



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

TECHNOLOGIE UMĚLÝCH PLOVOUCÍCH OSTROVŮ PRO ZLEPŠENÍ KVALITY VODY V NÁDRŽÍCH

THE TECHNOLOGY OF ARTIFICIAL FLOATING ISLANDS TO IMPROVE RESERVOIR
WATER QUALITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Mrkývka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Michal Mrkývka
Název	Technologie umělých plovoucích ostrovů pro zlepšení kvality vody v nádržích
Vedoucí práce	Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018
V Brně dne 31. 3. 2017	

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá technologií plovoucích ostrovů a jejich následné aplikace v praxi. V první teoretické části jsou podrobně popsány fyzikální a chemické vlastnosti vody, koloběh látek ve vodě a rozdělení stojatých vod, které jsou považovány za nejvhodnější zájmové lokality pro aplikaci a instalaci plovoucích systémů. Ve druhé části je popsána metodika měření, které probíhalo v několika etapách na výzkumném pozemku Ústavu vodního hospodářství krajiny. Měření se soustředilo na sledování kvalitativních charakteristik vody ve třech umělých nádržích (lyzimetrech). První nádrž byla osazena plovoucím ostrovem, druhá plovoucím nosičem bez přítomných rostlin a třetí nádrž měla volnou hladinu bez plovoucího ostrova (zajistila simulaci přirozeného stavu). Samotné měření probíhalo v kalendářním roce 2017 a bylo rozděleno do tří etap (jaro, léto, zima). Během tohoto období byla sledována chemická spotřeba kyslíku, koncentrace celkového fosforu, dusičnanového a amoniakálního dusíku a rozpuštěného kyslíku, zákal, pH, oxidačně-redukční potenciál, teplota vody a vzduchu a úhrn srážek. Součástí diplomové práce je grafické i tabulkové vyhodnocení zjištěných výsledků. Výsledky jsou zpracovány ve statistickém software Minitab 16, grafické vyobrazení je doplněno proloženou lineární a kubickou regresní křivkou pro snadnější hledání závislosti vybraných faktorů. Jednotlivé etapy jsou mezi sebou porovnávány na konci diplomové práce. Na konci léta 2017 byla provedena první aplikace plovoucího ostrova podle užitného vzoru č. 31 169 v rámci České republiky na vybrané vodní nádrži v povodí Bílého potoka (k.ú. Polička).

KLÍČOVÁ SLOVA

plovoucí ostrov, CHSK, N-NO₃, N-NH₄, P_c, stojatá voda, vodní nádrž

ABSTRACT

This master thesis deals technology of floating islands and their application in practice. In the first theoretical part describes detail of physical and chemical properties of water, the cycle of substances in water and the distribution of standing water, which are considered the most suitable interest sites for the application and installation of floating systems. The second part describes the measurement methodology, which was carried out in several stages on the research land of the Institute of Landscape Water Management. The measurement was focused on monitoring the quality characteristics of water in free artificial tanks (lysimeters). The first tank was with floating island, the second with floating rack without plants and the third tank with free surface (to ensure the simulation of the

natural state). The measurement was under way in the calendar year 2017 and was divided into free stages (spring, summer, winter). During this period were monitored COD, total phosphorus, nitric and amoniacal nitrogen and dissolved oxygen, turbidity, pH, oxidation-reduction potential, water and air temperature and aggregate rainfall. Part of the master thesis is graphical and tabular evaluation of the results. The results are processed in the Minitab 16 statistical software, graphical representation is supplemented by the interlaced linear and cubic regression curves for easier search for the dependence of selected factors. The stages are compared at the end of the master thesis. At hhe end of summer 2017, the first application of the floating island according to utility model No. 31 169 was carried out within the Czech Republic on selected water reservoir in the Bílý Potok basin (Polička).

KEYWORDS

floating islands, COD, nitric nitrogen, amoniacal nitrogen, total phosphorus, stagnant water, water tank

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Michal Mrkývka *Technologie umělých plovoucích ostrovů pro zlepšení kvality vody v nádržích*. Brno, 2017. 112 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. Michal Mrkývka
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Kriškovi, Ph.D. za poskytnuté materiály, zkušenosti a konzultaci při zpracování mé diplomové práce.

Diplomová práce vznikla v rámci výzkumného projektu NAZV QJ1620040 „Optimalizace ochrany vody a půdy v povodí vodních zdrojů s ohledem na udržitelné systémy zemědělského hospodaření“.

Obsah

1	Úvod a cíle.....	12
2	Voda – zdroj života	13
2.1	Koloběh vody.....	13
2.2	Zdroje vody	14
2.3	Ochrana vody	15
2.4	Fyzikální a chemické vlastnosti vody	16
2.4.1	Hustota vody a její anomálie	16
2.4.2	Viskozita.....	16
2.4.3	Povrchové napětí	17
2.4.4	Tepelné vlastnosti vody	18
2.4.5	Reakce vody (pH).....	18
2.4.6	Hydrostatický tlak	19
2.4.7	Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)	19
2.4.8	Turbidita (zákal)	20
2.4.9	Oxidačně-redukční potenciál (ORP)	20
2.5	Koloběh látek ve vodě.....	21
2.5.1	Koloběh kyslíku.....	21
2.5.2	Koloběh uhlíku a uhličitanový systém	22
2.5.3	Koloběh dusíku.....	24
2.5.4	Koloběh fosforu.....	25
2.6	Stojaté vody.....	26
2.6.1	Pelagiál	26
2.6.2	Bentál.....	28
2.6.3	Litorál	28
2.6.4	Profundál	28
2.6.5	Tepelný režim vod.....	29
2.6.6	Proces eutrofizace stojatých vod	31
2.6.7	Rozkladné procesy ve vodách	32
3	Plovoucí ostrovy ve světě.....	33
4	Metodika.....	36
4.1	Stanovení CHSK.....	36
4.2	Stanovení P_c	37

4.3	Stanovení N-NO ₃	37
4.4	Stanovení N-NH ₄	38
4.5	Stanovení zákalu	38
4.6	Stanovení pH, ORP a O ₂	38
4.7	Výroba plovoucího ostrova	39
4.8	Aplikace v praxi	39
5	Výsledky	42
5.1	První etapa - jaro	42
5.1.1	Chemická spotřeba kyslíku	46
5.1.2	Celkový fosfor	48
5.1.3	Dusičnanový dusík	50
5.1.4	Amoniakální dusík	52
5.1.5	Zákal	54
5.1.6	pH	56
5.1.7	ORP	58
5.1.8	Rozpuštěný kyslík	60
5.2	Druhá etapa - léto	62
5.2.1	Chemická spotřeba kyslíku	66
5.2.2	Celkový fosfor	68
5.2.3	Dusičnanový dusík	70
5.2.4	Amoniakální dusík	72
5.2.5	Zákal	74
5.2.6	pH	76
5.2.7	ORP	78
5.2.8	Rozpuštěný kyslík	80
5.3	Třetí etapa - zima	83
5.3.1	Chemická spotřeba kyslíku	86
5.3.2	Celkový fosfor	88
5.3.3	Dusičnanový dusík	90
5.3.4	Amoniakální dusík	92
5.3.5	Zákal	94
5.3.6	pH	96
5.3.7	ORP	98
5.3.8	Rozpuštěný kyslík	100
6	Diskuze	103

7	Závěr.....	106
8	Použité zdroje	107
8.1	Literatura, elektronické dokumenty a webové stránky	107
8.2	Zdroje obrázků	111

1 Úvod a cíle

Diplomová práce se zabývá technologií plovoucích ostrovů, určených pro dočištění málo znečištěné odpadní vody, anebo pro účely zlepšení kvality odtékající vody z malých vodních nádrží. Práce se zaměřuje a soustředí zejména na přípravu výzkumného měření, tzn. výrobu plovoucích nosičů, výsadbu rostlin, aplikací na hladinu vody v rámci testovacích lyzimetrů na výzkumném pozemku Ústavu vodního hospodářství krajiny. Cílem samotné technologie plovoucích ostrovů je při jejich aplikaci zlepšení kvality vybraných parametrů vody, ať už se jedná o vody stojaté, odpadní nebo svými charakteristikami specifické.

V úvodu práce uvádím literární rešerši zejména ze zahraniční literatury, jelikož je problematika plovoucích ostrovů v České republice nepříliš rozšířena. Ze zahraničních autorů se jedná převážně o autory z Číny, Spojených států amerických a výjimečně také z Evropy (Francie a Řecko), kde jsou tyto technologie běžně dostupné a aplikované. Širokému rozšíření v České republice brání nejspíše fakt, že česká povaha není příliš nakloněna novým neozkoušeným věcem a technologiím. V České republice je obecný problém důvěřovat něčemu, co je nové, a proto je složitější uplatnit a rozšířit plovoucí ostrovy na rybníky nebo stabilizační vodní nádrže na našem území. Přece jenom se podařilo pro účely testování najít vodná nádrž v soukromém vlastnictví – nádrž se nachází v k.ú. Polička, což uvádím ve své práci dále podrobněji. Před touto aplikací do praxe předcházela i s přestávkami téměř roční studie, která probíhala na výzkumném pozemku při FAST VUT v Brně. Samotné měření bylo rozděleno do několika nenavazujících etap, přičemž vždy byla do třech modelů nádrží (lyzimetrů) napuštěna dešťová voda, doplněná v definovaném poměru znečištěnou odpadní vodou. První nádrž byla pokryta plovoucím ostrovem, druhá byla zakryta pouze plovákem bez přítomných rostlin, čímž nedocházelo k prosvětlení celého vodního sloupce, a třetí nádrž měla volnou hladinu. Pozorování, příprava pro měření a následné sledování, odběr vzorků a jejich analýza, bylo rozděleno do tří etap během kalendářního roku (jaro, léto, zima).

Před samotným zahájením každé z etap bylo velkou motivací dokázat předpoklad a hypotézu, že plovoucí ostrovy jsou užitečné a že se významně podílejí na zlepšení kvality vody v nádrži. Otázkou, kterou bylo třeba zodpovědět, je, jak významně se podílí na odstraňování živin. Odběr vzorků byl prováděn jednou týdně v pondělí v devět hodin dopoledne a poté následovala podrobná analýza v chemické laboratoři Ústavu vodního hospodářství krajiny.

Osobní motivací při výběru této diplomové práce bylo rozhodujícím faktorem prozkoumávání něčeho nového a také pestrost práce, protože jsem mohl pracovat jak na výzkumném pozemku, tak následně v laboratoři a v neposlední řadě při práci na PC ve statistickém prostředí programu Minitab.

Doufám, že i má diplomová práce může nějak přispět k přesvědčení skeptiků, kteří se bojí vložit důvěru do plovoucích ostrovů. Podle mého názoru je čištění vody přirozenými procesy tou nejlepší možností, jak se můžeme k přírodě na naší planetě Zemi zachovat.

2 Voda – zdroj života

Základním prvkem života nejen na naší planetě Zemi, ale v celém vesmíru je považována tato tekutina – voda. Proto bychom neměli na tuto životně důležitou tekutinu zapomínat a dopřávat si ji dennodenně plnými doušky.

Naše tělo je z velké části tvořeno vodou, voda je nezbytná i pro cirkulaci všech nezbytných metabolických procesů, bez vody zkrátka není život. Potřeba pít tekutiny se mění u každého s věkem. Největší potřeba je v dětství a opět se zvyšuje ve stáří. Nedostatečný příjem tekutin může znamenat pro náš organismus velký problém, a to i v případech, že jedná o mírnou dehydrataci. [8]

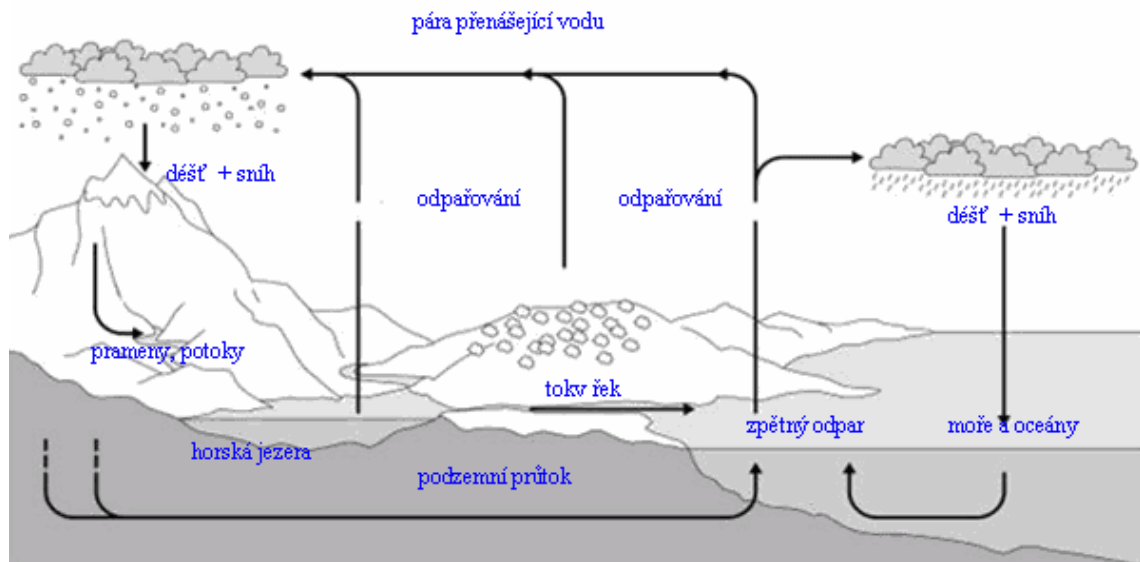
Voda nepatří mezi živiny, ale je pro lidský organismus nezbytná. Tvoří prostředí pro životní děje, je rozpouštědlem většiny živin, pomáhá regulovat tělesnou teplotu a umožňuje trávicí procesy. Díky pravidelné výměně vody můžeme z těla vyplavovat škodlivé látky. Především u minerálních vod však dochází k usazování minerálů v těle. Dospělý člověk by měl denně přijmout 2-3 litry vhodných tekutin (tj. včetně vody obsažené v jídle), při velké fyzické zátěži i více. Nesmí se však přijímat velké množství vody nárazově, aby zatížené ledviny zvládly vyloučit takové množství. Při dlouhodobém nedostatku vody může dojít k tvorbě ledvinových kamenů a krátkodobý nedostatek se projeví žízní, nevolností, slabostí a křečemi. Dále je důležité dbát na pitný režim u dětí a seniorů, kteří jsou náchylnější k dehydrataci, onemocnění ledvin a močových cest. Nedoporučuje se pít při jídle ani po něm, aby se nesnižovala účinnost trávení. Vodu ztrácíme denně v podobě moči (1,5-2 l), pocením, plicemi (při dýchání se vyloučí asi 400 ml vody) a stolicí. [1, 2, 3, 4, 5, 6]

2.1 Koloběh vody

Je tedy jasné, že bez vody není života, proto bychom měli vodu chránit a zbytečně s ní neplýtvat. Voda, kterou si od přírody „půjčíme“ bychom měli zase přírodě vrátit. Velmi důležité je, abychom ji vraceli do přírody, alespoň stejně kvalitní jakou byla před použitím. Proto je nesmírně důležité znečištěné vody před jejím vypuštěním zpět do přírody řádně přefiltrovat. Ušetříme tím práci přírodě a nebudeme si zbytečně znečišťovat životní prostředí kolem nás. Navracení vody zpět přírodě je důležitá část v koloběhu vody.

Koloběh vody v přírodě, jinak zvaný hydrolytický cyklus, je neustálý oběh podzemní a povrchové vody na Zemi, přičemž voda mění své skupenství. Je to nepřetržitá cirkulace vody v ovzduší a na Zemi, která je způsobena působením gravitačních sil. Tento proces zkoumá věda zvaná hydrologie. Součástí je přenos vodní páry, vypařování, kondenzace, srážky a odtok. Voda na Zemi nikam nemizí, pouze mění své skupenství a ukládá se na různých místech. 97% světové vody je v oceánech, 2% tvoří zmrzlá voda polárních ledovců a zbývající 1% se v určité chvíli podílí na koloběhu vody. Koloběh vody dělíme na dva základní typy – malý a velký koloběh. Malý koloběh vody probíhá nad hladinou oceánu, nebo pouze nad pevninou, kde se voda odpařuje, dále kondenzuje (tvoří se oblaky) a padá zpět do oceánu, popř. na pevninu. Velký koloběh vody zahrnuje výměnu vody mezi oceánem a souší. Voda se odpařuje,

kondenzuje do srážek a díky gravitaci padá na zemský povrch. Odtud se potoky a řekami dostává opět do oceánů. V rámci koloběhu vody existují různé procesy. Mezi ně řadíme např. sublimaci a desublimaci, což je přeměna pevné látky v plyn a opačně. Dále vsakování (voda prosakuje do půdy), nebo evapotranspirace, což je celkový výpar na určitém území. Jedná se o fyzikální výpar (evaporace) společně s výparem fyziologickým (transpirace, výdej vody těly živých organismů). [9]



Obrázek č. 1: Koloběh vody v přírodě [1]

2.2 Zdroje vody

Veškerou vodu na Zemi nazýváme jako Hydrosféra, ta zahrnuje vodu ve skupenství plynném, kapalném i pevném. Zdrojů vody je hned několik, ale největší zásobu vody tvoří oceány a moře.

Světové oceány a moře pokrývají 70,8 % zemského povrchu. Povrchové vody sladkovodního celku pokrývají asi jenom 2 % zemského povrchu, ale uvážíme-li rozložení tohoto celku, tak je rozsah podstatně větší než u mořského celku. Velká rozmanitost je závislá na atmosférických srážkách a koloběhu vody v biosféře.

Veškeré pevninské vodstvo rozdělujeme na vody podzemní (průlinové, puklinové) a vody povrchové (tekoucí, stojaté). [7]

Dalším významným zásobníkem vody jsou ledovce. Ledovce zaujímají plochu přes 14,9 milionů km² a je v nich akumulována převážná část sladké vody na pevnině (kolem 74 %). 90 % ledovcové hmoty na pevnině zaujímá antarktický pevninský ledovec, 8 % zaujímá ledovec grónský. Další ledovce pevninského typu nalezneme např. v části Kanadského arktického archipelagu (např. na Ellesmerově ostrově, Devonu; celkem zde ledovce zaujímají 153 000 km²), v Aljašských horách (pásmo *Coastal Mountains*, 92 500 km²; např. *Malaspina Glacier*), Špicberky

(57 000 km²), Nová země (24 300 km²), Severní země (17 500 km²), země Františka Josefa (13 730 km²), Island (11 252 km²; např. *Vatnajökull*, největší evropský ledovec). [10]

Další neméně důležitou zásobu vody nalezneme ve sladkovodních i slaných jezerech, přehradních nádržích, rybnících, močálech a bažinách.

Získávání pitné a užitkové vody pro lidstvo je výhodné pomocí odsolování mořské vody, protože tyto zdroje jsou prakticky nevyčerpatelné a navíc je odsolování finančně výhodnější než dovážení vody na velké vzdálenosti. Známe několik metod odsolování, ale nejefektivnější je destilace, pomocí které nejlépe odstraňujeme velké spektrum chemických složek mořské vody. [7]

2.3 Ochrana vody

Bohužel ne všude ve světě mají lidé k životu potřebnou vodu a nemohou tak dodržovat pro nás každodenní hygienické návyky. Podle serveru waterforpeople.org vyplývá, že 2,1 bilionů lidí na planetě Zemi nemá dostatečně čistou vodu a 4,5 bilionu obyvatel Země nemá potřebnou základní hygienu. Dále také tvrdí, že více než 840 000 lidí zemře na následky spojené s hygienicky závadnou vodou. Ženy a děti v oblastech s nedostatkem vody tráví průměrně 4 hodiny chůze pro životadárnou, drahocennou tekutinu – vodu. Problém není to, že by na Zemi byl nedostatek vody, ale bohužel je složité ji dopravit do všech koutů světa. Musíme si vážit toho, co máme a pečlivě vodu chránit. [13]

Ochrana vod je komplexní činností spočívající v ochraně množství a jakosti povrchových i podzemních vod, a to v souladu s požadavky českého práva i práva EU.

Základním právním předpisem Evropského parlamentu a Rady ustavujícím rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky členských států je směrnice 2000/60/ES (Vodní rámcová směrnice). Ochranu vod, jejich využívání a práva k nim upravuje zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). [11]

Účelem Vodního zákona č. 254/2001 Sb. je chránit povrchové a podzemní vody, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod, vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha a zajistit bezpečnost vodních děl v souladu s právem Evropských společenství. Účelem tohoto zákona je též přispívat k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou a k ochraně vodních ekosystémů a na nich přímo závislých suchozemských ekosystémů. [12]

Důvodem ke kontinentální ochraně vody byla vzrůstající osídlení, průmyslová výroba i moderní životní styl je náročnější na životní prostředí a tedy i na vodní zdroje. Proto byla pro ochranu a zachování dostatku vody pro všechny vyhlášena 6. května 1968 ve Štrasburku „Evropská vodní charta“, která ve 12-ti bodech obsahuje nejdůležitější informace pro hospodaření s vodou a význam vody pro člověka. [14]

2.4 Fyzikální a chemické vlastnosti vody

2.4.1 Hustota vody a její anomálie

Základní fyzikální vlastností, která se učí už na základní škole je hustota vody. Voda, resp. její hustota, se nechová v závislosti na teplotě tak, jako valná většina ostatních látek na Zemi. Proto je třeba ve spojení s hustotou zmínit také tuto anomálii vody.

Hustota vody je závislá na množství rozpuštěných látek, na teplotě a na tlaku. Se zvyšujícím se obsahem rozpuštěných látek stoupá téměř lineárně také hustota. Množství rozpuštěných látek obvykle nepřesahuje 1 g/l, v našich podmínkách 0,5-1,0 g/l. [7]

Hustota sladkých vod je výrazně ovlivňována teplotou, přičemž se ve vztahu mezi teplotou a hustotou vody uplatňuje pozoruhodná anomálie (viz tabulka č. 1). Voda má nejvyšší hustotu při teplotě 3,94 °C. Na jaře a na podzim dochází k promíchávání vody. Tomuto jevu se říká jarní a podzimní cirkulace vody. Biologický význam cirkulace vody je v tom, že živiny dna putují do prosvětlené vrchní vrstvy vodního sloupce, kde umožňují rozvoj fytoplanktonu. [15]

Jednotlivé vrstvy vody v nádrži v době stagnace se vrství v závislosti na hustotě a teplotě vody. Vrstva vody u hladiny se nazývá epilimnion, pod ní se nachází metalimnion a nejhlubší vrstva je hypolimnion. Změny hustoty způsobené změnou teploty výrazně ovlivňují podmínky, za kterých přežívají vodní organismy zimní období. Teplotní vrstevnatost znemožňuje hluboké promrzání vody. Vrstva ledu zamezuje hlubšímu ochlazování spodních vrstev, které si tak zachovávají teplotu přibližně 4 °C. [15]

Tabulka č. 1: Relativní hustota sladké vody v závislosti na teplotě

Teplota ve °C	0	2	4	10	20
Hustota v g/cm ³	0,999874	0,999970	1,000000	0,999731	0,998235

Velká hustota vody má pronikavý vliv na stavbu těla vodních živočichů. Zatímco hranice tělesného růstu suchozemských živočichů je omezována pevností kostry a schopností končetin udržet hmotnost těla a zajistit dostatečný pohyb. Protože hustota vodních živočichů je blízká hustotě vody, nejčastěji blízko hodnoty 1,05 g/cm³, tak vodním živočichům stačí k zajištění opory a pohybu méně výkonné pohybové orgány a slaběji vytvořené kostry než živočichům suchozemským. Podobně je tomu u rostlin. [7]

2.4.2 Viskozita

Fyzikální veličina viskozita vody neboli vazkost vody, je velmi důležitým faktorem zejména při návrhu čerpadel. Viskozita voda je úzce spojena s teplotou a hustotou vody.

Viskozita neboli vnitřní tření charakterizuje odpor, který klade voda vlastnímu pohybu nebo jiné vzájemné změně částic vodní masy. Rychlost pohybu živočichů ve vodě je menší než rychlost na souši, protože voda klade větší odpor než vzduch. [15]

Odpovídá síle potřebné k posunu 1 kg za 1 s o 1 m. Jednotkou této veličiny je 1 pascalsekunda. Viskozita vody je asi 100x větší než viskozita vzduchu, a navíc je výrazně ovlivňována teplotou (viz tabulka č. 2). Tato závislost viskozity vody na teplotě má ve vodních ekosystémech velký biologický význam, protože výrazně ovlivňuje vznášející se a plovoucí organismy. [7]

Tabulka č. 2: Závislost dynamické a kinematické viskozity vody na teplotě

Teplota ve °C	Dynamická viskozita v $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}\cdot 10^{-3}$	%	Kinematická viskozita v $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot 10^{-6}$
0	1,787	100,0	1,771
5	1,561	84,8	1,561
10	1,306	78,7	1,304
15	1,138	63,7	1,139
20	1,002	56,0	1,004
25	0,890	49,8	0,892

Kinematická viskozita prostředí (ovlivněná zemskou přitažlivostí) je dána poměrem mezi dynamickou viskozitou a hustotou. V teplé vodě se organismus pohybuje s menším výdajem energie, ale současně také klesá rychleji než ve studené vodě. Podobně se zvyšuje nebo snižuje mechanická unášecí síla pohybující se vody. Biologický význam viskozity vody a její hustoty je komplikován tím, že změny obou faktorů v závislosti na teplotě nejsou lineární. Při dvojnásobné změně viskozity se totiž hustota změní jen o 0,2 %. [7]

2.4.3 Povrchové napětí

Povrchové napětí je zajímavou vlastností kapalin. Tuto vlastnost můžeme pozorovat třeba i doma, když vidíme na hladině v umyvadle plavat vlas nebo taky v přírodě např. na hladině rybníku. Povrchové napětí je taková vlastnost vody, která umožňuje udržet se na hladině některým rostlinám nebo živočichům, kteří zde buď žijí, nebo jim vodní hladina slouží pro rozmnožování.

Na rozhraní mezi kapalným a plynným prostředím vzniká zvýšenou soudržností molekul vody biologicky velmi důležité povrchové napětí. Jeho hodnota je závislá na teplotě a obsahu látek rozpuštěných ve vodě. Pokud jde o přirozené látky, může být povrchové napětí vody sníženo vysokým obsahem huminových látek a mimobuněčných výměšků planktonních řas a sinic, zejména v době silných vegetačních zákalů a vodních květů. Povrchové napětí vody poskytuje řadě vodních organismů stabilizační plochu a oporu k trvalému nebo přechodnému pobytu. Některé rostliny jsou vázány na vodní hladinu, někteří živočichové pobíhají po povrchové blance a někteří kladou na vodní hladinu svá vajíčka, která zde plavou až do vylíhnutí. [7]

2.4.4 Tepelné vlastnosti vody

Na ohřev vody v přírodě má největší podíl energie ze slunečního záření, které dodává vodě teplo.

Voda v kapalném stavu má velkou měrnou tepelnou kapacitu. K ohřátí 1 kg vody o 1 °C při 15 °C je třeba dodat 4,186 kJ. Vyšší hodnoty má jenom helium a vodík. Ostatní kapaliny i pevné látky mají mnohem nižší hodnoty. Měrná tepelná kapacita ledu je 2,04 kJ/kg/K, vzduch při 20 °C a tlaku 0,1 MPa má měrnou tepelnou kapacitu 1,00 kJ/kg/K. Vysoké specifické teplo ovšem znamená, že ohřáté masy vody určité nádrže působí jako akumulátor tepla, který může být opět uvolňováno do okolního prostředí v době ochlazení.

Voda má rovněž vysoká skupenská tepla tuhnutí a varu. Při přeměně 1 kg vody ze skupenství kapalného na pevné se uvolní 333,7 kJ. Totéž množství tepla musí být dodáno při tání 1 kg ledu. Mnohem vyšší je skupenské teplo varu, případně kondenzace vody. Pro přeměnu 1 kg vody v páru je nutno dodat 2255,5 kJ. Totéž množství tepelné energie se uvolní při kondenzaci 1 kg vody. [7]

2.4.5 Reakce vody (pH)

Tato vlastnost vody je zřejmě nejproměnlivější ze všech sledovaných faktorů. Je ovlivňována především fotosyntézou vodních rostlin na plovoucích ostrovech. Vyšší hodnoty pH společně s vyšší teplotou a vyšším obsahem kyslíku ve vodě vytvářejí ideální podmínky pro vznik vodního květu.

Kyselost vodných roztoků je způsobena nadbytkem vodíkových H^+ iontů ($pH < 7$), zásaditost nadbytkem hydroxylových iontů OH^- ($pH > 7$). V přirozených vodách je reakce vody určována rovnovážnými stavy mezi kyselinou uhličitou a jejími solemi, ale velmi často především mezi volným oxidem uhličitým a hydrogenuhličitanem. Jakákoli změna v koncentraci jednoho z těchto iontů má za následek změnu v koncentraci druhého.

Pro vyjádření kyselé či alkalické reakce vody se používá tzv. vodíkového exponentu pH, definovaného jako záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů podle $pH = -\log[H^+]$, kde H^+ je koncentrace vodíkových iontů v roztoku udaná v jednotkách mol/l. V čisté vodě je disociováno 10^{-7} mol/l a pH vody je označováno jako pH 7. Počet vodíkových a hydroxylových iontů je roven, reakce vody je neutrální. Jestliže obsah H^+ iontů vzroste stonásobně, tj. 10^{-5} mol/l čili pH 5, roztok bude kyselý. Jestliže obsah H^+ iontů stonásobně poklesne, tj. 10^{-9} mol/l na pH 9, roztok bude zásaditý. Celkový rozsah stupnice je od 1 do 14.

Přirozené vody představují roztoky různých látek proměnlivých koncentrací. Jejich reakce kolísá od pH 3 v kyselých rašelinných vodách s velkým obsahem huminových kyselin po pH 10 ve vodách s vysokým obsahem uhličitanů a bohatými porosty vegetace. Intenzivní fotosyntéza rostlin, spojená s odčerpáváním CO_2 z vody, může způsobit vzestup alkalické reakce vody na hodnotu pH 11.

Reakce vody může výrazně ovlivnit život vodních organismů nádrže nebo toku. Některé druhy živočichů snášejí velké rozpětí pH vody (např. vírník, ploštěnka).

Některé druhy zase naopak snášejí jen malé výkyvy pH vody (např. nálevník). I krátkodobá zvýšení pH v rybnících způsobená intenzivní fotosyntézou mohou mít katastrofální důsledky na rybí osádku. [7]

K okyselování vod dochází při jarním tání sněhu nebo při kyselých deštích, které vznikají při spalování fosilních paliv. [15]

2.4.6 Hydrostatický tlak

V našich geografických podmínkách se nebude hydrostatický tlak měnit tak výrazně jako třeba v mořích a oceánech, protože vodní plocha nedosahuje tak velkých hloubek. Nicméně i tak je to důležitá vlastnost vody a je třeba se o ní zmínit.

Atmosférický tlak na mořské hladině odpovídá hodnotě blízké 0,1 MPa. S hloubkou roste tlak vody na každých 10 m o 0,1 MPa, což znamená, že v hlubokých jezerech, a zvláště v hloubkách oceánů, jsou organismy vystaveny obrovskému tlaku oproti podmínkám u hladiny. Dříve se nevěřilo, že v hloubkách okolo 10 000 m při tlaku 100 MPa mohou žít nějaké organismy. Dnes už víme, že i největší hlubiny jsou hojně obydleny pestrou faunou ostnokožců, mnohoštětinatců, trubicovců, korýšů a ryb.

Na tento faktor nejsou nijak vodní živočichové specificky adaptováni. Vnější zvýšený tlak se vyrovnává s vnitřním tlakem tělních tekutin. Nebezpečné jsou náhlé změny tlaku. [7]

Tlak ovlivňuje hustotu vody, takže ve velkých hloubkách může být dosaženo nejvyšší hustoty při teplotě pod 4 °C. Se zvyšujícím se tlakem se zvyšuje i rozpustnost plynů ve vodě. [15]

Rozhodujícím faktorem umožňující existenci života i za obrovských tlaků v oceánských hlubinách je jedna z pozoruhodných vlastností vody, její nestlačitelnost. Při tlaku 40 MPa zmenšuje voda svůj objem pouze asi o 2 %. Voda je hlavní objemovou složkou těl všech organismů.

Všeobecně mají větší odolnost vůči vysokému tlaku živočichové, kteří nemají v těle prostory vyplněné vzduchem. U ryb se vzdušným měchýřem, stejně jako u potápěčích se ptáků nebo savců, dochází ke zvyšování tlaku k velkým změnám objemu vzduchu v souladu s jeho stlačitelností. V hloubce 10 m je objem vzduchu v plicích stlačen na polovinu a ve 40 m na pětinu vzhledem k objemu u hladiny. Zvyšování tlaku proto způsobuje u živočichů dýchající vzdušný kyslík důležité změny v tenzi plynů rozpuštěných v tělních tekutinách a v buněčné protoplazmě. Při náhlém snížení tlaku dochází za určitých okolností k uvolnění rozpuštěných plynů a vzniklé bublinky způsobují tzv. plynou embolii (kesonová nemoc). [7]

2.4.7 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)

Jednou z nejsledovanějších vlastností vody, zejména těch odpadních, bývá chemická spotřeba kyslíku zkráceně CHSK. Ve vodách bývá směs různorodých organických sloučenin, jejichž složení nebývá bez náročné analýzy známo. Pro hodnocení jejich koncentrace se používá metoda chemické spotřeby kyslíku (CHSK). CHSK je jedním z nejdůležitějších kritérií znečištění vody, které podává informace především o koncentraci veškerých organických látek. Výsledek stanovení se udává v

množství kyslíku, které je ekvivalentní spotřebě použitého oxidačního činidla. Jako oxidační činidlo se používají roztoky manganistanu draselného (KMnO_4) nebo dichromanu draselného ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) a stanovení se provádí za přesně určených podmínek.

Poměr CHSK/BSK vyjadřuje stupeň biologické rozložitelnosti organických látek. Nízké hodnoty poměru CHSK/BSK (< 2) ukazují na přítomnost snadno rozložitelných látek, zatímco vysoké hodnoty tohoto poměru znamenají přítomnost látek rozložitelných obtížně. Tento poměr nelze vyjádřit obecně, protože je pro různé odpadní vody odlišný. [23, 24, 25]

2.4.8 Turbidita (zákal)

Jednou z významných fyzikálních vlastností je průhlednost vody, která je snižována především zákalem. Zákal vody patří mezi organoleptické vlastnosti vody. Zákal lze definovat jako snížení průhlednosti vody vlivem nerozpuštěných anorganických látek (kovů, jílové minerály apod.) nebo látek organických (bakterie, plankton, pyl apod.). Zákal vody se většinou objeví jednorázově a tak musíme nečekaně řešit jeho odstranění. Zákal vzniká korozí potrubí, při rozpadu biofilmů a inkrustů. Může docházet i ke kontaminaci z vnějšího prostředí.

Při průchodu světelných paprsků kapalinou, která obsahuje jemně rozptýlené nerozpuštěné částice, dochází k rozptylu světla do všech směrů. Intenzita procházejícího světla se ve stejné kyvetě zmenšuje v závislosti na koncentraci suspendovaných částic, kterou lze zjišťovat dvojitým způsobem. Prvním způsobem je měření světelného toku po průchodu prostředím ve směru dopadajícího světelného toku ze zdroje (turbidimetrie). Metoda je založená na srovnávání zákalu vzorku a standardní formazinové suspenze vizuálně nebo spektrofotometrickým měřením procházejícího záření. Doporučená vlnová délka je 860 nm. Metoda je vhodná pro měření zákalu od 1 do 40 ZF. Druhým způsobem je měření světelného toku, který je částicemi odrážen kolmo nebo pod určitým úhlem na směr dopadajícího paprsku (nefelometrie). Metoda je založená na spektrofotometrickém měření části rozptýleného záření. Naměřené hodnoty zákalu jsou závislé na konstrukci použitého turbidimetru. [26, 27, 28]

2.4.9 Oxidačně-redukční potenciál (ORP)

Významnou vlastností vody je oxidačně-redukční potenciál, zkráceně ORP, jehož hodnoty mají podstatný vliv na rozšíření živých organismů různých velikostí od mikroorganismů až po ryby. ORP, tzv. oxidačně-redukční potenciál, je hodnota, která charakterizuje přítomnost oxidačních nebo redukčních látek v kapalině. Kladné hodnoty ORP charakterizují oxidační kapalinu, záporné naopak redukční kapalinu. Vysoké záporné hodnoty ORP tedy fungují jako silný reduktant. Reduktant je sloučenina, která při reakci uvolňuje elektrony (je to elektronový donor) a sama se oxiduje, oxidant je naopak látka, která elektrony přijímá (akceptor elektronů) a sama se redukuje.

Měření hodnoty ORP nabývá stále většího významu. Toto měření se používá např. pro kontrolu a řízení denitrifikačních procesů na biologických ČOV, pro řízení neutralizačních procesů nebo pro řízení dávky manganistanu na úpravnách vody. [29, 30, 31]

2.5 Koloběh látek ve vodě

2.5.1 Koloběh kyslíku

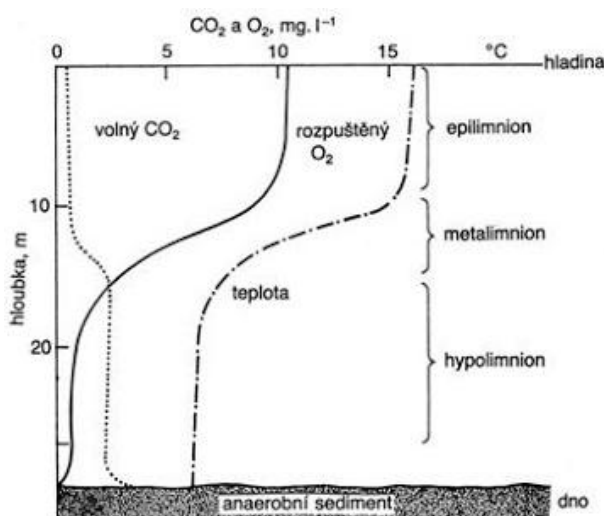
Kyslíkový režim je jedním z nejdůležitějších faktorů vodních systémů. Je nezbytný pro řadu důležitých i biochemických procesů a reakcí.

Aktuální obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě určité nádrže nebo toku pochází ze vzduchu a z fotosyntetické činnosti vodních rostlin. Rostlinný podíl produkce kyslíku závisí na druhu a množství rostlin, na délce a intenzitě efektivního osvětlení a na dostatku vhodných živin. Kyslík spotřebovávají při dýchání jak živočichové, tak rostliny. Množství absorbovaného kyslíku z ovzduší přímou difúzí závisí na velikosti styčné plochy vody a vzduchu, na barometrickém tlaku ovzduší, salinitě, na pohybu a turbulenci povrchových vrstev vyvolaných větrem, a zvláště na teplotě (viz tabulka č. 3). [7]

Tabulka č. 3: Obsah rozpuštěného kyslíku při 100% nasycení vody při různých teplotách a při atmosférickém tlaku 101,0 kPa

Teplota ve °C	0	5	10	15	20	25	30
Obsah O ₂ [mg/l]	14,16	12,37	10,92	9,76	8,84	8,11	7,53

Relativní podíl kyslíku je oproti dusíku ve vodě podstatně větší než v ovzduší. Relativní objemový podíl O:N je tedy ve vodě v poměru 1:2, zatímco v ovzduší je v poměru 1:5. V nezakalené vodě s bohatou vegetací a fotosyntetickou aktivitou může výrazně narůstat množství rozpuštěného O₂ v prosvětlené vrstvě. Maximální koncentrace obvykle dosahuje v pozdním odpoledni, kdy může dojít k výraznému přesycení vody rozpuštěným kyslíkem. Během noci dýcháním rostlin a živočichů dochází opět k poklesu obsahu O₂ ve vodě. Ve vodním sloupci se projevuje výraznou kyslíkovou stratifikací fotosyntetická produkce O₂ v horní dobře prosvětlené vrstvě a jeho respirační odčerpávání ve spodní zóně bez přístupu světla (viz obrázek č. 2).



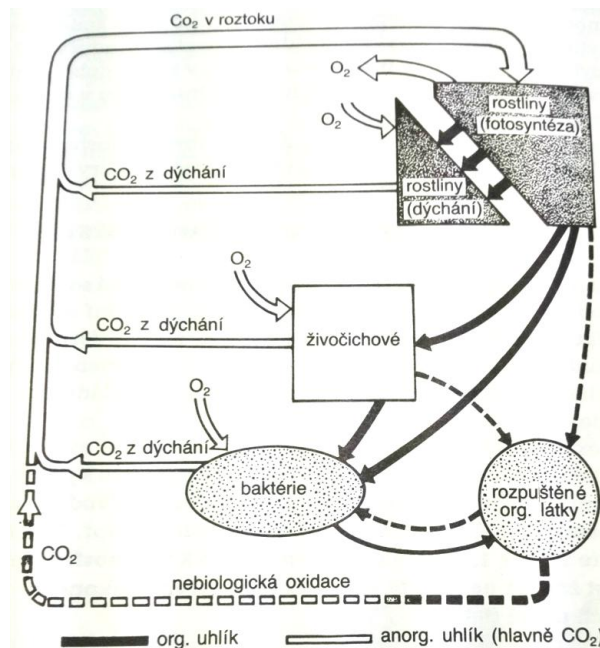
Obrázek č. 2: Průběh vertikální stratifikace rozpuštěného kyslíku [2]

Denní křivky kyslíkového režimu spolu s CO_2 a pH režimem ve vodním sloupci nádrží dávají obraz o fotosyntetické aktivitě vodního ekosystému. Toto kolísání se označuje jako kyslíkové pulsy. Mohou být různě modifikovány rozvrstvením fotosyntetizujících řas ve vodním sloupci, horizontální a vertikální cirkulací vody v nádržích. V přirozených vodách se na odčerpávání rozpuštěného kyslíku podílí řada činitelů. Vedle dýchání živočichů a rostlin je to spotřeba kyslíku při rozkladu organické hmoty bakteriemi, přítok podzemních vod s nízkým obsahem O_2 a vzestup teploty. [7]

Kyslíkový režim je důležitým kritériem při hodnocení kvality vody. Vodní nádrže a toky s velkým organickým znečištěním mají nedostatek rozpuštěného O_2 . Proces samočištění ve vodách je však závislý na dostatku rozpuštěného O_2 ve vodě, nehledě na sedimentaci, podílející se rovněž na samočisticích procesech, ale nezávisle na kyslíkovém režimu ve vodě. Je-li při rozkladných procesech ve vodním systému spotřebován veškerý rozpuštěný kyslík, pokračuje rozklad organických látek anaerobní cestou. [7]

2.5.2 Koloběh uhlíku a uhličitanový systém

Uhlík, který je nejrozšířenější formou živé hmoty, má současně jeden z nejjednodušších, ale velmi dokonalých cyklů. Základní schéma koloběhu uhlíku ve vodních ekosystémech vychází z atmosférického rezervoáru, odtud jej čerpají producenti a předávají konzumentům, přičemž z obou těchto trofických článků postupuje uhlík k rozkladačům a poté zpět do atmosféry (viz obrázek č. 3).



Obrázek č. 3: Koloběh oxidu uhličitého ve vodních ekosystémech [2]

Plynný oxid uhličitý je ve vodě snadno rozpustný, takže jeho množství ve vodě je v poměru k jiným plynům vyšší než odpovídá jeho objemovému podílu v ovzduší. Rozpustnost uhlíku je závislá na teplotě podobně jako jiné plyny (viz tabulka č. 4). [7]

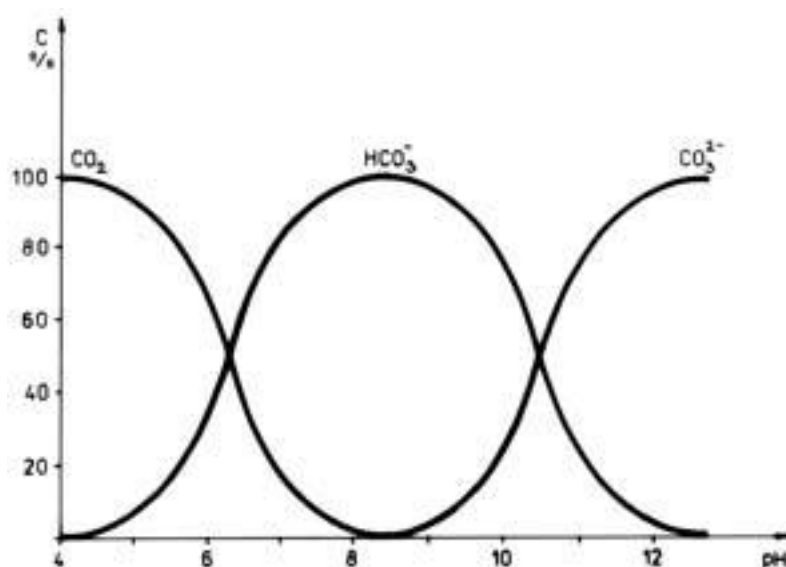
Tabulka č. 4: Množství rozpuštěného oxidu uhličitého při 100% nasycení vody v závislosti na teplotě při atmosférickém tlaku 101,0 kPa

Teplota ve °C	0	10	20	30
Obsah CO ₂ [mg/l]	1,005	0,700	0,510	0,380

Na dalším zvýšení obsahu volného CO₂ ve vodě se však rovněž podílí bakteriální rozklad organické hmoty a dýchání vodních rostlin a živočichů. Rozpuštěný CO₂ se slučuje s vodou na kyselinu uhličitou ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$). Kyselina uhličitá je částečně disociována na ionty H⁺ a na hydrogenuhličitanové anionty HCO₃⁻. Hydrogenuhličitanové ionty dále disociují na vodíkové a uhličitanové ionty CO₃⁻², zvyšující tak obsah H⁺ iontů v roztoku. Plynný oxid uhličitý obsažený ve vodě v souladu s teplotou je označován jako volný. Vyskytuje se ve vodách s vysokou uhličitanovou tvrdostí. Mnohem více oxidu uhličitého je přítomno ve formě rozpustných hydrouhličitanů Ca(HCO₃)₂. Tento zdroj oxidu uhličitého je označován jako vázaný CO₂. Hydrouhličitan mohou řasy rovněž využívat jako zdroj uhlíku. Při intenzivní fotosyntéze rostlin a odčerpávání zdroje vázaného zdroje uhlíku spojeného s vysokými hodnotami pH dochází k přeměně rozpustného hydrouhličitanu na uhličitan vápenatý s velmi nízkou rozpustností. [7]

V kyselých vodách je vázaný CO₂ přeměňován ve volnou formu. Při hodnotách pH blízkých neutrálnímu prostředí je většina CO₂ vázána v uhličitanech (viz obrázek č. 4). Se vzrůstem obsahu hydrouhličitanových a uhličitanových aniontů roste alkalita. CO₂, pH a alkalita jsou navzájem v přímé závislosti.

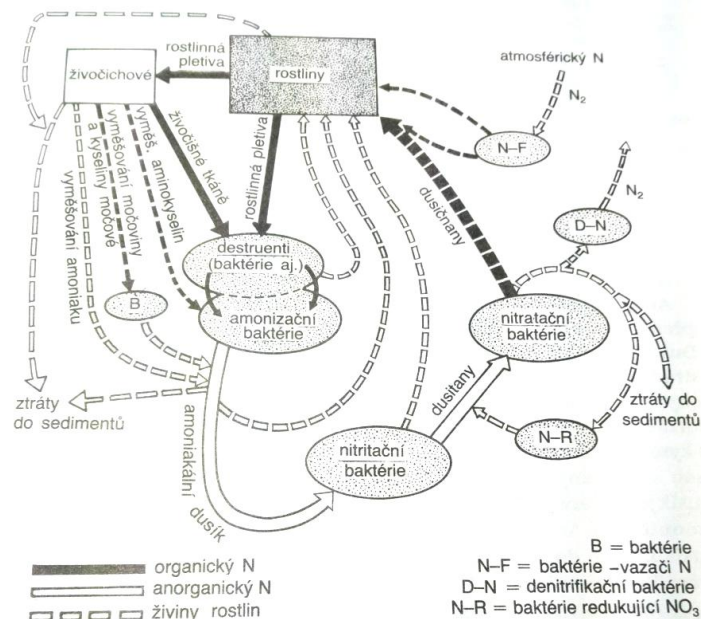
Fotosyntéza vodních rostlin, pohyb vodních mas a povrchová difúze vede ke ztrátě CO₂ z ekosystému. Volný CO₂ je obvykle ve větším množství nashromážděn u dna mělkých vod a v hypolimnionu jako výsledek mikrobiálního rozkladu organické hmoty. Za těchto podmínek může plynný CO₂ unikat ve formě bublinek vystupujících k hladině a do ovzduší. [7]



Obrázek č. 4: Změny v relativním zastoupení oxidu uhličitého, hydrouhličitanů a uhličitanů ve vodních nádržích v závislosti na změnách pH vody [2]

2.5.3 Koloběh dusíku

Dusík patří kvantitativně k hlavním biogenním prvkům spolu s vodíkem, uhlíkem a kyslíkem. Jeho biogeochemický cyklus je značně komplikovaný. Na rozdíl od uhlíku je však dusík hlavní složkou atmosféry (79 %). Naprostá většina biot není schopna atmosférický dusík využívat, přestože suchozemské organismy jsou obklopeny obrovským množstvím dusíku. Organismy jsou schopny přijímat pouze dusík vyskytující se v anorganických nebo organických sloučeninách. Do biologických procesů vstupuje dusík nejčastěji v anorganické formě, zpravidla vázán v dusičnanech, u planktonních řas spíše ve formě amoniaku (viz obrázek č. 5). Sloučeniny dusíku až po dusičnany mohou vznikat z plynného dusíku. [7]



Obrázek č. 5: Biogeochemický cyklus dusíku v biosféře a ve vodním ekosystému [2]

Volný dusík je schopna vázat řada bakterií a sinic. Vazače dusíku lze rozdělit na symbiotické vazače (hlavně bakterie) a na volně žijící vazače (v půdě i ve vodních ekosystémech).

Anorganický dusík, přijímaný producenty ve formě dusičnanů, je přeměňován na organickou formu v bílkovinách a nukleových kyselinách. Dusík vázaný rostlinou biomasou může být vylučován zčásti do prostředí, zčásti ho využívají konzumenti a zbytek se uvolňuje rozkladem uhynulých rostlin. Biomasou živočichů se část dusíku vrací do prostředí ve formě exkrečních produktů jako amoniak, močovina, aminokyseliny a kyselina močová a rozkladem tkání uhynulých živočichů. Amoniak může být bakteriemi nebo řasami využit jako zdroj dusíku nebo dochází k jeho oxidaci činností nitrifikačních bakterií. [7]

Při nedostatku kyslíku v prostředí mohou některé bakterie (např. *Pseudomonas*) využívat dusičnany jako zdroj kyslíku. Bakterie redukují dusičnany částečně na amoniak a částečně na plynný dusík. Ten se vrací difúzí přes vodní hladinu do

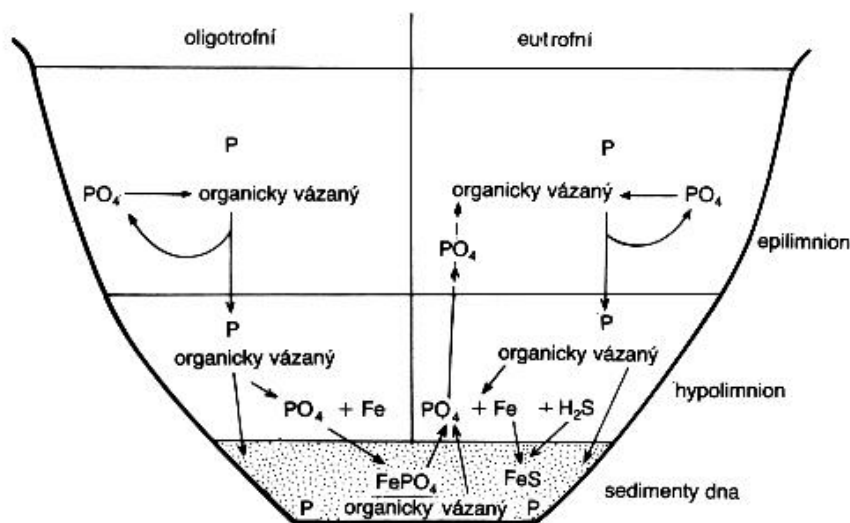
ovzduší, pokud není opětovně využit v tomtéž ekosystému. Tento proces se nazývá denitrifikace.

Procesy nitrifikace a denitrifikace mají těsný vztah k produkčním procesům ve vodních ekosystémech a uskutečňují plnou recyklaci dusíku mezi ovzduším a biotickou složkou ekosystému. [7]

2.5.4 Koloběh fosforu

Fosfor sice není stavebním prvkem bílkovin, ale bez fosforu není možná syntéza bílkovin, protože fosfor slouží jako palivo biochemických procesů. Hlavním zdrojem fosforu jsou prací prostředky. [15]

Ve srovnání s jinými biogenními prvky má fosfor mimořádný význam jako prvek často limitující produkční procesy ve vodních ekosystémech. Je to dáno rozdílem mezi jeho poměrným zastoupením v živých organismech a jeho zdroji v prostředí. V organismech je podíl fosforu vyšší a stálý, v prostředí nižší a proměnlivý, což způsobuje jeho sedimentární cyklus a proměnná intenzita využití rostlinami.



Obrázek č. 6: Schéma koloběhu fosforu ve vodním ekosystému v interakci se železem a sírou [2]

V zemské kůře je fosfor obsažen ve formě nerozpustných fosforečnanů vápníku, hořčíku, hliníku a železa. Nahromaděním těchto sloučenin vznikají ložiska fosfátových nerostů. Fosforečnany se z hornin litosféry uvolňují především větráním. Do vodních ekosystémů přicházejí ve formě rozpuštěných ortofosforečnanů nebo jako jejich sraženiny, většinou fosforečnan železitý. Ve formě rozpustných fosforečnanů je fosfor přijímán a využíván fytoplanktonem i bakteriemi a s jejich biomasou přechází do dalších článků produkčního řetězce ekosystému. Po uhynutí bakterií, rostlin i živočichů a mineralizaci protoplazmy jejich těl destruenty se fosfor zčásti vrací do koloběhu ve formě asimilovaného fosfátu, zčásti je vázán v nerozpustné formě v sedimentech nádrží jako nerozpustný FePO_4 (viz obrázek č. 6). V sedimentech probíhá zejména během letních a zimních stagnací (pokud dojde k vyčerpání O_2) redukce trojmocné formy železa a vzniká rozpustná dvojmocná forma. Blokované fosforečnany se zčásti uvolňují do roztoku kontaktních vrstev vody nad sedimenty a v následující jarní, případně podzimní totální cirkulaci se dostanou do celého vodního sloupce. Hlavní podíl na koloběhu fosforu v

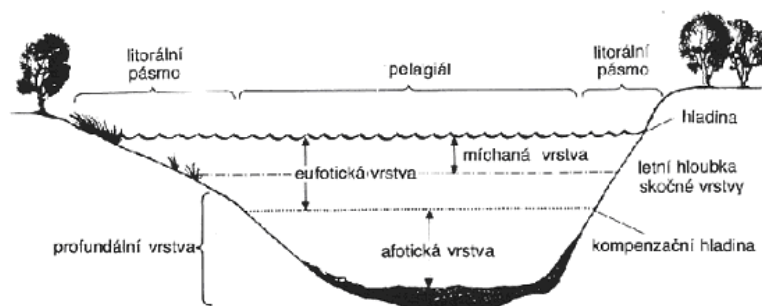
ekosystémech má ovšem látkový metabolismus organismů, s jejichž exkrekty se fosfor dostává do prostředí v rozpuštěné nebo koloidně rozptýlené formě (v této formě je přijatelný pro rostlinstvo). Intenzivní fotosyntetickou činností rostlin může dojít k vyčerpání reaktivní formy fosforu ve vodních ekosystémech až na mizivé hodnoty. [7]

Značná část celkového fosforu ve vodním ekosystému se nalézá ve formě organického fosforu. Jde o fosfor vázaný v protoplazmě všech organismů a jejich zbytků ve volné vodě i v sedimentech.

Do přirozeného koloběhu zasahuje stále výrazněji člověk. Stoupá výroba a aplikace fosforečných hnojiv v zemědělství, úprava těžných přirozených fosfátů má negativní důsledky v eutrofizaci vod. [7]

2.6 Stojaté vody

Stojaté vody patří mezi ty vody, v nichž by hlavně měly být instalovány plovoucí ostrovy pro zlepšení kvality vody. Do vod stojatých řadíme rybníky a jezera, drobné vody, bažiny, slatiny, tůňky, rašeliniště. Odlišnost vody stojaté od tekoucí je jasná, je zde omezenější cirkulace vody a místo horizontálního charakteru převládá důležitost vertikálního jevu. Největší obsah kyslíku najdeme ve vodních nádržích u přítoku a u hladiny. Světlo je limitujícím faktorem pro výskyt vodních rostlin a fytoplanktonu. Teplota vody ovlivňuje rozmanitost a početnost organismů. U stojatých nádrží je výrazný jev tzv. anomálie vody, tzn. voda má největší hustotu při 4 °C což umožňuje organismům přežít u dna zimní období. Důležitá je opět velikost nádrže, aby se tento jev mohl projevit. [16]



Obrázek č. 7: Schéma horizontálního a vertikálního členění vodní nádrže [3]

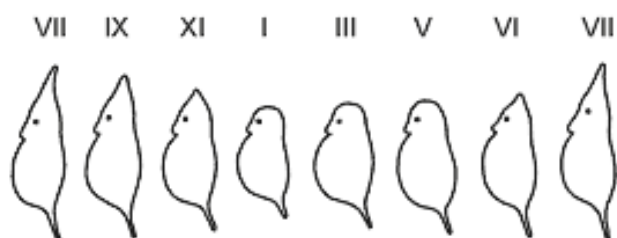
2.6.1 Pelagiál

Pelagiál je oblast volné vody (mimo litorál), ve které světlo obvykle neproniká až na dno.

Pelagiál je obýván jednak planktonem (organismy pasivně se vznášející nebo omezeně plovoucí ve volné vodě) a jednak nektonem (živočichy aktivně plovoucí ve volné vodě). Součástí sladkovodního planktonu je široký soubor primárních hydrobiontů (od bakterií a jednobuněčných řas a prvoků po mnohobuněčné řasy a různé bezobratlé, zejména vířníky, klanonožce a perloočky. Ze sekundárních hydrobiontů sem patří larvy koreter a vodule. Výjimečně mohou být součástí sladkovodního planktonu též larvy mlžů, medúzka sladkovodní, planktonní larvy parazitických ploštěnců.

Charakteristickou vlastností planktonu je schopnost pasivního vznášení ve vodním sloupci kombinovaná s případným aktivním plaváním, zvláště u zooplanktonu. Vzhledem k tomu, že hustota planktonních organismů je obvykle větší než hustota vody, dochází k jejich pomalému klesání ve vodním sloupci.

Otázka tvarového odporu těla planktonních organismů je značně komplikovaná a je zřejmě odezvou planktontů na součinné působení řady faktorů prostředí, kdy se za různých podmínek uplatní jiné kombinace faktorů. Tvarový odpor těla bezpochyby zvyšují různé výrůstky na těle příslušníků fytoplanktonu i zooplanktonu. Podobně je třeba hodnotit sezónní tvarové změny některých planktonních rostlin a velkého počtu planktonních živočichů. Nejznámějších příkladem jsou cyklické tvarové změny některých druhů hrotnatek, u nichž v letních generacích postupně dochází k přílbovitému zvýšení hlavy, zatímco zimní generace mají hlavu nízkou a kulatou (viz obrázek č. 8). [7]



Obrázek č. 8: Cyklomorfoza hrotnatky [4]

Původně se tyto změny dávaly do vztahu se sezónními změnami viskozity vody jako přizpůsobení na vznášení. Novější laboratorní i terénní výzkumy ukázaly, že jde o komplikovaný jev a složitou adaptaci na komplex faktorů prostředí. [7]

Hrotnatka se používá jako krmivo pro akvarijní ryby a pokusný organizmus pro testy toxicity na vodních organizmech - konzumentech I. řádu. Samci hrotnatky jsou vždy menší než samice. Tělo hrotnatky je složeno ze dvou částí: hlavové a trupové, které jsou zřetelně ohraničeny. Pod hlavovým výběžkem mají tykadla. U samic jsou velmi krátké, u samců jsou delší. [17]



Obrázek č. 9: Hrotnatka obecná (*Daphnia pulex*) [5]

2.6.2 Bentál

Bentál představuje celý areál dna vodní nádrže nebo toku. Tento areál zasahuje do dvou oblastí – litorálu a profundálu. U velmi hlubokých sladkovodních jezer je pak možno vyčleňovat ještě třetí oblast, a to pásmo nejhlubšího dna tzv. abysál. Oživení jednotlivých částí této oblasti je v důsledku rozdílných životních podmínek, které dno poskytuje, značně odlišné. Bentál je obýván bentosem (organismy žijícími na dně) je zde dostatek živin, ovšem méně kyslíku a světla. Složení bentosu se mění v závislosti na charakteru dna a hloubce. V místech, kam proniká jen malé množství světla, převládají živočichové. Někteří z nich vůbec nedokážou plavat (škeble), jiní plavou neohrabaně a pomalu (larvy hmyzu, kroužkovci, korýši atd.). Vyskytuje se zde velké množství mikroskopických organismů (prvoci, bakterie atd.). Části těl uhynulých organismů a jejich výkaly označujeme pojmem detrit. V detritu se vyskytuje i velké množství bakterií, které zde rozkládají organickou hmotu až na minerální látky. [7, 18, 19, 20, 21]

2.6.3 Litorál

Příbřežní prosvětlená zóna bentálu je charakterizována velmi proměnlivými podmínkami prostředí s bohatým osídlením. Člení se horizontálně i vertikálně na několik stupňů. Horní vnější stupeň, označovaný jako epilitorál, není pod přímým vlivem vody nádrže. Blíže k vodní hladině je supralitorál, postřikované pásmo, které je omýváno pouze při vlnobití. Následuje eulitorál, který je zatopen trvale, ale je pod vlivem intenzivního pohybu vody. To znamená, že dno tohoto pásma, pokud není zarostlé vegetací, je neustále vymýváno a ekologické podmínky jsou zde podobné jako v tekoucích vodách. Adaptace fauny je rovněž podobná, to znamená, že zde žijí druhy pevně přisedlé na kamenech, mezi kameny a pod kameny a jsou zahrabány v písku. Další příbřežní pásmo tvoří infralitorál, zde je významná primární produkce s porosty makrovegetace, podle níž se dále člení fytoocenologicky. Nejmělkčí část je porostlá pásy tvrdé litorální makrovegetace. Rostliny jsou zakořeněné ve dně nádrže, ale listy a květy vyčnívají nad hladinu vody. Charakteristickými rostlinami tohoto pásma jsou skřípinec jezerní, orobínek úzkolistý, zblochan vodní a často dominantní rákos obecný. Uvedené druhy mohou pronikat až do hloubky přibližně jednoho metru. K pásu tvrdé vegetace přimykají porosty měkké plovoucí a ponořené makrovegetace různých druhů rdestů. Rostou zde lekníny a stulík žlutý, rdesno obojživelné a další druhy. Dalším pásmem je litoriprofundál, tvoří rozhraní mezi litorálem a profundálem, jak ukazuje i jeho název. Může se užívat též název sublitorál. Tvoří v hlubokých nádržích pásmo skořápek měkkýšů, zanášených sem prouděním vody. Z fotosyntetizujících rostlin sem pronikají jenom nárůstové sinice.

Litorál, zejména rostlinami zarostlý infralitorál, je osídlen druhově pestrou a kvantitativně bohatou zoocenózou bezobratlých. Hojně jsou druhy vodního hmyzu, zejména brouků a ploštic. [7]

2.6.4 Profundál

Profundál nádrží začíná v pásmu, kde se vyrovnává fotosyntetická bilance s respirací. V pásmu profundálu převládají disimilační procesy nad asimilačními. Cenózy profundálu jsou tvořeny konzumenty, kteří jsou troficky závislí na primární

produkci litorálu a epipelagiálu. V hlubokých nádržích se však mohou uplatnit v potravním řetězci profundálu rovněž chemoautotrofní mikroorganismy.

Sedimenty profundálu velkých nádrží procházejí především z produkce pelagiálu. V oligotrofních jezerech, případně údolních nádržích s velkou uhličitánovou tvrdostí vody, je obsažen v sedimentech velký podíl vápníku pocházejícího z biogenní dekalifikace uhličitánu vápenatého.

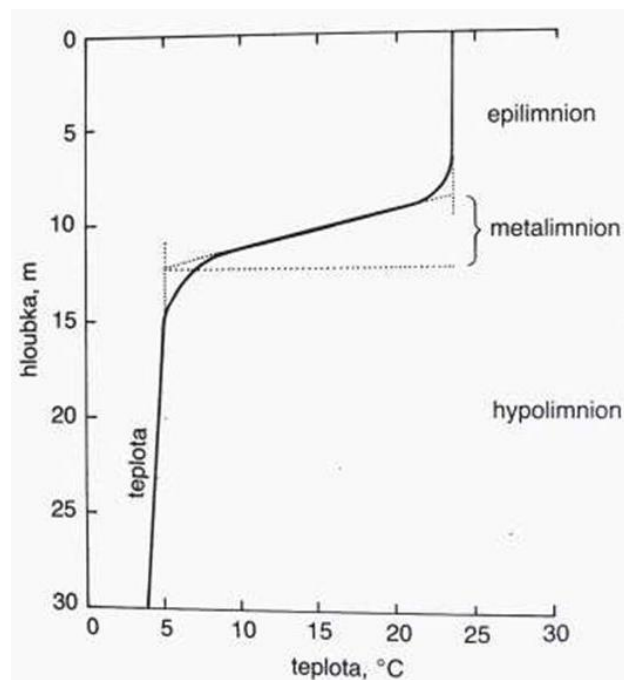
Nabídka potravy a kyslíkový režim profundálu jsou dobrými indikátory intenzity látkové výměny celého ekosystému. Důležitou skupinou profundálního bentosu jsou larvy pakomárů, které jsou i dobrým indikátorem kyslíkového režimu u dna vodní nádrže. V oligotrofních nádržích, kde po celý rok neklesá množství rozpuštěného kyslíku ve vodě u dna pod 50 % nasycení, je bentická fauna druhově pestrá. Četnost populací jednotlivých druhů, biomasa a produkce celého bentosu je však malá. V nádržích, kde dochází k poklesu rozpuštěného kyslíku ve vodě u dna pod kritické hodnoty, je fauna profundálu druhově velmi chudá, populace přítomných druhů jsou však početné a s vysokou biomasou. Charakteristickými zástupci eutrofních nádrží jsou larvy pakomárů, z ostatních skupin jsou početně zastoupeni máloštětinatci. [7]

2.6.5 Tepelný režim vod

Tepelný režim vodních nádrží i toků je obrazem procesu příjmu, distribuce a výdaje tepla vodním tělesem. Tepelná energie obsažená v určité nádrži či toku pochází ze tří zdrojů. Jsou to sluneční radiace, zemské nitro (geotermální zdroj) a lidská činnost (antropický faktor).

Geotermální zdroj se může uplatnit jednak lokálně jako horské prameny, jednak ve velmi hlubokých jezerech. Antropický zdroj nabývá postupně na významu, avšak jeho podíl na tepelné bilanci vod je dosud zanedbatelný. Hlavní zdrojem tepla tedy zůstává sluneční radiace, zvláště jeho infračervená složka, a její absorpce ve svrchních vrstvách vod. Na ztrátách tepla z vodní masy se podílí povrchové vyzařování, výpar z vodní hladiny, odvod tepla do okolního prostředí a odtok povrchové oteplené vrstvy vody. Vertikální i horizontální rozvod tepla ve vodních nádržích se děje převážně prouděním. Rychlou absorpci záření po průchodu vodní hladinou lze vyjádřit absorpční křivkou. Nejteplejší je hladinová vrstva vody, do hloubky teplota vrstev klesá. Ke stabilitě termálního rozvrstvení vody přispívá rozdílná hustota a viskozita různě teplých vrstev. K takové stratifikaci dochází v nádržích zejména za slunečných a bezvětrných jarních a letních dnů. Večer a v noci obvykle převládá ztráta tepla hladinové vrstvy vody nad přísunem tepla. Její teplota klesá a hustota se zvětšuje, takže voda při hladině se stává těžší než pod ní ležící vrstvy. Ochladená voda se zanořuje až na úroveň vrstvy stejně chladné a husté vody. Teplejší a lehčí voda ležící pod ochlazenou vrstvou je současně vytlačována vzhůru. Střídavým oteplováním a ochlazováním svrchních vrstev vody vzniká konvekční vertikální proudění, jímž se cirkadiálně promíchávají svrchní vrstvy vody. Další a rozhodující mechanickou silou, která se podílí na promíchávání svrchních vrstev vody v nádržích, je vítr. Třením o hladinu vyvolává horizontální proud, který se u břehů stáčí v hlubších vrstvách do protisměru. [7]

Jarní a letní promíchávání svrchních vrstev vody zasahuje do takové hloubky, v níž konvekční ani driftové proudění již nemůže výrazně porušit stabilitu studené vrstvy vody. Teplotní stratifikaci jsou vodní masy jezer, údolních nádrží, hlubokých rybníků, tůní a starých říčních ramen v létě rozděleny na tři vrstvy. Svrchní, teplotně homogenní vrstva tvoří epilimnion, spodní studená vrstva s malým přísunem tepla, kde ke dnu klesá teplota k hodnotě cca 4 °C, tvoří hypolimnion. Přechodná vrstva je označována jako metalimnion. Tento stav reprezentuje letní stagnaci s přímou termální stratifikací s teplou vodou na povrchu a studenou v hloubce (viz obrázek č. 10). S podzimním ochlazováním teplota povrchových vrstev klesá, vítr promíchává vodní sloupec stále intenzivněji a do větší hloubky. Při teplotě vody 4 °C dochází k promíchání celého vodního sloupce. Jedná se o totální podzimní cirkulaci. Při následujícím ochlazování svrchních vrstev vody se vytvoří zimní stagnace s obrácenou termální stratifikací, to znamená se studenou vodou u hladiny a teplou vodou (4 °C) v hloubce. Po roztátí ledu následuje jarní cirkulace, po níž se postupným prohříváním svrchních vrstev vytváří nová termální stratifikace.



Obrázek č. 10: Typické teplotní rozvrstvení vodních mas ve stratifikované nádrži [2]

Sezónní periodicitu teplotních stratifikací nádrží v mírném klimatickém pásu provází dlouhodobou izolací spodních vrstev vody přerušovanou cirkulacemi vodních mas. Tento roční cyklus vytváří specifické fyzikálně-chemické podmínky ve vodních ekosystémech. Mají mimořádný význam nejen pro koloběh látek, ale i pro celou biotickou složku ekosystému, od planktonu a bentosu po rybí osádku.

V různých geografických a klimatických oblastech se však typy termálních stratifikací a cirkulací mohou různě kombinovat. Pro jezera a jiné hluboké nádrže mírného pásu severní polokoule je však obvyklý výše popsáný roční cyklus termálních stagnací a cirkulací vodních mas. [7]

2.6.6 Proces eutrofizace stojatých vod

Pokud jde o obsah biogenních prvků a primární produkci, rozlišujeme dva základní typy vodních nádrží. Vody chudé na živiny a s malou produkcí organické hmoty řadíme k oligotrofnímu typu, vody s velkým obsahem minerálních živin a s vysokou produkcí rostlin i konzumentů prvního i druhého řádu jsou vody eutrofního typu.

Obsah živin v nádržích i tocích je ovlivňován řadou přirozených procesů i činností člověka, jejichž důsledkem je eutrofizace vod. Je to přirozené i umělé obohacování vod živinami, které způsobují pronikavé změny chemicko-fyzikálních vlastností vody i biologického režimu vodních ekosystémů. Eutrofizace je někdy nesprávně chápána jako pouhé znečišťování vod. Fakticky probíhá proces eutrofizace od počátku existence vodní nádrže vlivem okolního území, z něhož se do vodního ekosystému dostávají různé živiny. Z produkčně hydrobiologického a rybářského hlediska je za určitých okolností pozitivním jevem zvyšujícím produktivitu nádrže a výnosy ryb. Není však žádoucí u nádrží a toků, které slouží jako zdroje užitkové a pitné vody nebo k rekreačním účelům.

V poslední době se projevuje všeobecná akcelerace procesu eutrofizace zejména vlivem rostoucího přísunu biogenních prvků odpadními vodami ze sídlišť, z průmyslu i zemědělské výroby. Pronikavý růst přísunu živin v mnoha případech ohrožuje kvalitu užitkové vody a surové vody určené k úpravě na vodu pitnou.

Příčin eutrofizace, které vyvolávají zvýšenou biologickou produkci vod, je celá řada. Působí zde přirozené faktory dané geologickými, geografickými a topografickými poměry, fyzikálně-chemické faktory a posléze i biotické faktory, tj. složité interakce mezi soubory organismů. [7]

Tabulka č. 5: Stupně trofie a jejich charakteristiky

Úživnost	Celkový P [mg/l]	Chlorofyl a [µg/l]		Průhlednost [m]	
	prům.	prům.	max.	prům.	max.
Oligotrofie	< 0,010	< 2,5	< 8	> 6	> 3
Mezotrofie	0,010 – 0,025	2,5 – 8	8 – 25	3 – 6	1,5 – 3
Eutrofie	0,025 – 0,100	8 – 25	25 – 75	1,5 – 3	0,7 – 1,5
Hypertrofie	> 0,100	> 25	> 75	< 1,5	< 0,7

[22]

Většinou je považován za hlavní limitující živinu fosfor. Při hodnocení eutrofizačních procesů v nádržích zatěžovaných fosforem je třeba brát v úvahu rovněž tzv. vnitřní zásobování primárních producentů fosforem pocházejícím ze sedimentů vlastního dna. Za faktor, jemuž se přikládá rozhodující význam při limitaci rozvoje fytoplanktonu ve vodních ekosystémech, lze označit nesoulad mezi hmotnostním poměrem sloučenin uhlíku, dusíku a fosforu v biomase vodních rostlin a hmotnostním poměrem sloučenin těchto biogenních prvků v prostředí. V rybnících klesá obsah fosfátového fosforu v závislosti na jeho spotřebě fotosyntézou rostlin. V době jarního maxima fytoplanktonu klesá na hodnoty na hranici měřitelnosti.

Eutrofizace vod odpadními produkty lidské činnosti podněcuje snahy snížit množství hlavního diogenu, fosforu, dodávaného odpady do vodních nádrží. Nemalý podíl na tom má používání polyfosfátových detergentů, v nichž by měl být fosfor nahrazen sloučeninami méně aktivního prvku. Další cestou je úprava odpadních vod před jejich vypuštěním do povrchových vod, anebo srážení fosforu přímo v nádržích.

Také zemědělství působí jako významný eutrofizační faktor. Vodní nádrže a toky včetně údolních nádrží trpí plošným znečištěním výluhem hnojiv z polí. Jde o kombinovaný účinek zemědělské aktivity v povodí toků a vodních nádrží.

Eutrofizace vodního tělesa je proces reverzibilní. I ve značně poškozených nádržích lze vhodným zásahem zachránit a zlepšit kvalitu vody, která byla znehodnocena. [7]

2.6.7 Rozkladné procesy ve vodách

Koloběh látek mezi biotickou složkou a zásobárnou živin ve vodních nádržích a tocích je základem pochopení produktivity a produkce sladkovodních ekosystémů. V tomto koloběhu se podstatně liší ekosystémy stojatých vod od toků. Ve vodních nádržích se většina chemických sloučenin a hmoty dostává po uhynutí organismů a rozkladu jejich těl zpět do vody a jen malá část je deponována ve formě sedimentů.

Rozklad tělesné hmoty uhynulých planktonů je velmi rychlý. V průběhu prvních hodin do rozpětí asi jednoho dne probíhá rychlá destrukce organické hmoty uhynulých organismů formou autolytického rozkladu tělesných tkání. Uvolněné látky difundují do vody. Rychlost autolytického rozkladu a množství uvolněných látek jsou však značně rozdílné u různých skupin vodních živočichů a rostlin. V zimních měsících se autolytické procesy zpomalují.

Na fázi autolytického rozkladu navazuje mikrobiální rozklad zbývající organické hmoty organismů, takže asi během 24 hodin dojde k výraznému rozvoji heterotrofních bakterií a vzrůstu jejich biomasy. Ta je k dispozici planktonním filtrátorům zooplanktonu. [7]

3 Plovoucí ostrovy ve světě

Zájem ve světě o plovoucí ostrovy je mnohem větší než v České republice, protože je to nová věc a bohužel mají lidé v naší zemi v povaze se nových věcí bát a nevěřit jim. Je ale jen otázka času, kdy se dostanou plovoucí ostrovy více do povědomí.

Ni-Bin Chang a kolektiv se zajímali ve své studii o odstraňování živin z dešťové vody pomocí plovoucích ostrovů. Jednalo se o plovoucí podložky BioHaven s rostlinami, které byly umístěny ve válcovitých nádržích o průměru 5 m a výšce 1,2 m. Ostrovy pokrývaly 5 a 10 % z celkového povrchu hladiny. Ze studie vyplynulo, že vyšší pokrytí hladiny ostrovy nijak nezvyšuje efektivitu systému, ale pouze dochází ke zvýšené produkci biomasy. Bylo však potvrzeno, že v blízkosti kořenové zóny se hromadí prospěšné mikroby. Tato studie však nedoporučuje používání směsné vegetace v blízkosti výpusti rybníka. [32]

Fengliang Zhao a jeho spolupracovníci se zabývali čištění eutrofních vod v řekách pomocí plovoucích ostrovů. Integrovaný plovoucí ostrovní systém sestávající z vodní vegetace rostoucí poblíž řek a plovoucího ostrova s adsorpčním biofilmem. Byl vyroben k čištění eutrofní vody v řece ve městě Jiaxing v provincii Zhejiang. Průměrná rychlost odstraňování celkového dusíku, N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂ celkového fosforu a chlorofylu byla v období léto-podzim vyšší než v období zima-jaro. Kromě toho byla také účinně snížena koncentrace celkových rozpuštěných látek, Escherichia-coli a těžkých kovů. [33]

Julia A. Cherry a Laura Gough se věnovali ve své studii plovoucím ostrovům trochu z jiné stránky. Sledovali, jak plovoucí formace ostrova ovlivňují druhovou bohatost a složení mokřadních rostlinných svazků v hlubinných bažinách. Sestavy rostlin na plovoucích ostrovech sestávaly převážně z rodících se druhů, zatímco plovoucí listnaté trvalky ovládaly hlubinné bažiny. Sestavy klíčící za minimálního zaplavení byly bohatší na druhy a obsahovaly více vznikajících druhů než ty, které klíčily za zaplavených podmínek. [34]

Hsiao-Ling Lu a Chen-Ruei Ku ve spolupráci s Yuan Hsiou Chang experimentovali s modelem GAFI, který využívá zelenou energii k aeraci vrstvené vody na homogenizovanou vodu. Ostrov GAFI má rozměry 60x60 cm a je osazen třemi druhy rostlin (orobinec východní, sítina rozložitá a bahnička). Tři vodní nádrže (hloubka 165 cm, průměr 130 cm) byly osazeny těmito ostrovy. Srovnání shromáždění údajů ze stejného zdroje bez a s GAFI poskytlo důkaz, že pomocí GAFI účinně zlepšila kvalitu vody sledováním různých parametrů kvality vody. [37]

Yuan-Hsiou Chang, Chen-Ruei Ku a Naichia Yeh se ve své studii zabývali plovoucími ostrovy se solárním panelem (SAFI), který poháněl provzdušňovací zařízení. Provzdušňování zajišťuje stabilní prostředí a účinněji homogenizuje vodní vrstvy. Výsledky monitorování ukazují, že SAFI může sjednotit teplotu vody, zvyšuje rozpustnost kyslíku pro zajištění aerobního prostředí, zlepšuje oxidaci v počáteční fázi, což je užitečné při rozkladu znečišťujících látek, zabraňuje velkým rozdílům v hodnotách pH vodních vrstev, aby se udrželo dobré nitrifikační a mikrobiální prostředí. [35]

Chong-Bang Zhang a kolektiv se zaměřili na srovnání rostlinných a biofilmových parametrů komunitní bakterie při odstraňování znečišťujících látek v plovoucích ostrovních systémech s rozdílnými makrofyty. Bylo zjištěno, že rozdíl v rostlinných druzích ovlivňoval odstraňování znečišťujících látek v plovoucích ostrovech a nadzemní biomasu. [36]

Účinky umělých plovoucích ostrovů na výskyt nektonu a biomasy v ústí řeky Yangtze pozoroval Xiaofeng Huang a kolektiv. Považují degradaci přírodních stanovišť za jednu z největších hrozeb pro nekton v příbřežních zónách. Umělé plovoucí ostrovy (SAFW) mohou poskytovat nové nektonové stanoviště. V této studii se zabývali ostrovy SAFW osazeny rákosem obecným (*Phragmites australis*). Tyto ostrovy byly ukotveny na severním kanálu ústí řeky Yangtze. Výskyt nektonu byl v SAFW přibližně 3x větší než v kontrolních stanovištích mimo plovoucí ostrovy. Nebyly zjištěny žádné významné rozdíly ve velikosti tří nejhojněji zastoupených druhů, protože většina zkoumaných jedinců byly ještě mláďata. Tato studie ukazuje, že SAFW mohou vytvářet stabilní prostředí pro nekton a zlepšovat prostředí pro mladé ryby. [38]

Brendan McAndrew a Changwoo Ahn vytvořili ekosystémový model plovoucích ostrovů pro zlepšení kvality vody v městských nádržích se zaměřením na odstraňování dusíku. Zařízení bylo aplikováno v létě roku 2015 (od května do půlky září) na hlavním dešťovém jezírku nacházejícím se uprostřed Fairfax Campus univerzity Georgea Masona v blízkosti Washingtonu, D. C. Při vysoké produktivitě a pokrytí 25-30 % hladiny jezírka může plovoucí ostrov odstranit až 20 % dusíku příjmem samotných rostlin. Při odstraňování dusíku však záleží na různých faktorech od velikosti rybníka a hydrologie po návrh plovoucího ostrova a produktivitu rostlin. [39]

Problém s těžkými kovy ve vodní nádrži poblíž dálnice řešila pětice Francouzů v čele s S. Ladislase. Studie probíhá na retenční nádrži nacházející se na severovýchodě Nantes ve Francii, která je plněna dešťovými vodami z úseku dálnice (27 000 aut/den, povodí 375 m²). Tři plovoucí mokřady byly zakotveny v plovoucím jezírku, přičemž každý z nich měl plochu 1,5 m² (125x120 cm) a obsahovaly 16 rostlin (8 sítin a 8 ostřic). Po 4 měsících byly vzorky rostlin odstraněny a podrobeny analýze pro stanovení kadmia, niklu a zinku. Výsledky ukázaly, že tento typ plovoucího systému je odolný za skutečných podmínek a je schopen hromadit kovové znečišťující látky jak v listových, tak i kořenových částech. [40]

Yan Geng a kolektiv se zabývali vlivem rozmanitosti rostlin na odstraňování fosforu, protože odstranění fosforu je jedním z hlavních cílů budovaných mokřadů, které zpracovávají odpadní vody. V této studii zkoušeli, zda a jak je odebrání fosforu závislé na druhové rozmanitosti nebo na specifickém složení druhů. Do vegetace ostrova byly usazeny pouze obyčejné druhy rostlin. Bylo celkem vytvořeno 15 typů druhových ostrovů. Výsledky odhalily celkový pozitivní vliv druhové bohatosti na snížení koncentrace fosforu, avšak účinek bohatství byl obvykle slabší než dominantní vliv druhového složení. Zjistili jsme, že *Oenanthe hookeri* je účinný druh při odstraňování fosforu z odpadní vody. Kombinace *Rumex japonicas* a *Oenanthe hookeri* by mohla dosáhnout jak vysoké úrovně odstraňování fosforu, tak vysoké produktivity díky komplementaritě mezi druhy. [41]

Natalia Pavlineri spolu se svými kolegy ve své studii zahrnuje nejmodernější způsob stavby plovoucích mokřadů (CFW). Byl zde učiněn pokus shromáždit a sepsat veškerou aktuální literaturu a poskytnout náhled na většinu témat o CFW. Projednává se několik otázek, jako jsou aplikace, stavební materiály, druhy vegetace, mechanismy odstraňování znečišťujících látek a strategie řízení. [42]

4 Metodika

Měření a odebrání vzorků probíhalo na výzkumném pozemku při VUT FAST v Brně na adrese Žižkova 17. Výzkum byl rozdělen do tří etap, během kterých byla po hodinách zaznamenávána s přesností 0,1 mm hladina vody v jednotlivých nádržích, teplota vody a vzduchu a úhrn srážek. První etapa měření byla prováděna na jaře roku 2017 od 3. 4. – 15. 5. 2017. Druhá etapa probíhala v létě od 26. 6. – 4. 9. 2017 a třetí, zimní etapa začala 16. 11. 2017 a skončila 18. 12. 2017. Vzorky z jednotlivých nádrží byly odebrány do označených odběrných nádob na vzorky cca 10 cm pod hladinou. Nádobky byly označeny čísly 1-3, kde číslo 1 znázorňovalo nádrž L01 s plovoucím ostrovem, nádoba s číslem 2 obsahovala vodu z nádrže L02 s plovákem bez rostlinné vegetace a v nádobě s číslem 3 byla voda z nádrže L03 s volnou hladinou. Poté byly tyto nádobky se vzorkovou vodou přeneseny do laboratoře, kde byly podrobeny podrobné analýze. Tato podrobná analýza probíhala v laboratoři na VUT FAST v Brně na Ústavu vodního hospodářství krajiny.

Na základě analýzy vybraných parametrů (CHSK, P_c , $N-NO_3$, $N-NH_4$, zákal, pH, ORP, O_2) byly tyto výsledky tabelárně zpracovány tak, aby s nimi bylo možné pracovat ve statistickém software Minitab 16. Zaznamenány byly kromě uvedených chemických parametrů také teploty vody v jednotlivých lyzimetrech, teplota vzduchu a průběh změny hladiny. Pro účely záznamu hladiny byly použity sondy Levellogger Edge kanadského výrobce Solinst, měřící s přesností 0,05 % maximálního rozsahu. Teploty vzduchu byly zaznamenány na meteorologické stanici Ústavu vodního hospodářství krajiny, která je od výzkumného pozemku vzdálená 190 m vzdušnou čarou.

Jak již bylo uvedeno výše, ve statistickém software Minitab byly zpracovány časové průběhy v jednotlivých etapách, doplněny byly pro jednotlivé parametry znečištění kubické regresní rovnice

4.1 Stanovení CHSK

Stanovení CHSK se provádí pomocí kyvetového testu Hach LCI500, které zaznamenávají hodnoty v rozmezí 0-150 mg/l. Dříve než dojde na samotný test, je třeba zapnout digitální reaktor LT200 a předeřhát ho na 148 °C. Při testu bylo třeba k suspenzi v kyvetě přidat 2,0 ml zkoumané vody z každé nádrže, to znamená, že potřebujeme 3 označené kyvety čísly 1-3. Při prvním testu je nutné do další kyvety k suspenzi přidat ještě 2,0 ml destilované vody, aby bylo možné provést měření. Po přidání do jednotlivých kyvet po 2,0 ml zkoumané vody a destilované vody, pořádně kyvety uzavřeme, vyčistíme jejich povrch a protřepeme. Nyní je vložíme do předeřhátého termostatu na 148 °C a budeme je po dobu dvou hodin zahřívát. Až uplyne tato doba, vyjmeme kyvety a necháme je vychladnout. Při teplotě přibližně 60 °C kyvety několikrát převrátíme a opět necháme chladit na pokojovou teplotu. Nyní vezmeme kyvetu s destilovanou vodou a vložíme ji do spektrofotometru Hach DR3900. Po jejím načtení postupně očistíme a vkládáme do spektrofotometru jednotlivé kyvety.



Obrázek č. 11: Laboratorní spektrofotometr Hach DR3900 pro analýzu vody [7]



Obrázek č. 12: Digitální reaktor Hach LT200 [8]

4.2 Stanovení P_c

Stanovení celkového fosforu se uskuteční pomocí kyvetového testu LCK349, které zaznamenávají hodnoty v rozmezí 0,05-1,50 mg/l. Před samotným kyvetovým testem musíme předehřát reaktor na 100 °C. Na rozdíl od kyvetového testu CHSK nebudeme potřebovat nulový vzorek s destilovanou vodou. Vezmeme tedy pouze 3 kyvety a pečlivě odstraníme fólii z našroubovaného víčka. Odšroubujeme toto víčko a nepipetujeme 2,0 ml navzorkované zkoumané vody. Po přidání ihned rychle zašroubujeme stejným víčkem vroubkovanou stranou nahoru. Několikrát silně protřepeme, aby se uvolnil prášek ve víčku, vložíme do reaktoru a zahříváme na 100 °C po dobu 60-ti minut. Po uplynutí tohoto času kyvety vyjmeme a necháme ochladit na pokojovou teplotu. Ověříme, zda je víčko stále pevně utaženo a protřepeme. Odšroubujeme víčko a můžeme ho vyhodit, protože ho už nebudeme potřebovat. Do všech tří kyvet nepipetujeme 0,2 ml reakčního činidla z nádobky označené písmenem B, která je součástí kyvetového testu. Součástí balení je také nádobka označená písmenem C, ve které jsou šedá víčka. Tyto víčka vyjmeme a našroubujeme na kyvety. Pečlivě uzavřeme a několikrát protřepeme, aby se uvolnil prášek z víčka. Nyní musíme 10 minut všechny kyvety protřepávat pomocí přístroje. Po uplynutí tohoto času kyvety vyjmeme, oťřeme a vložíme do spektrofotometru Hach DR3900 pro vyhodnocení.

4.3 Stanovení $N-NO_3$

Stanovení dusičnanového dusíku se provádí pomocí kyvetového testu LCK339, které zaznamenávají hodnoty v rozmezí 0,23-13,50 mg/l. Budeme potřebovat 3 kyvety, pro každou nádrž jednu. Pomalu do jednotlivých kyvet napipetujeme 1,0 ml navzorkované zkoumané vody. Poté pipetujeme ještě 0,2 ml roztoku v nádobce označené písmenem B, která je součástí balení kyvetového testu LCK339. Kyvety dobře uzavřeme a několikrát protřepeme, aby se roztok promíchal. Nyní necháme 15 minut v klidu. Po 15-ti minutách kyvetu pečlivě kyvety oťřeme a vložíme do spektrofotometru pro vyhodnocení.

4.4 Stanovení N-NH₄

Stanovení amoniakálního dusíku se provádí pomocí kyvetového testu LCK304, které zaznamenávají hodnoty v rozmezí 0,015-2,0 mg/l. Postup je podobný jako u stanovení dusičnanového dusíku. Potřebujeme 3 kyvety, pro každou nádrž jednu. Nejprve opatrně odstraníme ochrannou fólii ze šroubovacího víčka. Víčko odšroubujeme a do kyvety nepipetujeme 5,0 ml navzorkované zkoumané vody. Ihned zašroubujeme víčko zpět, tentokrát opačně vroubkovanou stranou nahoru. Několikrát silně protřepeme a necháme 15 minut v klidu. Po 15-ti minutách kyvetu pečlivě kyvety otrepe a vložíme do spektrofotometru pro vyhodnocení.

4.5 Stanovení zákalu

Zákal byl měřen v zařízení zvaném turbidimetr. Šlo o přenosný turbidimetr Hach 2100Q, který nabízí jednoduchost a přesné měření. Před měřením je třeba přelit potřebné množství vzorkové vody do měřicí nádoby, kterou vložíme do přenosného turbidimetru. Přístroj naměří postupně 10 hodnot a výslednou hodnotu vypočítá jako průměr z těchto hodnot. Takto musíme postupovat u všech vzorků.

4.6 Stanovení pH, ORP a O₂

Hodnoty pH, ORP a rozpuštěného kyslíku se získávají přímo z nádrží nebo z odběrných nádobek pomocí sond. Pro každý měřený parametr je jiná sonda. Tato sonda se připojí k digitálnímu dvoukanálovému multimetru. Pro měření byl použit multimetr Hach HQ40D. K tomuto přístroji jde připojit maximálně 2 sondy pětikolíkového výstupu. Nejprve byly připojeny sondy pro měření pH a ORP, protože hodnoty ORP se měřili delší dobu a pH bylo naměřeno mnohem rychleji. Mohlo tak dojít po naměření hodnot pH u všech nádob (nádrží) k výměně sondy pro měření pH za sondu na měření rozpuštěného kyslíku a procentuálního vyjádření nasycení. Po naměření a zaznamenání všech naměřených hodnot ze všech sond je třeba sondy odpojit, omýt destilovanou vodou a na sondy pH a ORP nasunout chránič s destilovanou vodou, aby byly ve vlhkém prostředí.



Obrázek č. 13: Přenosný turbidimetr 2100Q [9]



Obrázek č. 14: Digitální dvoukanálový multimetr HQ40D [10]

4.7 Výroba plovoucího ostrova

Realizaci poloprovozního zařízení (viz kapitola 3.2) předcházela výroba dílců plovoucích nosičů ve tvaru „puzzle“, přičemž každý dílec má ve vnitřním prostoru vytvořeny čtyři otvory kruhového průřezu pro osazení mokřadních rostlin. Každý otvor při horním okraji průměr 8 cm, směrem ke spodnímu okraji se zužuje až po hloubku cca 1 cm od spodního okraje. Spodní 1 cm výšky je kruhovým profilem o průměru 3 cm vykroužen tak, aby bylo možné protažení volných kořenů mokřadních rostlin, a zároveň tento zúžený prostor zajišťuje nepropadávání rostlin skrz vykroužený otvor.

Ve světě je spojení jednotlivých dílců plovoucích ostrovů řešeno pomocí speciální pěny s příměsí odpadního skla a uhličitanu lithného. Tento způsob připojování je však finančně příliš nákladný. [43]

Každý rostlina, resp. její kořenový val, je obalen do pásu tepelné izolace z přírodního materiálu (konopná vata) natolik pevně, aby byla svislá poloha rostliny.

Výběr rostlin na základě zkušeností z předchozího pozorování a měření na výzkumném pozemku byl zaměřen na dva druhy: sítina sivá (*Juncus inflexus*) a ostřice latnatá (*Carex paniculata*), jelikož právě tyto dva druhy rostlin vytváří nejhustější biomasu kořenového systému, tvořenou zároveň jemným kořenem. Každý dílec plovoucího nosiče byl osázen jedním druhem rostliny, při realizaci bylo z estetických důvodů vytvořeno schéma šachovnice pravidelným střídáním dvou druhů výše uvedených rostlin.



Obrázek č. 15: Plovoucí ostrov osazený rostlinami sítina sivá a ostřice latnatá

4.8 Aplikace v praxi

Na nádrži v povodí Bílého potoka, k.ú. Oldřiš u Poličky bylo realizováno poloprovozní zařízení. Plocha nádrže je 3137 m², obvod nádrže tvoří 222,5 m. Po komunikaci s majitelem nádrže byl v předchozích 10 letech hlavním účelem nádrže chov ryb, nicméně z důvodu přítomnosti vydry vodní bylo od této funkce upuštěno.



Obrázek č. 16: Místo realizace k.ú.: Oldřiš u Poličky, p.č. 2125/6 [6]

Propojení mezi realizovaným zařízením a odtokovým objektem bylo zajištěno pomocí flexibilní silikonové vyztužené hadice o vnitřním průměru 50 mm. Vypouštěcí objekt (požerákového typu, otevřený, dvojité dlužové stěny) byl upraven provrtáním dvou horních dluží, provedeno bylo zatěsnění pomocí nízkoexpanzní izolační pěny. Průnik oběma dlužovými stěnami byl řešen pomocí plastového potrubí PP-HT DN50, přičemž konec potrubí na vzdušném líci bylo vyvedeno pomocí tvarovky 87° směrem vzhůru k hladině vody v nádrži.



Obrázek č. 17: Plovoucí ostrov vytvořený pomocí jednotlivých dílků s rostlinami

Uchycení na opačném konci hadice, resp. uprostřed tělesa plovoucího zařízení, bylo provedeno pomocí tvarovaných plechů z nerezového plechu (tl. 1 mm) tak, aby hrdlo potrubí bylo umístěno přibližně 15 – 20 cm pod úroveň hladiny.

Všechny plovoucí dílce byly do sebe uzamknuty, vytvořen byl přibližně tvar kruhu, přičemž ukotvení do polohy ve vzdálenosti cca 10 m od vypouštěcího objektu bylo provedeno pomocí tří kotev (betonové bloky, ztracené bednění). Při půdorysném pohledu tvoří plovoucí objekt střed a kotvy svírají navzájem úhel 120°. Vzdálenost kotevního lana mezi plovoucím nosičem a betonovým blokem je přibližně 12 – 15 m, lano svírá s hladinou (dnem) ostrý úhel.



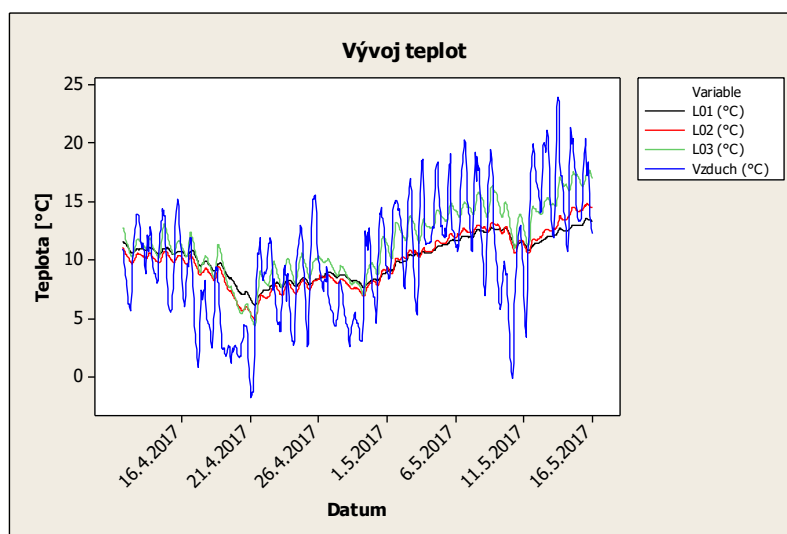
Obrázek č. 18: Vytvořený plovoucí ostrov ukotvený v blízkosti požeráku

První období po realizaci poloprovozního objektu ukázalo rizikové chování jednotlivých plovoucích prvků před rozrůstáním mokřadních rostlin. V průběhu měsíce října nastalo velice větrné období (rychlost větru 105 km/h, 29. 10. 2017), přičemž během nárazového větru došlo k vyzvednutí několika plovoucích nosičů nad ostatní okolní dílce. Celkem se jedná o 4 kusy dílců z celkových 46 ks.

5 Výsledky

5.1 První etapa - jaro

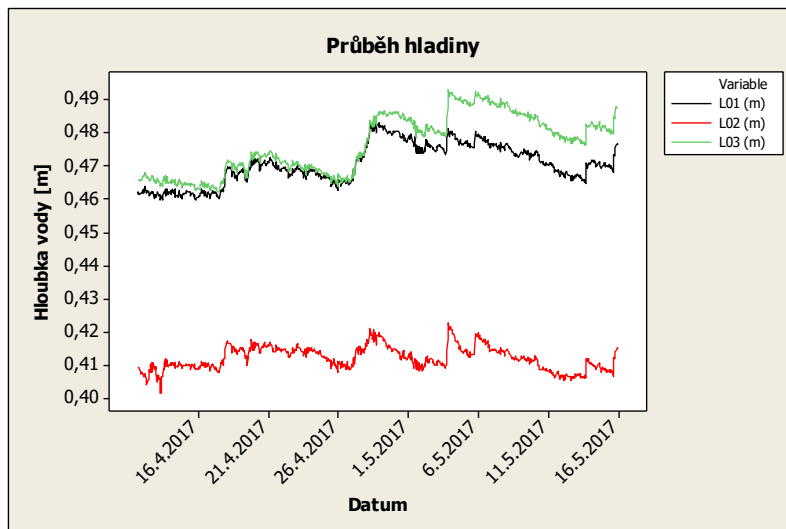
Sledování chování nádrží a získávání výsledků z rozborů vody probíhalo ve třech etapách. Ty byly rozděleny na období jaro, léto a zima. První etapa, která probíhala na jaře roku 2017, začala prvním odběrem vzorků 3. 4. 2017 a skončila posledním odběrem 15. 5. 2017. Odpadní voda byla přivezena z kořenové čistírny odpadních vod v obci Dražovice. Tato voda byla rovnoměrně rozdělena do všech 3 nádrží přímo z kanystrů s odpadní vodou. Tím se liší od ostatních dvou etap, kdy byly nádrže plněny z jednoho tanku. Teplota vzduchu se v období první etapy pohybovala v rozmezí od $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$. To se také muselo promítnout do teploty vody v jednotlivých nádržích. Teplota vody v nádrži s plovoucím ostrovem (L01) se pohybovala od $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z grafu na obrázku č. 19 je patrné, že oproti ostatním nádržím nedocházelo k takovému výkyvu teploty vody v nádrži. K menším výkyvům docházelo v nádrži s plovákem (L02), kde se teploty pohybovaly v rozmezí od $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$. V největším rozmezí teplot, od $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$, byla vystavena voda v nádrži L03. Tato nádrž byla s volnou hladinou, proto zde docházelo k největší výměně tepla mezi vodou a vzduchem.



Obrázek č. 19: Graf vývoje teploty vody v nádrži a vzduchu v první etapě

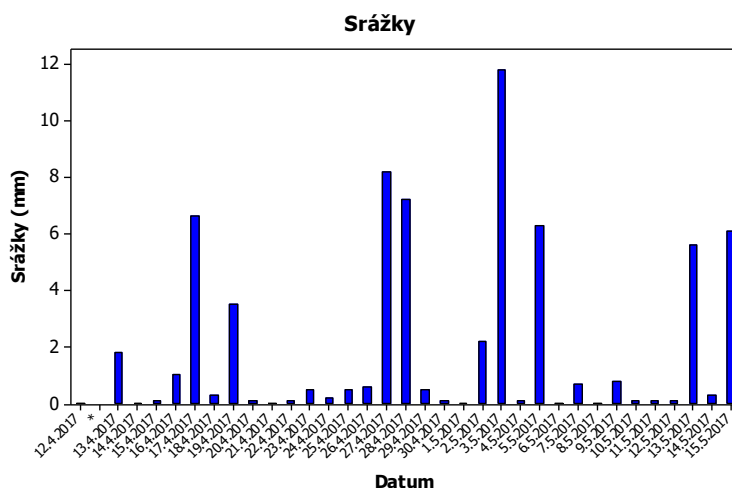
Vývoj teploty v jednotlivých nádržích a také vývoj teploty v okolním prostředí v nádrži měl významný vliv na průběh hladiny v nádržích (viz obrázek č. 20). Největší kolísání hladiny by se dalo očekávat v nádrži L03, protože její hladina není ničím zakryta. Dochází zde k výparu vody z celé vodní plochy a naopak při srážkách pojme svou hladinou více vody než zbylé dvě nádrže. Na počátku první etapy můžeme pozorovat, že rozdělení množství vody rovnoměrně do všech nádrží se povedlo pouze v případě nádrže s plovoucím ostrovem a nádrže s volnou hladinou. Hladina nádrže s plovákem byla asi o 50 mm níž než hladina ve zbylých nádržích. Kolísání hladiny je až do poloviny první etapy takřka totožné. Až ve druhé polovině první etapy dochází ke

značnému nárůstu polohy hladiny vody v nádrži. Zde můžeme pozorovat, že v nádrži s volnou hladinou L03 došlo skutečně k největšímu nárůstu hladiny vody způsobené deštěm. Poté je kolísání hladiny ve všech nádržích opět téměř totožné. Překvapením zde může být, že nedochází k výraznějšímu úbytku vody v nádrži s plovoucím ostrovem (L01), kde je voda z nádrže odstraňována také evapotranspirací rostlin.



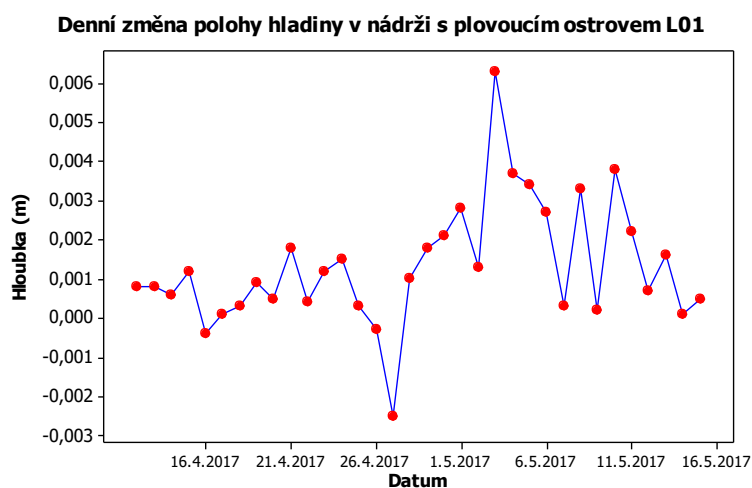
Obrázek č. 20: Graf vývoje hladiny vody v nádržích v první etapě

Na obrázku č. 21 jsou vyobrazeny srážky v první etapě. Můžeme tak srovnat jaký měly vliv srážky na pohyb hladiny v nádržích. První výraznější nárůst hladiny nastal mezi 16. – 24. dubnem roku 2017, a když se podíváme, tak skutečně v tomto období napršelo 17. 4. 2017 přibližně 7 mm a 20. 4. 2017 srážky činili necelé 4 mm. Další výrazný nárůst hladiny nastal v období od 27. do 28. dubna 2017, kdy během těchto dvou dnů napršelo asi 15 mm. Největší příbytek srážkové vody nastal 3. 5. 2017, kdy napršelo 11,80 mm. Další významnější srážky spadly v datech 5., 13. a 15. 5 2017, kdy spadlo v rozmezí 5-6 mm srážkové vody.



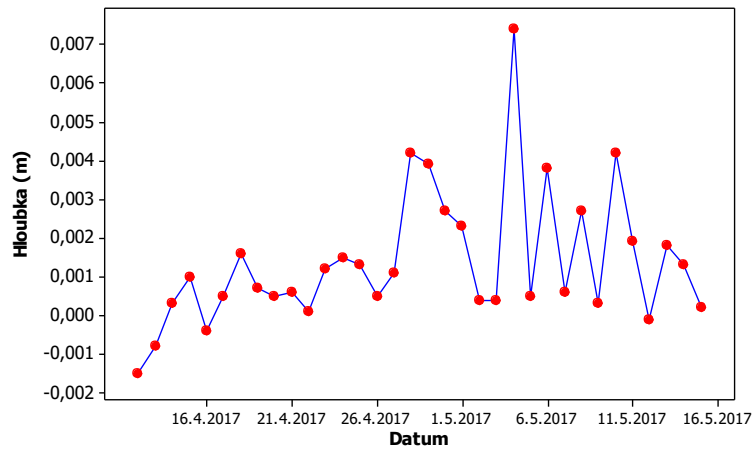
Obrázek č. 21: Graf srážek v jednotlivých dnech první etapy

S ohledem na srážky a kolísání hladiny se dal určit výpar z jednotlivých nádrží. Výpar byl samozřejmě ovlivňován jednak teplotou vody, ale hlavně teplotou vzduchu v okolním prostředí. Největší výpar se dal očekávat v nádrži s volnou hladinou (L03), ale podle naměřených hodnot a spočítaných dat to zase tak jednoznačné není. Hodnoty výparu jsou sice v nádrži L03 nejvíce rozkolísané, ale nedosahují takových hodnot, jako nádrže L01 a L02. Vysoké hodnoty výparu v nádrži s plovoucím ostrovem (L01) se dají vysvětlit tím, že velký podíl na výparu mají rostliny, které pomocí svých listů odpařují značné množství vody. Ovšem vyšší nebo přibližně stejné hodnoty výparu v nádrži s plovákem (L02) a v nádrži s volnou hladinou (L03) jsou velkou neznámou. Těžko říct, proč tomu tak je, když výpar z L02 probíhá z mnohem menší plochy než u nádrže L03. Teplota v L03 se také výrazněji mění než teplota v nádrži L02, z toho vyplývá, že by nádrž s volnou hladinou měla mít větší výpar z vodní hladiny, ale nijak výrazně to demonstrovat nelze. Na obrázku č. 22, 23 a 24 jsou hodnoty výparu v jednotlivých nádržích. Zajímavostí může být, že k velkému kolísání dochází za vyšších teplotních podmínek okolního prostředí. Kladné hodnoty v grafech značí výpar a záporné hodnoty značí naopak příbytek vody v nádrži, s největší pravděpodobností jsou to srážky.



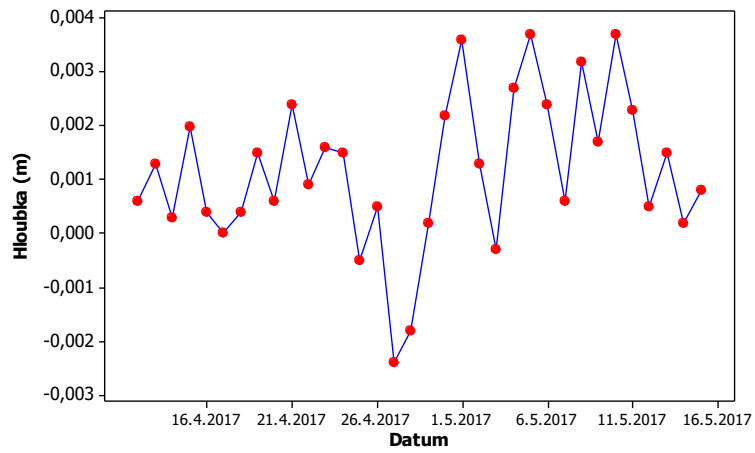
Obrázek č. 22: Graf denní změny polohy hladiny v nádrži L01

Denní změna polohy hladiny v nádrži s plovákem L02



Obrázek č. 23: Graf denní změny polohy hladiny v nádrži L02

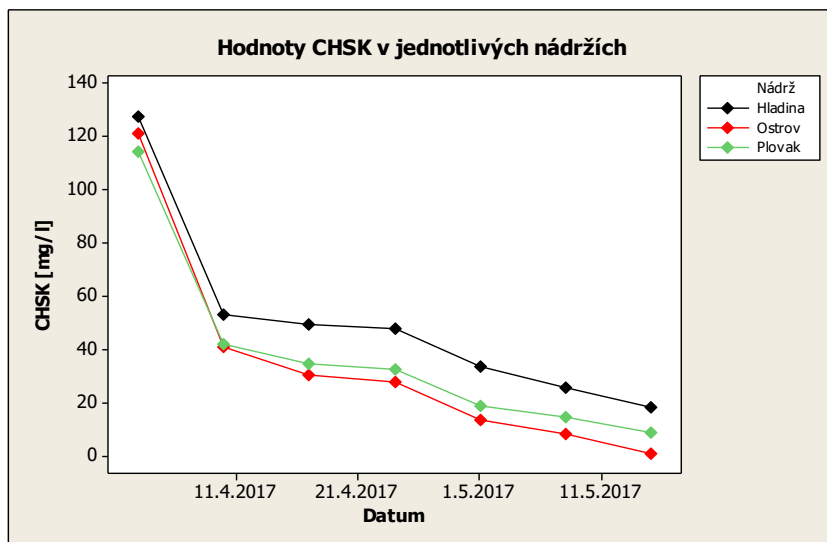
Denní změna polohy hladiny v nádrži s volnou hladinou L03



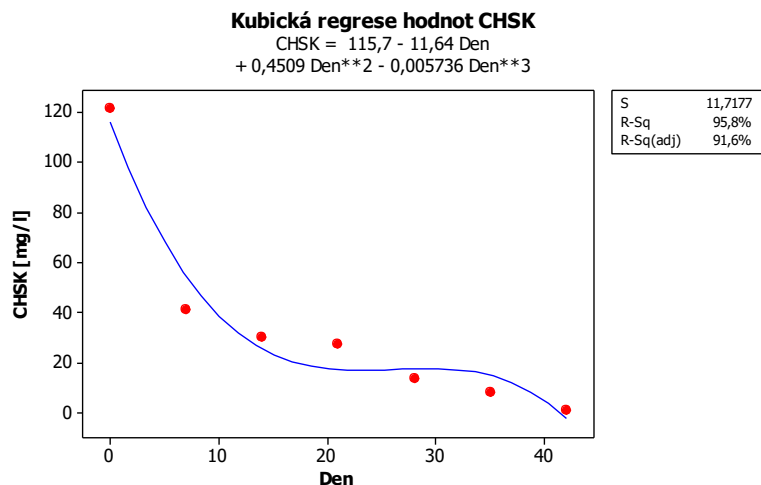
Obrázek č. 24: Graf denní změny polohy hladiny v nádrži L03

5.1.1 Chemická spotřeba kyslíku

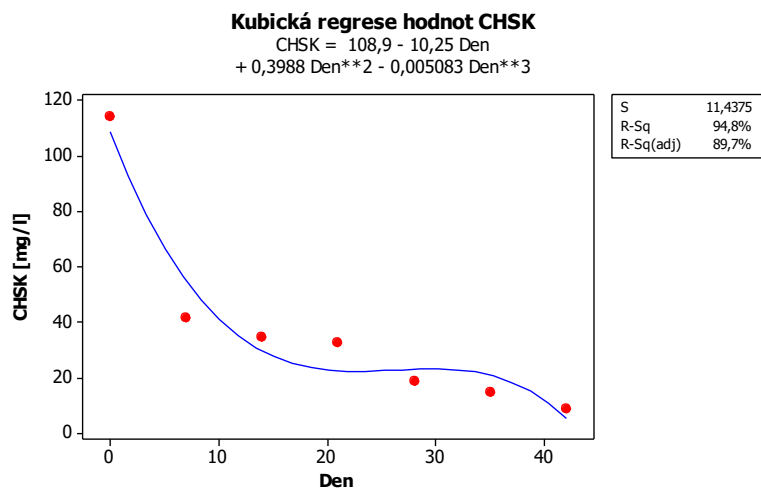
Postup stanovení chemické spotřeby kyslíku je popsán v kapitole 4.1. Očekávané výsledky přináší hodnoty CHSK v první etapě měření. Startovací hodnota v nádrži s plovoucím ostrovem je 121 mg/l, v nádrži s plovákem 114 mg/l a v nádrži s volnou hladinou 127 mg/l. Hned při prvním odběru vzorků a provedení kyvetového testu se ukázalo, že nejlépe snižuje hodnoty CHSK přítomný plovoucí ostrov, v následujících odběrech dochází k postupnému snižování hodnot u všech nádrží, ale nižší hodnoty než v nádrži L01 zjištěny nebyly po celou dobu první etapy. Na konci měření dosahuje hodnota CHSK v nádrži s plovoucím ostrovem hodnoty 1,1 mg/l, následuje nádrž L02 s hodnotou 8,7 mg/l a jako nejhorší je nádrž s volnou hladinou L03, kde bylo při posledním odběru zjištěno 18,5 mg/l CHSK. U všech tří nádrží se ukazuje jako nejvíce účinné období během prvních 7 dní, kdy hodnoty klesají velice strmě. U všech tří nádrží téměř vyrovnaně, tzn. se srovnatelnou účinností. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami CHSK u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění se pohybuje kolem 65 %, což není špatné, ale není to úplně dostačující. Nejspolehlivější je nádrž L03 o 1,3 % před nádrží L01. Nejnižší spolehlivosti je dosaženo u nádrže L02, jedná se o hodnotu 63,8 %. Z výsledků vyplývá, že hodnoty pro lineárně prokládané regresní křivky jsou ve své podstatě velice podobné, nicméně všechny tři jsou nevhodné – hodnoty jsou nízké, není tedy vhodné pro odhad účinnosti používat lineární regresní rovnice. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali spolehlivosti R^2 mnohem vyšších hodnot. Zde vykazovala největší účinnost 91,6 % nádrž s plovoucím ostrovem, druhá byla nádrž s plovákem s 89,7 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s volnou hladinou s 87,2 %.



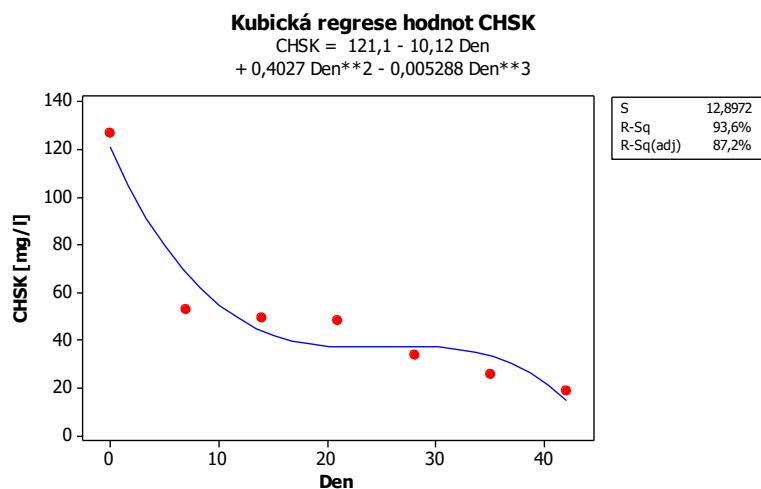
Obrázek č. 25: Graf hodnot CHSK v jednotlivých nádržích v první etapě



Obrázek č. 26: Graf hodnot CHSK v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



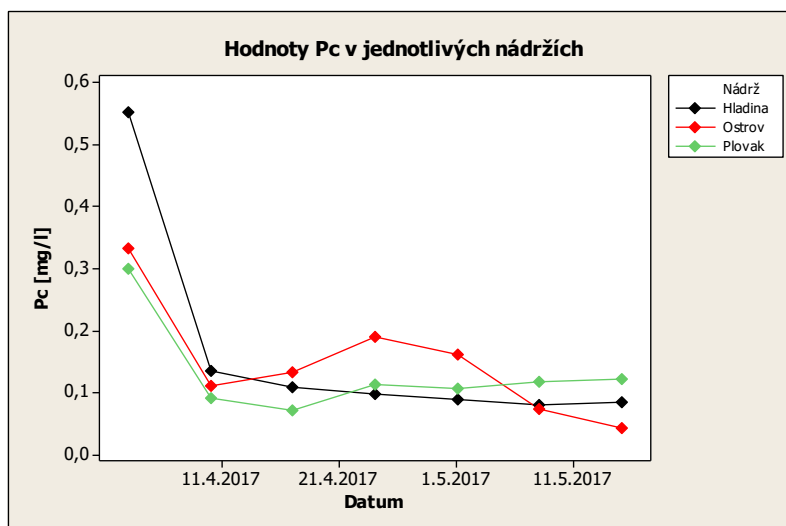
Obrázek č. 27: Graf hodnot CHSK v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



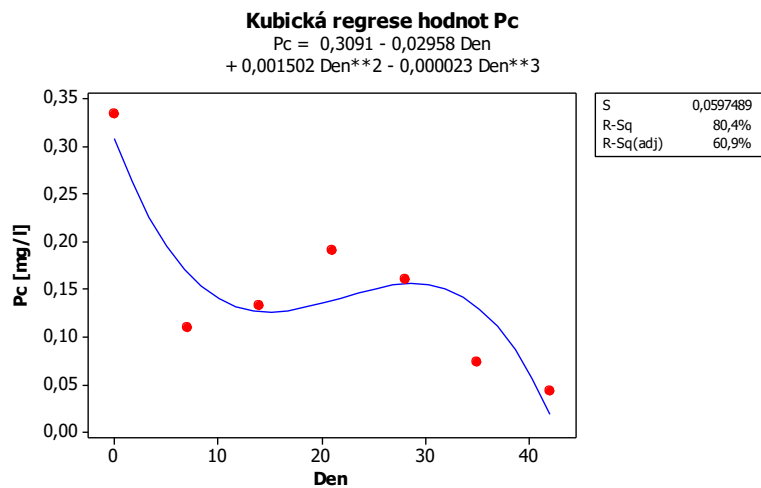
Obrázek č. 28: Graf hodnot CHSK v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.1.2 Celkový fosfor

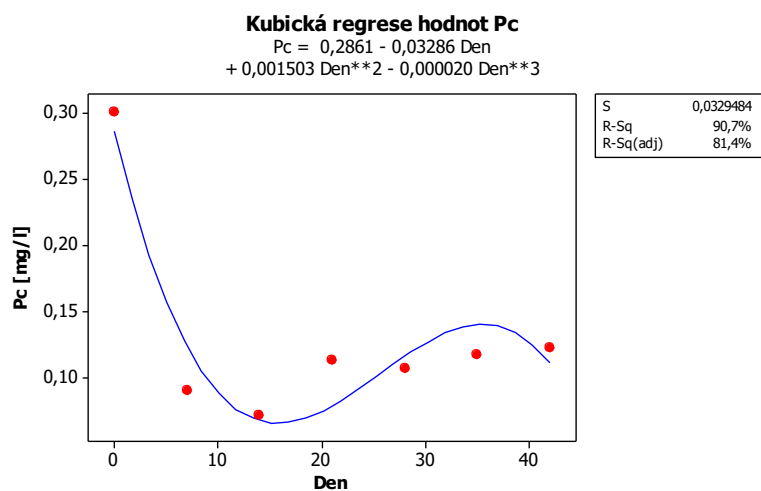
Postup stanovení chemické spotřeby kyslíku je popsán v kapitole 4.2. Hodnoty P_c zjištěné během první etapy ukazují, že i při rozdílné vstupní koncentraci dosahují všechny tři nádrže již během prvního týdne výrazného snížení koncentrace celkového fosforu. U první nádrže s plovoucím ostrovem byla startovací hodnota 0,3 mg/l během prvního týdne došlo ke snížení na hodnotu 0,11 mg/l celkového fosforu. Ve druhé nádrži s plovákem činila počáteční hodnota 0,33 mg/l a již po prvním týdnu ukázalo měření hodnotu 0,09 mg/l. Ve třetí nádrži s volnou hladinou byla počáteční koncentrace celkového fosforu nejvyšší a to 0,55 mg/l, ale po týdnu už byla naměřena hodnota 0,134 mg/l. Došlo tedy k největšímu snížení koncentrace během prvního týdne a tento úbytek nebyl podporován kořenovým systémem rostlin nikterak výrazně, jak by se dalo očekávat, protože úbytek nádrži s volnou hladinou byl větší. V dalších týdnech dochází k vyrovnanému průběhu. Pouze u plovoucího ostrova s vegetací dochází k mírnému navýšení na hodnotu 0,191 mg/l, která je ale do konce měření snížena na 0,043 mg/l, což je ostatně nejlepší výsledek z veškerého měření. Průměrná koncentrace 0,131±0,076 mg/l celkového fosforu vychází nejlépe v nádrži L02, mírně horšího výsledku 0,149±0,096 mg/l dosahuje nádrž L01 a nejhoršího výsledku 0,164±0,173 mg/l potom nádrž L03. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami celkového fosforu u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění se u všech nádrží podstatně liší. Nejspolehlivější je nádrž L01 se 45,8 % a poté následuje nádrž L03 se 36,3 %. Nejméně spolehlivá je nádrž L02 se 4,1 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty P_c mnohem větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 87,7 % nádrž s volnou hladinou, druhá byla nádrž s plovákem s 81,4 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovoucím ostrovem s 60,9 %, což už není úplně hodnota, se kterou by se dále dalo pracovat z důvodu velké nejistoty.



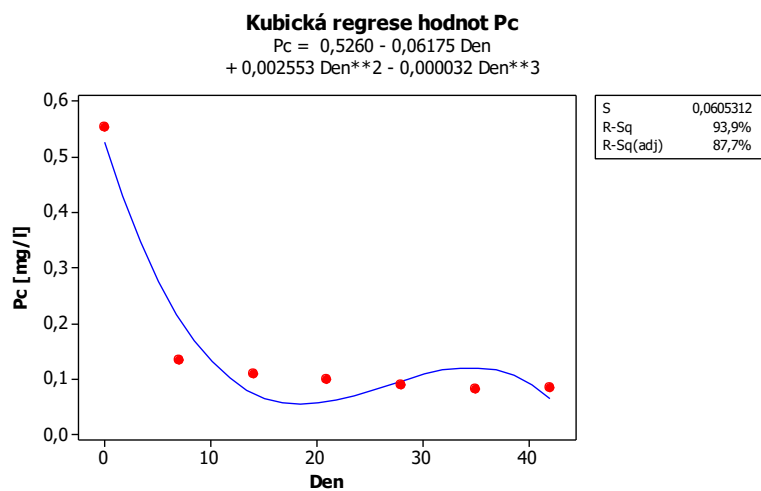
Obrázek č. 29: Graf hodnot P_c v jednotlivých nádržích v první etapě



Obrázek č. 30: Graf hodnot P_c v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



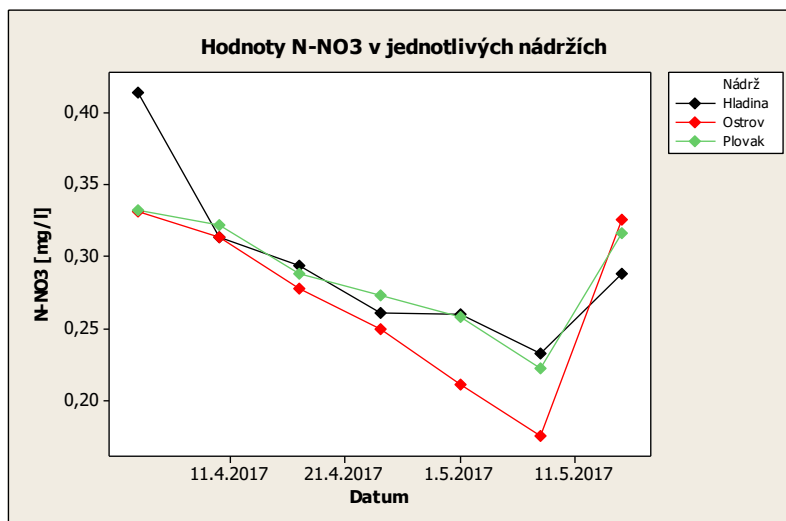
Obrázek č. 31: Graf hodnot P_c v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



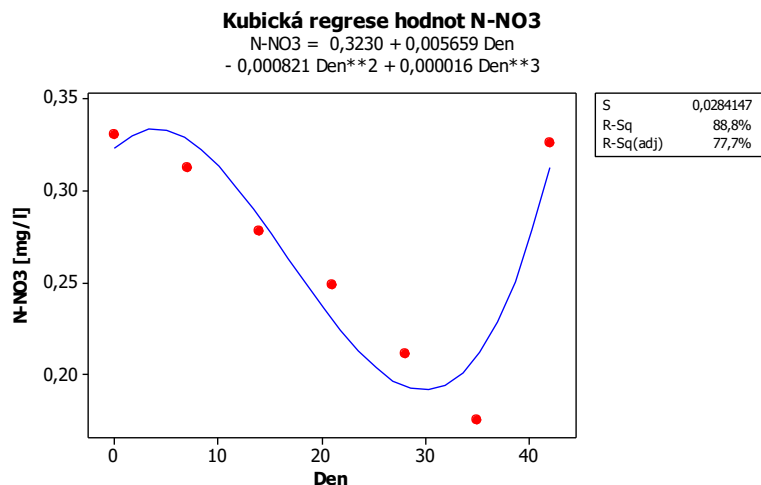
Obrázek č. 32: Graf hodnot P_c v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.1.3 Dusičnanový dusík

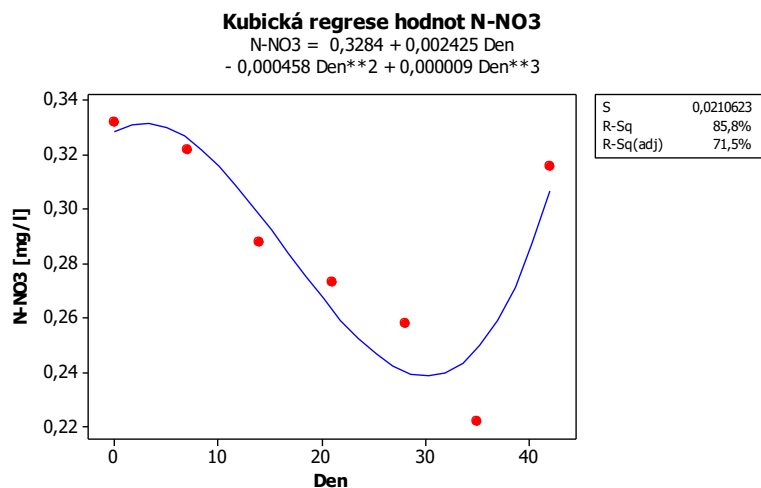
Dalším sledovaným parametrem, stanovovaným na základě chemické analýzy, je dusičnanový dusík N-NO_3^- . Koncentrace jako u jediného parametru nevychází se zásadními rozdíly. U první nádrže s plovoucím ostrovem byla startovací hodnota 0,331 mg/l během první etapy došlo ke snížení na hodnotu 0,175 mg/l koncentrace dusičnanového dusíku. Ve druhé nádrži s plovákem činila počáteční hodnota 0,332 mg/l a po uplynutí první etapy ukázalo měření hodnotu 0,222 mg/l. Ve třetí nádrži s volnou hladinou byla počáteční koncentrace dusičnanového dusíku nejvyšší a to 0,414 mg/l, ale na konci první etapy už byla naměřena hodnota 0,232 mg/l. Poté začínají hodnoty dusičnanového dusíku narůstat. Průměrné hodnoty znečištění N-NO_3^- se liší v desetinách mikrogramů: v případě L01 se jedná o hodnoty $0,269 \pm 0,0602$ mg/l, u L02 potom $0,2873 \pm 0,0395$ mg/l a nejhorší výsledek $0,2946 \pm 0,059$ mg/l. Plovoucí ostrov s mokřadními rostlinami sice graficky tvoří nejnižší křivku, ale rozdíly jsou minimální. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami dusičnanového dusíku u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění se u všech nádrží podstatně liší, ale nedosahuje nikterak vysokých hodnot, proto jsou hodnoty pro další použití nepřesné. Nejspolehlivější je nádrž L03 se 47,6 % a poté následuje nádrž L02 se 15,4 %. Nejméně spolehlivá je nádrž L01 s 5,3 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty N-NO_3^- mnohem větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 86,6 % nádrž s volnou hladinou, druhá byla nádrž s plovoucím ostrovem se 77,7 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovákem se 71,5 %.



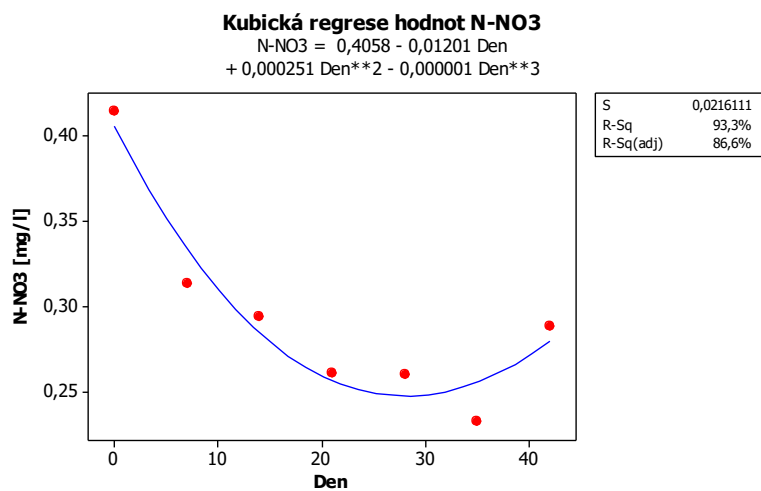
Obrázek č. 33: Graf hodnot N-NO_3^- v jednotlivých nádržích v první etapě



Obrázek č. 34: Graf hodnot N-NO₃ v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



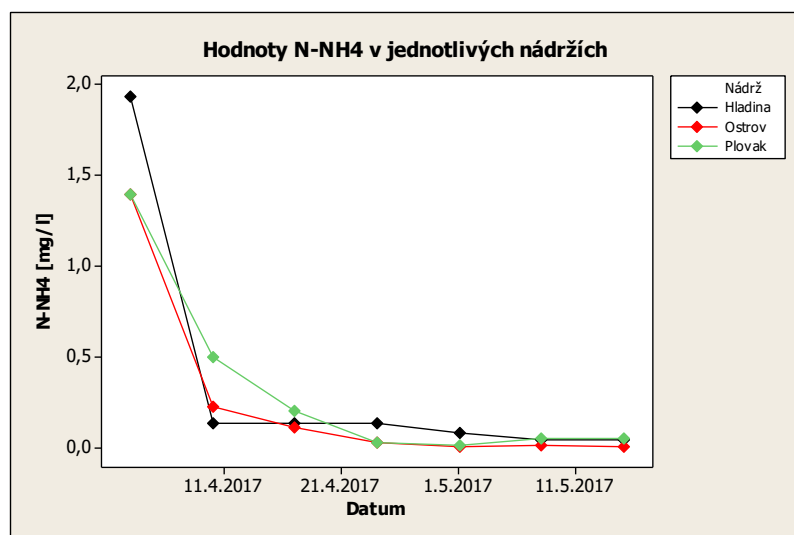
Obrázek č. 35: Graf hodnot N-NO₃ v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



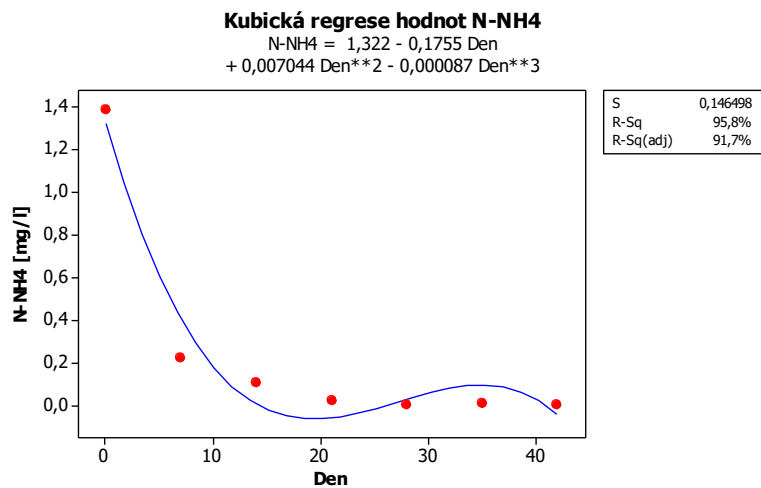
Obrázek č. 36: Graf hodnot N-NO₃ v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.1.4 Amoniakální dusík

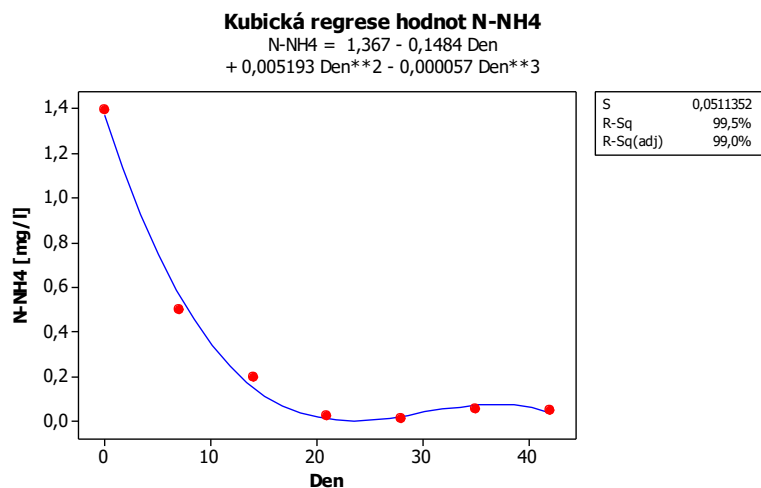
Průběh množství amoniakálního dusíku během dvou etap měření ukazuje shodu, když ke snížení množství N-NH₄ dochází během prvních 21 dní. U první nádrže s plovoucím ostrovem byla startovací hodnota 1,39 mg/l během prvních tří týdnů došlo ke snížení na hodnotu 0,023 mg/l amoniakálního dusíku. Ve druhé nádrži s plovákem činila počáteční hodnota 1,39 mg/l a po uplynutí tří týdnů ukázalo měření hodnotu 0,025 mg/l. Ve třetí nádrži s volnou hladinou byla počáteční koncentrace amoniakálního dusíku nejvyšší a to 1,93 mg/l, ale na konci 21. dne už byla naměřena hodnota 0,134 mg/l. Hodnoty v případě L03 jsou ale až do 21 dne udržovány na vyšší hodnotě ve srovnání s L01 a L02. Po třech týdnech se hodnoty koncentrace N-NH₄⁻ ustálily a na konci první etapy dosáhly v nádrži L01 téměř nulových hodnot (0,005 mg/l) v ostatních nádržích bylo o něco větší, ale také zanedbatelné množství amoniakálního dusíku (v L02 0,048 mg/l a v L03 0,042 mg/l). Průměrné hodnoty koncentrace amoniakálního dusíku dosahuje jako nejlepší nádrž L01 (0,252±0,508) mg/l, následuje L02 (0,317±0,503) mg/l a jako nejhorší se řadí nádrž s volnou hladinou vody (0,355±0,696) mg/l. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami amoniakálního dusíku u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění se u všech nádrží poměrně dost liší. Nejspolehlivější je nádrž L02 se 53,5 % a poté následuje nádrž L01 se 40,8 %. Nejméně spolehlivé jsou výsledky v nádrži L03 s 31,4 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty N-NH₄ mnohem větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 99,0 % nádrž s plovákem, druhá byla nádrž s plovoucím ostrovem s 91,7 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s volnou hladinou s 82,4 %.



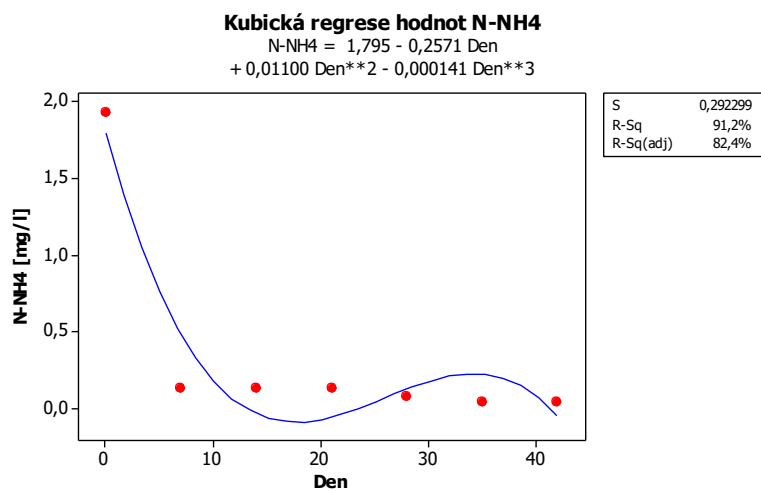
Obrázek č. 37: Graf hodnot N-NH₄ v jednotlivých nádržích v první etapě



Obrázek č. 38: Graf hodnot N-NH₄ v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



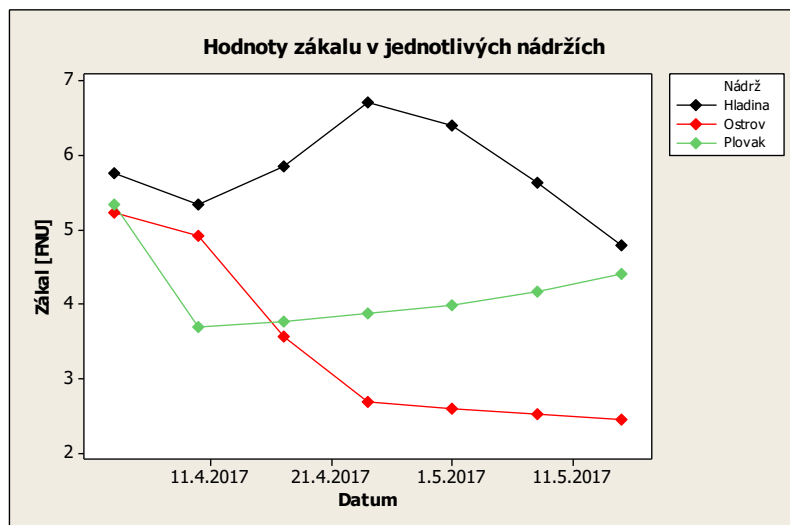
Obrázek č. 39: Graf hodnot N-NH₄ v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



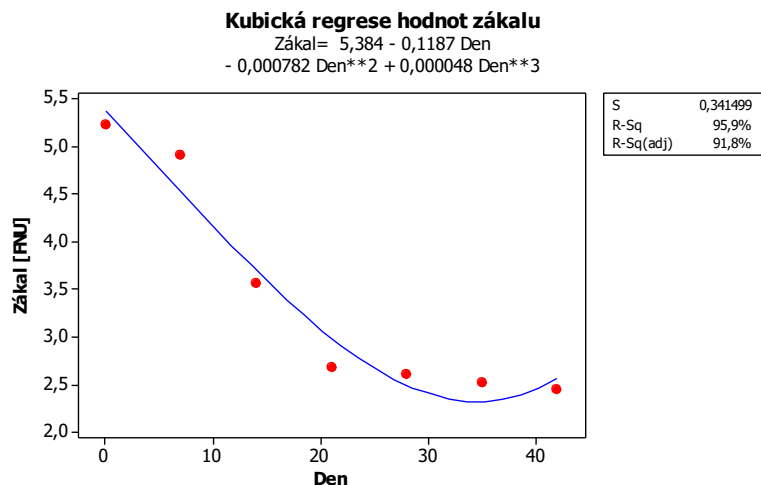
Obrázek č. 40: Graf hodnot N-NH₄ v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.1.5 Zákaly

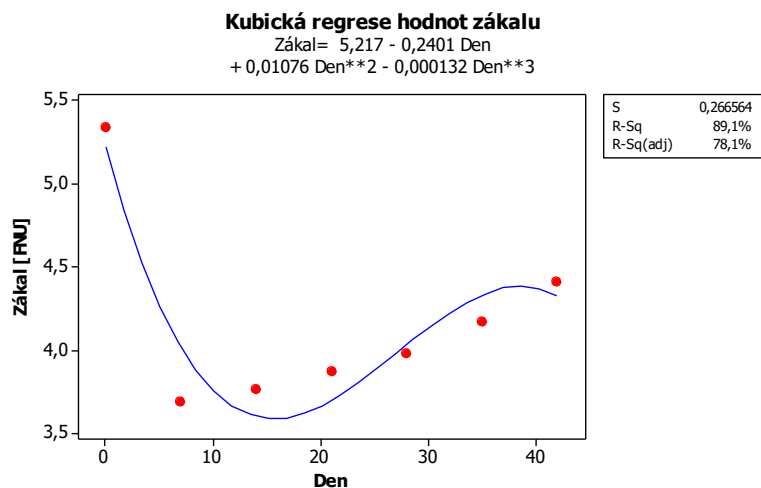
Průběh zákalu se u jednotlivých nádrží poměrně liší. U první nádrže s plovoucím ostrovem byla startovací hodnota 5,23 FNU během prvních tří týdnů dochází k výraznému snížení a poté se zákal snižuje mírněji, ale konstantně až na hodnotu 2,45 FNU. Ve druhé nádrži s plovákem činila počáteční hodnota 5,34 FNU a po uplynutí jednoho týdne ukázalo měření hodnotu 3,69 FNU, což byla minimální hodnota zákalu ve druhé nádrži, protože po usazení nečistot během prvního týdne dochází k nárůstu zákalu až na hodnotu 4,41 FNU na konci první etapy. Ve třetí nádrži s volnou hladinou byl počáteční zákal nejvyšší a to 5,76 FNU, tato hodnota po prvním týdnu mírně klesla, ale poté začala stoupat až k maximální hodnotě 6,72 FNU. Po uplynutí 28 dní začal zákal opět klesat až na konečnou hodnotu 4,80 FNU. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami zákalu u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění se u všech nádrží poměrně dost liší. Nejspolehlivější je nádrž L01 s 80,2 % a nádrže L02 a L03 ukázaly 0,0 % závislost. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty zákalu mnohem větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 91,8 % nádrž s plovoucím ostrovem, druhá byla nádrž s plovákem se 78,1 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s volnou hladinou s 67,5 %.



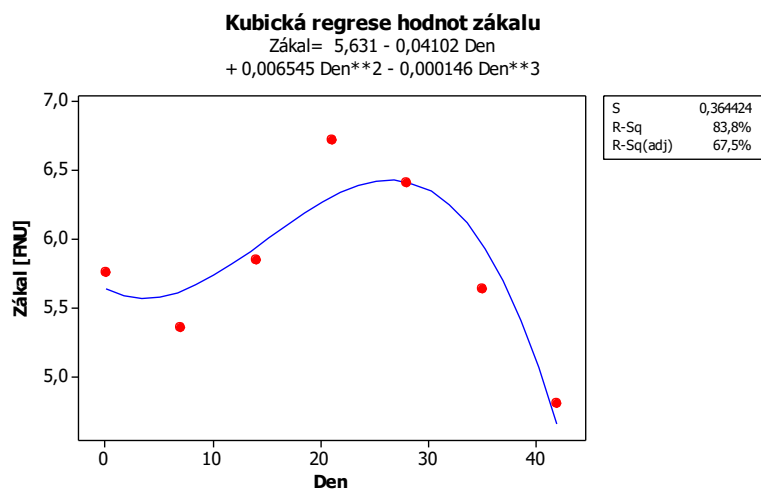
Obrázek č. 41: Graf hodnot zákalu v jednotlivých nádržích v první etapě



Obrázek č. 42: Graf hodnot zákalu v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



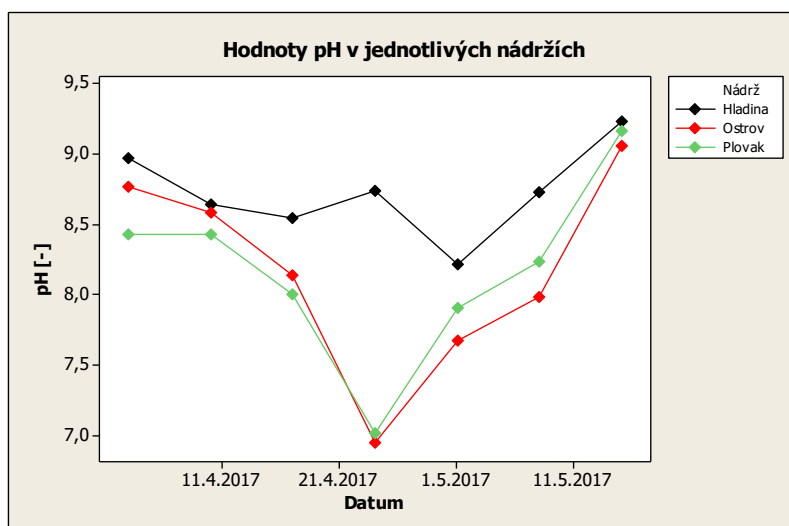
Obrázek č. 43: Graf hodnot zákalu v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



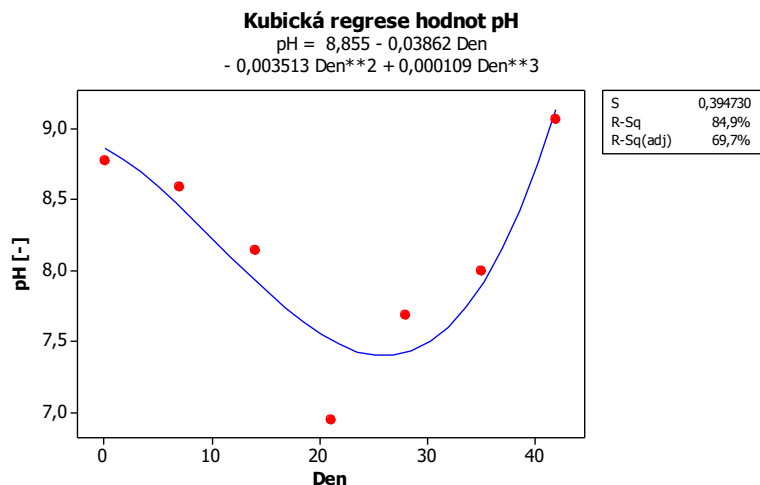
Obrázek č. 44: Graf hodnot zákalu v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.1.6 pH

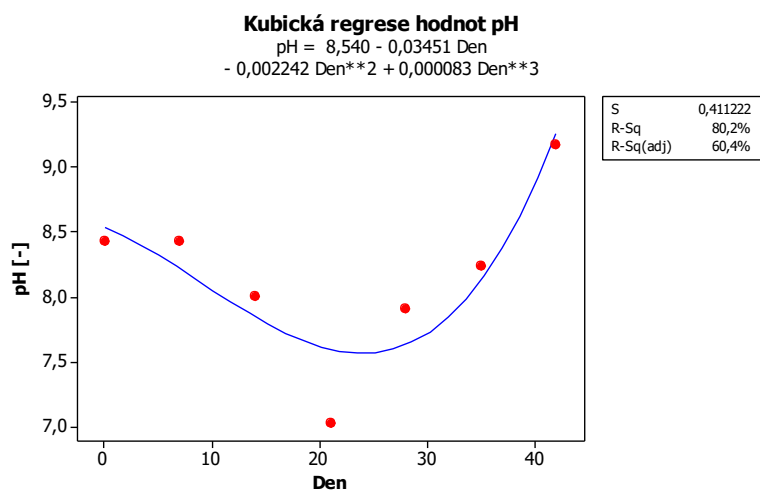
Podrobněji se o pH dočtete v kapitole 2.4.5. Hodnoty pH se držely až na jednu výjimku pořád v zásadité oblasti. Pouze v první nádrži s plovoucím ostrovem při měření 24. 4. 2017 klesla hodnota na 6,95. Nejvyrovnanějších výsledků dosáhla nádrž s volnou hladinou, kde se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí od 8,22 do 9,24. Naopak v první nádrži s plovoucím ostrovem a ve druhé nádrži s plovákem docházelo k velkým výkyvům hodnot pH. Počáteční hodnota L01 byl 8,77, poté docházelo k poklesu pH na hodnotu 6,95, ale přibližně od poloviny první etapy docházelo ke vzrůstu až na konečnou hodnotu 9,06. Obdobný průběh měly hodnoty pH v nádrži s plovákem. Startovací hodnota pH při prvním odběru vzorků činila 8,43, v polovině první etapy došlo k poklesu na nejnižší hodnotu 7,02 a od té doby pH rostlo až na konečnou hodnotu 9,17. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami pH u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost je u všech nádrží nulová. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty pH mnohem větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 69,7 % nádrž s plovoucím ostrovem, druhá byla nádrž s plovákem s 60,4 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s volnou hladinou s 47,7 %.



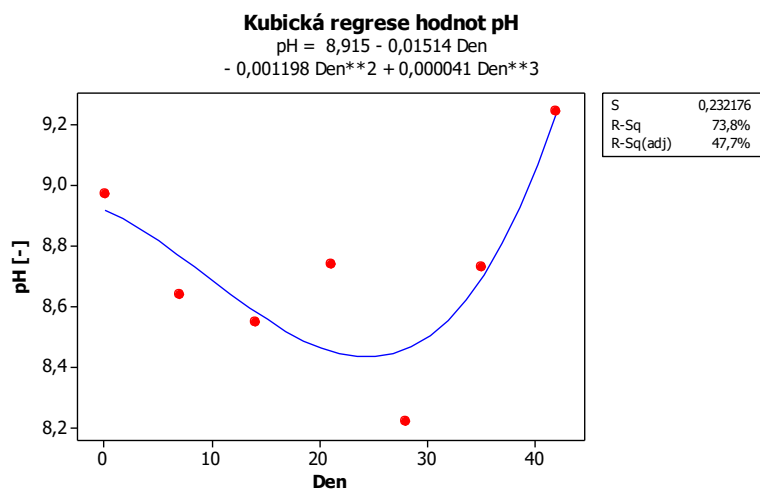
Obrázek č. 45: Graf hodnot pH v jednotlivých nádržích v první etapě



Obrázek č. 46: Graf hodnot pH v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



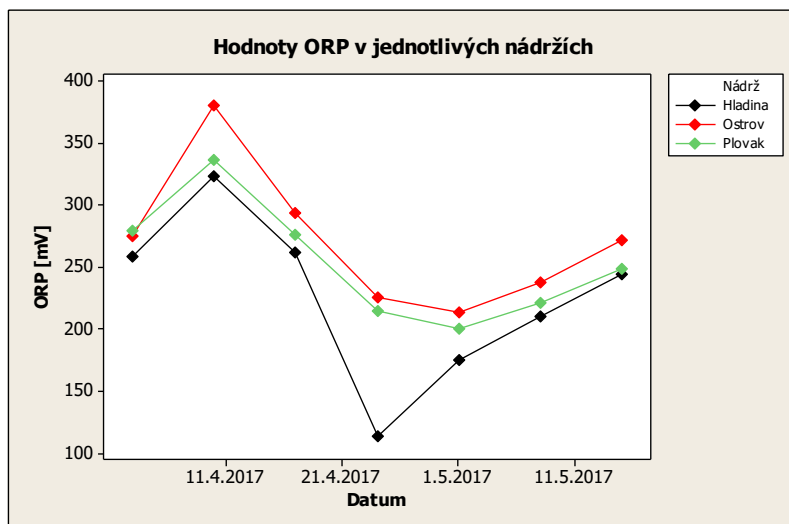
Obrázek č. 47: Graf hodnot pH v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



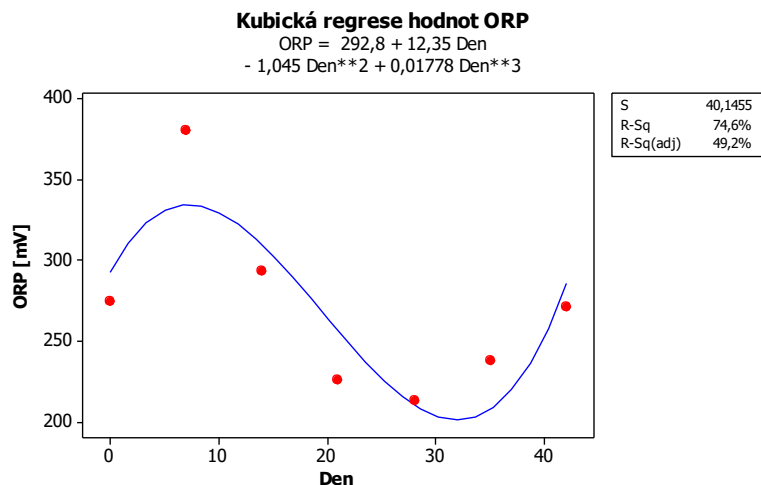
Obrázek č. 48: Graf hodnot pH v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.1.7 ORP

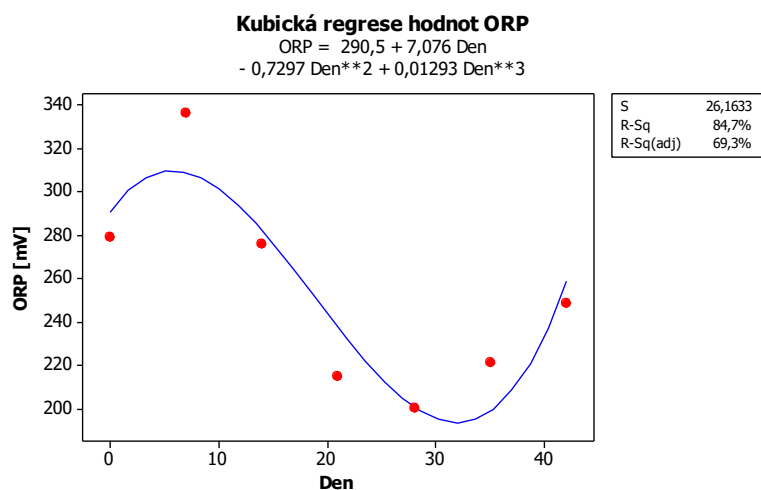
Oxidačně-redoxní potenciál je v obou etapách měření vyhodnocen ponořením sondy přibližně 10 cm pod úroveň hladiny vody v nádrži. Počáteční hodnoty jsou u jednotlivých nádrží mírně odlišné. Hodnota u nádrže L01 startuje na hodnotě 274,5 mV, nádrž L02 na hodnotě 279,0 mV a u nádrže L03 se jedná o hodnotu +258,5 mV. Po prvním týdnu dosahuje nejvyšší hodnoty (tj. +380,4 mV) nádrž L01 s plovoucím ostrovem, což je dáno nejspíše přítomností rostlin, resp. transportem kyslíku do vodního prostředí. Za celé období dosahuje právě nádrž L01 nejlepších výsledků s mediánem hodnot ORP 271,2 mV. Po 28 dnech od zahájení měření dochází u této nádrže ke snížení hodnoty až na 212,8 mV, následně hodnoty opět mírně stoupají až k hodnotě 271,2 mV zjištěné na konci první etapy. Ostatní nádrže dosahují podobného průběhu. Postupné zvýšení v prvním týdnu a následně snižování až do 28. dne. U nádrže L02 s plovákem je dosaženo mediánu 248,4 mV, nádrž s volnou hladinou dosahuje srovnatelné hodnoty ORP 243,9 mV. Tento výsledek ukazuje, že přestup kyslíku přes vodní hladinu má minimální vliv na změnu hodnoty ORP. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami zákalu u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost není vůbec vysoká. Nejspolehlivější je nádrž L02 se 30,5 % a poté následuje nádrž L01 s 11,7 %. Nejméně spolehlivá je nádrž L03 s 0,0 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty zákalu mnohem větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 69,3 % nádrž s plovákem, druhá byla nádrž s plovoucím ostrovem se 49,2 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s volnou hladinou s 22,5 %.



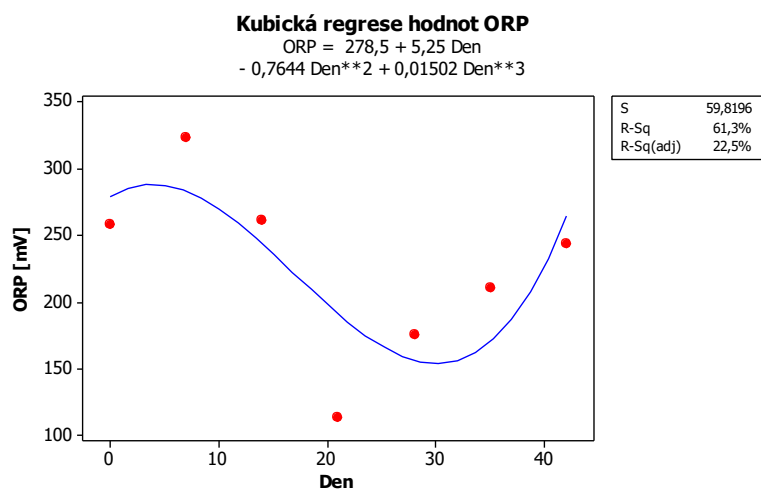
Obrázek č. 49: Graf hodnot ORP v jednotlivých nádržích v první etapě



Obrázek č. 50: Graf hodnot ORP v nádrži s plovoucí m ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



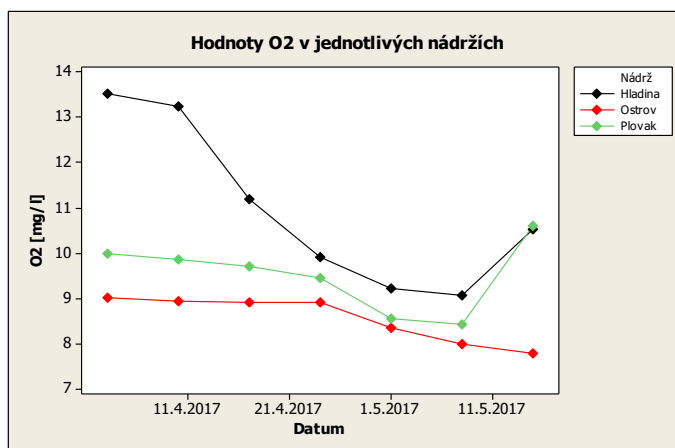
Obrázek č. 51: Graf hodnot ORP v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



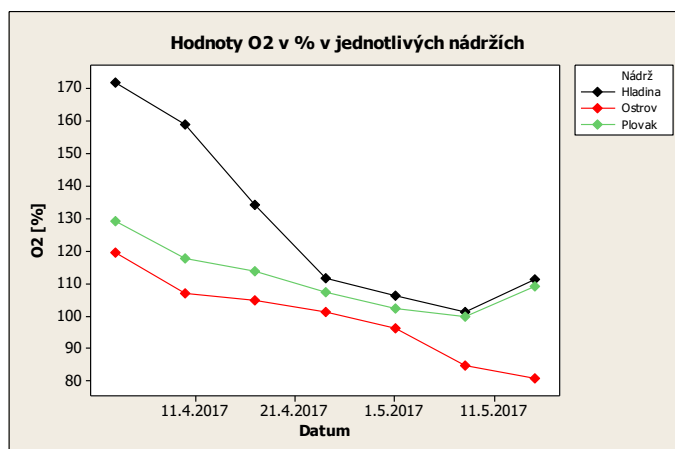
Obrázek č. 52: Graf hodnot ORP v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.1.8 Rozpuštěný kyslík

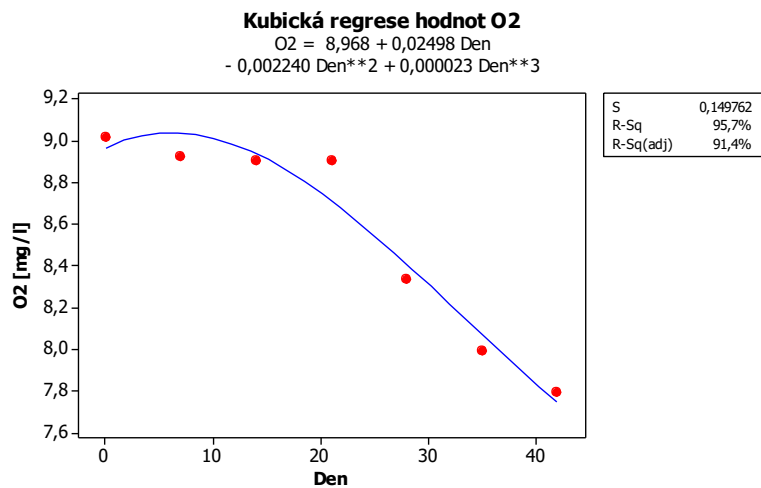
Měření kyslíkových poměrů u jednotlivých vodních prostředí v nádržích vykazovalo nárůst jednobuněčných řas, které byly v průběhu období mezi jednotlivými etapami postupně nahrazeny vláknitou řasou. Hodnoty přítomného kyslíku ukazují postupně se snižující koncentraci v nádrži L03 s volnou hladinou, u něhož jsou startovací hodnoty výrazně vyšší (tj. 13,53 mg/l s nasycením 171,6 %). Tato hodnota se postupně snižuje až k nasycení 101,1 % v 5. týdnu od zahájení. Hodnoty v L03 jsou v průběhu celého měření v rámci první etapy nejvyšší. Nižších a poměrně stabilních hodnot dosahují výsledky u nádrže L01 s plovoucím ostrovem a L02 s plovákem. Hodnoty po zahájení měření jsou 9,99 mg/l, resp. 9,02 mg/l u L02. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami rozpuštěného kyslíku u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost je celkem ucházející. Nejspolehlivější je nádrž L01 se 83,6 % a poté následuje nádrž L03 se 61,1 %. Nejméně spolehlivá je nádrž L02 s 0,0 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty zákalu mnohem větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 97,0 % nádrž s volnou hladinou, druhá byla nádrž s plovoucím ostrovem s 91,4 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovákem se 71,6 %.



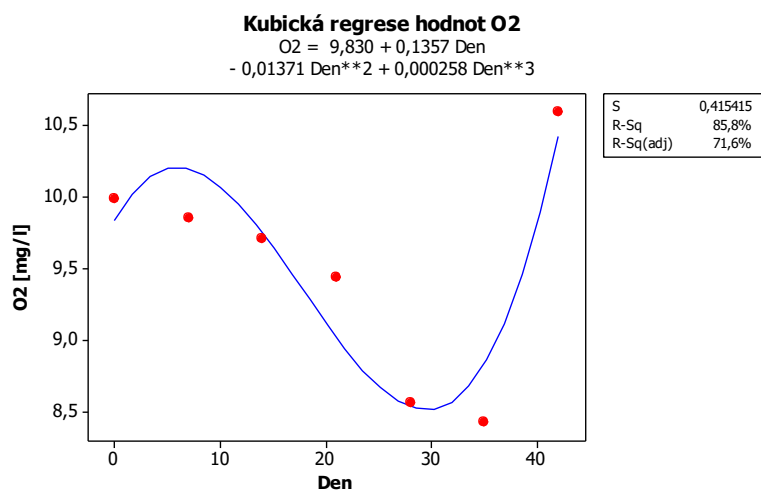
Obrázek č. 53: Graf hodnot O₂ v jednotlivých nádržích v první etapě



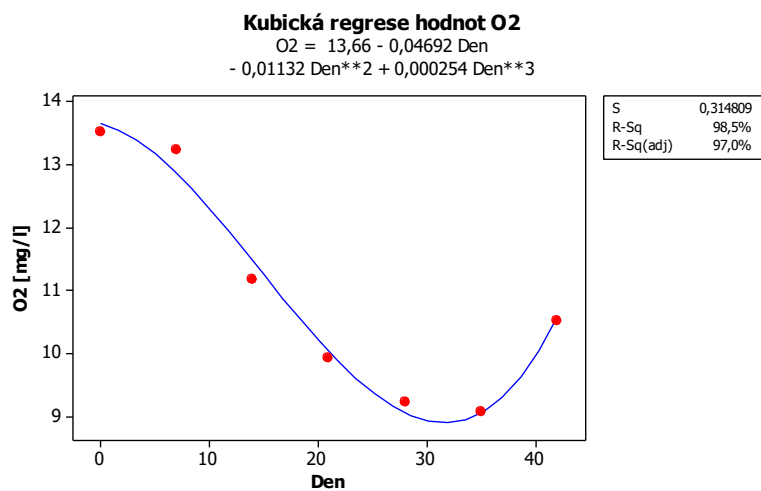
Obrázek č. 54: Hodnoty O₂ vyobrazeny v % v jednotlivých nádržích v první etapě



Obrázek č. 55: Graf hodnot O₂ v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



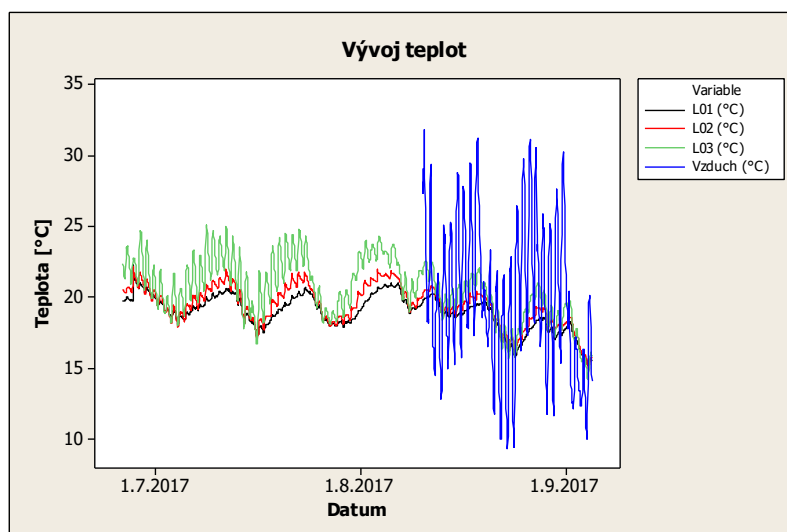
Obrázek č. 56: Graf hodnot O₂ v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



Obrázek č. 57: Graf hodnot O₂ v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

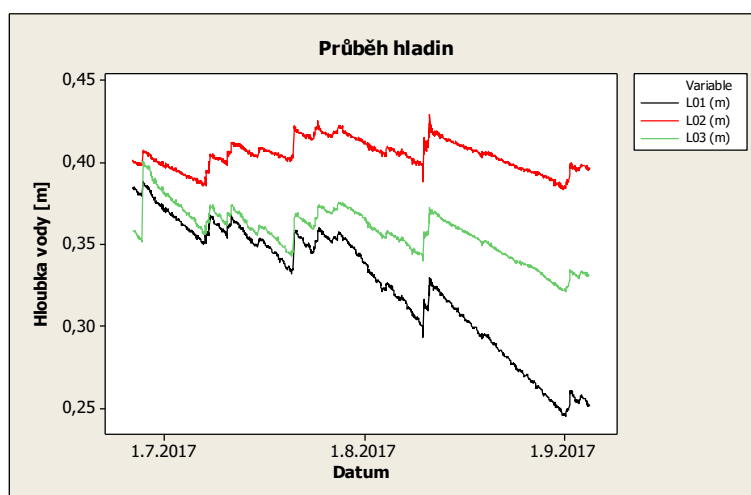
5.2 Druhá etapa - léto

Druhá etapa probíhala v létě roku 2017, začala prvním odběrem vzorků 26. 6. 2017 a skončila posledním odběrem 4. 9. 2017. Dovezená odpadní voda byla nalita do jedné nádrže o objemu 1 m³ a doplněna vodou dešťovou až po víko. Tím se liší od první etapy, kdy byly nádrže plněny každá zvlášť. Ačkoliv v této etapě dopadla nejlépe nádrž L01 s plovoucím ostrovem, tak tomu regresní křivky vyjadřující jistotu závislosti výsledků vůbec neodpovídají. Teplota vzduchu se v období druhé etapy pohybovala v rozmezí od +9 °C do +32 °C. Vyšší teploty vzduchu způsobily také vyšší teploty vody v jednotlivých nádržích. Teplota vody v nádrži s plovoucím ostrovem (L01) se pohybovala od +15 °C do +23 °C. Bylo zde dosaženo průměrné teploty +18,972±1,244 °C. V nádrži s plovoucím ostrovem nedocházelo během dne k takovým rozdílům teplot ve dne a v noci, z důvodu pokrytí hladiny, což je patrné z obrázku č. 58. K menším výkyvům docházelo v nádrži s plovákem (L02), kde se teploty pohybovaly ve stejném rozmezí od +13 °C do +23 °C, ale je zde patrný mírný pokles teplot během noci. Nádrž pokrytá pouze plovoucím nosičem dosahuje ve stejném období hodnot +19,47±1,395 °C, což je teplota přibližně o 0,5 °C vyšší oproti L01, což ukazuje minimální vliv rostlin a jejich zapojení do termoregulačních procesů. Mnohem větší výkyvy teplot během dne a noci jsou patrnější v nádrži s volnou hladinou, protože zde docházelo k nejvýraznějšímu přechodu tepla mezi vodní hladinou a ovzduším. Rozmezí teplot, od +14 °C do +25 °C, byla vystavena voda v nádrži L03. Tato nádrž bez zakryté hladiny vykazuje vyšší průměrné hodnoty teploty (20,607±2,121) °C, což naznačuje nejvyšší rozsah teplot a tedy vyšší teplotní výkyvy. Zajímavým výsledkem je, že teplota vody, průměr (20,61 °C) i medián (20,64 °C) je vyšší než u teploty vzduchu (průměr 20,07 °C a medián 19,6 °C). Hodnoty teploty vzduchu začínají v této etapě až 10. 8. 2017, protože meteorologická stanice měla do této doby výpadek a nezaznamenávala hodnoty. Dá se očekávat, že teplota vzduchu v tomto období byla vyšší než teplota v srpnu. Dá se tak usuzovat podle teploty vody v nádrži, která byla vyšší v červenci než v srpnu roku 2017.



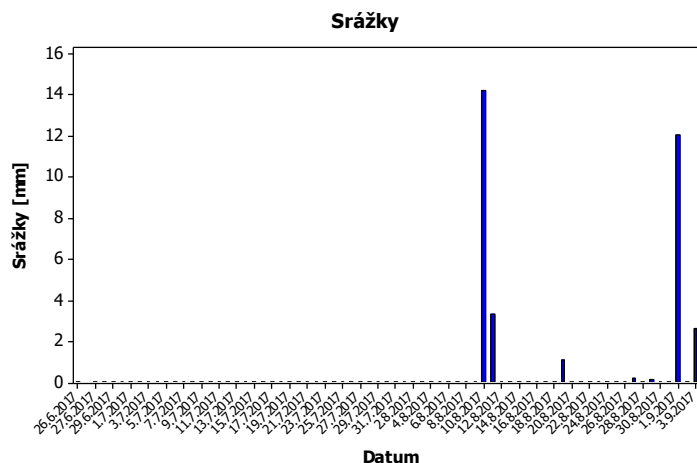
Obrázek č. 58: Graf vývoje teploty vody v nádrži a vzduchu ve druhé etapě

Vyšší teplota a hlavně přívalové srážky během letního období měly hlavní vliv na průběh hladiny vody v nádrži. Počáteční hloubka vody v nádrži s plovoucím ostrovem činila 38,5 cm, v nádrži s plovákem 40,1 cm a v nádrži s volnou hladinou byla počáteční hloubka vody 35,9 cm. Průběhy hladin v jednotlivých nádržích ve druhé letní etapě jsou podle očekávání. Největší úbytek vody byl v nádrži s plovoucím ostrovem, který vykazovala největší úbytek vody díky výparu z vodní hladiny a především výparu z listů rostlin na plovoucím ostrově. Hloubka vody na konci druhé etapy v nádrži L01 byla 25,2 cm. To je pokles vodní hladiny v nádrži L01 o 13,3 cm. Druhý největší pokles vodní hladiny byl v nádrži s volnou hladinou. Koncová hodnota činila 33,1 cm, což je výsledku pokles pouze o 2,8 cm. Musíme ovšem brát ohled na to, že v prvním týdnu druhé etapy došlo pravděpodobně k většímu úhrnu srážek, protože hloubka vody v nádrži vystoupala na 40,1 cm. Od 27. 6. 2017 už docházelo, až na pár výjimek v podobě letních bouřek, ke klesání vodní hladiny celkem o 7 cm. Pokles vodní hladiny ve vodní nádrži s plovákem činil 0,4 cm, takže můžeme teoreticky říct, že výpar z této nádrže se rovnal srážkám spadlých do nádrže L02.



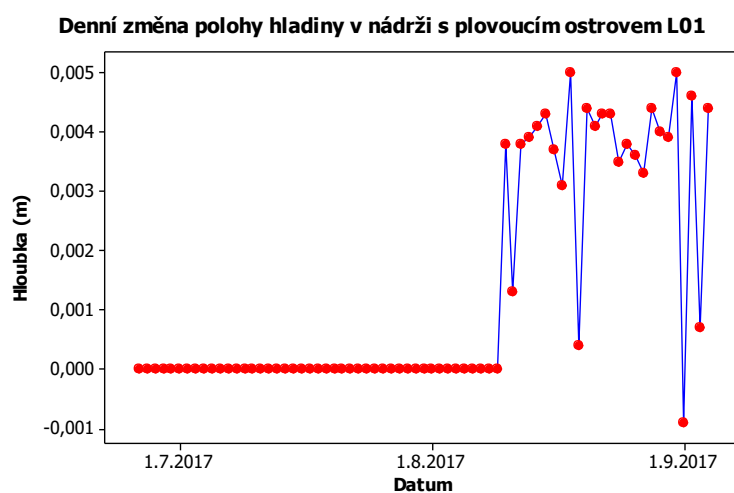
Obrázek č. 59: Graf vývoje hladiny v jednotlivých nádržích ve druhé etapě

Vzhledem k výpadku meteorologické stanice nemůžeme s přesností označit nejvyšší úhrn srážek, ale dle grafu pravděpodobně nastal 27. 6. 2017. S jistotou však můžeme tvrdit, že 1. 9. 2017 spadlo 12,0 mm srážek a 10. 8. 2017 dokonce 14,2 mm.

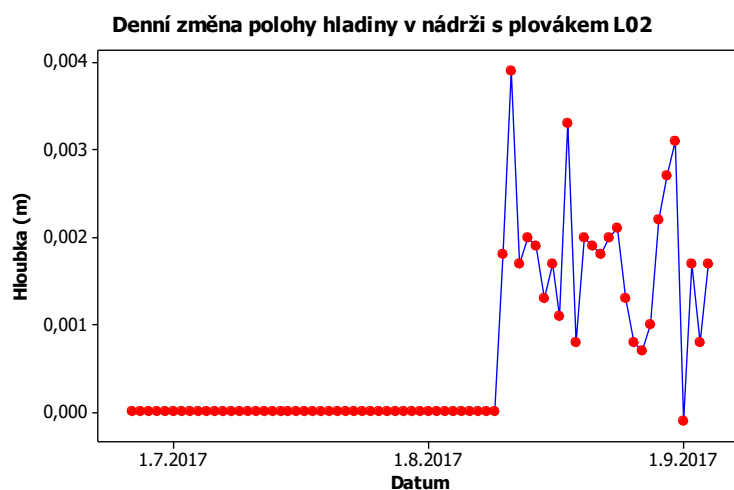


Obrázek č. 60: Graf srážek v jednotlivých dnech druhé etapy (výpadek meteorologické stanice do 10. 8. 2017)

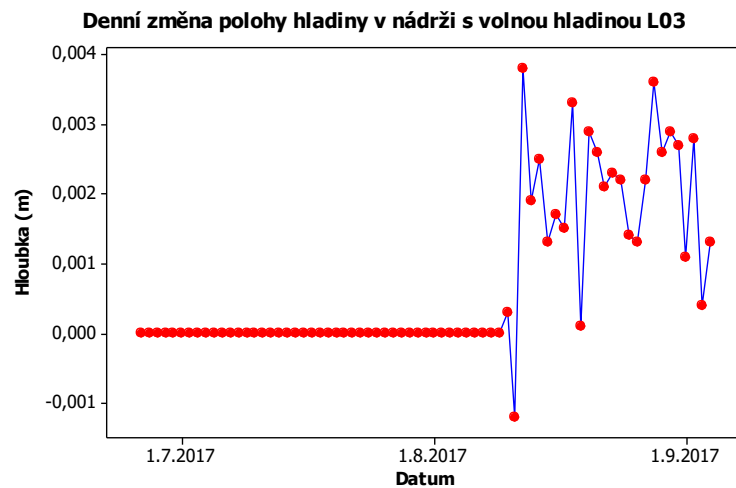
Z důvodu vyšších teplot v letní druhé etapě se dal očekávat větší výpar než v první etapě, která probíhala na jaře stejného roku (2017). Opak je ale pravdou. V první jarní etapě dosáhl výpar většího maxima i minima než v druhé letní etapě. V této etapě by se dal považovat výpar z jednotlivých nádrží bez větších výkyvů. V nádrži s plovoucím ostrovem a plovákem byl výpar vyrovnanější než v nádrži s volnou hladinou, kde výpar více kolísal. Výpar sice nedosáhl tak vysokých hodnot, ale z důvodu vyrovnanosti výparu byla suma výparu větší než v předchozí etapě. Výjimkou byla nádrž s volnou hladinou, kde nádrž nedosáhla takových hodnot jako v první a výkyvy výparu v jednotlivých dnech byly také různé. Kladné hodnoty v grafech značí výpar a záporné hodnoty značí naopak příbytek vody v nádrži, s největší pravděpodobností jsou to srážky.



Obrázek č. 61: Graf denní změny polohy hladiny v nádrži L01 (výpadek meteorologické stanice do 10. 8. 2017)



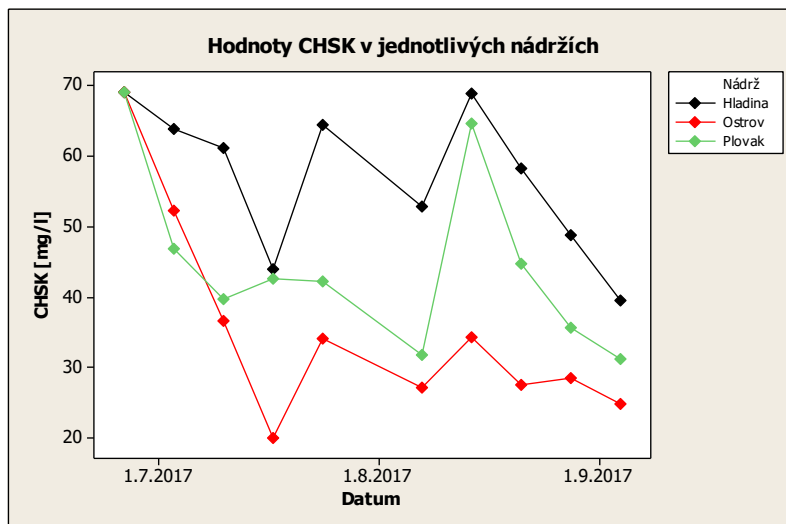
Obrázek č. 62: Graf denní změny polohy hladiny v nádrži L02 (výpadek meteorologické stanice do 10. 8. 2017)



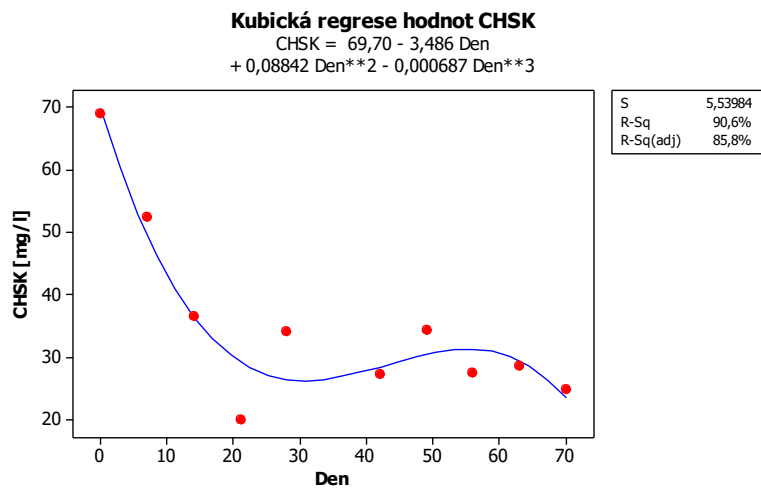
Obrázek č. 63: Graf denní změny polohy hladiny v nádrži L03 (výpadek meteorologické stanice do 10. 8. 2017)

5.2.1 Chemická spotřeba kyslíku

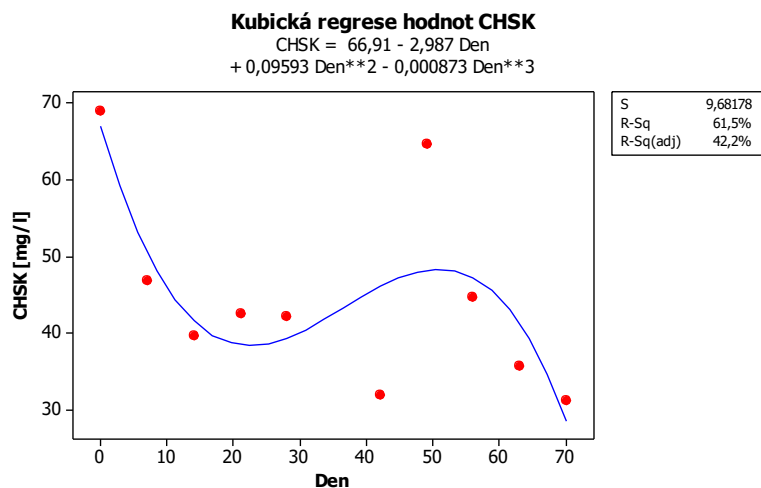
Podrobnosti o chemické spotřebě kyslíku se dozvíte v kapitole 2.4.7. Také měření ve druhé etapě přineslo čekávané výsledky hodnoty CHSK, alespoň u nádrže L01. Startovací hodnota ve všech nádržích byla 69,0 mg/l. Hned při prvních odběrech vzorků a provedení kyvetového testu se ukázalo, že hodnoty CHSK se snižují ve všech nádržích, v následujících odběrech dochází k postupnému snižování hodnot u všech nádrží, ale nejnižší hodnoty byly dosaženy v nádrži L01. Po třech týdnech od zahájení letní etapy byla naměřena hodnota 20,0 mg/l CHSK. Poté došlo k mírnému vzestupu hodnot až na konečnou hodnotu 24,8 mg/l CHSK. Na konci měření dosahuje hodnota CHSK v nádrži s plovákem hodnoty 31,2 mg/l a jako nejhorší je nádrž s volnou hladinou L03, kde bylo při posledním odběru zjištěno 39,4 mg/l CHSK. Zajímavé je, že tyto hodnoty jsou mnohem vyšší než hodnoty v první etapě měření. U všech tří nádrží se ukazuje jako nejvíce účinné období během prvních 3 týdnů, kdy hodnoty klesají velice strmě. Největší účinnost však ukázala nádrž s plovoucím ostrovem, ve které došlo nejenže nejrychleji ke snížení koncentrace CHSK, ale také s nejvyšší účinností. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami CHSK u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění je různá. Nejspolehlivější je nádrž L01 dosáhla hodnoty 42,0 %, druhé nejvyšší procento jistoty měla nádrž L03 (21,0 %). Nejméně spolehlivá je nádrž L02 s 11,4 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty CHSK větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 85,8 % nádrž s plovoucím ostrovem, druhá byla nádrž s volnou hladinou se 45,2 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovákem se 42,2 %.



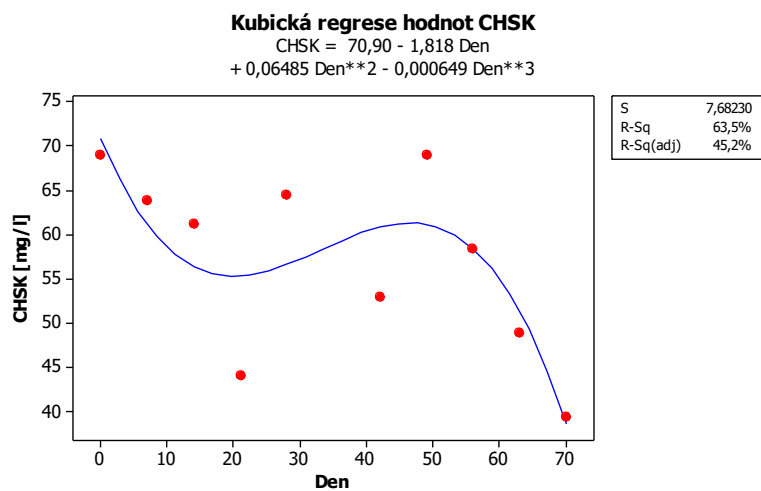
Obrázek č. 64: Graf hodnot CHSK v jednotlivých nádržích ve druhé etapě



Obrázek č. 65: Graf hodnot CHSK v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



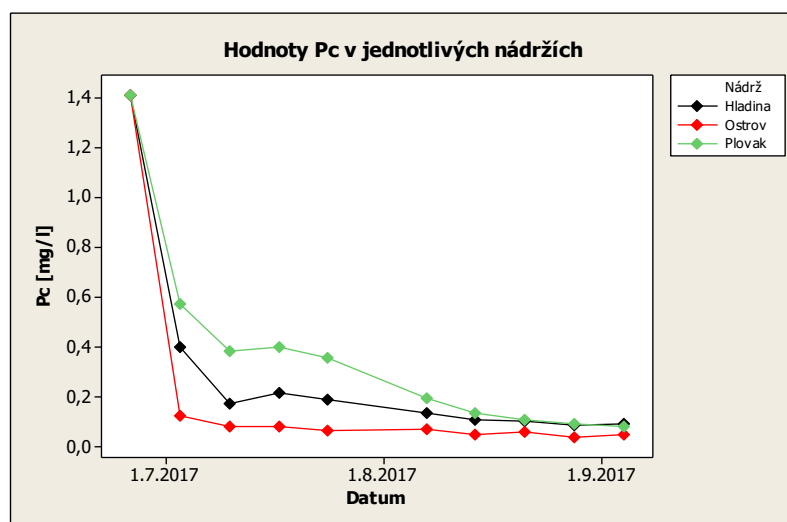
Obrázek č. 66: Graf hodnot CHSK v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



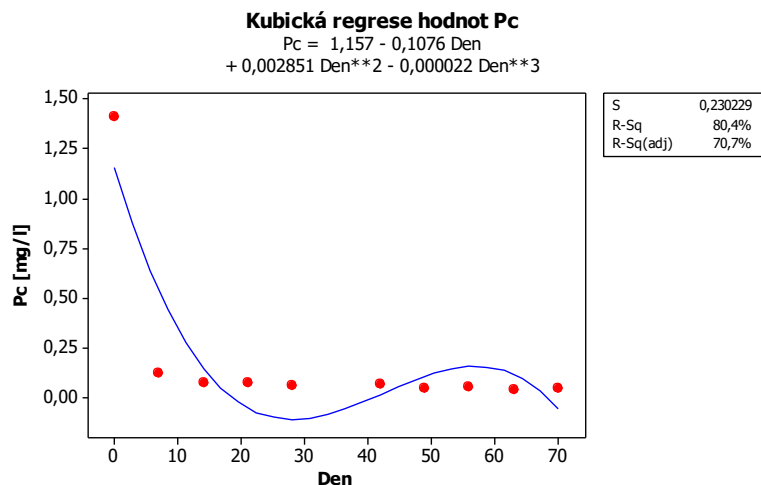
Obrázek č. 67: Graf hodnot CHSK v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.2.2 Celkový fosfor

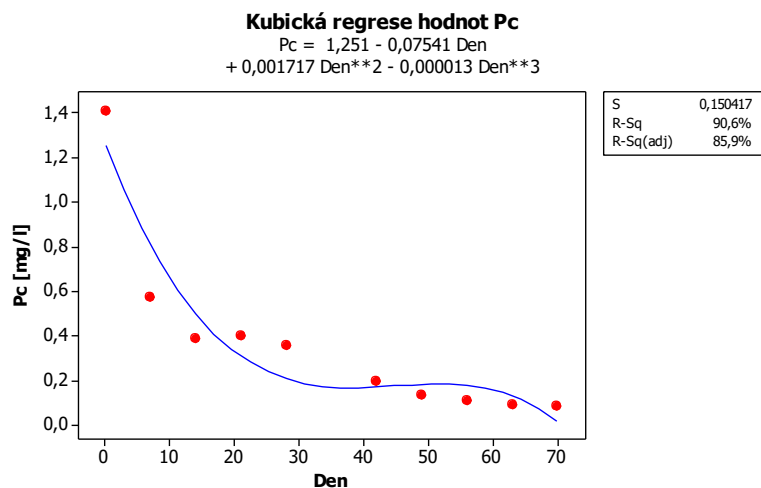
Všechny tři nádrže dosáhly již během prvního týdne výrazného snížení koncentrace celkového fosforu. U všech nádrží byla startovací hodnota koncentrace 1,41 mg/l celkového fosforu. V první nádrži s plovoucím ostrovem během prvního týdne došlo ke snížení na hodnotu 0,124 mg/l celkového fosforu a během dalšího týdne na hodnotu 0,079 mg/l, což je srovnatelná hodnota s hodnotou koncovou (0,048 mg/l). Ve druhé nádrži s plovákem činila hodnota již po prvním týdnu měření 0,573 mg/l a během dalšího týdne spadla na hodnotu 0,384 mg/l, ale výrazně nižších a vyrovnanějších hodnot (cca 0,090 mg/l) dosáhla až ke konci druhé etapy. Ve třetí nádrži s volnou hladinou byla koncentrace celkového fosforu po týdnu 0,402 mg/l a za další týden byla koncentrace celkového fosforu 0,171 mg/l, poté sice došlo k menšímu nárůstu, ale k ustálení hodnot došlo až ve druhé polovině letní etapy. V nádrži s plovoucím ostrovem došlo tedy k největšímu a nejrychlejšímu snížení koncentrace, tudíž můžeme konstatovat, že tento úbytek byl podporován kořenovým systémem rostlin. Průměrná koncentrace P_c u L01 je $0,202 \pm 0,425$ mg/l, horších výsledků dosahuje nádrž s volnou hladinou L03, kde je průměrné znečištění $0,291 \pm 0,404$ mg/l. Nejhoršího výsledku potom dosahuje vodní prostředí zakryté plovoucím ostrovem bez rostlin, hodnoty jsou téměř dvojnásobné ve srovnání s L01 ($0,374 \pm 0,400$ mg/l). Při proložení lineární regresní křivky hodnotami celkového fosforu u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění se u všech nádrží značně liší. Nejspolehlivější hodnoty vykazuje nádrž L02 s 59,9% jistotou a poté následuje nádrž L03 se 35,9 %. Nejméně spolehlivá je nádrž L01 se 20,7 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty P_c mnohem větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 85,9 % nádrž s plovákem, druhá byla nádrž s volnou hladinou s 81,5 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovoucím ostrovem se 70,7 %. Zajímavé je, že nádrž s plovoucím ostrovem velmi rychle a spolehlivě odstraní znečištění celkovým fosforem, ale vykazuje nejmenší jistotu.



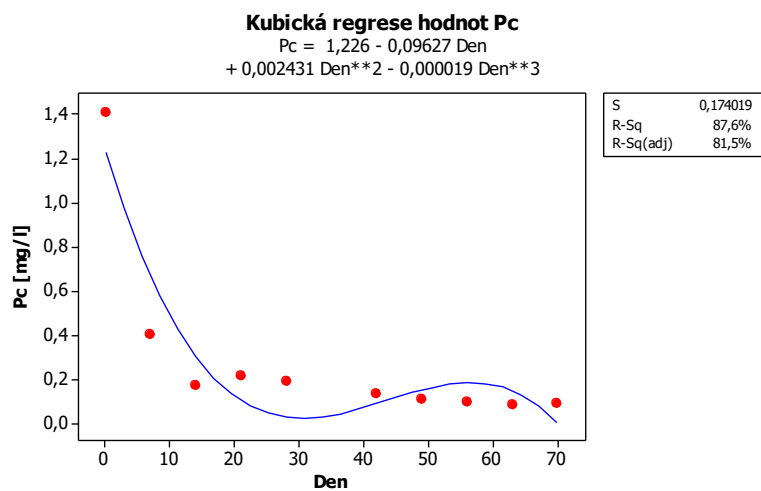
Obrázek č. 68: Graf hodnot P_c v jednotlivých nádržích ve druhé etapě



Obrázek č. 69: Graf hodnot P_c v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



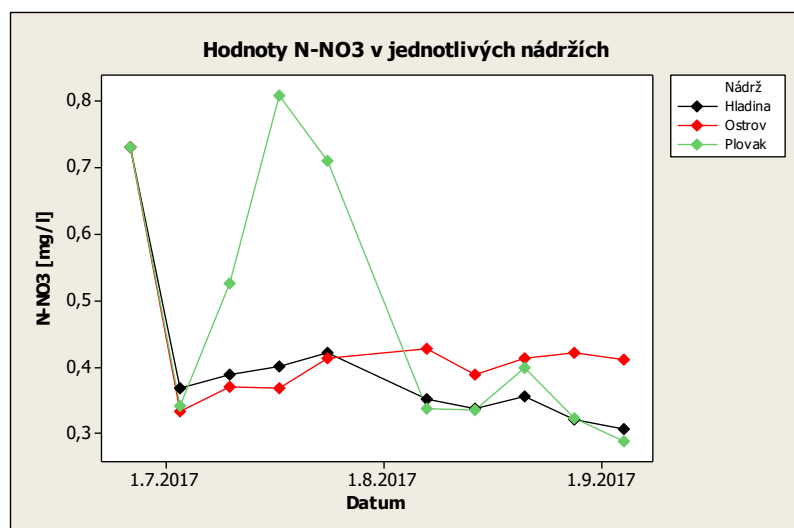
Obrázek č. 70: Graf hodnot P_c v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



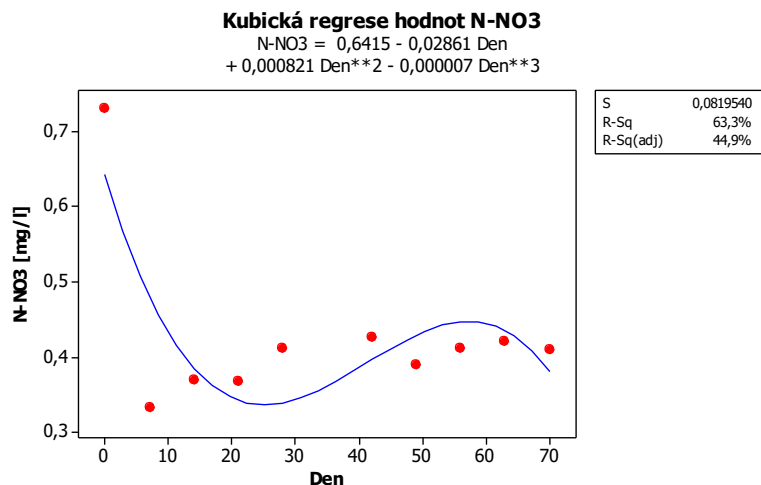
Obrázek č. 71: Graf hodnot P_c v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.2.3 Dusičnanový dusík

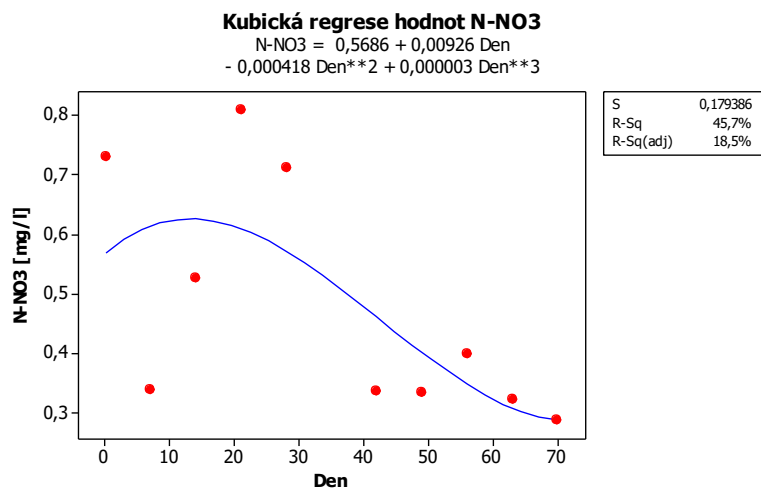
Ve druhé etapě docházíme k obdobným závěrům jako v etapě první, byť je při grafickém znázornění viditelný pokles koncentrace během prvního týdne. Následuje pouze u nádrže L02 navýšení během následujícího měsíce, nicméně po pěti týdnech jsou již hodnoty srovnatelné s ostatními. Lze předpokládat nitrifikaci a denitrifikaci za proběhnutou, u nádrže tedy s pozvolnějším průběhem. Hodnoty znečištění jsou nízké, tento fakt je nejspíše zajištěn přítomností nitrifikačních i denitrifikačních bakterií, resp. vhodnými podmínkami pro průběh nitrifikace i denitrifikace. Nízké koncentrace v celém průběhu obou etap jsou na konci pozorování podobné – u nádrže L01 se jedná o 0,410, u nádrže L02 hodnoty 0,288 mg/l a u nádrže L03 hodnoty 0,305 mg/l. Počáteční koncentrace dusičnanového dusíku činila 0,730 mg/l. V obou etapách se ukazuje, že nižších hodnot než 0,288 mg/l není schopen žádná nádrž sám bez vnějšího přičinění dosáhnout. Této hodnoty v první etapě dosáhla nádrž s volnou hladinou a ve druhé etapě to byla nádrž s plovákem. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami dusičnanového dusíku u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění se u všech nádrží velmi liší. Nejspolehlivější hodnoty vykazuje nádrž L03 se 39,9% jistotou a poté následuje nádrž L02 se 33,2 %. Nejméně spolehlivá je nádrž L01 s 0,0 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty N-NO₃ jiných hodnot než tomu bylo doposud u jiných parametrů. Zde vykazovala největší účinnost 60,5 % nádrž s volnou hladinou, druhá byla nádrž s plovoucím ostrovem se 44,9 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovákem s 18,5 %, takže zde došlo dokonce ke snížení hodnoty vzhledem k proložení lineární regresní přímkou.



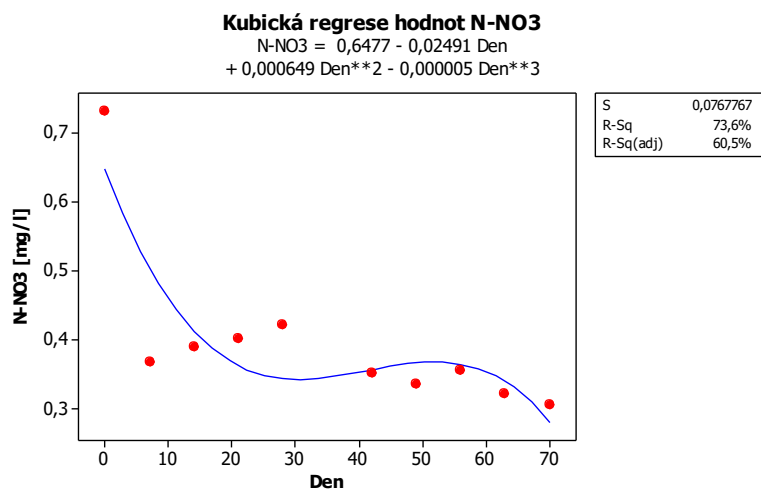
Obrázek č. 72: Graf hodnot N-NO₃ v jednotlivých nádržích ve druhé etapě



Obrázek č. 73: Graf hodnot N-NO₃ v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



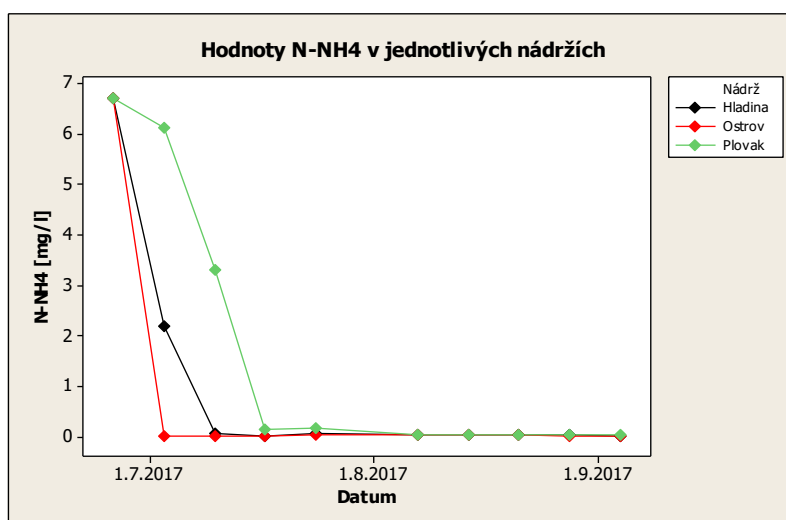
Obrázek č. 74: Graf hodnot N-NO₃ v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



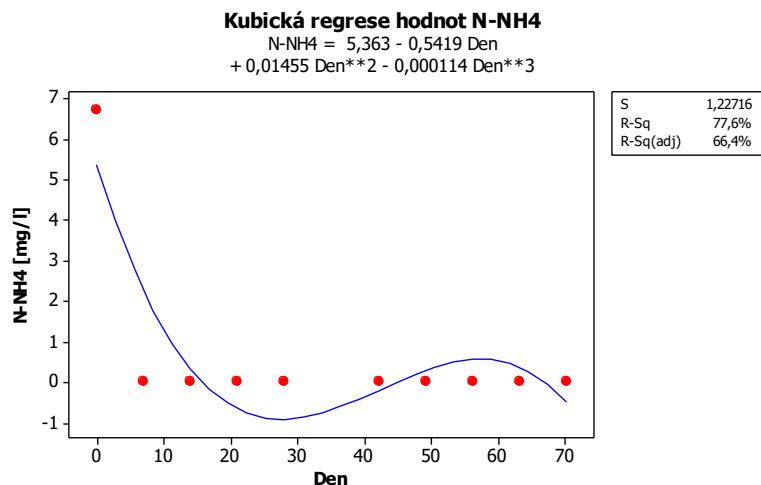
Obrázek č. 75: Graf hodnot N-NO₃ v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.2.4 Amoniakální dusík

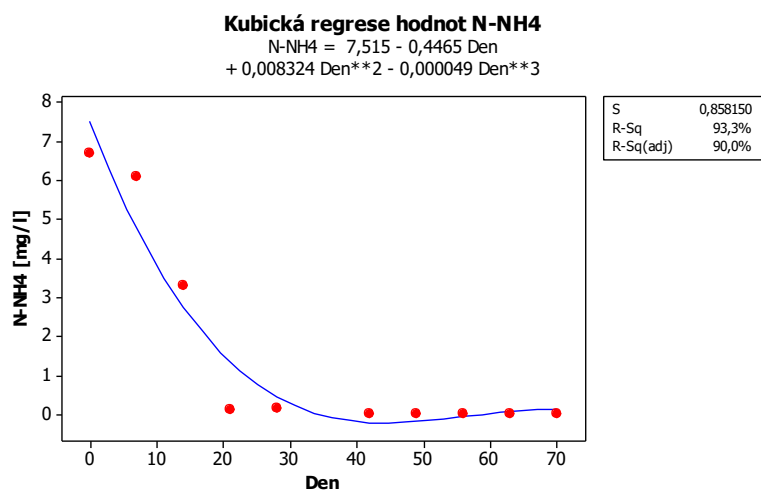
Během druhé etapy se opět ukazuje, že doba zdržení 21 dní je dostatečná k účinnému snížení množství amoniakálního dusíku na koncentraci v oblasti 0–0,2 mg/l. Počáteční hodnota koncentrace amoniakálního dusíku ve všech nádržích činila 6,71 mg/l. Jako nejúčinnější se během prvního týdne prokázal plovoucí ostrov s mokřadní vegetací, jenž počáteční koncentraci dokázal snížit na 0,010 mg/l, zatímco plovákem bez mokřadní vegetace je dosaženo hodnoty 6,120 mg/l a při volné vodní hladině je po sedmi dnech hodnota snížena na 2,180 mg/l. Trend u nádrže L01 ukazuje, že hodnota je velice účinně snížena již během prvního týdne, což je asi nejdůležitější výsledek v této etapě měření. Při zakryté vodní hladině plovákem se obdobného výsledku dosahuje až po 21 dnech, v případě volné vodní hladiny po 14 denní době zdržení. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami amoniakálního dusíku u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění se u všech nádrží podstatně liší. U většiny výsledků druhé etapy se výsledky jednotlivých nádrží značně liší oproti etapě první. Nejspolehlivější hodnoty vykazuje nádrž L02 se 59,3% jistotou a poté následuje nádrž L03 se 31,3 %. Nejméně spolehlivá je nádrž L01 s 15,8 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty N-NH₄ výrazně větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 90,4 % nádrž s volnou hladinou, těsně druhá byla nádrž s plovákem se 90,0 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovoucím ostrovem s pouze 66,4 %.



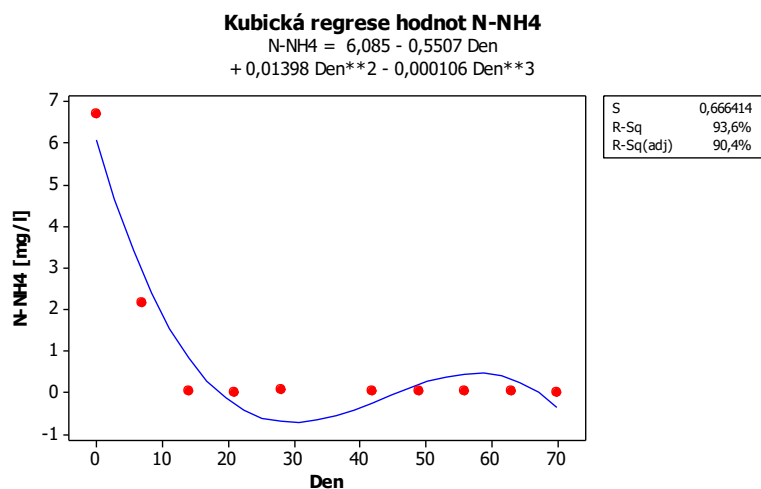
Obrázek č. 76: Graf hodnot N-NH₄ v jednotlivých nádržích ve druhé etapě



Obrázek č. 77: Graf hodnot N-NH₄ v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



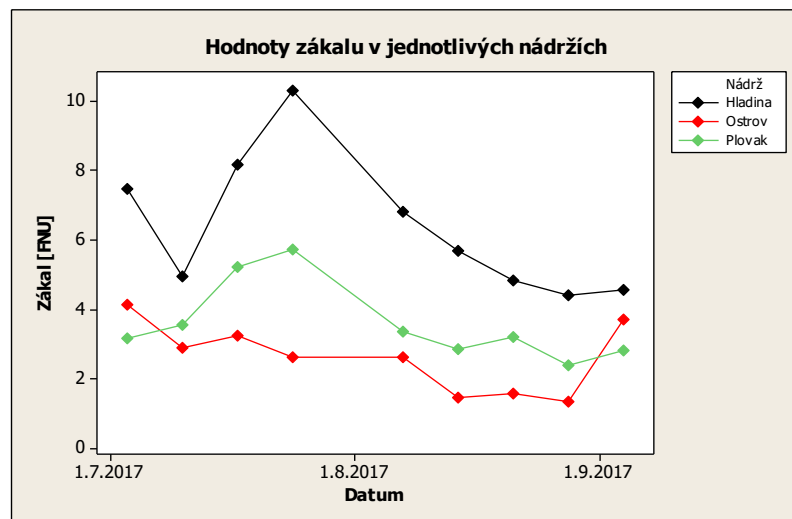
Obrázek č. 78: Graf hodnot N-NH₄ v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



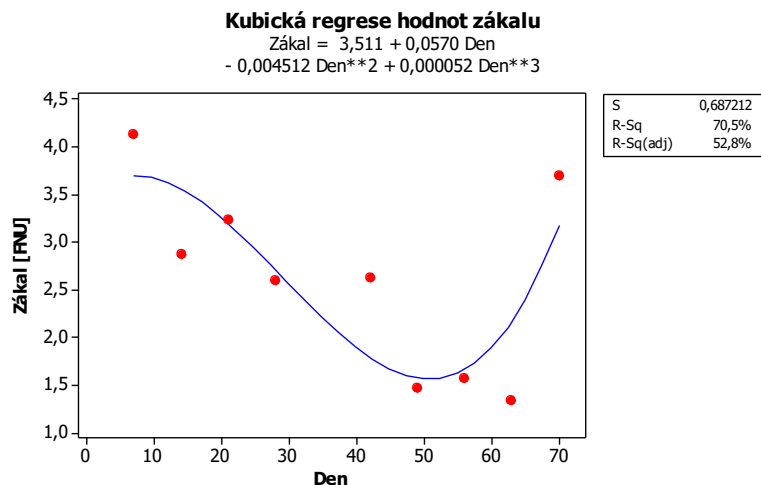
Obrázek č. 79: Graf hodnot N-NH₄ v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.2.5 Zákál

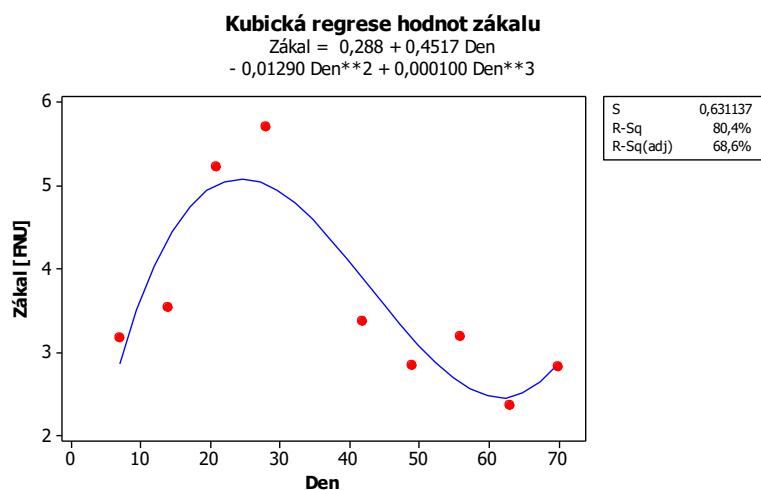
Průběh zákálu se u jednotlivých nádrží poměrně liší stejně jako u první etapy. U první nádrže s plovoucím ostrovem byla startovací hodnota 4,14 FNU během celé první etapy dochází k mírnému snížení na hodnotu 1,34 FNU a na konci letní etapy se zákál zvyšuje na hodnotu 3,70 FNU. Ve druhé nádrži s plovákem činila počáteční hodnota 3,17 FNU a po uplynutí čtyř týdnů ukázalo měření hodnotu 5,70 FNU, což byla maximální hodnota zákálu ve druhé nádrži, protože po tomto datu došlo ke snižování zákálu až na konečnou hodnotu 2,82 FNU. Ve třetí nádrži s volnou hladinou byl počáteční zákál nejvyšší a to 7,46 FNU, tato hodnota po prvním týdnu mírně klesla (4,93 FNU), ale poté začala stoupat až k maximální hodnotě 10,30 FNU. Po uplynutí 28 dní začal zákál opět klesat až na konečnou hodnotu 4,55 FNU. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami zákálu u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění je u všech nádrží podobná. Nejspolehlivější je nádrž L03 s 24,7 % a nádrže L01 a L02 ukázaly podobnou závislost 16,0 %, resp. 17,1 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty zákálu větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 68,6 % nádrž s plovákem, druhá byla nádrž s plovoucím ostrovem se 52,8 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s volnou hladinou s 32,9 %.



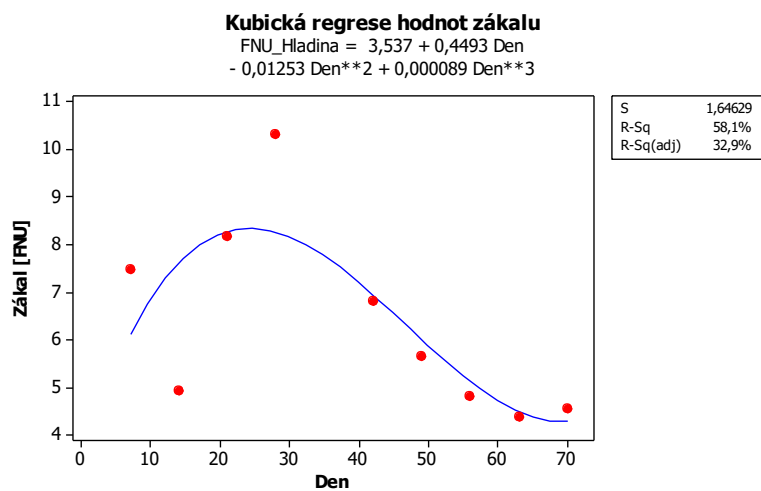
Obrázek č. 80: Graf hodnot zákálu v jednotlivých nádržích ve druhé etapě



Obrázek č. 81: Graf hodnot zákalu v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



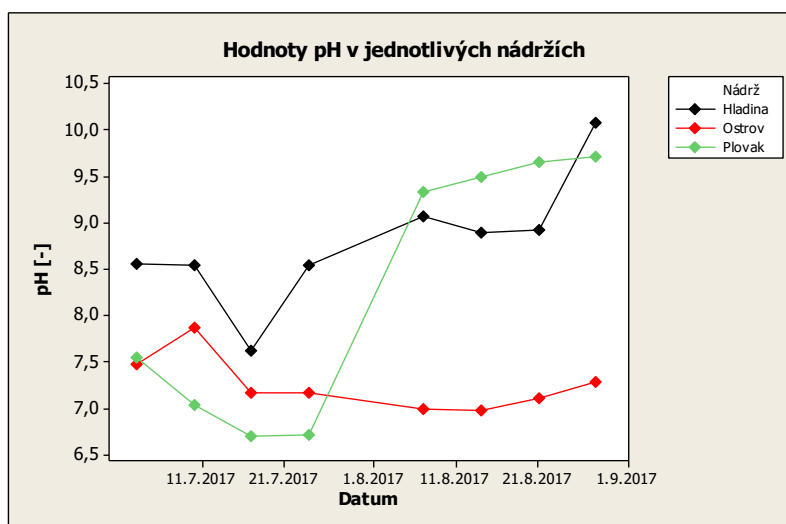
Obrázek č. 82: Graf hodnot zákalu v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



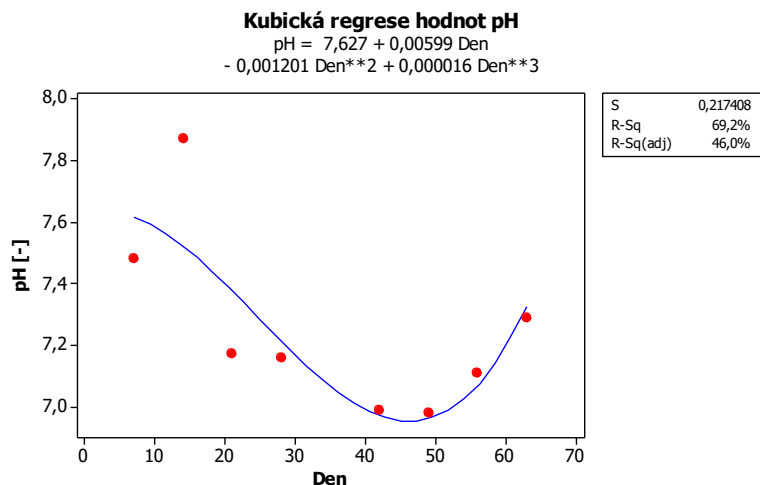
Obrázek č. 83: Graf hodnot zákalu v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.2.6 pH

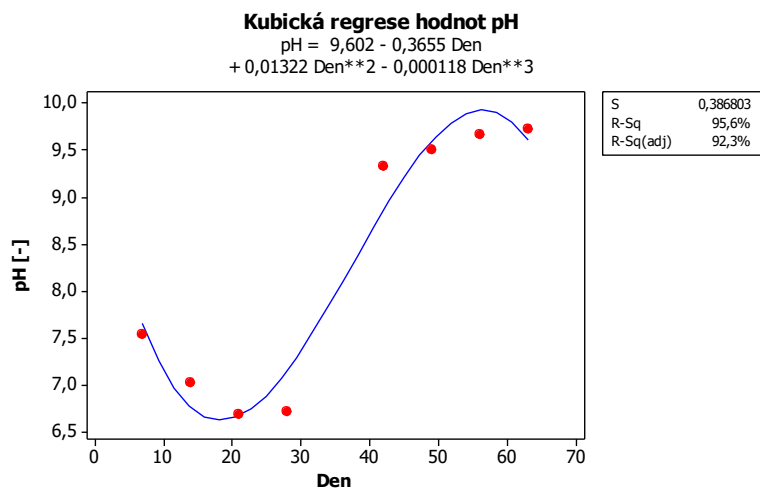
Podrobněji se o pH dočtete v kapitole 2.4.5. Hodnoty pH jednotlivých nádrží jsou dosti rozdílné. Nejvyrovnanějších výsledků dosáhla nádrž s plovoucím ostrovem, kde se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí od 7,87 do 6,98. Naopak ve druhé nádrži s plovákem a ve třetí nádrži s volnou hladinou docházelo k velkým výkyvům hodnot pH. Hodnoty pH v nádrži L03 se pohybovaly po celou dobu druhé etapy v zásadité oblasti a od třetího týdne se hodnoty začaly zvyšovat až na konečnou hodnotu 10,08, přičemž počáteční hodnota činila 8,56. Počáteční hodnota L02 byla 7,54, poté docházelo 28 dní k poklesu pH na hodnotu 6,71, ale po tomto období docházelo ke vzrůstu až na konečnou hodnotu 9,72. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami zákálu u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění není u všech nádrží podobná. Nejspolehlivější je nádrž L02 dosáhla hodnoty 71,2 %, druhé nejvyšší procento jistoty měla nádrž L03 (45,3 %). Nejméně spolehlivá je nádrž L01 s 24,2 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty pH větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 92,3 % nádrž s plovákem, druhá byla nádrž s volnou hladinou s 49,4 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovoucím ostrovem s 46,0 %.



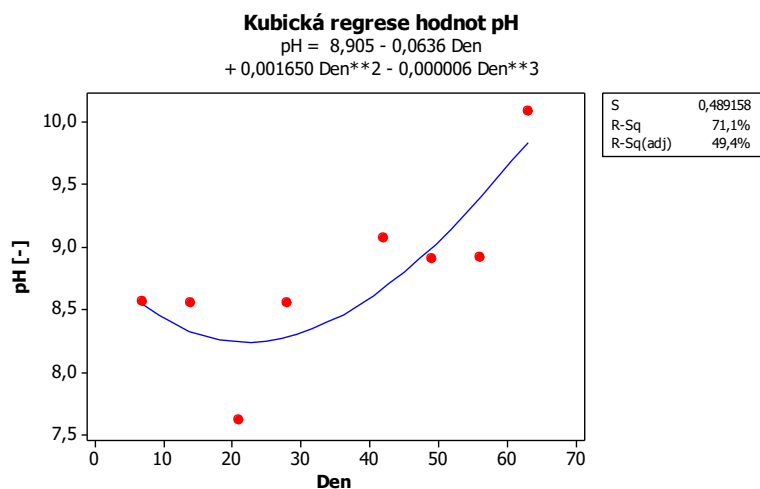
Obrázek č. 84: Graf hodnot pH v jednotlivých nádržích ve druhé etapě



Obrázek č. 85: Graf hodnot pH v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



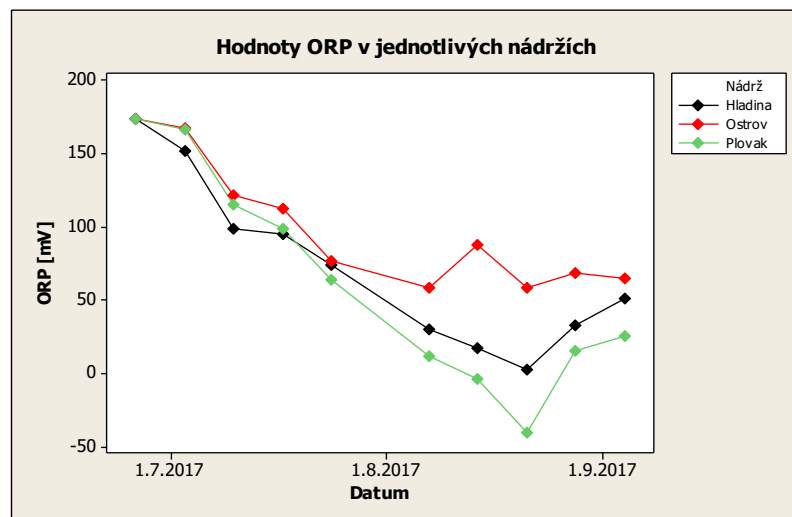
Obrázek č. 86: Graf hodnot pH v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



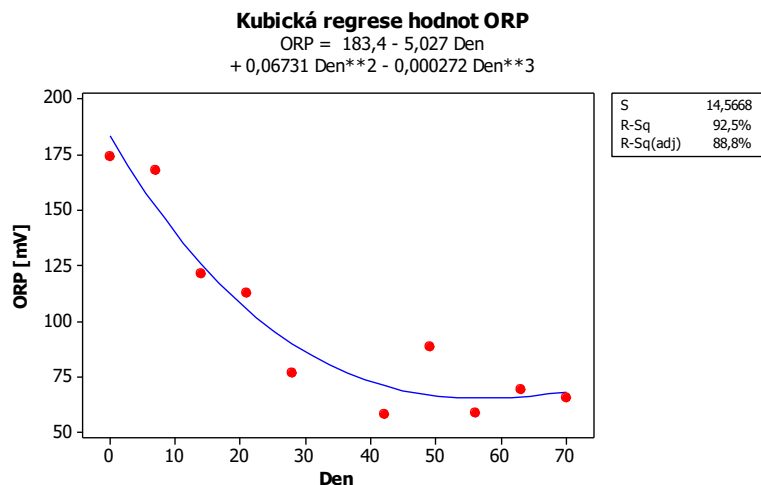
Obrázek č. 87: Graf hodnot pH v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.2.7 ORP

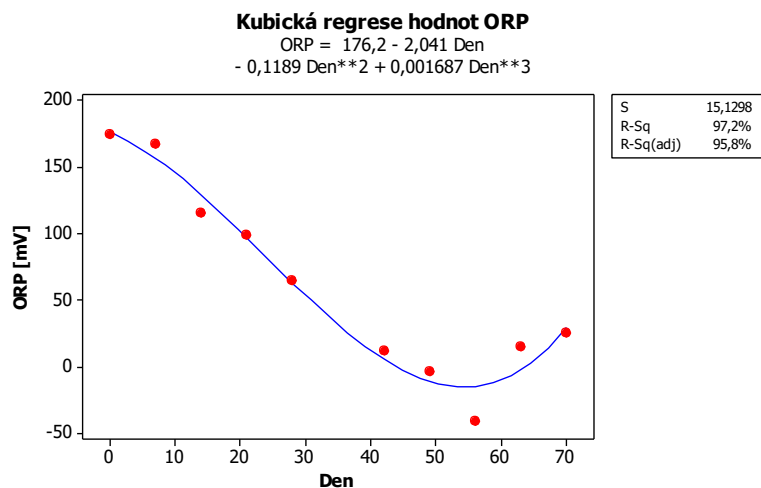
Hodnota ORP ve všech případech postupně klesala z původní hodnoty +174,2 mV. Nejnížší hodnoty dosahuje v 8. týdnu nádrž L02 (hodnota -40,5 mV), naopak nejvyšších hodnot dosahuje nádrž L01 s mokřadními rostlinami. Hodnoty klesají nejméně ze všech tří sledovaných nádrží. Obdobně jako v první etapě, nejvyšších průměrů (i mediánů) dosahuje L01 s přítomnými rostlinami. Nejhorší hodnoty dosahuje nádrž L02. V této „letní“ etapě lze tedy pozorovat vliv otevřené hladiny na oxidačně-redoxní charakteristiku vodního prostředí. Oproti jarní etapě, kdy tomu tak nebylo. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami ORP u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost je celkem vysoká a výsledky lze považovat za hodnotné. Nejspolehlivější je nádrž L02 se 78,0 %, poté následuje nádrž L02 se 73,7 % a jen o 0,4 % méně má L01. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty zákalu mnohem větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 96,0 % nádrž s volnou hladinou, druhá byla nádrž s plovákem s 95,6 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovoucím ostrovem s 88,8 %.



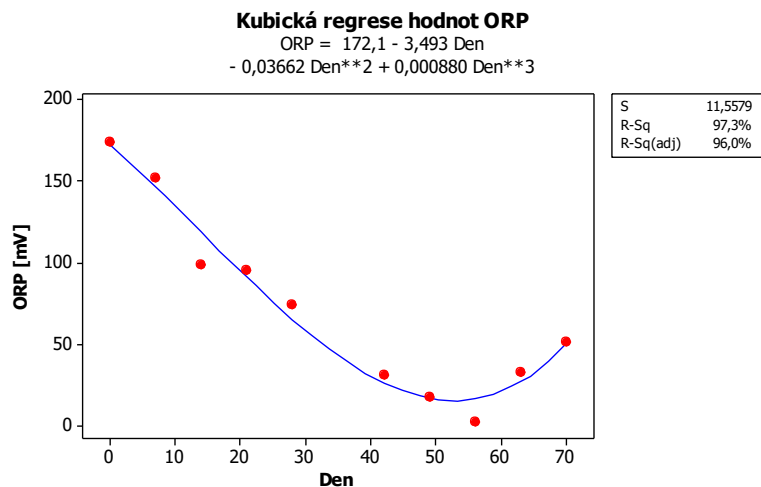
Obrázek č. 88: Graf hodnot ORP v jednotlivých nádržích ve druhé etapě



Obrázek č. 89: Graf hodnot ORP v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



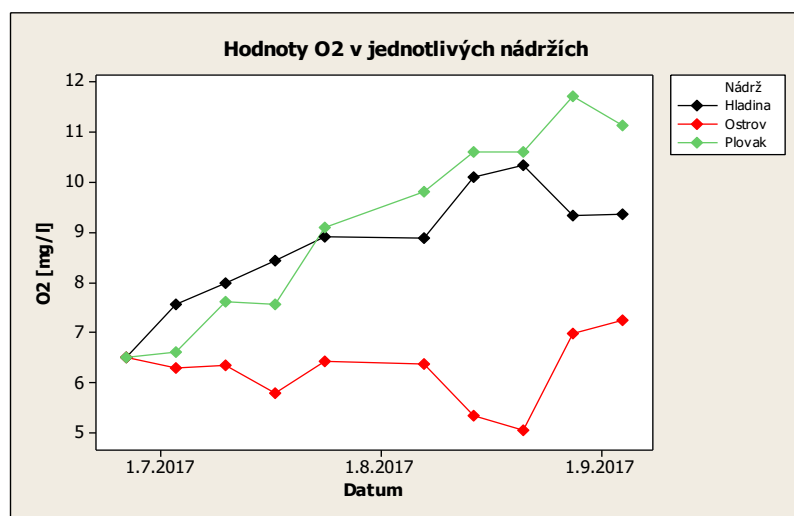
Obrázek č. 90: Graf hodnot ORP v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



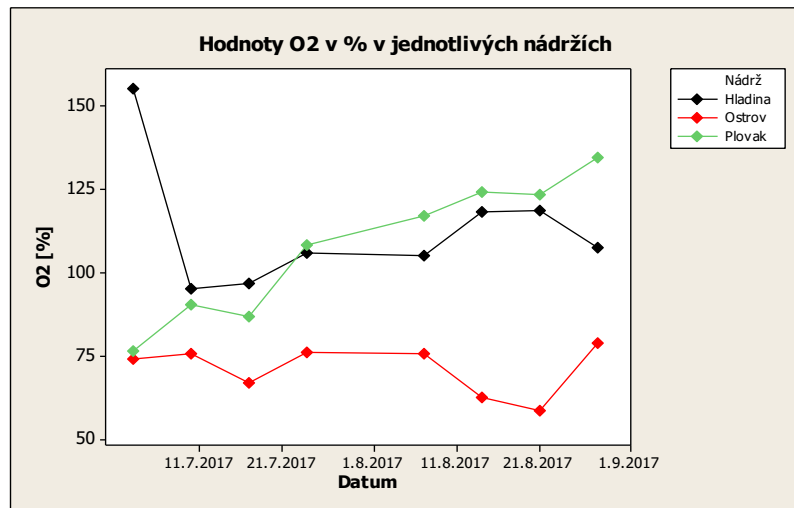
Obrázek č. 91: Graf hodnot ORP v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.2.8 Rozpuštěný kyslík

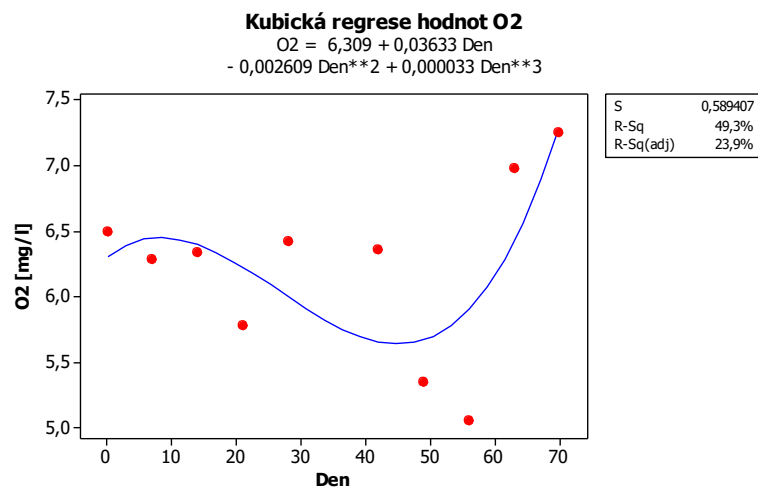
Měření rozpuštěného kyslíku v druhé (letní) etapě ukazuje opačný trend ve srovnání s první (jarní) etapou. Startovací hodnota ve všech nádržích je 6,49 mg/l. Hodnoty u nádrží bez rostlin vykazují postupně zvyšující se koncentrace rozpuštěného kyslíku, zatímco nádrž s mokřadními rostlinami vykazuje setrvávající stav. Hodnoty přítomného kyslíku ukazují postupně se zvyšující koncentraci v nádrži L03 s volnou hladinou. Tato hodnota se postupně snižuje až k hodnotě 9,36 mg/l. Nižších a poměrně stabilních hodnot dosahují výsledky u nádrže L01 s plovoucím ostrovem. Hodnota na konci měření je 7,25 mg/l, což vykazuje celkem stabilní hodnoty po celou etapu. Průměrné hodnoty rozpuštěného kyslíku jsou nejnižší v případě plovoucího ostrovu s mokřadními rostlinami ($6,23 \pm 0,676$) mg/l. Hodnota v L02 se postupně zvyšuje až k hodnotě 11,12 mg/l. Hodnoty v L02 jsou v průběhu druhé poloviny měření letní etapy nejvyšší. Nejvyšších průměrných hodnot dosahuje nádrž se zakrytou vodní hladinou plovákem ($9,509 \pm 0,78$) mg/l. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami rozpuštěného kyslíku u všech tří nádrží vyplynulo, že jistota je celkem ucházející jen u L02 a L03. Nejspolehlivější je nádrž L02 se 95,0 % a poté následuje nádrž L03 se 71,7 %. Nejméně spolehlivá je nádrž L01 s 0,0 % stejně jako v první etapě. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty zákalu mnohem větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 96,0 % nádrž s plovákem, druhá byla nádrž s volnou hladinou s 86,3 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovoucím ostrovem se 23,9 %.



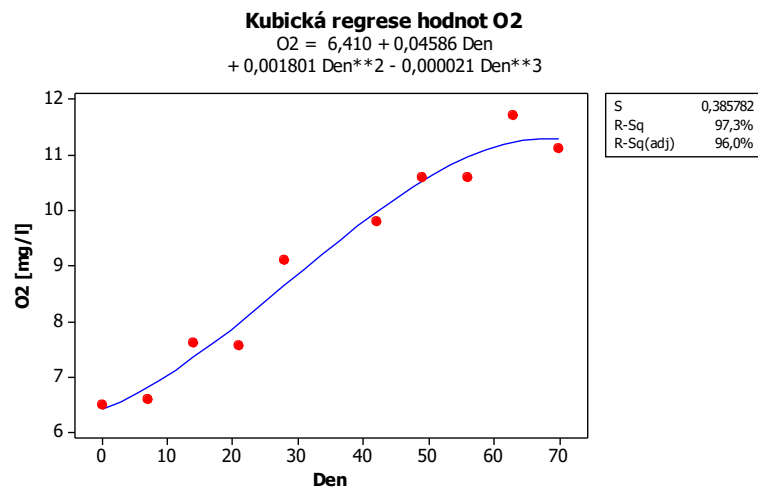
Obrázek č. 92: Graf hodnot O₂ v jednotlivých nádržích ve druhé etapě



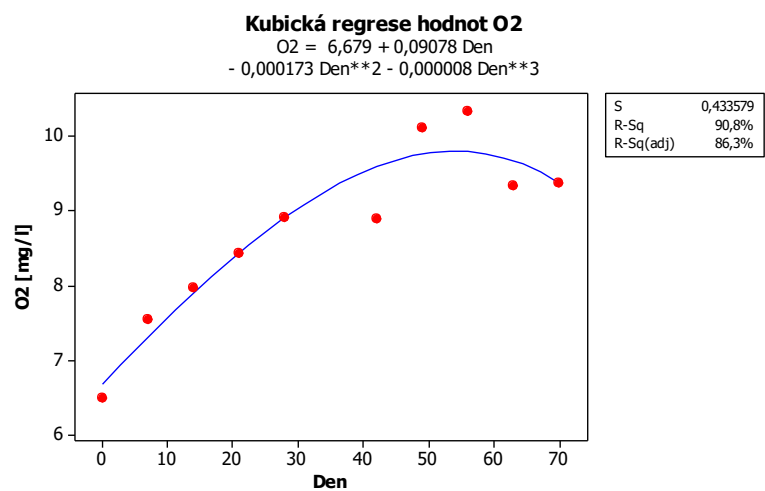
Obrázek č. 93: Graf hodnot O₂ v % v jednotlivých nádržích ve druhé etapě



Obrázek č. 94: Graf hodnot O₂ v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



Obrázek č. 95: Graf hodnot O₂ v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou

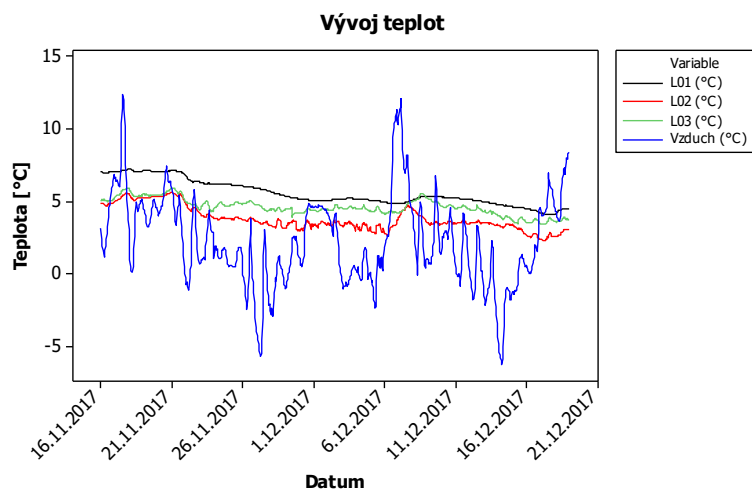


Obrázek č. 96: Graf hodnot O₂ v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.3 Třetí etapa - zima

Třetí etapa probíhala v zimě roku 2017, začala smícháním odpadní vody s vodou dešťovou, rozdělením do jednotlivých nádrží a prvním odběrem vzorků 16. 11. 2017 a skončila posledním odběrem 18. 12. 2017. Dovezená odpadní voda z čistírny odpadních vod Dražovice byla nalita do jedné nádrže o objemu 1 m³ a doplněna vodou dešťovou až po víko. Stejně jako na začátku druhé etapy, ale odlišně od první etapy, kdy byly nádrže plněny každá zvlášť. Nádrž s plovoucím ostrovem spolehlivě odstranila koncentrace sledovaných faktorů a bylo vyhodnoceno, že kořenový systém rostlin napomáhá ke zrychlení procesu čištění vody.

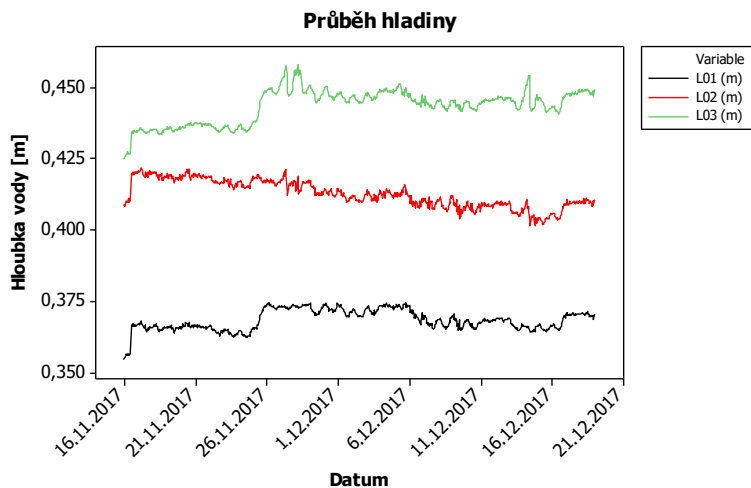
Teplota vzduchu se v průběhu třetí etapy pohybovala v rozmezí od -6 °C do +12 °C. To se samozřejmě projevilo také na teplotě vody v nádrži. Teplota vody v nádrži s plovoucím ostrovem (L01) se pohybovala od +4 °C do +7 °C. Tuto nádrž můžeme vyhodnotit jako nejteplejší a z grafu (viz obrázek č. 97) se dá vypožorovat, že plovoucí ostrov působil jako tepelná izolace, čemuž nasvědčuje téměř hladká křivka vývoje teplot a její nízké kolísání při teplotních výkyvech vzduchu. K menšímu ovlivnění okolní teplotou docházelo v nádrži s plovákem (L02), kde se teploty pohybovaly ve stejném rozmezí od +2 °C do +6 °C. Zde jsou patrné mírné výkyvy teplot. V nádrži s volnou hladinou by se daly očekávat nejnižší teploty a největší výkyvy teplot během třetí etapy. Rozmezí teplot, od +3 °C do +6 °C tomu všem nenasvědčuje a teplota vody je po celou třetí etapy vyšší než v nádrži s plovákem, která by mohla fungovat jako izolace. Lze tedy jednoznačně konstatovat, že samotný nosič bez vegetace nijak nepřispívá k teplejší vodě, ale plovoucí ostrov s rostlinnou vegetací pozitivně ovlivňuje teplotu vody v nádrži a zabraňuje k jejím prudkým výkyvům.



Obrázek č. 97: Graf vývoje teploty vody v nádrži a vzduchu ve třetí etapě

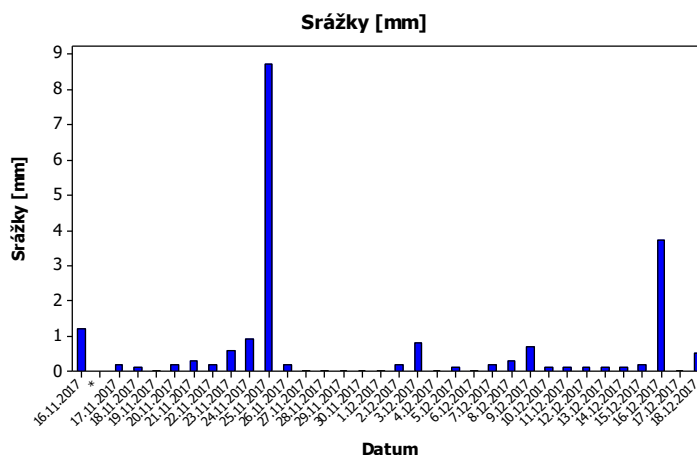
Průběh, který by se dal očekávat v této zimní etapě, tzn. menší výpar vody a nízký úhrn srážek, byl skutečně pozorován. Počáteční hloubka vody v nádrži s plovoucím ostrovem činila 35,5 cm, v nádrži s plovákem 40,9 cm a v nádrži s volnou hladinou byla počáteční hloubka vody 42,5 cm. Voda ve všech nádržích na konci této etapy dosahovala vyšší hladiny než na začátku pozorování. Nejvíce vody přibýlo v nádrži s volnou hladinou, kde voda dosahovala na konci třetí etapy hloubky 44,9 cm,

to znamená, že přibýlo 2,4 cm. Hloubka vody na konci druhé etapy v nádrži L01 byla 37,1 cm. To je vzrůst vodní hladiny v nádrži L01 o necelé 2 cm. Hloubka vody na konci druhé etapy v nádrži L02 činila 41,1 cm, což je minimální vzrůst vodní hladiny. Nejvýraznější vzrůst vodní hladiny nastal kolem 25. 11. 2017.



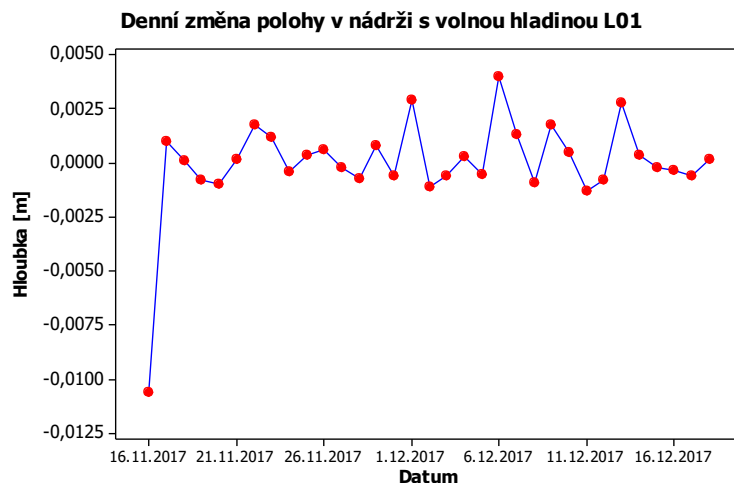
Obrázek č. 98: Graf vývoje hladiny vody v nádržích v první etapě

V průběhu třetí etapy se nevyskytovaly téměř žádné větší úhrny srážek. Ve druhé etapě spadlo více srážek z důvodu letních bouřek. Největší dešť nastal 25. 11. 2017, když spadlo 8,7 mm srážkové vody. Další významné množství deště spadlo 16. 12. 2017, bylo to 3,7 mm. Ostatní spadlé srážky byly do 1,2 mm za den.

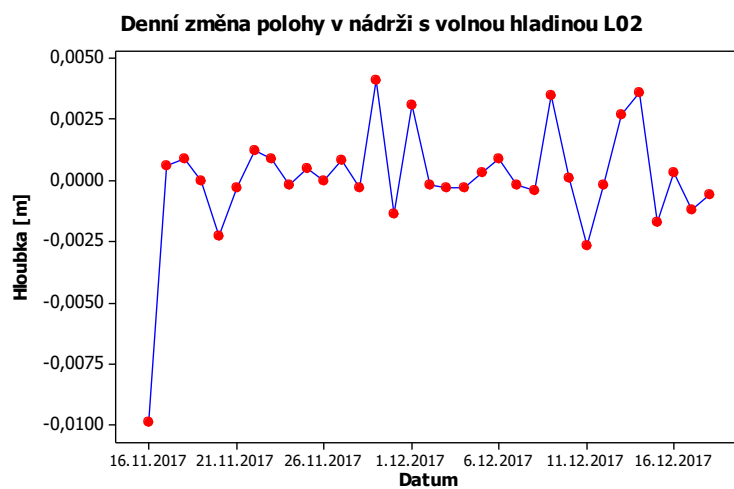


Obrázek č. 99: Graf srážek v jednotlivých dnech třetí etapy

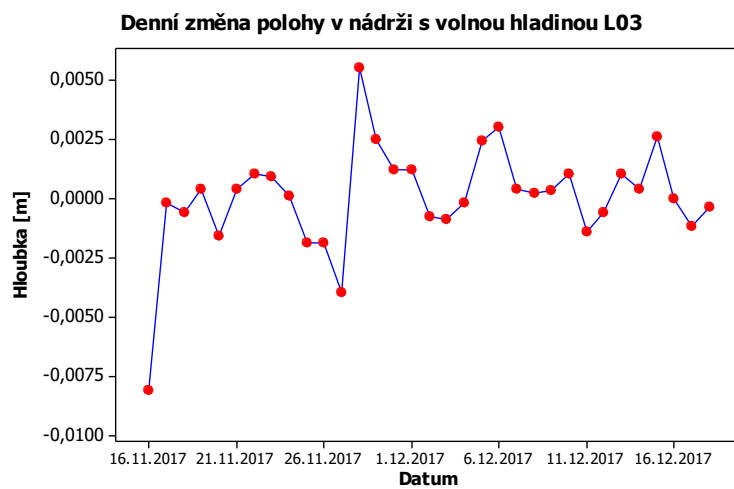
Kvůli nízkým teplotám a menšímu úhrnu srážek se nedal předpokládat vysoký výpar z jednotlivých nádrží. Zdaleka nebylo dosaženo tak vysokých hodnot výparu jako v první a druhé etapě. Hodnoty výparu nebo přibývání vody v nádrži jsou v rovnováze ve všech nádržích. V nádrži s plovoucím ostrovem byl výpar vyrovnanější než v nádrži s volnou hladinou, kde výpar více kolísal. Výpar nedosáhl tak vysokých hodnot, a tak i nižší úhrn srážek způsobil, že počáteční a koncové měření hloubky je takřka totožné. Kladné hodnoty v grafech značí výpar a záporné hodnoty značí naopak přibýtek vody v nádrži, s největší pravděpodobností se jedná o srážky.



Obrázek č. 100: Graf denní změny polohy hladiny v nádrži L01



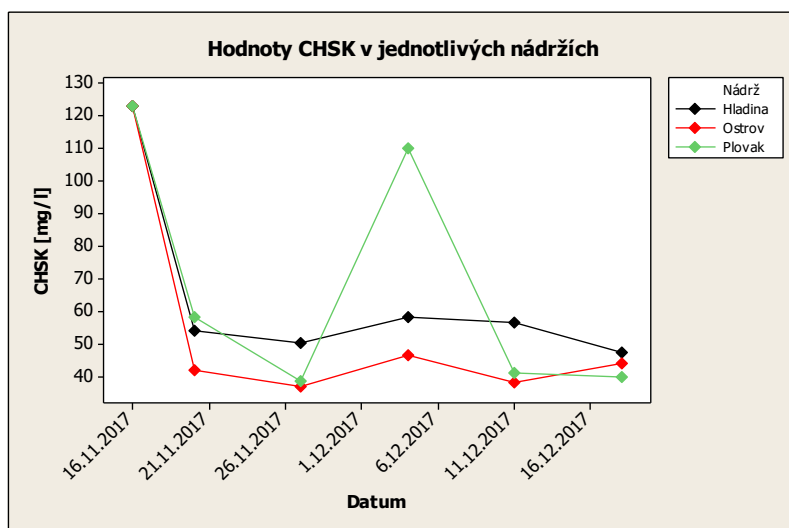
Obrázek č. 101: Graf denní změny polohy hladiny v nádrži L02



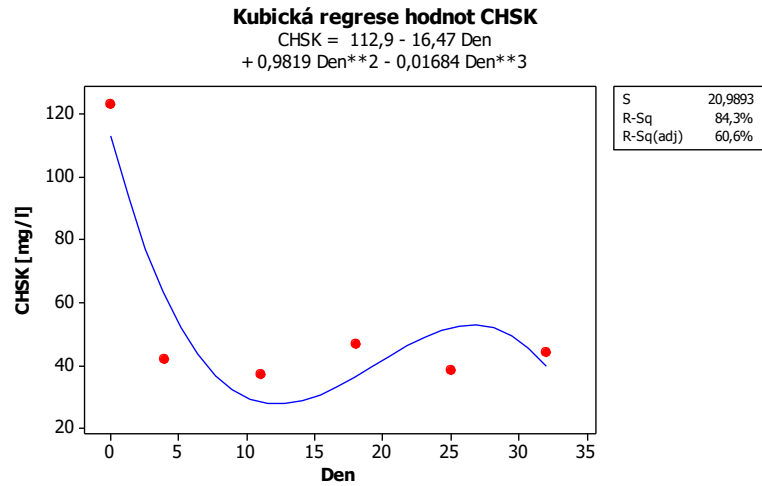
Obrázek č. 102: Graf denní změny polohy hladiny v nádrži L03

5.3.1 Chemická spotřeba kyslíku

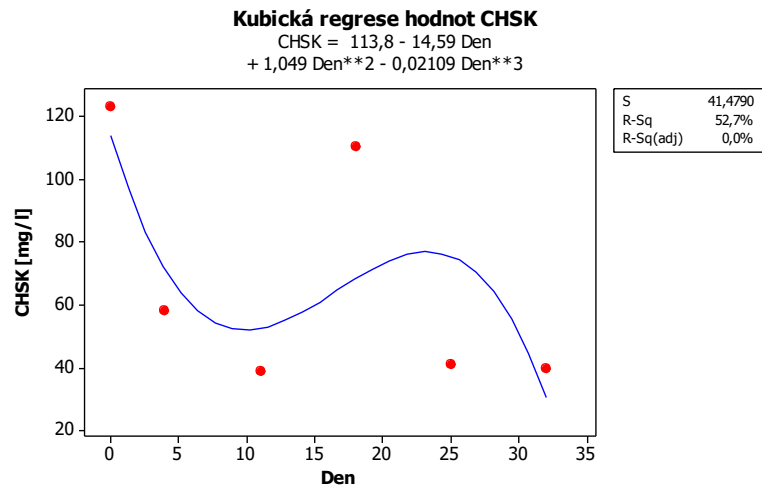
Podrobněji se o chemické spotřebě kyslíku dočtete v kapitole 2.4.7. Ve třetí etapě dochází také k očekávaným výsledkům u hodnot CHSK. Startovací hodnota ve všech nádržích byla 123,0 mg/l. Hned po prvním týdnu třetí etapy a provedení kyvetového testu se ukázalo, že hodnoty CHSK se snižují ve všech nádržích, v následujících odběrech dochází ke kolísání hodnot u všech nádrží, ale nejnižší hodnoty byly dosaženy v nádrži L01. Po třech týdnech od zahájení zimní etapy byla naměřena hodnota 110,0 mg/l CHSK v nádrži s plovákem, důvod však není znám, ale v následujících měření se vrátilo vše do normálu. Může se tak jednat o selhání lidského faktoru nebo selhání techniky. Na konci měření dosahuje znečištění CHSK ve všech nádržích téměř stejné hodnoty. Největší rozdíly nastaly po prvním týdnu měření, kde znečištění nejlépe odstraňoval plovoucí ostrov. Koncové znečištění zimní etapy činilo v nádrži s plovoucím ostrovem 44 mg/l, v nádrži s plovákem hodnoty 39,7 mg/l a jako nejhorší je nádrž s volnou hladinou L03, kde bylo při posledním odběru zjištěno 47,3 mg/l CHSK. U všech tří nádrží se ukazuje jako nejvíce účinné období během prvních 3 týdnů, kdy se hodnoty stabilizovaly. Největší účinnost však ukázala nádrž s plovoucím ostrovem, ve které došlo nejenže nejrychleji ke snížení koncentrace CHSK, ale také k nejvyšší účinnosti. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami CHSK u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění je přibližně stejná. Nejspolehlivější je nádrž L03, dosáhla hodnoty 22,9 %, druhé nejvyšší procento jistoty měla nádrž L01 (16,3 %). Nejméně spolehlivá je nádrž L02 s 8,9 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty CHSK větších jistot až na nádrž L02, která vykazovala nulovou závislost výsledků. Největší účinnost se 71,0 % měla nádrž s volnou hladinou, druhá byla nádrž s plovoucím ostrovem se 60,6 %.



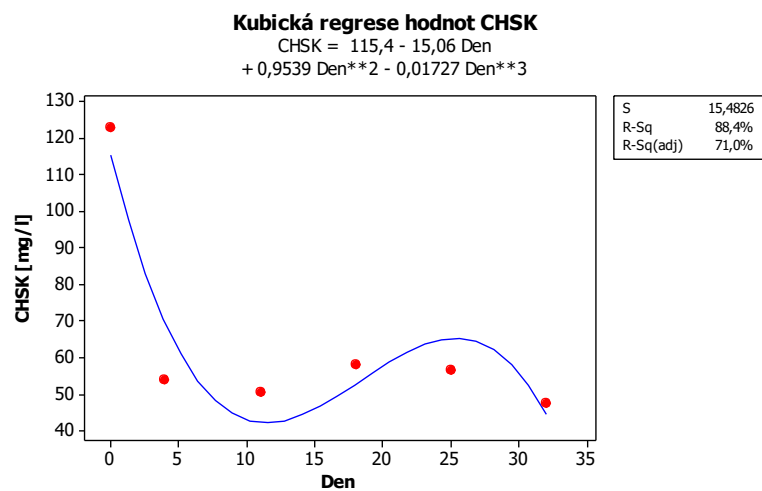
Obrázek č. 103: Graf hodnot CHSK v jednotlivých nádržích ve třetí etapě



Obrázek č. 104: Graf hodnot CHSK v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



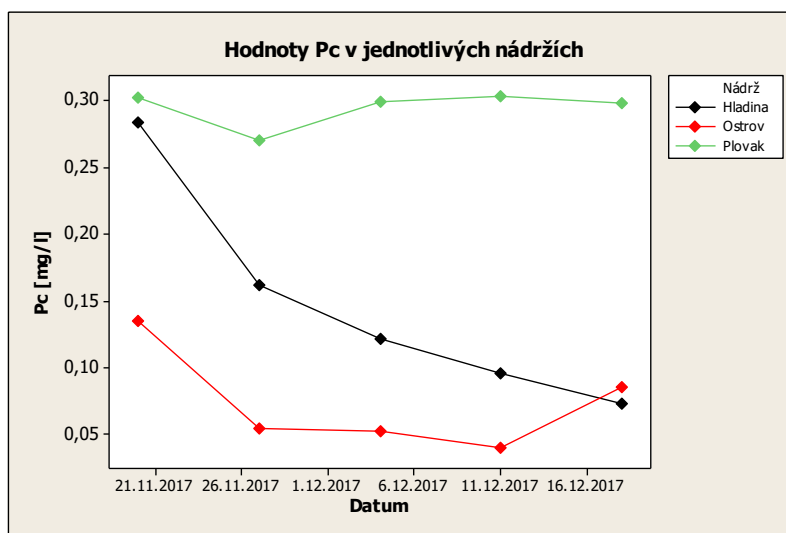
Obrázek č. 105: Graf hodnot CHSK v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



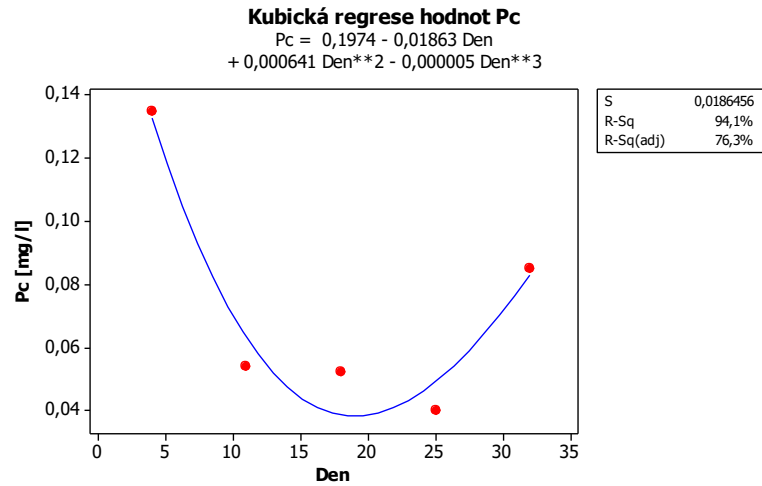
Obrázek č. 106: Graf hodnot CHSK v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.3.2 Celkový fosfor

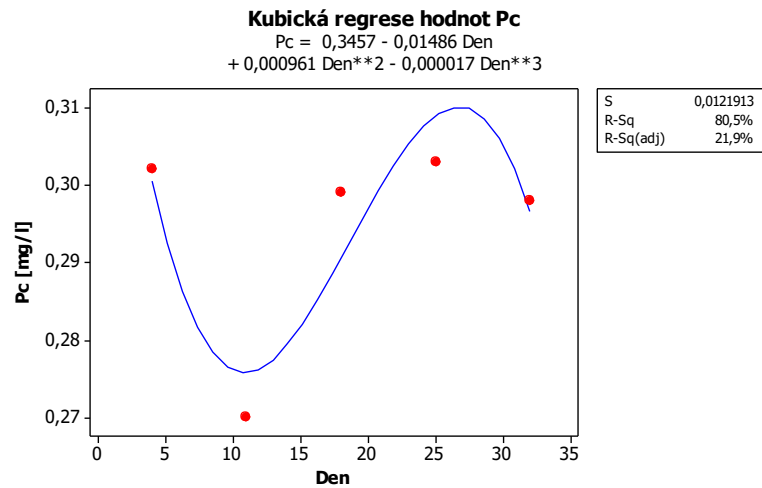
Ve všech třech nádržích došlo již během prvního týdne k výraznému snížení koncentrace. Bohužel není počáteční hodnota známa, mohu ji pouze odhadnout na nějakých 0,45-0,60 mg/l, ale jisté je to, že byla ve všech nádržích stejná. V první nádrži s plovoucím ostrovem během prvního týdne došlo ke snížení na hodnotu 0,135 mg/l celkového fosforu a během dalšího týdne na hodnotu 0,054 mg/l. Na konci období došlo opět ke vzrůstu koncentrace celkového fosforu na 0,085 mg/l, ale i tak je to hodnota srovnatelná s hodnotou, která byla zaznamenána již po 3 týdnech. Ve druhé nádrži s plovákem činila hodnota již po prvním týdnu měření 0,302 mg/l a během dalšího týdne mírně klesla na 0,270 mg/l, ale výrazně nižších hodnot koncentrace celkového fosforu nedosáhla během celé třetí etapy. Všechny hodnoty lze ovšem označit za velmi vyrovnané neboť se pohybovaly v rozmezí od 0,270 do 0,303 mg/l. Ve třetí nádrži s volnou hladinou byla koncentrace celkového fosforu po týdnu 0,284 mg/l a za další týden byla koncentrace celkového fosforu 0,162 mg/l, poté docházelo k pozvolnému poklesu až na konečnou koncentraci celkového fosforu 0,073 mg/l. V nádrži s plovoucím ostrovem došlo k největšímu a nejrychlejšímu snížení koncentrace. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami celkového fosforu se spolehlivost odstranění celkového fosforu u nádrže L01 a L02 proti L03 značně liší. Nejspolehlivější hodnoty vykazuje nádrž L03 s 81,1% jistotou. Nádrž s plovoucím ostrovem a plovákem nevykazují žádnou závislost naměřených hodnot. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty P_c mnohem větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 99,5 % nádrž s volnou hladinou, druhá byla nádrž s plovoucím ostrovem se 76,3 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovákem se 21,9 %. Zajímavé je, že nádrž s volnou hladinou vykazuje téměř stoprocentní jistotu závislosti výsledků.



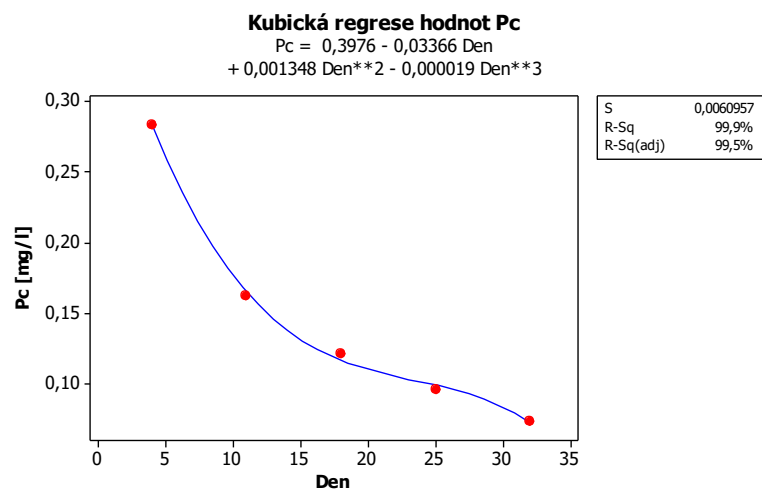
Obrázek č. 107: Graf hodnot celkového fosforu v jednotlivých nádržích ve třetí etapě



Obrázek č. 108: Graf hodnot P_c v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



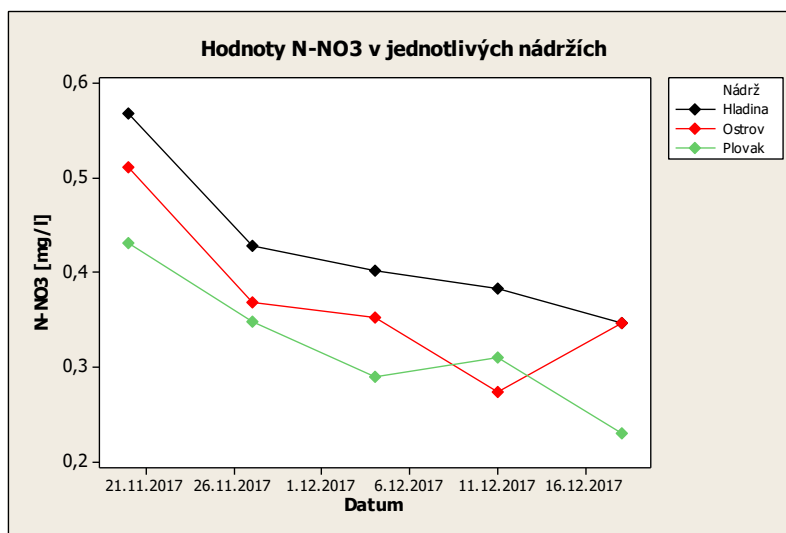
Obrázek č. 109: Graf hodnot P_c v nádrži s plůvkem proložený kubickou regresní křivkou



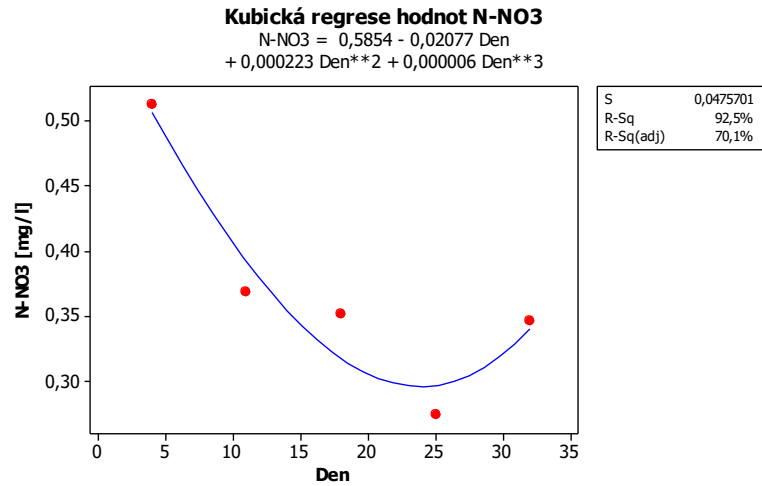
Obrázek č. 110: Graf hodnot P_c v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.3.3 Dusičnanový dusík

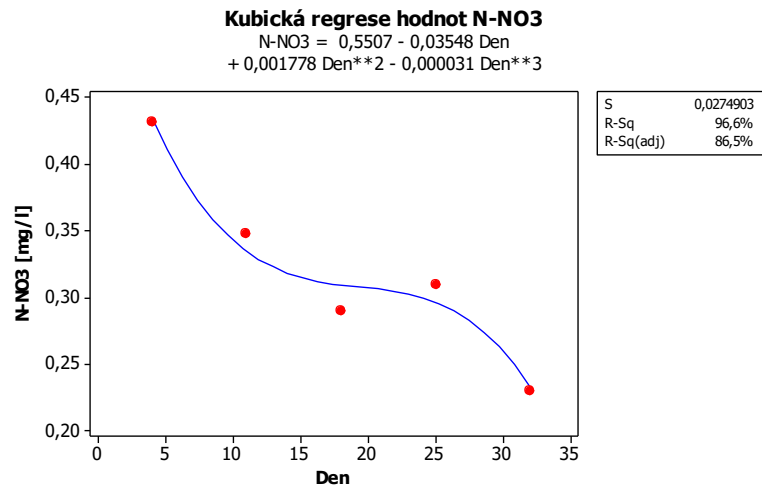
Úbytek koncentrace dusičnanového dusíku má u všech tří nádrží podobný průběh. Bohužel není počáteční hodnota známa, můžeme ji pouze odhadnout na nějakých 0,60-0,80 mg/l, ale jisté je to, že byla ve všech nádržích stejná. U první nádrže s plovoucím ostrovem byla hodnota po prvním týdnu měření 0,512 mg/l během třetí etapy došlo ke snížení na hodnotu 0,274 mg/l dusičnanového dusíku, ale ke konci etapy došlo opět ke vzrůstu na 0,346 mg/l. Ve druhé nádrži s plovákem činila počáteční hodnota 0,432 mg/l a po uplynutí první etapy ukázalo měření hodnotu 0,230 mg/l. Ve třetí nádrži s volnou hladinou byla koncentrace dusičnanového dusíku po prvním týdnu nejvyšší a to 0,569 mg/l, ale na konci první etapy už byla naměřena hodnota 0,347 mg/l, která je totožná s koncentrací v nádrži L01. Nádrž s plovákem sice graficky tvoří nejnižší křivku, ale rozdíly nejsou zase tak markantní. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami dusičnanového dusíku u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění se u nádrží liší, ale pouze nádrže s plovákem a volnou hladinou dosahují spolehlivých hodnot. Nejspolehlivější je nádrž L02 se 82,9 % a poté následuje nádrž L03 se 76,6 %. Nejméně spolehlivá je nádrž L01 s 47,0 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty $N-NO_3^-$ větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 98,7 % nádrž s volnou hladinou, druhá byla nádrž s plovoucím ostrovem se 86,5 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovákem se 70,1 %.



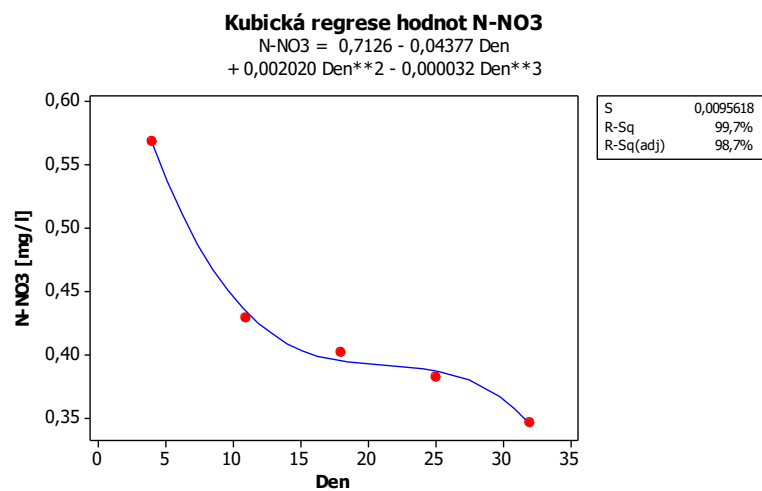
Obrázek č. 111: Graf hodnot dusičnanového dusíku v jednotlivých nádržích ve třetí etapě



Obrázek č. 112: Graf hodnot N-NO₃ v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



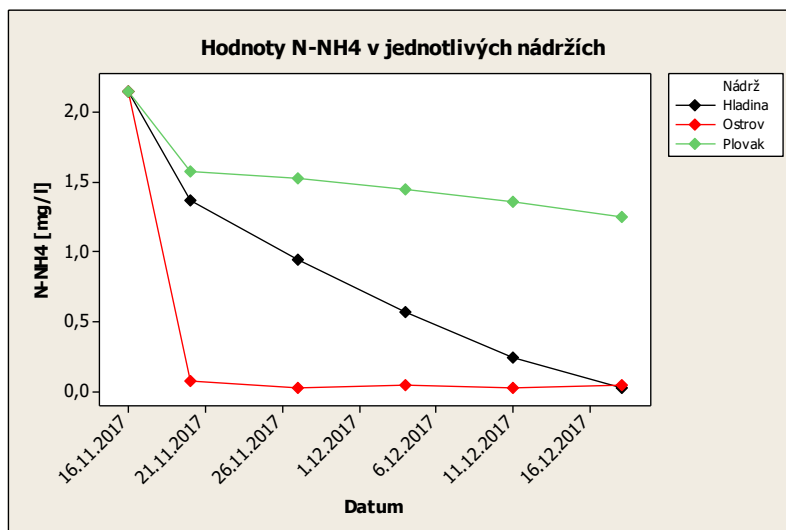
Obrázek č. 113: Graf hodnot N-NO₃ v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



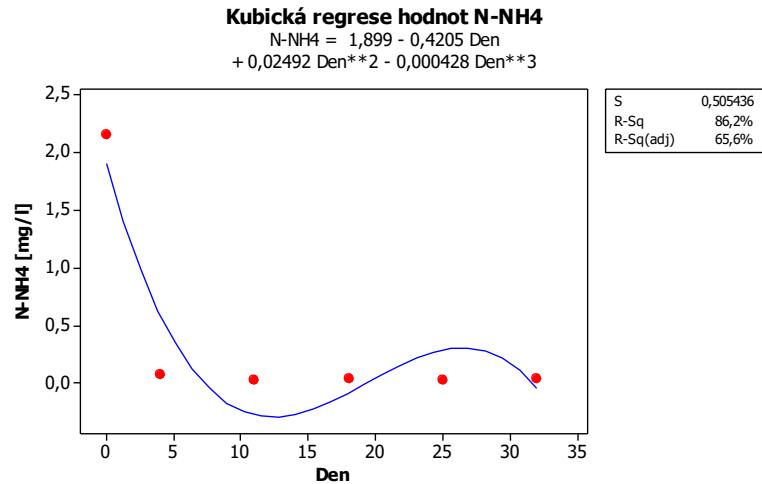
Obrázek č. 114: Graf hodnot N-NO₃ v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.3.4 Amoniakální dusík

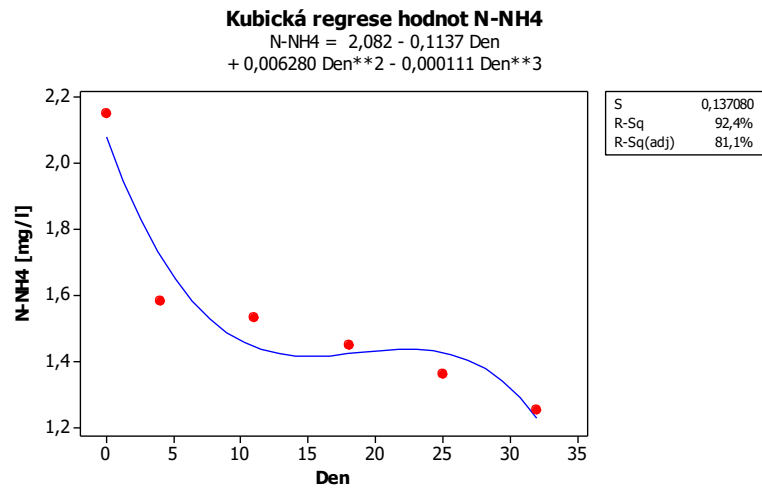
Během třetí etapy se opět ukazuje, že doba zdržení 7 dní v nádrži s plovoucím ostrovem je dostatečná k účinnému snížení koncentrace amoniakálního dusíku na hodnoty v oblasti 0–0,1 mg/l. Počáteční hodnota koncentrace amoniakálního dusíku ve všech nádržích činila 2,15 mg/l. Jako neúčinnější se během prvního týdne prokázal suverénně plovoucí ostrov s mokřadní vegetací, když už po prvním týdnu byla koncentrace amoniakálního dusíku 0,074 mg/l a hodnota koncentrace na konci třetí etapy byla snížena na 0,040 mg/l, zatímco plovákem bez mokřadní vegetace je dosaženo po prvním týdnu hodnoty 1,58 mg/l a při volné vodní hladině je po sedmi dnech hodnota snížena na 1,37 mg/l. Koncová hodnota koncentrace amoniakálního dusíku v nádrži L02 činila 1,25 mg/l a v nádrži L03 0,022 mg/l. Trend u nádrže L01 ukazuje, že hodnota je velice účinně snížena již během prvního týdne, což je asi nejdůležitější výsledek v této etapě měření. Mimochodem stejného výsledku bylo dosaženo i v etapě druhé. Při volné vodní hladině se obdobného výsledku dosahuje až po 35 dnech. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami amoniakálního dusíku u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění se u všech nádrží podstatně liší. Nejspolehlivější hodnoty vykazuje nádrž L03 s 90,2% jistotou a poté následuje nádrž L02 s 65,6 %. Nejméně spolehlivá je nádrž L01 s 20,7 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty N-NH₄ výrazně větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 97,2 % nádrž s volnou hladinou, druhá byla nádrž s plovákem se 81,1 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovoucím ostrovem s pouze 65,6 %.



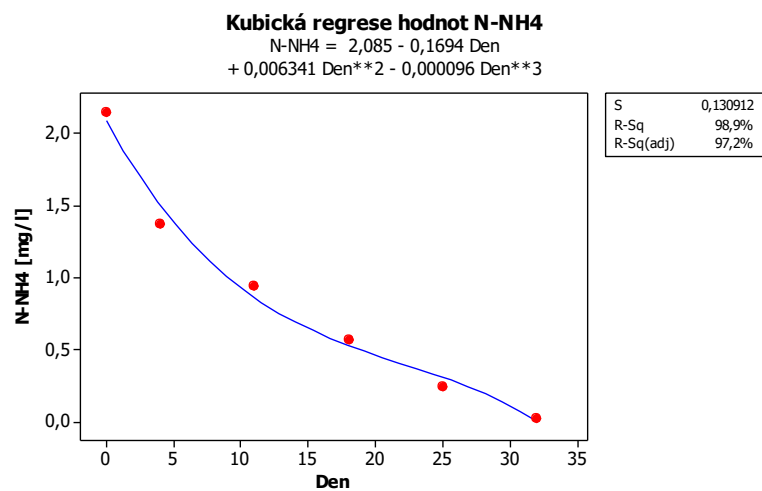
Obrázek č. 115: Graf hodnot amoniakálního dusíku v jednotlivých nádržích ve třetí etapě



Obrázek č. 116: Graf hodnot N-NH₄ v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



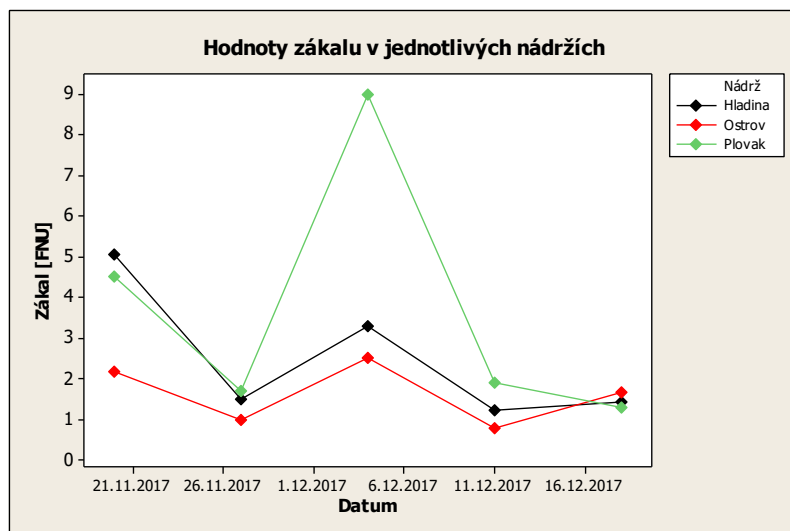
Obrázek č. 117: Graf hodnot N-NH₄ v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



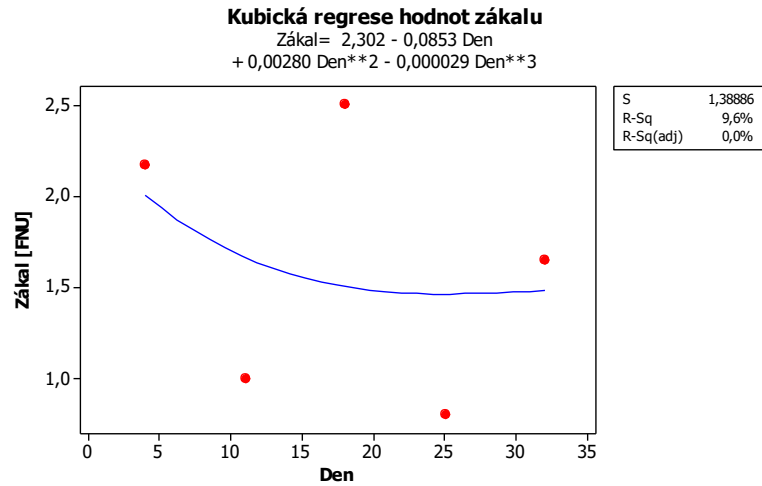
Obrázek č. 118: Graf hodnot N-NH₄ v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.3.5 Zákal

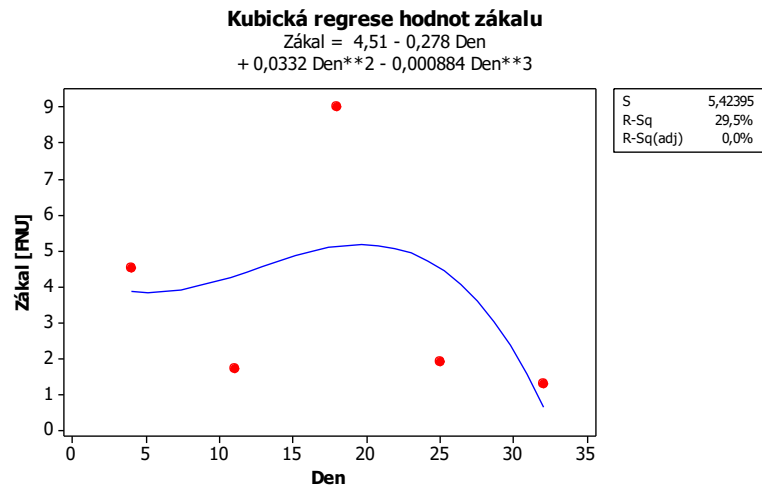
Na rozdíl u první a druhé etapy se průběh zákalu u jednotlivých nádrží vyvíjel velmi podobně. Bohužel není počáteční hodnota známa, můžeme ji pouze odhadnout na nějakých 6,0-7,0 FNU, ale jisté je to, že byla ve všech nádržích stejná. U první nádrže s plovoucím ostrovem klesla během prvního týdne hodnota zákalu na 2,17 FNU a během celé třetí etapy dochází k mírnému kolísání až na koncovou hodnotu 1,65 FNU. Ve druhé nádrži s plovákem klesla během prvního týdne počáteční hodnota na 4,52 FNU a po uplynutí třetí etapy ukázalo měření hodnotu 1,30 FNU. Maximální hodnota zákalu 9,0 FNU byla naměřena 4. 12. 2017. Ve třetí nádrži s volnou hladinou byl počáteční zákal snížen po týdnu na 5,06 FNU. Během celé třetí etapy dochází k mírnému kolísání až na koncovou hodnotu 1,44 FNU. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami zákalu u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění je u téměř všech nádrží stejná. Zde vykazovala nejvyšší spolehlivost 35,2 % nádrž s plovákem, ostatní dvě nádrže nevykazovaly žádnou závislost mezi výsledky. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty zákalu stejných jistot. Všechny tři křivky proložené hodnotami zákalu neměly totiž žádnou závislost.



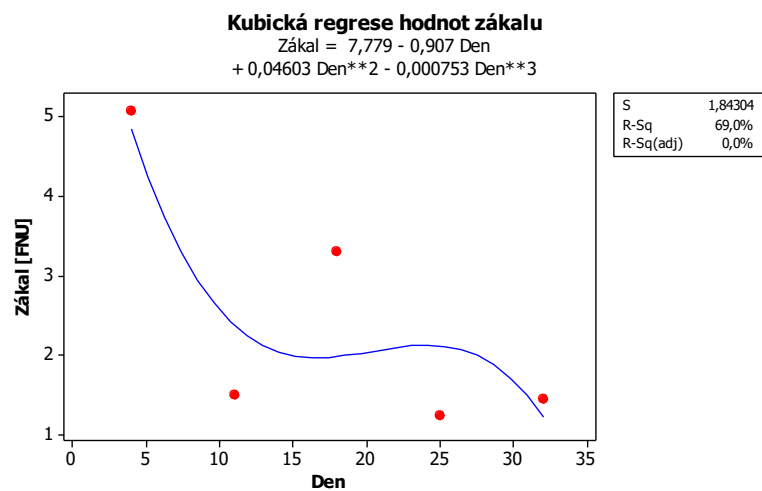
Obrázek č. 119: Graf hodnot zákalu v jednotlivých nádržích ve třetí etapě



Obrázek č. 120: Graf hodnot zákalu v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



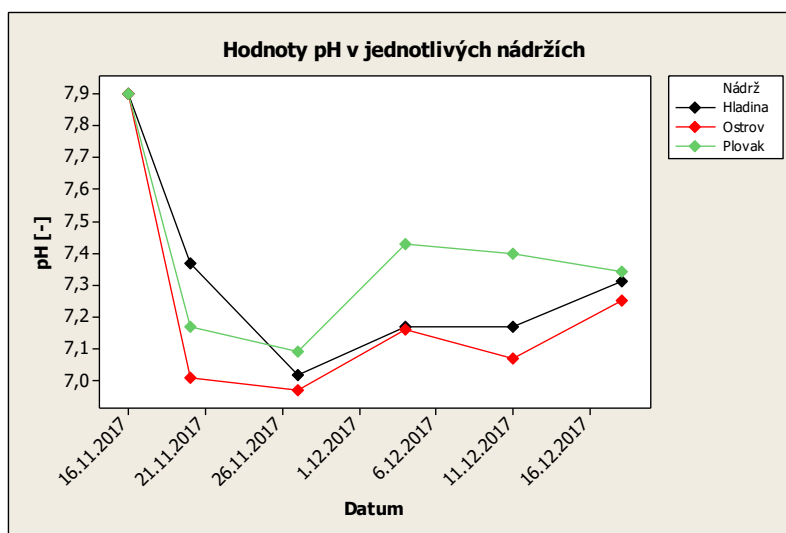
Obrázek č. 121: Graf hodnot zákalu v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



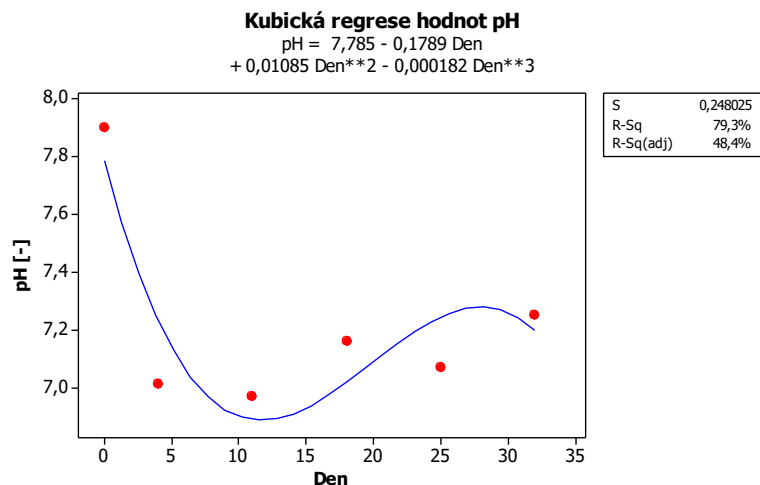
Obrázek č. 122: Graf hodnot zákalu v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.3.6 pH

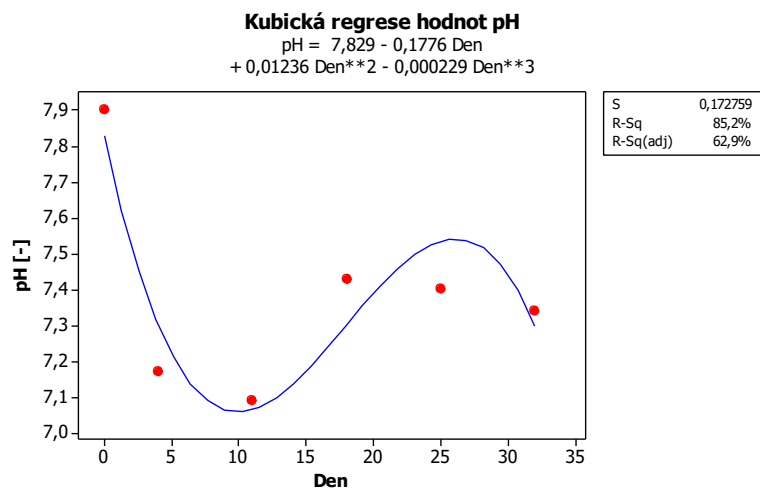
Podrobněji se o pH dočtete v kapitole 2.4.5. Hodnoty pH jednotlivých nádrží jsou celkem rozdílné, ale nižší než je počáteční hodnota pH (7,90). Nejvyrovnanějších výsledků dosáhla nádrž s plovoucím ostrovem, kde se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí od 6,97 do 7,25, pomineme-li počáteční hodnotu. Podobný průběh měly hodnoty pH v nádrži s volnou hladinou. Bez počáteční hodnoty se pH pohybovalo v rozmezí 7,02 až 7,37. Naopak ve druhé nádrži s plovákem docházelo k velkým výkyvům hodnot pH. Počáteční hodnota v L02 poklesla po 14-ti dnech na minimální hodnotu 7,09, poté došlo k nárůstu na 7,43. Od této doby docházelo až po konec třetí etapy k mírnému poklesu pH v nádrži s plovákem až na 7,34. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami zákalu u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost odstranění je téměř stejná. Pouze u nádrže s volnou hladinou nedosáhla nulové závislosti, ale hodnoty 10,9 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty pH větších jistot. Zde vykazovala největší účinnost 91,3 % nádrž s volnou hladinou, druhá byla nádrž s plovákem se 62,9 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovoucím ostrovem s 48,4 %.



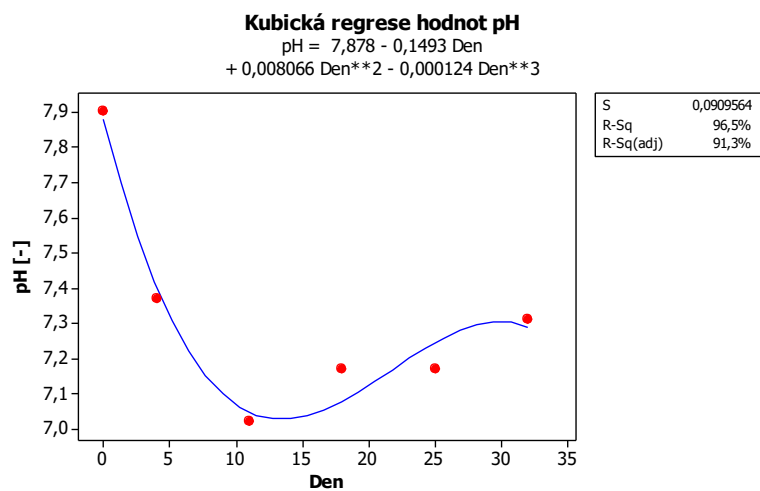
Obrázek č. 123: Graf hodnot pH v jednotlivých nádržích ve třetí etapě



Obrázek č. 124: Graf hodnot pH v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



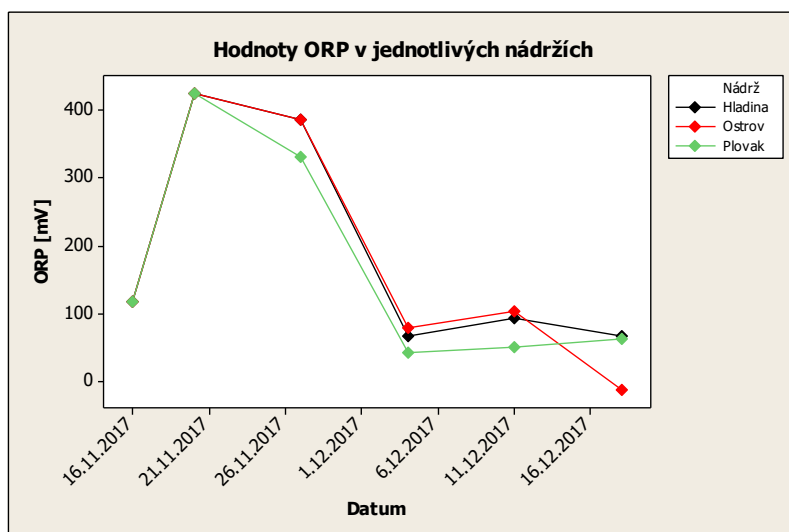
Obrázek č. 125: Graf hodnot pH v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



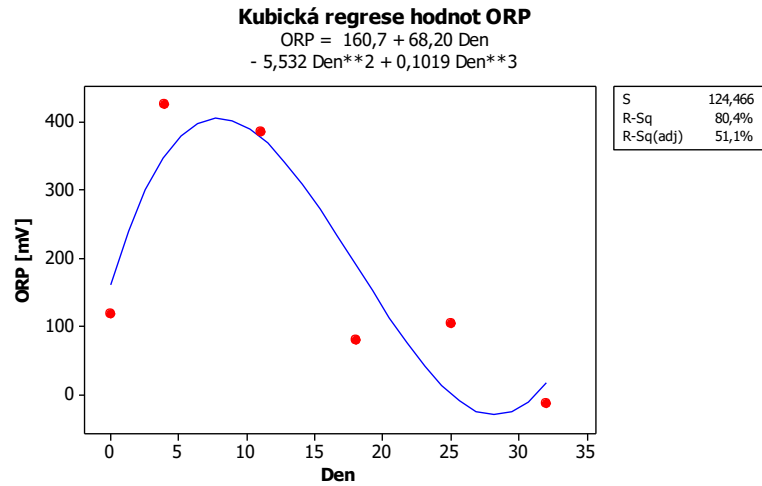
Obrázek č. 126: Graf hodnot pH v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.3.7 ORP

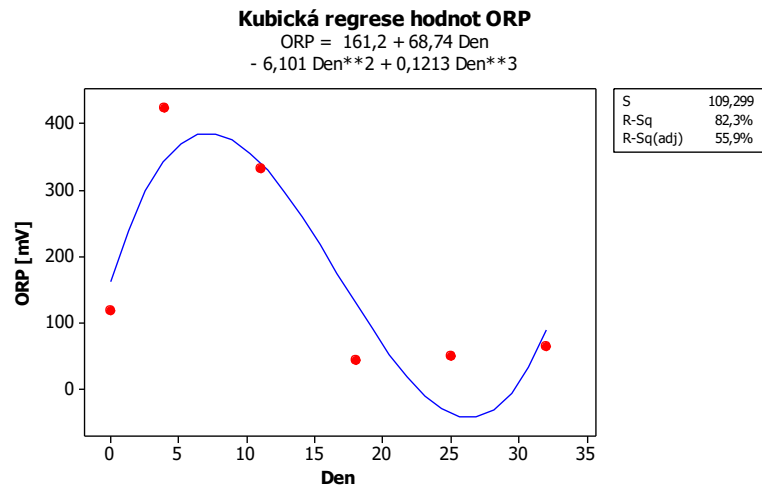
Hodnota ORP ve všech případech rostla z původní hodnoty +118,0 mV. Nejvyšší hodnota byla dosažena ve všech nádržích po prvním týdnu třetí etapy. V nádrži s plovoucím ostrovem a s volnou hladinou to byla hodnota +424,3 mV a v nádrži s plovákem jen o 0,1 mV menší. Nejnižší hodnoty jsou dosaženy ve 3. týdnu ve všech nádržích (až na výjimku v první nádrži při posledním měření) a poté dochází k mírnému vzrůstu. V nádrži L01 je hodnota ORP po 3. týdnu +79,4 mV a ke konci etapy ještě klesne na -12,5 mV. Nejnižší hodnota 42,6 mV je v nádrži L02. Tato hodnota ještě ke konci etapy mírně vzrostla na 63,5 mV. Hodnoty ORP 67,6 mV bylo dosaženo v nádrži s volnou hladinou ve třetím týdnu od zahájení zimní etapy. Tato hodnota ještě mírně vzrostla, ale koncová hodnota 66,7 mV je téměř totožná s tou ve 3. týdnu. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami ORP u všech tří nádrží vyplynulo, že spolehlivost je nízká a výsledky jsou podobné. Nejspolehlivější je nádrž L01 se 24,7 %, poté následuje nádrž L02 se 19,6 % a L01 má 14,0 %. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty zákalu mnohem větších jistot a ve všech nádržích bylo dosaženo přibližně stejných jistot. Zde vykazovala největší účinnost 55,9 % nádrž s plovákem, druhá byla nádrž s volnou hladinou s 51,5 % a jako třetí nejspolehlivější o 0,4 % byla vyhodnocena nádrž s plovoucím ostrovem s 51,1 %.



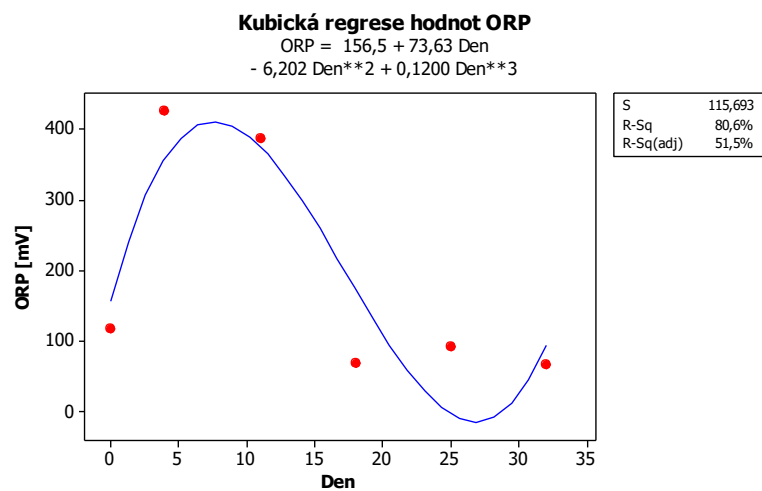
Obrázek č. 127: Graf hodnot ORP v jednotlivých nádržích ve třetí etapě



Obrázek č. 128: Graf hodnot ORP v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



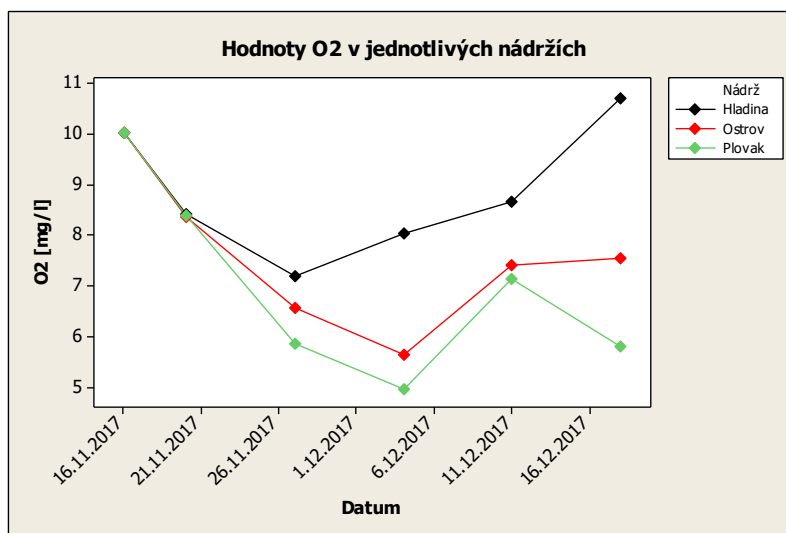
Obrázek č. 129: Graf hodnot ORP v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



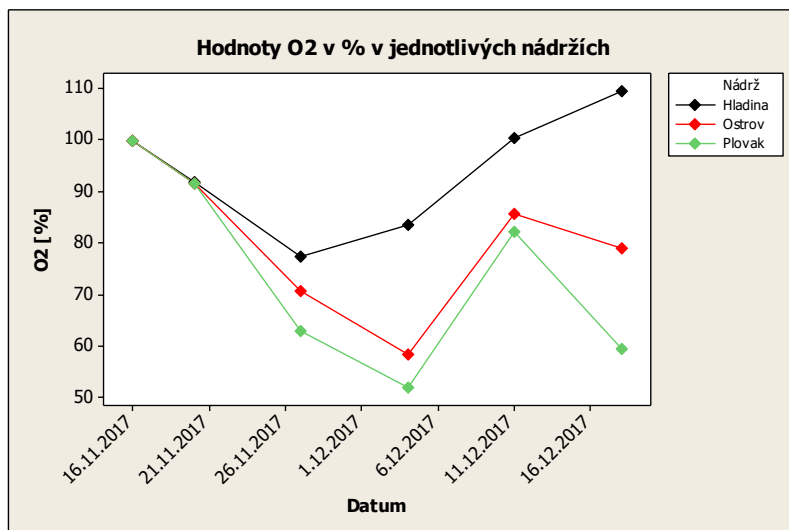
Obrázek č. 130: Graf hodnot ORP v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

5.3.8 Rozpuštěný kyslík

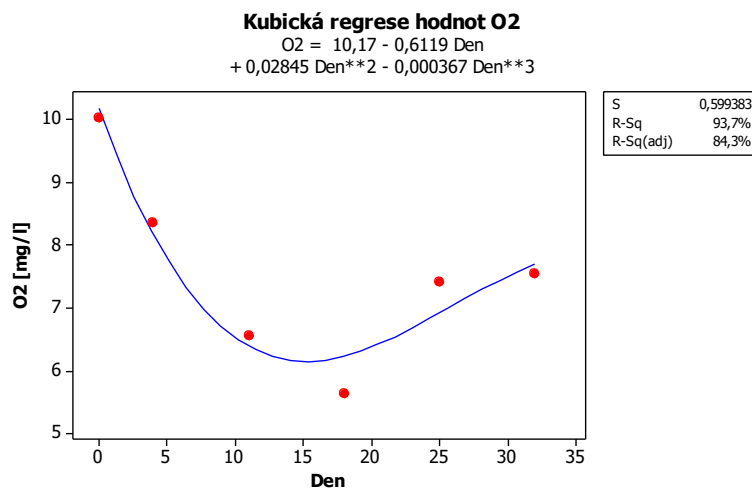
Měření rozpuštěného kyslíku ve třetí (zimní) etapě ukazuje zcela odlišný průběh ve srovnání s první (jarní) i druhou (letní) etapou. Počáteční hodnota ve všech nádržích je 10,02 mg/l. Hodnoty u všech nádrží mají do třetího týdne stejný průběh – klesají. Nádrž s plovákem bez rostlin dosáhla po 21 dnech nejnižší hodnoty rozpuštěného kyslíku 5,85 mg/l a tak to zůstalo po celou dobu třetí etapy, přičemž nejnižší hodnota činila 4,95 mg/l a koncová hodnota 5,79 mg/l. Hodnoty přítomného kyslíku ukazují postupně se zvyšující koncentraci v nádrži L03 s volnou hladinou. Nejprve dochází k poklesu na hodnotu 7,19 mg/l a následně koncentrace roste až na koncovou hodnotu 10,72 mg/l a dochází ke 109,4% nasycení. K podobnému průběhu jako v nádrži L02 dochází v nádrži s plovoucím ostrovem. Hodnota nejprve klesne na koncentraci 5,63 mg/l a poté pomalu roste na koncovou hodnotu 7,55 mg/l. Při proložení lineární regresní křivky hodnotami rozpuštěného kyslíku u všech tří nádrží vyplynulo, že není příliš vysoká a dostačující. Nejspolehlivější je nádrž L02 se 35,0 % a poté následuje nádrž L01 s 9,8 %. Nejméně spolehlivá je nádrž L03 s 0,0 % stejně jako L01 v první a druhé etapě. Při proložení kubické regresní křivky dosahovali hodnoty zákalu mnohem větších jistot. Zde vykazovala naopak největší účinnost 92,8 % nádrž s volnou hladinou, druhá byla nádrž s plovoucím ostrovem s 84,3 % a jako třetí nejspolehlivější byla vyhodnocena nádrž s plovákem se 73,8 %.



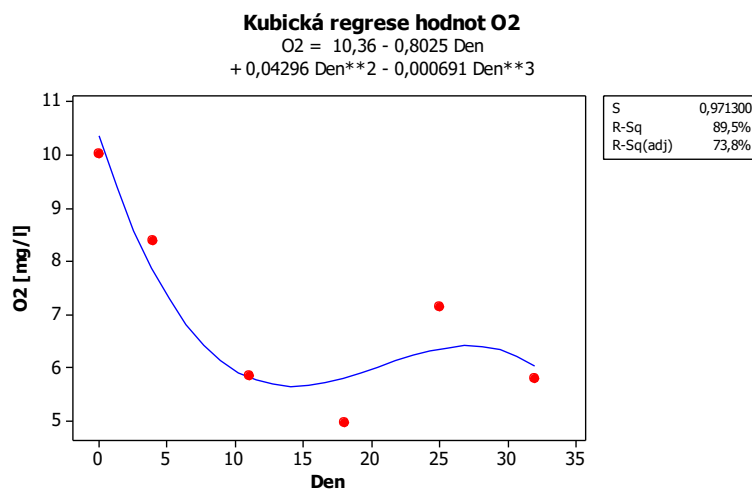
Obrázek č. 131: Graf hodnot O₂ v jednotlivých nádržích ve třetí etapě



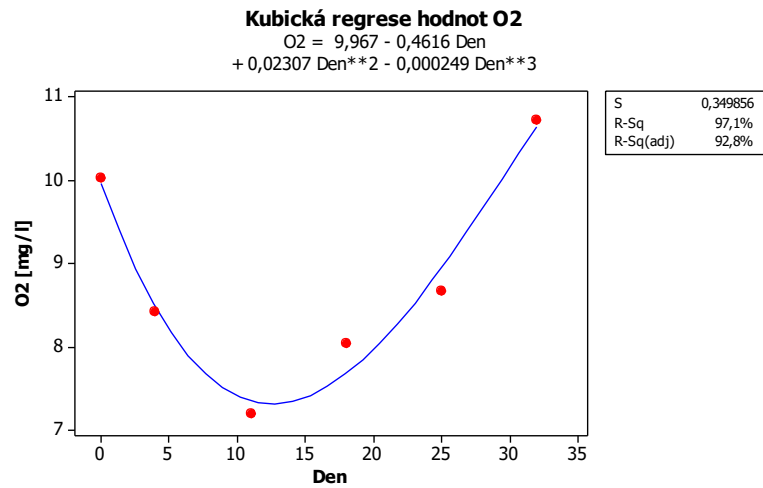
Obrázek č. 132: Graf hodnot O₂ v % v jednotlivých nádržích ve třetí etapě



Obrázek č. 133: Graf hodnot O₂ v nádrži s plovoucím ostrovem proložený kubickou regresní křivkou



Obrázek č. 134: Graf hodnot O₂ v nádrži s plovákem proložený kubickou regresní křivkou



Obrázek č. 135: Graf hodnot O₂ v nádrži s volnou hladinou proložený kubickou regresní křivkou

6 Diskuze

Pokud se díváme na jednotlivé etapy, tak ve většině faktorů je nejlepší nádrž s plovoucím ostrovem osazeným rostlinnou vegetací, která jednoznačně přispěla k odstranění nežádoucích koncentrací znečištění. Podívejme se na to, jak se nádrže chovají v různých etapách roku.

Nejteplejší etapou byla bez sebemenšího překvapení druhá, letní etapa, během níž činila maximální teplota vzduchu 31,8 °C a minimální teplota vzduchu byla 9,3 °C. Naopak nejchladnější období nastalo během třetí, zimní etapy, kdy teplota vzduchu nepřekročila 12,4 °C a klesala pod bod mrazu až k -6,3 °C. V samém začátku první, jarní etapy byla naměřena teplota vzduchu -1,8 °C, ale postupně se oteplovalo a maximum, které bylo naměřeno, činilo rovných 24 °C.

Teplota vzduchu také samozřejmě ovlivňovala také teplotu vody v nádržích. Pochopitelně nejteplejší byla voda v letní etapě, kdy teplota v nádrži s volnou hladinou vystoupala přes den až k 25 °C, ale během noci klesla na 14 °C. To znamená, že v nádrži s volnou hladinou docházelo k největší výměně tepla mezi vodou a okolním vzduchem. Nádrž s plovoucím ostrovem ve všech etapách vykazovala nejvyrovnanější hodnoty teploty vody, protože plovoucí ostrov se rostlinnou vegetací působil jako dobrá tepelná izolace. Podobných hodnot bylo dosaženo také v nádrži s plovákem bez flory, kde ovšem tepelná výměna probíhala o něco intenzivněji než v nádrži L01.

Při srovnání chemické spotřeby kyslíku v jednotlivých etapách, zjistíme, že nejlepšími výsledky bylo dosaženo v první, jarní etapě. Na začátku této etapy sice nebyly počáteční hodnoty koncentrace ve všech nádržích stejné, ale řekněme, že byly srovnatelné. V první nádrži došlo téměř k úplnému odstranění, když došlo k poklesu CHSK ze 121,0 mg/l na 1,1 mg/l. Také v nádrži druhé s plovákem bez vegetace a v nádrži třetí s volnou hladinou došlo k významnému snížení CHSK (ze 114,0 mg/l na 8,7 mg/l, resp. ze 127,0 mg/l na 18,5 mg/l). Ve druhé etapě byla počáteční hodnota ve všech nádržích stejná (69,0 mg/l), ale nedošlo k tak významnému odstranění znečištění jako v etapě první. Bylo odstraněno přibližně 40-65 % počátečního znečištění, přičemž nejlepšími hodnotami dosáhla nádrž s plovoucím ostrovem. Ve třetí, zimní etapě došlo ve všech nádržích k takřka stejnému odstranění počátečního znečištění CHSK.

Při srovnání etap u odstraňování koncentrace celkového fosforu bylo zjištěno nejlepšími hodnotami u druhé, letní etapy. Počáteční hodnota činila 1,41 mg/l celkového fosforu, což byla nejvyšší počáteční hodnota ze všech tří etap, ale i přesto došlo k téměř stoprocentnímu odstranění. Koncové hodnoty se pohybovaly od 0,048-0,090 mg/l a ta nejnižší byla dosažena pomocí plovoucího ostrova. Nejenže byla nádrž s plovoucím ostrovem a vegetací nejúčinnější, ale ke koncové hodnotě se přiblížila už během prvního týdne, takže byla také při odstraňování celkového fosforu nejrychlejší. První, jarní a třetí, zimní etapy můžeme považovat takřka za totožné. Počáteční hodnoty byly u všech trochu rozdílné, ale jako neúčinnějšími byly nádrže s plovoucím ostrovem a s volnou hladinou, kdy došlo k takřka dokonalému odstranění P_c. U nádrže s plovákem bez vegetace došlo v první etapě k eliminaci asi 50% počátečního znečištění a v etapě třetí nedošlo ve výsledku k žádnému odstranění koncentrace celkového fosforu.

Odstraňování dusičnanového dusíku bylo nejméně efektivní u všech etap. Nejlepších výsledků bylo dosaženo ve druhé, letní etapě. V této etapě byla počáteční hodnota koncentrace 0,73 mg/l N-NO₃. Největší úbytek (a to cca 60 %) znečištění byl zaznamenán v nádrži s plovákem bez rostlinné vegetace, k úbytku cca 58 % došlo v nádrži s volnou hladinou a k asi jen 44% odstranění dusičnanového dusíku došlo v nádrži s plovoucím ostrovem. V první a třetí etapě nebylo zjištěno významnějšího odstranění znečištění a je nutno dodat, že zde došlo k rozdílným výsledkům. V první etapě byla neúčinnější nádrž s volnou hladinou a ve třetí etapě byla neúčinnější nádrž s plovákem bez rostlin, když bylo dosaženo nejnižší hodnoty 0,23 mg/l během celého ročního pozorování.

Úplně jiného výsledku bylo dosaženo při odstraňování amoniakálního dusíku, který byl ve všech etapách dokonale odstraněn, až na jednu výjimku, ve všech nádržích. V nádrži s plovoucím ostrovem došlo ve všech etapách k eliminaci počátečního znečištění už během prvního týdne a od té doby se koncentrace N-NH₄ nezvyšovala. V první etapě došlo během prvního týdne ke snížení počáteční hodnoty 1,39 mg/l na hodnotu 0,226 mg/l a ke konci etapy byla koncentrace úplně odstraněna. Nejvyšší počáteční koncentrace amoniakálního dusíku by zjištěna při zahájení druhé etapy, ale již při druhém odběru vzorků byla zjištěna hodnota 0,01 mg/l, která trvala až do konce této etapy. Ve třetí etapě klesla koncentrace 2,15 mg/l během jednoho týdne na 0,074 mg/l a ke konci etapy ještě klesla na hodnotu 0,04 mg/l. Asi o 1 % byla lepší v odstraňování koncentrace N-NH₄ nádrž s volnou hladinou než nádrž s plovákem bez flory. Rozdílné eliminace bylo dosaženo u těchto nádrží ve třetí etapě, kde nádrž s volnou hladinou odstranila 99 %, oproti tomu nádrž s plovákem bez vegetace odstranila pouze 42 % koncentrace amoniakálního dusíku. Nádrž s plovoucím ostrovem s rostlinnou vegetací můžeme považovat za neúčinnější a nejrychlejší při odstraňování koncentrace N-NH₄.

Hodnota zákalu ve všech etapách ve všech nádržích postupem času klesala. Pravděpodobně docházelo k usazování drobných částic a voda se stávala méně zakalenou. Nejnižší hodnoty zákalu ve všech etapách byly zjištěny v nádrži s plovoucím ostrovem s vegetací. V první a druhé etapě byly mezi hodnotami zákalu v nádrži s plovákem bez vegetace a v nádrži s volnou hladinou značné rozdíly. Ve třetí etapě se však hodnoty zákalu v těchto nádržích velmi přiblížily. Zajímavé bylo, že měření probíhalo vždy ve stejný čas, ale hodnoty zákalu jsou rozkolísané.

Při měření pH byly zaznamenány určité podobnosti. V první etapě byl průběh grafu hodnot pH velmi podobný, přičemž nejnižší hodnoty byly dosaženy v nádrži s plovoucím ostrovem s florou a naopak nejvyšší hodnot v nádrži s volnou hladinou. Zajímavé je, že v polovině jarní etapy došlo k odchylce. Hodnoty pH v nádrž L01 a L02 značně poklesly, kdežto hodnota pH v nádrži L03 mírně vzrostla. V letní etapě jsou hodnoty značně rozdílné a není zde pozorována žádná podobnost u všech nádrží. Za zmínku stojí vývoj v nádrži s plovákem bez vegetace. Hodnoty pH v první polovině mírně klesala, poté došlo k velkému vzrůstu během jednoho týdne z pH 6,71 na pH 9,33. Čím to mohlo být způsobeno, není zcela jasné. Ve třetí etapě došlo ke snížení pH během prvního týdne a poté docházelo k nárůstu pH až k samotnému závěru této etapy. Tento průběh byl s malými odchylkami pozorován u všech nádrží.

Počáteční hodnoty ORP na začátku jednotlivých etap se značně lišily a lišil se také průběh. V první etapě, kdy byly počáteční hodnoty nejvyšší ze všech tří etap, byl u všech tří nádrží průběh totožný. Nejprve došlo ke vzrůstu ORP a po prvním týdnu už tyto hodnoty klesaly až do poloviny etapy. Ve druhé polovině začaly znovu růst na přibližně stejné hodnoty jako na začátku jarní etapy. V letní etapě docházelo u všech nádrží od samého začátku ke klesání ORP. V nádrži s plovákem bez vegetace bylo dosaženo záporných hodnot ORP, což znamená, že voda se stávala silnějším redukčním činidlem a získala schopnost uvolňovat elektrony. Do kladných hodnot se hodnoty vrátili v posledních 14-ti dnech letní etapy. Také u zbylých dvou nádrží v posledních dvou týdnech došlo k mírnému vzrůstu hodnot ORP. Opačný průběh měl ORP v zimní etapě, kdy nejprve došlo k nárůstu a poté celou etapu hodnoty oxidačně-redoxního potenciálu klesaly. Ve všech etapách však bylo dosaženo nejvyšších hodnot ORP v nádrži s plovoucím ostrovem.

Také koncentrace rozpuštěného kyslíku má ve všech etapách odlišný průběh. Od začátku do konce první etapy dochází k pozvolnému úbytku rozpuštěného kyslíku ve všech nádržích. Během druhé etapy dochází k neočekávanějšímu průběhu. V první nádrži s plovoucím ostrovem by se dal vývoj koncentrace rozpuštěného kyslíku označit za konstantní. Z toho vyplývá, že to, co spotřebují organismy a rostliny dýcháním, je do vody pomocí fotosyntézy dodáno přes kořenový systém. Zatímco u ostatních dvou nádrží dochází k nárůstu rozpuštěného kyslíku až nad 100% nasycení. Ve třetí etapě dochází v první polovině k poklesu koncentrace O_2 , ale ve druhé polovině dochází k nárůstu. Tento jev můžeme pozorovat ve všech nádržích. V první a druhé etapě bylo nejméně rozpuštěného kyslíku naměřeno v nádrži s plovoucím ostrovem. Dalo by se očekávat, že rostliny budou svým kořenovým systémem dodávat do nádrže kyslík, ale pravděpodobně vlivem nejhojnějšího rozšíření drobných vodních živočichů docházelo k odčerpávání kyslíku dýcháním.

Z dosažených výsledků můžeme prohlásit, že kořenový systém rostlin osazených na plovoucím ostrovu plovoucím na vodní hladině nádrže se jednoznačně aktivně podílel na odstraňování znečištění a urychlil samočisticí proces.

7 Závěr

Mým úkolem v této diplomové práci, která se zaměřuje na technologii plovoucích ostrovů, seznámit čtenáře blíže s tímto výrobkem, protože v České republice není příliš rozšířen. Doložil jsem několik studií o tom, že ve světě se tímto tématem již pár let zabývají a plovoucí ostrovy jsou plně funkční součástí různých vodních nádrží převážně v Číně a Spojených státech amerických.

Důkaz, že tento plovoucí systém může být plně funkční i v našich podmínkách je obsažen ve druhé polovině této diplomové práce, kde je vyhodnocení výsledků výzkumného měření. Samotné měření trvalo s přestávkami přibližně rok, během měření byly sledovány tři nádrže (lyzometry) na výzkumném pozemku při FAST VUT v Brně. Odběry vzorků a jejich následná analýza probíhala jednou týdně ve stejnou dobu ve třech etapách (jaro, léto, zima). Pro lepší přehlednost a budoucí potenciální širší uplatnění poznatků pro odhady účinností v jednotlivých parametrech jsou výsledky zobrazeny graficky a výsledky proloženy lineární a kubickou regresní křivkou.

Nádrž s plovoucím ostrovem vykazovala nejlepší odstranění znečištění CHSK, celkového fosforu a amoniakálního dusíku ve všech třech sledovaných etapách. Pouze u odstranění znečištění dusičnanovým dusíkem vykazovala stejné nebo horší koncentrace jako nádrže s plovákem bez rostlinné vegetace a nádrž s volnou hladinou. Co se týče hodnot zákalu, tak plovoucí ostrov přispěl vždy k nejméně zakalené vodě v porovnání se zbylými dvěma nádržemi. Hodnoty pH se pohybovaly ve všech nádržích a všech etapách na úrovni neutrálního, ale spíše mírně zásaditého spektra. Hodnoty oxidačně-redoxního potenciálu jen výjimečně spadaly do záporných čísel, takže by se dalo usuzovat, že voda ve všech nádržích má charakter oxidačního činidla (schopnost přijímat elektrony). Rozpuštěného kyslíku se podle očekávání objevilo nejméně v nádrži s plovoucím ostrovem, ovšem nejpravděpodobnější průběh se projevil pouze ve druhé, letní etapě, kdy nedocházelo k úbytku ani nárůstu koncentrace O_2 , pravděpodobně vlivem kořenového systému, který dodával do vody kyslík pomocí fotosyntézy a sloužil jako nosič bakteriím a drobným vodním živočichům, kteří naopak kyslík svým dýcháním spotřebovávali. U zbylých dvou nádrží došlo k více než stoprocentnímu nasycení rozpuštěným kyslíkem, protože nedocházelo k takovému oživení vodního sloupce a tím pádem ani k dostatečnému odčerpání kyslíku.

Věřím, že má práce dokázala, že plovoucí ostrovy jsou užitečné a že se významně podílejí na zlepšení kvality vody a to především v rychlosti odstraňování znečištění. Zároveň také doufám, že odpůrci, kteří pochybují o funkčnosti a nechtějí vložit důvěru do technologie založené na přirozeně probíhajících procesech, změní díky této diplomové práci pohled na toto zařízení a vloží do něj důvěru při výběru možnosti odstranění vyšších koncentrací nežádoucích látek. Eliminace znečištění pomocí plovoucích ostrovů není výhodou jen z hlediska ekologického, ale také krajinytvořného a estetického. Předpokládám, že v měření budu i nadále pokračovat a že i další výsledky dokážou opodstatnění a ekologickou výhodu tohoto přírodního způsobu čištění vody.

8 Použité zdroje

8.1 Literatura, elektronické dokumenty a webové stránky

[1]

PÍTHA, Jan a Rudolf POLEDNE. *Zdravá výživa pro každý den*. Praha: Grada, 2009. Zdraví & životní styl. ISBN 978-80-247-2488-1.

[2]

Meduňka - alternativní cesty ke zdraví. *O VODĚ A SOLI* [online]. 2016 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.mojemedunka.cz/clanek.aspx/zdravi/clanek/o-vode-a-soli>

[3]

Strange but True: Drinking Too Much Water Can Kill. *Scientific American* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.scientificamerican.com/article/strange-but-true-drinking-too-much-water-can-kill/>

[4]

KUNOVÁ, Václava. *Zdravá výživa*. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2011. Zdraví & životní styl. ISBN 978-80-247-3433-0.

[5]

[SIK] Rady a doporučení. *O zdraví seniorů* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://sik.vse.cz/ozdravisenioru_radyadoporuceni_detail.php?da=pitnyrezim

[6]

ROKYTA, Richard. *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV, 2000. Lékařství. ISBN 80-85866-45-5.

[7]

LELLÁK, Jan. *Hydrobiologie*. Praha: Karolinum, 1991. ISBN 80-7066-530-0.

[8]

Usis.cz. *Bez vody zkrátka není život* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.usis.cz/bez-vody-zkratka-neni-zivot/>

[9]

EProjekt. *Koloběh vody v přírodě* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.eprojekt.gjs.cz/EntityDisplayTab.aspx?id=8386>

[10]

Zeměpis. *Zásoby vody na Zemi* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.zemepis.com/zasoby.php>

[11]

Životní prostředí, eAGRI. *Ochrana vody* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/ochrana-vody/>

[12]

Zákony pro lidi. *254/2001 Sb. Vodní zákon* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>

[13]

Water For People. *Home* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: [Waterforpeople.org](http://waterforpeople.org)

[14]

Evropská vodní charta [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.ondeo.cz/cs/co-chcete-vedet-o-vode/o-vode-nejen-pro-skoly/evropska-vodni-charta>

[15]

SUKOP, Ivo. *Ekologie vodního prostředí*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. ISBN 80-7157-923-8.

[16]

Příroda.cz. *Koloběh vody v přírodě (2. díl): Sladká povrchová vody* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=333>

[17]

Rybicky.net. *Hrotnatka velka - Daphnia magna* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: https://rybicky.net/atlasostatnich/hrotnatka_velka

[18]

Enviro. *Sladká povrchová voda* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.zsnovestraseci-enviro.cz/1-stupen/sladka-povrchova-voda/>

[19]

Biotopy stojatých vod [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/leniticky_system/biotopy_stojatych_vod.htm

[20]

ŘEPA, Michal. *Studium složení společenstva řas a sinic mrtvého ramene řeky Bečvy v přírodní rezervaci Škrabalka*. Olomouc, 2016. bakalářská práce (Bc.). UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI. Pedagogická fakulta

[21]

MORÁVKOVÁ, Dana a Marcela MAYEROVÁ. *Biologická olympiáda 47. ročník* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://biologickaolympiada.czu.cz/cs/r-11831-predchozi-rocniky/r-12011-ustredni-kola/r-12259-47-rocnik>

[22]

Stavba přírodních koupališť - šance pro budoucnost. Brno: Svaz zakládání a údržby zeleně, 2008. ISBN 978-80-254-4251-7.

[23]

Ústav energetiky. *Chemická spotřeba kyslíku CHSKMn - Kubelova metoda* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://uen.vscht.cz/files/uzel/0008729/lav-218-05.pdf?redirected>

[24]

Poradenství a výzkum, eAGRI.cz. *Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově* [online]. [cit. 2018-01-03].

Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/poradenstvi-a-vyzkum/poradenstvi/metodiky-pro-zemedelce/ostatni/cistení-odpadnich-vod.html>

[25]

MALÁ, PH.D., doc. Ing. Jitka a prof. RNDr. Josef MALÝ CSC. *Chemie a technologie vody: Laboratorní cvičení* [online]. In: . s. 47 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:

<http://www.fce.vutbr.cz/che/>

[26]

Vodniupravny.cz. *Zákal vody a jeho odstranění* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:

<http://vodniupravny.cz/zakal-vody/>

[27]

EuroClean.cz. *Zákal vody, nečistoty* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:

<https://euroclean.cz/slovník/zakal-vody-necistoty/>

[28]

Vo-da.cz. *Stanovení zákalu* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: [https://www.vo-](https://www.vo-da.cz/rozbor-vody-podrobne/stanoveni-zakalu/)

[da.cz/rozbor-vody-podrobne/stanoveni-zakalu/](https://www.vo-da.cz/rozbor-vody-podrobne/stanoveni-zakalu/)

[29]

ŽiváVoda.cz. *Co je to ORP* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:

<http://www.zivavoda.cz/co-je-to-orp/>

[30]

Insa.cz. *Redox potenciál* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:

<http://www.insa.cz/produkty/provozni-pristroje/redox-potencial.htm>

[31]

Redox potenciál [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:

<http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/voda/chemicke/redox.htm>

[32]

CHANG, Ni Bin, Islam KAMRUL, Marimon ZACHARY a Martin P.

WANIELISTA. *Assessing biological and chemical signatures related to nutrient*

removal by floating islands in stormwater mesocosms [online]. Department of Civil,

Environmental, and Construction Engineering University of Central Florida, Orlando,

FL 32816, USA, 2012 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653512005401>

[33]

ZHAO, Fengliang, Shu XI, Xiaoe YANG, Weidong YANG, Jianjian LI, Binhe GU a

Zhenli HE. *Purifying eutrophic river waters with integrated floating island*

systems [online]. MOE Key Lab of Environmental Remediation and Ecosystem Health,

College of Environmental and Resource Science, Zhejiang University, Hangzhou

310029, People's Republic of China, 2012 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092585741100379X>

[34]

CHERRY, Julia A. a Laura GOUGH. *Temporary floating island formation maintains wetland plant species richness: The role of the seed bank* [online]. Department of Biological Sciences, University of Alabama, P.O. Box 870206, Tuscaloosa, AL 35487, USA, 2006 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304377006000167>

[35]

CHANG, Yuan-Hsiou, Chen-Ruei KU a Yeh NAICHIA. *Solar powered artificial floating island for landscape ecology and water quality improvement* [online]. Department of Landscape and Architecture, MingDao University, Taiwan, 2014 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857414000755>

[36]

ZHANG, Chong-Bang, Wen-Li LIU, Xiao-Cui PAN, Ming GUAN, Shu-Yuan LIU, Ying GE a Jie CHANG. *Comparison of effects of plant and biofilm bacterial community parameters on removal performances of pollutants in floating island systems* [online]. Institute of Constructed Wetland Technology, Taizhou University, Jiaojiang 318000, PR China, 2014 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857414004212>

[37]

LU, Hsiao-Ling, Chen-Ruei KU a Yuan-Hsiou CHANG. *Water quality improvement with artificial floating islands* [online]. Department of Entomology, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan, 2014 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857414005849>

[38]

HUANG, Xiaofeng, Feng ZHAO, Chao SONG, Yu GAO, Zhi GENG a Ping ZHUANG. *Effects of stereoscopic artificial floating wetlands on nekton abundance and biomass in the Yangtze Estuary* [online]. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agriculture University, Wuxi 214182, China, 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517307956>

[39]

BRENDAN, McAndrew a Changwoo AHN. *Developing an ecosystem model of a floating wetland for water quality improvement on a stormwater pond* [online]. Department of Environmental Science and Policy, George Mason University, 4400 University Drive, Fairfax, VA 22030, USA, 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717307120>

[40]

LADISLAS, S., C. GÉRENTE, F. CHAZARENC, J. BRISSON a Y. ANDRÈS. *Floating treatment wetlands for heavy metal removal in highway stormwater ponds* [online]. Ecole des Mines de Nantes, CNRS, GEPEA, UMR 6144, 4 rue Alfred

Kastler, B.P. 20722, F-44307 Nantes Cedex 3, France, 2014 [cit. 2018-01-03].
Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857414005266>
[41]

GENG, Yan, Wenjuan HAN, Chenchen YU, Qinsu JIANG, Jianzhi WU, Jie CHANG a Ying GE. *Effect of plant diversity on phosphorus removal in hydroponic microcosms simulating floating constructed wetlands*[online]. College of Life Sciences, Zhejiang University, 866 Yuhangtang Road, Hangzhou 310058, China, 2017 [cit. 2018-01-03].
Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857417303890>
[42]

PAVLINERI, Natalia, Nikolaos Th. SKOULIKIDIS a Vassilios A. TSIHRINTZIS. *Constructed Floating Wetlands: A review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis*[online]. Institute of Inland Waters, Hellenic Centre for Marine Research, Greece, 2016 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894716313857>
[43]

FANG, Xinyue, Qie LI, Tao YANG, Zhihong LI a Yumei ZHU. *Preparation and characterization of glass foams for artificial floating island from waste glass and Li₂CO₃* [online]. Key Laboratory for Advanced Ceramics and Machining Technology of Ministry of Education, School of Materials Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China, 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816319651>

8.2 Zdroje obrázků

[1]
Koloběh vody na zemi. In: *TZB-info: Změkčování vody* [online]. [cit. 2018-01-03].
Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-voda-kanalizace/2705-zmekcovani-vody>

[2]
LELLÁK, Jan. *Hydrobiologie*. Praha: Karolinum, 1991. ISBN 80-7066-530-0.

[3]
Vrstvy nádrže. In: *PŘÍRODA.cz: Koloběh vody v přírodě (2. díl) - Sladká povrchová voda* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=333>

[4]
Cyklomorfoza hrotnatky. In: *Is.muni.cz* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/podzim2014/Bi5080/um/um/vodapresIcast2014.txt>

[5]
Daphnia pulex. In: *Carolina.com: Daphnia pulex* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.carolina.com/daphnia/daphnia-pulex-living/142314.pr>

[6]

Oldřiš. In: *Mapy.cz: "Oldřiš" výsledky hledání* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.1921357&y=49.7324547&z=14&source=muni&id=2823&q=Old%C5%99i%C5%A1>

[7]

Laboratorní spektrofotometr pro analýzu vody DR3900. In: *Hach Česká republika: Laboratorní spektrofotometr pro analýzu vody DR3900* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://cz.hach.com/spektrofotometry/dr3900-laboratorni-spektrofotometr-pro-analyzu-vody/family?productCategoryId=24821412518>

[8]

LT200. In: *Hach Česká republika: LT200* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://cz.hach.com/digitalni-reaktory/lt200/family?productCategoryId=51131715222>

[9]

Přenosný turbidimetr 2100Q. In: *Hach Česká republika: Přenosný turbidimetr 2100Q* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://cz.hach.com/turbidimetr/2100q-prenosny-turbidimetr/family?productCategoryId=25046201202>

[10]

Digitální dvoukanálový multimetr HQ40D. In: *Hach Česká republika: Digitální dvoukanálový multimetr HQ40D* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://cz.hach.com/hq40d-digitalni-dvoukanalovy-multimetr/product?id=25651819351&callback=pf>