹)			průměr
	a	b	c		a	b	c		a	b	c	
1	12,400	12,700	12,280	12,460	11,520	17,500	12,340	13,787	8,980	3,780	8,560	7,107
2	17,140	16,760	17,280	17,060	15,840	17,820	17,080	16,913	15,240	17,260	15,700	16,067
3	36,900	37,800	36,900	37,200	19,300		18,000	12,433	14,500	15,700	17,100	15,767
4	54,800	51,400	46,600	50,933	18,700	22,200	40,200	27,033	18,200	20,900	26,100	21,733
5	8,470	8,240	7,900	8,203	7,780	8,080	8,320	8,060	6,960	7,420	7,680	7,353
6	50,100	54,400	49,700	51,400	43,700	49,200	48,500	47,133	42,500	45,000	43,200	43,567

P 20 Naměřené hodnoty pokus okřehkek 4 závěrečná stanovení 31.3.2016

	NH ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)			NO ₂ ⁻ (mg.l ⁻¹)			NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)			PO ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)						
	a	b	c	průměr	a	b	c	průměr	a	b	c	průměr				
1	0,000	0,000	0,020	0,007	0,078	0,100	0,104	0,094	7,880	4,060	9,540	7,160	0,068	0,037	0,033	0,046
2	0,000	0,020	0,000	0,007	0,010	0,006	0,044	0,020	54,620	15,020	14,700	28,113	0,230	0,284	0,254	0,256
3	0,000	0,100	0,000	0,033	0,010	0,160	0,070	0,080	19,600	15,200	13,400	16,067	0,226	0,027	0,041	0,098
4	0,000	0,100	0,100	0,067	0,060	0,020	0,020	0,033	20,000	19,700	21,100	20,267	0,025	0,157	0,264	0,149
5	0,000	0,020	0,020	0,013	0,026	0,016	0,021	0,021	6,800	7,950	6,870	7,207	0,041	0,023	0,040	0,035
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,720	1,210	0,400	0,777	45,100	44,200	47,700	45,667	<10	10,130	<10	

P 21 Pokus okřehkek 4 nárůst biomasy okřehku - počtu lístků okřehku (-a počet odumřelých lístků)

počet lístků	17.3.2016	24.3.2016	31.3.2016				
		a	b	c	a	b	c
1	10	35-7a	19a	32-8a	45-19a	20a	46a
2	10	40-14a	30-	30	90	54	60
3	10	33-6a	12a	29-2a	75-20a	19a	44-38a
4	10	29	34	24	41-16a	22a	38-20a
5	10	28	28	27	72a	36a	55-47a
6	10	66	65	56	73	65	106

P 21 Naměřené hodnoty pokus chrastice koncentrace amoniakálního dusíku

N-NH ₄ ⁺	30.6.2015	mg.l ⁻¹		4.8.2015	17.3.2016
	a	b	průměr		
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,640
2	8,600	8,900	8,750	0,000	0,730
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,690
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,760
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,740
6	8,700	9,900	9,300	0,000	0,800
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,850
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,900
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,890
10	9,200	9,400	9,300	0,100	0,840

P 22 Naměřené hodnoty pokus chrastice koncentrace dusičnanového dusíku

N-NO ₃ ⁻	30.6.2015	mg.l ⁻¹		4.8.2015	17.3.2016
	a	b	průměr		
1	8,300	8,600	8,450	0,510	26,910
2	9,100	8,600	8,850	3,640	35,130
3	8,900	8,700	8,800	0,260	19,340
4	8,800	8,900	8,850	0,720	3,190
5	20,600	20,900	20,750	10,680	49,600
6	21,500	21,500	21,500	9,440	24,170
7	20,700	20,800	20,750	0,770	29,170
8	9,100	8,600	8,850	0,900	2,130
9	47,700	49,100	48,400	19,300	29,830
10	49,000	47,800	48,400	52,100	25,160

P 23 Naměřené hodnoty pokus chrastice koncentrace fosforečnanů

P-PO ₄ ⁺	30.6.2015	mg.l ⁻¹		4.8.2015	17.3.2016
	a	b	průměr		
1	0,045	0,043	0,044	0,015	0,050
2	0,045	0,052	0,049	0,015	0,035
3	0,880	0,884	0,882	0,026	0,046
4	3,790	3,840	3,815	0,052	0,102
5	0,840	0,750	0,795	0,044	0,058
6	0,822	0,840	0,831	0,015	0,054
7	10,000	10,000	10,000	0,026	0,104

8	8,020	8,180	8,100	0,616	0,206
9	8,120	8,160	8,140	0,421	0,430
10	7,660	8,060	7,860	0,619	0,233

P 24 Naměřené hodnoty pokus chřastice závěrečné stanovení celkového N

	17.3.2016	mg.l⁻¹
	cel. N	cel. P
1	27,8	0,053
2	35,83	0,05
3	19,99	0,048
4	3,93	0,085
5	51,52	0,061
6	25,65	0,059
7	33,15	0,104
8	2,13	0,228
9	30,9	0,639
10	26,76	0,279

P 25 Naměřené hodnoty pH pokus okřehek 1

pH	9.6.	16.6.
1	7,800	7,480
2	7,620	8,413
3	9,420	9,877
4	7,650	8,997
5	7,620	8,957
6	7,610	8,583
7	7,580	8,493
8	7,560	8,583
9	7,520	8,710
10	7,540	8,893
11	7,560	8,660
12	7,500	8,600

P 26 Naměřené hodnoty pokus okřehek 1 konduktivita v $\mu\text{S.cm}^{-1}$

konduktivita	9.6.	16.6.
1	0,000	4,667
2	558,000	456,667
3	793,000	731,000
4	551,000	529,333

5	671,000	522,667
6	628,000	554,333
7	919,000	834,333
8	657,000	571,000
9	1006,000	941,667
10	749,000	714,000
11	1440,000	1371,666
12	2147,000	2071,000

11 SEZNAM PŘÍLOH

P 1 Okřehek pokus č.1

P 2 okřehek pokus 2

P 3 okřehek pokus 3

P 4 Okřehek pokus č.4

P 5 Pokus č.5 chrastice

P 6 Ukázka stanovení

P 7 Naměřené koncentrace amoniakálního dusíku v průběhu pokus okřehek 1(9.6. založení pokusu)

P 8 Naměřené koncentrace dusitanového dusíku v průběhu pokus okřehek 1(9.6. založení pokusu)

P9 Naměřené koncentrace dusičnanového dusíku pokus okřehek 1 (9.6. založení pokusu)

P 10 Naměřené koncentrace fosforu v průběhu pokusu okřehek 1(9.6. založení pokusu)

P 11 pokus okřehek 1 změna počtu lístků (+a – počet špatných lístků)

P 12 Naměřené hodnoty pokus okřehek 2 první část

P 13 Naměřené hodnoty pokus okřehek 2 pokračování výsledků

P 14 Naměřené hodnoty pokus okřehek 3 první část výsledků P celkový

P 15 Závěrečné stanovení 24.3. 2016 pokus okřehek 3

P 16 Naměřené hodnoty pokus okřehek 3 stanovení N - celkového

P 17 Okřehek pokus 3 přehled nárůstu biomasy - počtu nových lístků okřehku (A- lístky bez chlorofylu)

P 19 Naměřené hodnoty pokus okřehek 4 N - celkový

P 18 Naměřené hodnoty pokus okřehek 4 P celkový

P 21 Pokus okřehek 4 nárůst biomasy okřehku - počtu lístků okřehku (-a počet odumřelých lístků)

P 20 Naměřené hodnoty pokus okřehek 4 závěrečná stanovení 31.3 2016

P 21 Naměřené hodnoty pokus chrastice koncentrace amoniakálního dusíku

P 22 Naměřené hodnoty pokus chrastice koncentrace dusičnanového dusíku

P 23 Naměřené hodnoty pokus chrastice koncentrace fosforečnanů

P 24 Naměřené hodnoty pokus chrastice závěrečné stanovení celkového N

P 25 Naměřené hodnoty pH pokus okřehek 1

P 26 Naměřené hodnoty pokus okřehek 1 konduktivita v $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$