

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta



**Využití umělého mokřadu pro zlepšení kvality vody
znečištěné zemědělskou činností – tzv. Integrated
constructed wetland (ICW) concept**

Bakalářská práce

Petra Šestáková

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Pícek, Ph.D.

České Budějovice 2011

Šestáková, P. 2011. Využití umělého mokřadu pro zlepšení kvality vody znečištěné zemědělskou činností – tzv. Integrated constructed wetland (ICW) concept.

[Use of constructed wetlands to improve quality of water polluted by agricultural activity - so-called Integrated constructed wetland (ICW) concept. Bc. Thesis, in Czech]. 22 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace:

Tato práce představuje grantovou žádost na projekt zabývající se návrhem vhodného systému umělého mokřadu pro čištění zemědělských odpadních vod.

Annotation:

This work represents the grant application for project dealing with a design of constructed wetland for agricultural wastewater treatment.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, dne 15. prosince 2011

.....
Petra Šestáková

Shrnutí projektu

V České Republice začínají platit stále přísnější normy pro odpadní vody ze všech odvětví, proto je důležité začít intenzivně využívat pro čištění odpadních vod různé metody i ty přírodě blízké, které jsou účinné a provozně nenáročné. Tato kritéria plně splňují umělé mokřady, které využívají přírodní procesy pro čištění různých typů odpadních vod, zapadají do krajiny a mají dostačující účinnost odstraňování znečišťujících látek z odpadních vod.

Projekt je zaměřen na vybudování tzv. ICW (Integrated constructed wetland) systému pro čištění vod, které jsou v zemědělských oblastech ohrožovány eutrofizací. Tyto systémy prošly v průběhu let mnoha vylepšeními a dnes mají srovnatelné využití i účinnost jako klasické čistírny odpadních vod.

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému školiteli Ing. Tomášovi Pickovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady při vedení bakalářské práce a obzvláště pak za trpělivost a čas věnovaný její kontrole. V neposlední řadě bych také ráda poděkovala svojí rodině a kamarádům za jejich podporu.

Obsah

Seznam použitých zkratk

1 Literární přehled	1
1.1 Chemické a mikrobiální složení odpadních vod	1
1.2 Způsoby nakládání se zemědělskými odpadními vodami	2
1.3 Typy umělých mokřadů	3
1.4 Procesy zodpovědné za čištění odpadních vod	4
1.4.1 Vliv rostlin na účinnost čištění	5
1.4.2 Přeměny dusíku.....	5
1.4.3 Přeměny uhlíku	7
1.4.4 Přeměny fosforu.....	7
1.5 Způsob čištění odpadních vod ze zemědělství	8
1.6 ICW koncept.....	8
1.7 Závěr.....	12
2 Cíle projektu	13
3 Hypotézy	13
4 Návrh experimentu.....	14
4.1 Návrh ICW systému.....	14
4.2 Časový harmonogram	16
4.1 Finanční rozvaha.....	17
5 Výstupy projektu	17
6 Literatura	18

Seznam použitých zkratek:

Zkratka	Význam	Jednotka
BSK₅	Biologická spotřeba kyslíku za 5 dní	mg·l ⁻¹
CHSK_{Cr}	Chemická spotřeba kyslíku – stanovení K ₂ Cr ₂ O ₇	mg·l ⁻¹
ČOV	Čistírna odpadních vod	
EO	Ekvivalentní obyvatel	
NH₄⁺ - N	Amoniakální dusík	
NL	Nerozpuštěné látky	
NH₃	Amoniak	
P_{celk}	Celkový fosfor	
NH₄⁺	Amonný iont	
N₂	Plynný dusík	
FWS	Free water surface	
ICW	Integrated constructed wetlands	
FCW	Farm constructed wetlands	
PVC	Polyvinylchlorid	
HDPE	Vysokohustotní polyetylen	
Fe	Železo	
Al	Hliník	
Mg	Hořčík	
Ca	Vápník	

1. Literární přehled

1.1 Chemické a mikrobiální složení odpadních vod

Komunální odpadní vody jsou složeny z pevných částic a rozpuštěných látek. V Tabulce I jsou uvedeny obvyklé rozsahy koncentrací základních chemických parametrů pro městské odpadní vody (Kadlec a Knight, 1996; Pitter, 1999).

Tab. I: Rozsahy koncentrací základních chemických parametrů městských odpadních vod (Pitter 1999).

Ukazatel mg l ⁻¹	Surová voda
BSK ₅	200 – 400
CHSK _{Cr}	300 – 600
Nerozpuštěné látky	250 – 500
Celkový dusík	65 – 105
Amoniakální dusík	25 – 45
Celkový fosfor	8 – 14

Zemědělské odpadní vody mají složení podobné komunálním vodám (Kadlec a Knight, 1996). Surové odpadní vody z chovů zvířat obvykle obsahují 2000 – 4000 mg/l BSK₅, 300 – 500 mg/l NH₃ a 75 – 150 mg/l celkového fosforu (Hammer, 1992a). Koncentrace organických látek a nerozpuštěných látek v mléčných odpadních vodách jsou výrazně vyšší než v komunálních odpadních vodách a mají tendenci se měnit v průběhu celého roku. Chemické a biologické parametry odpadní vody z mléčné farmy jsou uvedeny v Tabulce II (Vymazal a Kröpfelová, 2008).

Tab. II: Vybrané chemické a biologické parametry odpadní vody z mléčné farmy čištěné pomocí umělého mokřadu s horizontálním tokem (Vymazal a Kröpfelová, 2008).

Ukazatele mg l ⁻¹	Surová voda	Stav po předčištění	Odtok
BSK ₅	920	453	28,7
CHSK	2,266	846	109
Nerozpuštěné látky	480	172	18,3
Celkový fosfor	30	21,5	12,6
Celkový dusík	135	101	39,2
Amoniakální dusík	96,5	70,6	28,7

1.2 Způsoby nakládání se zemědělskými odpadními vodami

Množství a kvalita jednotlivých složek odpadních vod vznikajících v zemědělství je dána typem farmy a její hlavní činností. Z tohoto důvodu by mělo probíhat oddělení vznikajících odpadních vod tak, aby bylo možné odvést málo znečištěnou vodu co nejrychleji mimo areál podniku. Silně znečištěnou vodu je nutné mechanicko-biologicky čistit, nebo akumulovat a případně použít jako hnojivo, při dodržení všech legislativních a agrotechnických požadavků, nebo ji po úpravě čistit společně se splaškovými vodami na komunální čistírně odpadních vod (<http://eagri.cz> ^[4]).

Odpadní vody ze stájových objektů a přilehlých ploch jsou odváděny pomocí stájové kanalizace. Do stájové kanalizace se vypouští kejda, močůvka, splašky, odpadní vody z výběhů a technologické vody. V případě napojení splaškové kanalizace na veřejnou kanalizaci, musí odpadní voda odpovídat kanalizačnímu řádu a souhlasu provozovatele čistírny a veřejné kanalizace. Pokud je splašková kanalizace spojena s vlastním čištěním odpadních vod, musí být čistírna vybavena podle druhu odváděných odpadních vod. Tuhé i tekuté odpady z živočišné výroby se využívají jako hnojné suroviny. Splaškové odpadní vody jsou likvidovány třemi způsoby. Prvním způsobem je skladování malého množství v jímkách a odvoz do čistíren odpadních vod (ČOV). Druhou možností je napojení splaškové kanalizace farmy na veřejnou kanalizaci, která vede do ČOV. Poslední možností je čištění splaškových vod ve vlastních malých čistírnách odpadních vod, tato možnost se časem zřejmě stane nejběžnější v důsledku velké vzdálenosti farem od obcí se splaškovou kanalizací. Odpady z živočišné výroby jako je kejda, močůvka, hnojůvka a silážní šťávy se používají hlavně jako hnojné suroviny. Jsou skladovány odděleně od splaškových vod v nepropustných jímkách (Přikryl, 1997).

Kvalitní kejda má srovnatelné použití jako ostatní statková hnojiva. Problémem v našem zemědělství je nadměrné ředění kejdy a špatné technologické vybavení. Naopak v zemědělsky vyspělých zemích jako je např. Německo a Francie k těmto problémům se skladováním nedochází, a proto je kejda spotřebována a není nutné její další zpracování. Homogenizovaná kejda by se měla používat především k přímému hnojení. Kejdu lze i kompostovat a využít, jako hnojivo společně s dalšími látkami. Do půdy se také aplikuje močůvka, ale v dnešním zemědělství se především používá močůvka ze stelivových stájí, protože močůvka v bezstelivových stájích obsahuje i moč. Pro samostatné, přímé čištění odpadních vod z chovu hospodářských zvířat (velké drůbeží nebo prasečí farmy), existuje několik technologií, ale nejvhodnější a nejčastěji používanou je anaerobní mezofilní

vyhívání. S anaerobním rozkladem je spojena tvorba bioplynu (Jelínek et al., 2001; <http://eagri.cz> ^[4]).

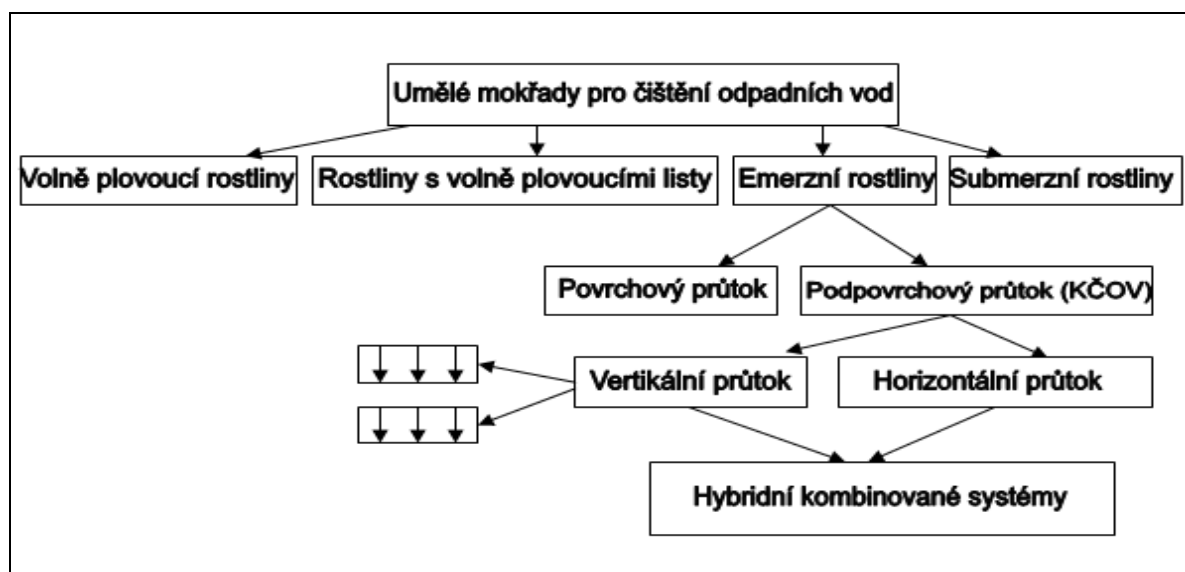
Při vypouštění odpadních vod (z čistírny odpadních vod nebo z kanalizace přímo do vodního toku) nesmí dojít k překročení limitů předepsaných vodoprávním úřadem (<http://www.tzb-info.cz> ^[1]). Ukazatele a emisní standardy odpadních vod pocházejících ze staveb pro rekreaci a bydlení jsou uvedeny v Tabulce III.

Tab. III: Ukazatele a emisní standardy pro odpadní vody vypouštěné z jednotlivých staveb pro bydlení a rekreaci (<http://www.tzb-info.cz> ^[2]).

Kategorie ČOV(EO)	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺	NL	P _{celk}	Escherichia coli	Enterokoky
<10	150	40	20	40	10	-	-
10-50	150	40	20	40	10	50 000	40 000
>50	130	30	20	30	8	50 000	40 000

1.3 Typy umělých mokřadů

Umělé mokřady jsou systémy navrhované a stavěné takovým způsobem, aby při čištění odpadních vod využívaly přírodní procesy probíhající v přirozených mokřadech. Rozdělují se především podle druhu vegetace a způsobu průtoku odpadní vody na několik základních typů – viz Obrázek 1, (Vymazal, 2004).



Obr. 1: Rozdělení umělých mokřadů pro čištění odpadních vod (podle Vymazala 2004).

Systémy s plovoucí vegetací měly být původně používány pro odstraňování fosforu a dusíku z odpadních vod, ale ukázaly se jako neekonomické v důsledku neustálého sklizení biomasy a potřeby přídavného provzdušnění pro více zatížené systémy. Tyto systémy se nejčastěji osazují okřehkem (*Lemna spp.*) a vodním hyacintem (*Eichlornia crassipes*), jejich růst je ale omezen klimatickými podmínkami. Málo využívanými se staly umělé mokřady s rostlinami s plovoucími listy, které jsou nejčastěji osázeny stulíky (*Nuphar spp.*) nebo lekníny (*Nymphaea*). Naopak systémy s ponořenou (submerzní) vegetací jsou stále více využívány pro vody s nízkým obsahem organických látek nebo pro dočištění odpadních vod po celém světě. Největší skupinu umělých mokřadů, ale tvoří systémy s vynořenou (emerzní) vegetací a tyto systémy se rozdělují podle toho, zda se v nich vyskytuje nebo nevyskytuje volná vodní hladina (Vymazal, 2004).

Systémy s volnou vodní hladinou jsou umělé mokřady s povrchovým tokem, které se využívají pro čištění kyselých důlních vod, splaškových vod, zemědělských a dešťových splachů, odpadních vod z chovu dobytka, průsaků ze skládek a také pro průmyslové odpadní vody (Vymazal 1995). Systémy s podpovrchovým tokem neboli systémy bez volné vodní hladiny jsou v současné době nejpoužívanějším typem umělého mokřadu v ČR a dělí se na systémy s horizontálním průtokem (tzv. kořenové čistírny) a systémy s vertikálním průtokem. Označení hybridní nebo kombinované systémy se v současné době používá pro kombinace horizontálního a vertikálního systému, případně dalších typů umělých mokřadů. Tyto systémy jsou nejvíce využívány tam, kde je žádoucí zvýšené odstraňování dusíku (Vymazal, 2004; Vymazal, 2005).

1.4 Procesy zodpovědné za čištění odpadních vod

Při čištění odpadních vod v umělých mokřadech probíhá celá řada procesů, které se dají rozdělit na fyzikální, chemické a biologické (Vymazal, 1995).

Nerozpuštěné látky jsou v umělých mokřadech odstraňovány pomocí fyzikálních procesů, jako je usazování a filtrace skrz lože umělého mokřadu a kořeny rostlin (Tanner et al, 1995; Wallace a Knight, 2006).

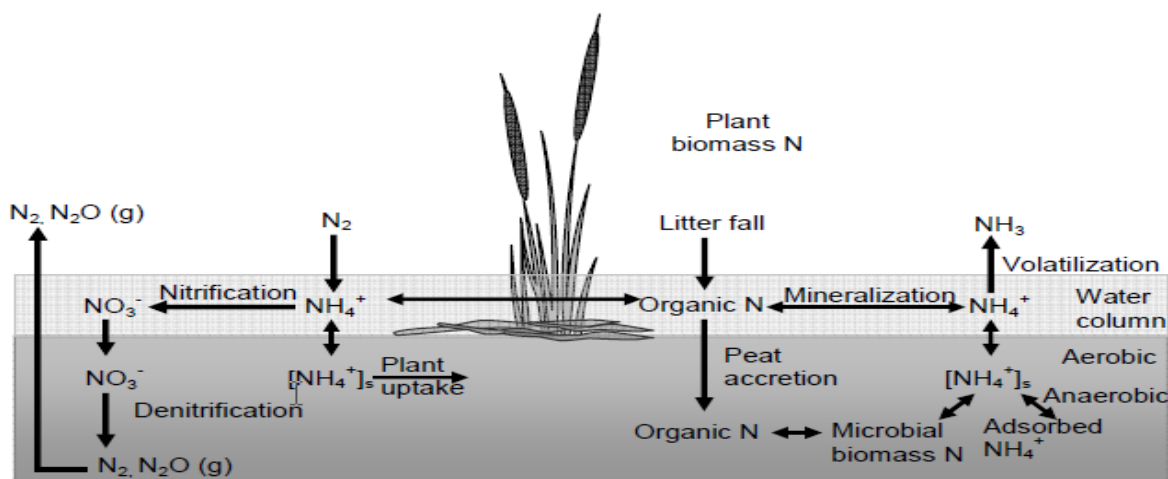
Účinnost čištění v umělých mokřadech s povrchovým tokem se může pohybovat v rozmezí 48 až 95% pro celkové nerozpuštěné látky, mezi 50 a 99% pro dusík, mezi 30 a 94% pro fosfor (Sievers, 1997; Newman et al., 2000; Reddy et al., 2001).

1.4.1 Vliv rostlin na účinnost čištění

Mokřadní rostliny přijímají živiny, těžké kovy, organické látky a krátkodobě je v sobě ukládají (Groudeva et al, 2001; Fu a Tang, 2005, Vymazal, 2007). Ovlivňují biochemické cykly v substrátu, dodávají kyslík pro bakterie rostoucí na kořenech rostlin a tím urychlují rozklad organické hmoty (Gersberg et al, 1986; Barko et al, 1991). Rostliny mají vliv na účinnost odstraňování dusíku. V umělém mokřadu s povrchovým tokem bylo zjištěno desetkrát vyšší odstraňování dusíku v systémech s 50% rostlinným pokryvem ve srovnání se 100% osázením. Při odstraňování celkového dusíku má velký význam také výběr vegetace, protože Toet et al. (2005) zjistili, že účinnost odstranění celkového dusíku je větší v systémech osázených emerzní vegetací než v systémech se submerzní vegetací. Experimenty provedené Münch et al. (2005) ukázaly, že kořeny rákosu obecného (*Phragmites australis*) zvyšují nitrifikaci a denitrifikaci do vzdálenosti 30 – 40 mm od povrchu kořene (Münch et al., 2005; Toet et al., 2005; Ibekwe et al., 2007).

1.4.2 Přeměny dusíku

Přeměny dusíku v mokřadech jsou znázorněny na Obrázku 2 (Reddy and DeLaune, 2008).



Obr. 2: Hlavní transformace dusíku v mokřadech (Reddy and DeLaune, 2008).

Biochemickým procesem, při kterém dochází k přeměně organického dusíku na amoniak je amonifikace. Tento proces zajišťují bakterie. Amonifikace probíhá rychleji v aerobních podmínkách, než v anaerobních. Rychlost amonifikace je v zaplavených půdách závislá na pH, teplotě, poměru C:N, půdních podmínkách a na dostupnosti živin v půdě.

Optimální rozsah pH pro amonifikaci je mezi 6,5 a 8,5 (Reddy a Patrick, 1984; Kadlec a Knight, 1996).

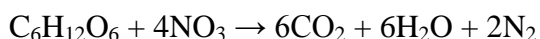
Amonný iont (NH_4^+) může být absorbován rostlinami pomocí kořenového systému, nebo mikroorganismy a zabudován zpět do organických látek. Při pH větším než 8, které se běžně vyskytuje mokřadní vodě s nadměrným výskytem řas, amonné ionty mohou být přeměněny na NH_3 a uvolněny zpět do atmosféry pomocí volatilizace (Mitsch a Gosselink, 2007).

Anaerobní oxidace amoniaku (Anammox) je proces, při kterém dochází k přeměně amoniaku a dusitanů na plynný dusík. Anammox uskutečňují anaerobní bakterie, které jsou konkurenčně zvýhodněny soužitím s heterotrofními bakteriemi oproti srovnání s nitrifikačními bakteriemi, protože heterotrofní spotřeba kyslíku tvoří anoxické prostředí. Nespornou výhodou anammox v umělých mokřadech je, že mohou dosáhnout odstraňování amoniaku s N_2 jako primárním produktem (Dong a Sun, 2007; Vymazal a Kröpfelová, 2008).

Dalším procesem odstraňování dusíku v umělých mokřadech je nitrifikace, kdy NH_4 je oxidován ve dvou krocích na dusitan a potom na dusičnan. Oba kroky probíhají za přítomnosti kyslíku. Přísun kyslíku může být zajištěn aktivním nebo pasivním transportem kyslíku rostlinami, nebo pomocí umělého provzdušnění (Reddy a Patrick, 1984; Ouellet-Plamondon et al., 2006; Dong et al., 2011).

Nitrifikace probíhá ve volné vodě, v povrchové aerobní vrstvě půdy a v okolí kořenů. Je ovlivněna teplotou, hodnotou pH, alkalitou vody, velikostí mikrobiálního společenstva, anorganickým zdrojem C, vlhkostí, koncentrací amonného dusíku a rozpuštěným kyslíkem (Vymazal a Kröpfelová, 2008; Mitsch a Gosselink, 2007). Optimální teplota pro nitrifikační bakterie je 28-36°C, ale nitrifikace v umělém mokřadu byla pozorována i při teplotě mezi 0 a 5°C. Optimální hodnota pH pro nitrifikaci se pohybuje mezi 6,6 -8,0. Obecně platí, že nitrifikace je efektivnější v systémech s volnou vodní hladinou než v systémech s podpovrchovým tokem (Sundberg et al., 2007; Vymazal a Kröpfelová, 2008; Faulwetter et al., 2009).

Denitrifikaci v umělých mokřadech provádí fakultativně anaerobní bakterie. Celý proces probíhá podle rovnice (Mitsch a Gosselink, 2007):



Denitrifikace v mokřadních půdách probíhá v anaerobní půdě pod aerobní vrstvou. Je ovlivňována koncentrací kyslíku, přítomností snadno využitelného uhlíku, vlhkostí půdy, redox potenciálem, pH, teplotou, typem půdy a mikroflóry, přítomností záplavové vody. Denitrifikační bakterie mohou přežívat v širším rozsahu pH než nitrifikační bakterie. Denitrifikace může probíhat až do pH 3,5, ale většina běžných půdních a vodních denitrifikačních bakterií má optimum pro růst v rozsahu pH 5 – 9. Rychlost denitrifikace se zvyšuje s rostoucí teplotou na 60-75°C a také přidáním organického uhlíku (Toet et al, 2003; Burchell et al, 2007; Vymazal a Kröpfelová, 2008).

Dalším pochodem je fixace dusíku, kdy dochází k přeměně plynného dusíku (N₂) na organický dusík činností některých organismů za přítomnosti enzymu nitrogenázy (Mitsch a Gosselink, 2007; Vymazal a Kröpfelová, 2008).

1.4.3 Přeměny uhlíku

Mezi hlavní procesy přeměn uhlíku za aerobních podmínek patří fotosyntéza a respirace, které dominují aerobnímu horizontu. Procesem transformace uhlíku je také metanogeneze, kdy je uhlík metabolizován na metan, ten se následně uvolňuje do atmosféry, nebo je využit metanotrofními mikroorganismy a pak je uvolněn ve formě CO₂. Metanogenní mikroorganismy osidlují anaerobní prostředí sedimentů a dlouhodobě nebo trvale zaplavené půdy (Šimek, 2003; Mitsch a Gosselink, 2007; Šimek, 2007).

1.4.4 Přeměny fosforu

Přeměny fosforu v půdě a ve vodním sloupci mokřadů zahrnují: adsorpci, desorpci, srážení (precipitaci) příjem rostlinami a mikroorganismy, mineralizaci a sedimentaci (Vymazal a Kröpfelová, 2008). Odstranění P závisí především na sorpční kapacitě substrátů, na míře zatížení, vegetaci a době provozu. Odstranění většiny P často probíhá v blízkosti vstupu v prvním stupni umělého mokřadu a v průběhu času se rozšiřuje po celém mokřadu jak se místa postupně sytí P (Tanner, 1999; Jamieson et al., 2002; Healy et al., 2007). Prvním mechanismem odstranění P je příjem bakteriemi, řasami, okřehkem (*Lemna spp.*) a makrofyty. Nicméně, toto je pouze krátkodobé skladování P, kdy je uloženo 35% -75% P, které je nakonec uvolněno zpět do vody při odumírání řas a mikrobů, ale i rostlinných zbytků. Dlouhodobé uložení P v umělém mokřadu probíhá pomocí akumulace a fixace v substrátu (Healy et al., 2011). Důležitým mechanismem odstraňování fosforu je také

srážení s kationy kovů jako je Fe, Al, Mg nebo Ca, které tvoří amorfni nebo slabě krystalické pevné látky. Právě Al a Fe jsou hlavní složkou mokřadních minerálních půd. Množství fosforu, které se vysráží je závislé na velikosti exponovaného povrchu (Reddy a DeLaune, 2008).

1.5 Způsob čištění odpadních vod ze zemědělství

Použití umělých mokřadů pro čištění koncentrovaných živočišných odpadů je relativně nový nápad. Většina mokřadů navržených pro odpadní vody hospodářských zvířat jsou malé systémy s průměrnou velikostí 0,6 ha. Většina mokřadních systémů pro čištění odpadních vod z prasečí, drůbeží a mléčné farmy je menší než 0,1 ha. Všechny mokřadní systémy mají nějakou formu předčištění. Nejčastější formou předčištění je usazovací nádrž nebo anaerobní laguna (Knight et al., 2000).

FWS (Free water surface) mokřady jsou systémy s volnou vodní hladinou a jsou podobné přirozeným mokřadům. FWS mokřady jsou vhodné do všech klimatických podmínek. Používají se pro čištění městských, zemědělských a průmyslových splachů, kvůli jejich schopnosti vypořádat se s kolísajícími přítoky a měnící se vodní hladinou. Jsou častou volbou pro čištění důlních vod, pro remediaci podzemních vod a pro čištění skládkových vod (Kadlec a Wallace, 2009). Mezi druhy odpadních vod z chovů hospodářských zvířat, které jsou čištěny umělými mokřady, patří kejda, mycí vody z mléčných farem, koncentrované odtoky vod z krmení dobytka, ze skladování drůbežího trusu, prasečího hnoje a silně znečištěné rybníční vody (Knight et al., 2000).

1.6 ICW koncept

V Irsku se pro čištění zemědělských vod znečištěných chovem dobytka často využívají umělé mokřady. Tyto systémy se nazývají ICW (Integrated constructed wetlands). ICW koncept byl vyvinut z prací, které začaly v roce 1990 s cílem zlepšit hospodaření s přírodními zdroji ve venkovských obcích v povodí Dunhill-Annestown v jižním County Waterfordu v Irsku (o rozloze 25 km²). Koncept ICW je založen na komplexním využití půdy pro úpravu kvality vody (Dunne et al., 2005; Scholz et al., 2007).

Hlavními charakteristikami ICW mokřadů jsou malá hloubka vody, využití emerzní vegetace a in situ půd (Mustafa et al., 2009). ICW systémy nebyly navrženy pouze ke

zlepšení kvality vody, ale k přirozenému začlenění systémů do krajiny a zvýšení biodiverzity (Obrázek 3). Odpadní vody jsou čištěny v ICW pomocí fyzikálních, chemických a biologických procesů (Kadlec a Knight, 1996; Scholz, 2006; Carty et al., 2008; <http://www.viron.ie/en> ^[3]).

Jednou podskupinou ICW systémů jsou FCW (Farm constructed wetlands), které jsou definované jako ekologické systémy, zahrnující řadu mělkých mokřadních buněk s volnou hladinou obsahující emerzní vegetaci (Carty et al., 2008). FCW mohou být navrženy k čištění různých typů odpadních vod z farem, včetně mlékárenských zařízení, mycích vod pocházejících z mytí zeleniny a hub a odtoků ze sil. Nicméně FCW systémy nejsou vhodné pro odpadní vody, které jsou bohaté na živiny, jako jsou kaly, pro koncentrované odpadní vody z mlékáren, pro mycí vody z postřikovačů pesticidů (Poe et al., 2003; Scholz et al., 2007; Carty et al., 2008).



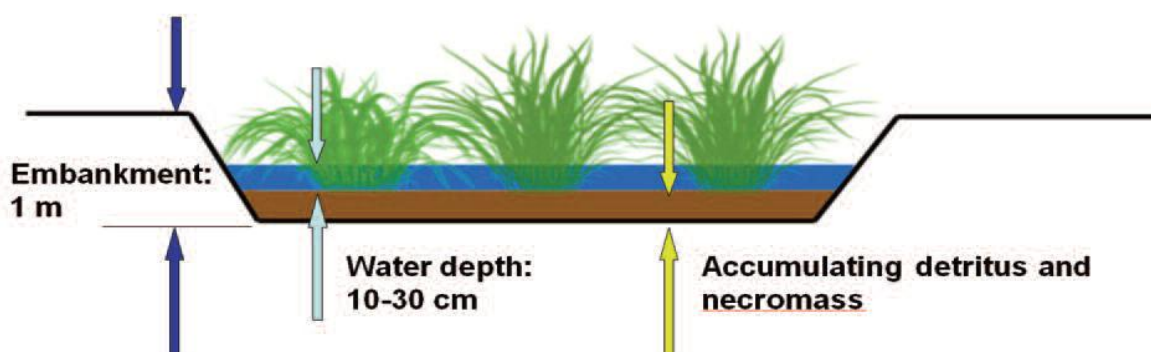
Obr. 3: Letecký pohled na ICW systém kopírující obrysy krajiny v Irsku (<http://www.viron.ie/en> ^[3]).

Rostliny v mokřadech s povrchovým tokem musí tolerovat stálé nasycení půdy vodou a nadměrný přísun živin z odpadních vod (Hammer, 1992b; Allen et al., 2002; Kadlec a Wallace, 2009). Nejčastěji se v systémech ICW používají emerzní druhy rostlin. Tyto druhy, mají speciálně přizpůsobené tkáně, které usnadňují transport kyslíku z listů přes stonek do kořenů. Mohou celoročně růst a fotosyntetizovat, nebo jsou to sezónní druhy. Může být použito více než 100 původních druhů, ale nejběžněji užívanými druhy rostlin pro tento typ mokřadu jsou v Evropě: rákos obecný (*Phragmites australis*), skřípinec jezerní (*Scirpus lacustris*), v severní Americe: orobinec (*Typha spp.*), skřípina (*Scirpus spp.*), šípatka široolistá

(*Sagittaria latifolia*), Austrálie a Nový Zéland: *Phragmites australis*, *Typha spp.*, kamyšík (*Bolboschoenus spp.*), skřípinec dvoublizný (*Scirpus tubernaemontani*), bahnička (*Eleocharis spp.*); (Vymazal a Kröpfelová, 2008; <http://www.environ.ie/en> ^[3]). Kromě vysázených makrofyt mohou být přítomny i přirozeně se vyskytující druhy na dané lokalitě. Emerzní vegetace, pokrývá významnou část povrchu, obvykle více než 50 %. Mokřadní rostliny mohou být vypěstovány přímo ze semen nebo vysázeny (Kadlec a Wallace, 2009).

Maximální hloubka vody ICW systému by měla být 30 cm, ale celková výška každé buňky mokřadu by měla být 1 m, aby bylo možné hromadění sedimentů, vody a odumřelé rostlinné biomasy (Obrázek 4). Doporučuje se, aby systém obsahoval 4 – 5 mokřadních buněk. V těchto systémech mohou existovat ještě další buňky, které slouží jako monitorovací (např. biomonitorovací rybníky). Existence těchto dalších mokřadů a rybníků na konci celého systému ICW je doporučována i když není nezbytná, protože zvyšují biodiverzitu a také zadržují vodu před vypouštěním do povrchových vod, čímž ochraňují před povodněmi. Hloubka těchto rybníků musí být více než 1 m.

Voda může mezi buňkami proudit díky gravitaci nebo se může přečerpávat čerpadly. Gravitační tok je žádoucí, protože šetří energii a snižuje náklady na provoz a údržbu. Poměr délky k šířce buňky se doporučuje 2:1, maximálně 4:1. Buňky by měly být podobné velikosti s podílem plochy první buňky ideálně 20 – 25 % z celkové plochy ICW. Hloubka půdy pod mokřadní buňkou by měla být minimálně 0,5 m s rychlostí infiltrace méně než 1×10^{-8} m/s. Doporučená vzdálenost od povrchových vodních toků je 10 m a od podpovrchového pitného zdroje 60 m (Kadlec a Wallace, 2009; <http://www.environ.ie/en> ^[3]).



Obr. 4: Průřez rozvržením hloubky mokřadu a břehů (<http://www.environ.ie/en> ^[3]).

Velmi důležitým aspektem pro výstavbu ICW systému je jeho celková velikost a požadovaná plocha. Pro počet skotu od 50 do 100 se používá plocha ICW systému od 0,4 do 1,2 ha – viz Tabulka IV (Scholz et al., 2007).

Tab. IV: Plochy farem s počty skotu a plochy ICW systémů v Anne Valley v Irsku (podle Scholz et al., 2007).

ICW	Plocha farmy (m ²)	Plocha ICW (m ²)	Počet skotu
1	4500	3906	60
2	14750	22966	60
2	5400	10288	50
4	9200	10327	100
5	4000	3940	35
6	9800	12691	80
7	4800	7964	55
8	2100	4375	50
9	5000	7676	77
10	13600	10748	85

Všechny umělé mokřadní čisticí systémy s povrchovým tokem by měly mít nejméně dvě buňky, které mohou pracovat paralelně, kvůli případným nefunkčnostem systému a kvůli nečekaným událostem jako je např. odumírání vegetace, selhání předčištění. Paralelní průtokové cesty umožňují vypuštění buněk pro opětovnou výsadbu, kontrolu přítomnosti hlodavců opravy netěsností a dalších možných provozních kontrol (Kadlec a Wallace, 2009; Kadlec a Knight, 1996).

Mokřady s povrchovým tokem by měly obsahovat hluboké zóny na vstupu a plochy s volnou vodní hladinou bez vegetace. Hluboké zóny na vstupu mají důležitou roli v usazování částic jinak by tyto částice mohly způsobit potíže v přítokových sekcích osázených vegetací. Z tohoto důvodu předcházejí mokřadním buňkám většinou sedimentační nádrže (Kadlec a Wallace, 2009). Umělé mokřady pro čištění odpadních vod pocházejících z chovů zvířat by měly být vždy v kombinaci s další strategií nakládání s odpady. Měly by obsahovat usazovací nádrže, laguny, nebo septiky, které odstraní pevné látky a uvolňují ideálně pouze kapalinu pro čištění v mokřadech. Hromadění částic v umělém mokřadu totiž zkracuje jejich životnost, takže odstranění pevných částic je nutným krokem (Cronk, 1996; Kadlec a Wallace, 2009). Některé odpadní vody jsou také velice koncentrované, a proto může být nutný určitý stupeň ředění před vypuštěním do mokřadu (Vymazal a Kröpfelová, 2008).

Jako izolace mokřadních buněk od podloží se používá nejčastěji stlačený jíl, bentonit nebo plastová izolace. Preferují se však jíly dostupné na dané lokalitě kvůli poklesu finančních nákladů. Některé mokřady izolaci nevyžadují, kvůli dostatečně těsnícím vlastnostem půdy na dané lokalitě. Mezi dvě nejčastěji používané plastové izolace patří

0,76 mm polyvinyl chlorid (PVC) a 1 mm polyetylen (HDPE). Použití izolace je nezbytné pokud jsou na dané lokalitě přítomny ostré kameny nebo pokud bude mokřad čistit látky nebezpečné pro životní prostředí. Rozhodnutí o instalaci izolace do mokřadního systému a o tom, který typ izolace použít závisí na cílech projektu a regulačních požadavcích (Kadlec a Knight, 1996; Kadlec a Wallace, 2009).

Hlavními objekty ICW jsou nápuštné a výpustné objekty. Nápuštný objekt je tvořen rozdělovacím potrubím. Výpustní a převodní zařízení je tvořeno sběrným drenem s čelním přelivem nebo požerákovou výpustí. Vstupní zařízení musí být schopné vypnutí při údržbě nebo odstavení umělého mokřadu mimo provoz. V některých případech toto zařízení slouží k monitorování průtoku a kvality vody. Přítoková potrubí jsou většinou vyrobená z PVC, hliníku nebo kujné litiny. Kujná litina má delší životnost, ale více podléhá korozi. Konstrukce objektu na výstupu je důležitá pro kontrolu hladiny vody a pro monitorování průtoku a kvality vody. Jednou z nejdůležitějších funkcí odtokového zařízení je pohodlné ovládání vodní hladiny. Většina mokřadních čistících systémů s povrchovým tokem má hladinu vody regulovatelnou od 0 (dno buňky) do 60 cm (Šálek, 1999; Kadlec a Wallace, 2009).

V Evropě nedošlo k tak významnému rozšíření FWS systémů jako v Severní Americe, naopak tu vyvolaly více pozornosti na konci 20. století umělé mokřady s podpovrchovým tokem (Vymazal et al., 1998). V současné době v Severní Americe existují stovky a možná tisíce FWS umělých mokřadů s emerzní vegetací, čistící komunální a průmyslové odpadní vody, zemědělské odpady a splachy i důlní odpadní vody (Kadlec and Knight, 1996; Vymazal a Kröpfelová, 2008). FWS systémy se také obvykle používají v Austrálii a Novém Zélandu, zejména pro čištění komunálních odpadních vod, dešťových vod a splachů z pastvin. FWS systémy jsou v provozu i v mnoha evropských zemích, např. ve Švédsku, Dánsku, Polsku, Irsku, Estonsku nebo Belgii (Greenway a Simpson, 1996; Greenway a Wooley, 1999; Vymazal a Kröpfelová, 2008).

1.7 Závěr

Umělé mokřady jsou systémy vhodné pro čištění různých typů odpadních vod včetně těch pocházejících ze zemědělského využívání krajiny. V současné době existuje několik typů umělých mokřadů, přičemž každý je vhodný pro jiný druh odpadní vody. Pro odpadní vody ze zemědělství jsou vhodné ICW systémy a FCW systémy. ICW systémy jsou umělé

mokřady s povrchovým tokem, s malou hloubkou vody, osázené emerzní vegetací, které dovedou čistit i silně koncentrované zemědělské odpadní vody jako jsou odpadní vody z mlékáren a kaly. FCW systémy mají sice podobný design jako ICW systémy, ale jsou vhodné pro méně koncentrované odpadní vody např. různé oplachové vody. Účinnost čištění odpadních vod v těchto systémech nejvíce závisí na intenzitě a charakteru mikrobiálních procesů, na správném návrhu a výstavbě systému. Každý navržený ICW systém je originálem, protože je vybudován pro konkrétní lokalitu. ICW systémy jsou plně vyhovujícím systémem čištění odpadních vod i pro podmínky ČR. Budování těchto systémů je možností, jak dosáhnout zlepšení kvality povrchových a podpovrchových vod, které jsou ohroženy eutrofizací. Na místě kde bude ICW systém vybudován dojde navíc ke zvýšení biodiverzity a v monitorovacím rybníce bude možný chov ryb. Výhodou ICW systémů je vysoká účinnost čištění, nízká energetická náročnost, omezení zápachu, nízká náročnost na údržbu a jejich začlenění do krajiny. Mezi nevýhody těchto systémů patří velké požadavky na plochu.

2. Cíle projektu

Cílem projektu je shromáždit a vyhodnotit existující informace o využití umělých mokřadů pro čištění odpadních vod znečištěných zemědělskou činností a vytvořit návrh takového funkčního systému.

3. Hypotézy

Umělý mokřad s povrchovým tokem je vhodným systémem pro čištění odpadních vod pro malé zemědělské podniky či farmy v podmínkách ČR. Přestože tento typ umělého mokřadu není v ČR zatím používán, může být vhodnou alternativou k jiným ekonomicky nákladným způsobům čištění odpadních vod.

4. Návrh experimentu

4.1. Návrh ICW systému

Navrhovaný ICW systém bude použit pro čištění odpadních vod ze zemědělství, jako jsou splašky z chlévského hnoje, odpadní vody ze siláží, a splašky z mléčných zařízení.

Prvním krokem před návrhem umělého mokřadu je získat informace o dané lokalitě. Je nutné udělat analýzu množství a složení produkovaných odpadních vod a vypočítat minimální plochu umělého mokřadu. Systém je navrhován pro menší farmu, kde se chová 50 kusů mléčného skotu. Podle fungujících ICW systémů v Irsku (Scholz et al., 2007; viz Tabulka IV) se bude plocha pro menší farmu s 50 kusy skotu pohybovat v rozmezí 0,4 – 1,2 ha. Při dobře navrženém a fungujícím systému by tedy mohla stačit plocha kolem 0,5 ha.

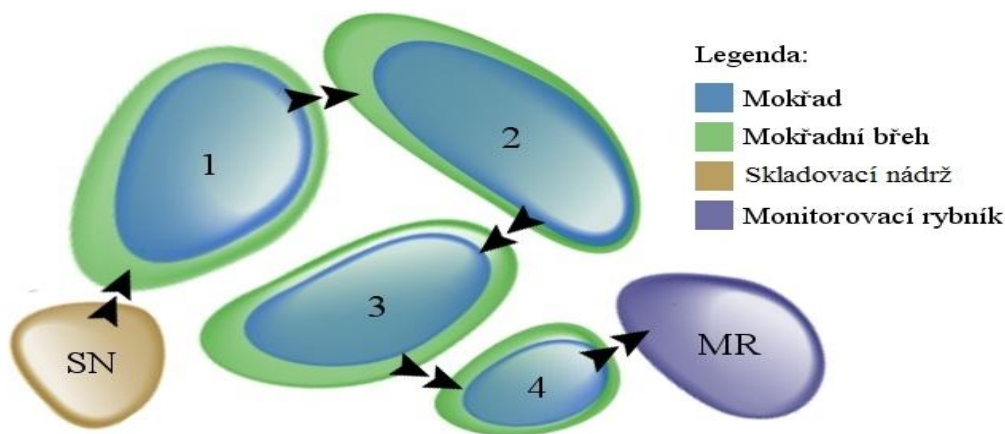
Dále je nutné zabývat se topografií, která určuje množství zemních prací a ovlivňuje náklady projektu, pak se musí brát v úvahu klima, geologie, podzemní vody a jejich chemické složení a hydrologické podmínky. Důležité je zjistit vlastnosti podloží zejména jeho propustnost. Ideální je, pokud je podloží tvořeno nepropustným materiálem, jako je jíl. To výrazně snižuje finanční náklady a zjednodušuje stavbu mokřadu, neboť potom není nutno provádět izolaci od podloží fólií a geotextilií. Před začátkem výstavby ICW systému bude nutné vyčistit danou lokalitu, to znamená zejména odstranit kameny, aby nedošlo k poškození izolace systému. Výstavba systému bude zahrnovat odstranění svrchní zeminy a podloží, vytvoření břehů z podloží, zhutnění podloží, nebo použití izolace, instalaci potrubí a osázení vegetací.

Pokud se budou čistit mléčné splašky, budou nejprve shromažďovány ve skladovací nádrži a potom naředěny kvůli vysoké toxicitě mléčných odpadních vod. Skladovací nádrž je složena z několika komor, kde probíhá primární čištění pomocí sedimentace. Ještě před touto nádrží jsou umístěny česle pro oddělení hrubých nečistot. Konstrukce a uspořádání skladovací nádrže bude kombinací sedimentační a skladovací nádrže a musí umožnit její plné vypuštění a vyčištění. Odpadní vody budou napouštěny do mokřadu pomocí čerpadla nebo gravitačně.

ICW systém bude kopírovat tvar krajiny, aby se omezily náklady na zemní práce. Ideální je vejčitý tvar mokřadních buněk s poměrem délky k šířce mezi 2:1 až 4:1. Systém bude tvořen čtyřmi mokřadními buňkami s emerzní vegetací a jedním závěrečným

monitorovacím rybníkem, který by měl podpořit další sedimentaci částic, snížit BSK₅ a bude sloužit k odběru vzorků pro kontrolu účinnosti čištění umělého mokřadu. Vždycky dvě mokřadní buňky budou pracovat paralelně, aby bylo možné zajistit pravidelnou údržbu systému. Buňky budou podobné velikosti a voda bude protékat postupně všemi buňkami. První mokřadní buňka bude mít hloubku 2 m, s cílem podpořit sedimentaci. Zbylé mokřadní buňky budou hluboké 30-40 cm, ale celková výška mokřadních buněk bude vyšší, aby bylo možné zvýšit hladinu vody v zimních měsících. Voda bude všemi mokřadními buňkami po povrchu protékat PVC potrubím o průměru 150 mm gravitačně s co nejdelším retenčním časem. Hladina vody v monitorovacím rybníce bude udržována ve výšce 0,5 m u okrajových oblastí a 2 m ve středové oblasti, aby bylo možné vysazení pstruhů, kteří jsou citliví na znečištění vody. Vysazen bude omezený počet jedinců, protože příliš velké množství ryb by vedlo k opětovnému znečištění vody.

Mokřadem vyčištěná odpadní voda bude poté vypouštěna do vodního toku, nebo bude opětovně využita na farmě, např. k závlaze. Uspořádání navrhovaného systému je znázorněno na Obrázku 5.



Obr. 5: Schéma navrženého ICW systému.

Umělý mokřad bude osázen vegetací ve formě sazenic, které se buď vyskytují v dané lokalitě, nebo mohou být zakoupeny od firem, které produkují sazenice mokřadních rostlin zejména pro osazování kořenových čistíren odpadních vod. V ČR to budou nejčastěji orobinec širokolistý (*Typha latifolia*), rákos obecný (*Phragmites australis*), chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), žabník jitrocelový (*Alisma plantago-aquatica*), kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*) a ostřice pobřežní (*Carex riparia*). Vždy je lepší zvolit směs více druhů rostlin, aby projekt neztroskotal na úhynu jednoho druhu. Založení vegetace ze sazenic je sice o něco dražší než založení vegetace ze semen, ale výhodou je kratší doba pro

vytvoření životaschopného rostlinného společenstva. Hustota výsadby by se měla pohybovat mezi 1000 – 40000 rostlin na hektar, v závislosti na rychlosti šíření vybraných druhů rostlin v dané klimatické oblasti. Rostliny by měly být vysazeny do půdy s výškou 30 – 40 cm. Při osázení vegetací musí být udržovány nasycené půdní podmínky bez povrchového zaplavení. Jakmile je vegetace vysazena začne se zvyšovat hladina vody, aby byla optimální pro růst rostlin. Zavlažování může být zajištěno přečerpáním pitné vody, vody z jezera, rybníka nebo řeky. Mokřadní systém může být používán pro čištění odpadních vod, až v okamžiku kdy rostlinný pokryv bude tvořit alespoň 60 – 80 %. Osázení vegetací by mělo probíhat na jaře nebo v létě v časovém horizontu 2 týdnů až jednoho měsíce. Vytvoření vegetace na hrázích bude ponecháno přirozené obnově. Šířka hráze, na kterou se bude vjíždět auty, musí být větší než 3 m a šířka hráze pro obvyklý přístup bude okolo 1 m.

V okolí systému mohou být vysazeny dřeviny menšího vzrůstu. Vhodné jsou jen druhy s mělkým kořenovým systémem, aby nedošlo k poškození izolace systému od podloží.

V ICW systému bude postupně docházet k hromadění sedimentů a odumřelé organické hmoty. Nejvíce bude sedimentací zatížena skladovací nádrž a první mokřadní buňka, proto bude nutné pravidelné odstraňování kalu. První čištění mokřadních buněk se dá očekávat po 10 – 20 letech podle zatížení systému. Nahromaděný kal bude odstraňován pouze do výšky 100 mm ode dna mokřadu, aby nedošlo k poškození izolace. Čištění se má provádět během letního období, aby bylo možné snížit hladinu vody v mokřadní buňce a tok odpadní vody odklonit do další buňky. Materiál bude následně odvodněn a potom může být buď zapraven do půdy, případně kompostován. Důležitá je také údržba vegetace, která bude zajištěna kosením jednou nebo dvakrát za rok. Pravidelně se budou muset také odstraňovat náletové dřeviny, které by mohly poškodit izolaci systému. Pravidelné odstraňování usazeného materiálu, údržba vegetace a celého systému zvyšuje jeho životnost.

4.2 Časový harmonogram

1. Zhodnocení možností nakládání s odpadní vodou v dané lokalitě.
2. Analýza složení a množství produkovaných odpadních vod.
3. Výběr vhodné plochy pro vybudování umělého mokřadu.
4. Průzkum podloží, vyhodnocení dalších parametrů (hydrologie, topografie terénu atd.).
5. Finanční rozvaha (odhad ceny vybudování mokřadu).
6. Vytvoření návrhu mokřadu pro podmínky v dané lokalitě.

4.3 Finanční rozvaha

Náklady na projekt ICW systému budou zahrnovat:

1. analýzu složení a množství odpadních vod v dané lokalitě,
2. průzkum lokality (charakter půd a podloží, hydrologie, topografie terénu),
3. návrh projektu.

5. Výstupy projektu

Navrhovaný systém přinese zjednodušení nakládání s odpadními vodami a snížení finančních nákladů na jejich likvidaci. Nebude nutné je skladovat v jímkách nebo je odvézt do klasických čistíren odpadních vod (ČOV). Další výhodou jsou minimální náklady na provoz v porovnání s klasickými ČOV. Pokud je transport odpadní vody zajištěn pouze pomocí gravitace pak není potřeba ani elektrická energie na čerpání vody, proto je tento systém vhodný i do lokalit, kde není zavedena elektrická energie. Navíc vznikne nový přírodní biotop a vzroste biodiverzita na lokalitě. Mokřad by měl také příznivě působit na místní klima tím, že se zvýší evapotranspirace, čímž se bude v letním období snižovat okolní teplota. V České Republice je možné tuto technologii uplatnit na mnoha lokalitách. Tato rešerše a návrh tohoto projektu má za cíl pomoci prosadit tyto systémy do praxe. To povede ke zlepšení kvality povrchové i podzemní vody, která je v současnosti ohrožena eutrofizací mimo jiné i v důsledku nevhodného nakládání se zemědělskými odpadními vodami.

6. Literatura

- Allen W. C.; Hook P. B.; Beiderman J. A.; Stein O. R.** Temperature and wetland plant species effects on wastewater treatment and root zone oxidation. *Journal of Environmental Quality*. 2002, 31, 1010-1016.
- Barko, J. W.; Gunnison, D.; Carpenter, S. R.** Sediment interactions with submerged macrophyte growth and community dynamics. *Aquatic Botany*. 1991, 41, 41-65.
- Burchell II, M. R.; Skaggs, R. W.; Lee, C. R.; Broome, S.; Chescheir, G. M.; Osborne, J.** Substrate organic matter to improve nitrate removal in surface-flow constructed wetlands. *Journal of Environmental Quality*. 2007, 36, 194-207.
- Carty, A.; Scholz, M.; Heal, K.; Gouriveau, F.; Mustafa, A.** The universal design, operation and maintenance guidelines for farm constructed wetlands (FCW) in temperate climates. *Bioresource Technology*. 2008, 99, 6780-6792.
- Cronk, J. K.** Constructed wetlands to treat wastewater from dairy and swine operations: a review, *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1996, 58, 97-114.
- Dong, C.; Zhu, W.; Zhao, Y. Q.; Gao, M.** Diurnal fluctuations in root oxygen release rate and dissolved oxygen budget in wetland mesocosm. *Desalination*. 2011, 254-258.
- Dong, Z.; Sun, T.** A potential new process for improving nitrogen removal in constructed wetland - promoting coexistence of partial-nitrification and ANAMMOX. *Ecological Engineering*. 2007, 31, 69-78.
- Dunne, E. J.; Culleton, N.; O'Donovan, G.; Harrington, R.; Olsen, A. E.** An integrated constructed wetland to treat contaminants and nutrients from dairy farmyard dirty water. *Ecological Engineering*. 2005, 24, 221-234.
- Faulwetter, J. L.; Gagnon, V.; Sundberg, C.; Chazarenc, F.; Burr, M. D; Brisson, J.; Camper, A. K; Stein, O. R.** Microbial processes influencing performance of treatment wetlands: A review. *Desalination*. 2009, 254-258.
- Fu, W. J.; Tang, Y.** The roles of plants in constructed wetlands and species selection. *Sichuan Environment*. 2005, 24, 45-49.
- Gersberg, R. M.; Elkins, B. V.; Lyon, S. R.; Goldman, C. R.** Roles of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetland. *Water Research*. 1986, 20 (3), 363-368.

- Greenway, M.; Simpson, J. S.** Artificial wetlands for wastewater treatment, water reuse and wildlife in Queensland, Australia. *Water Science and Technology*. 1996, 33, 221-229.
- Greenway, M.; Woolley, A.** Constructed wetlands in Queensland: Performance efficiency and nutrient bioaccumulation, *Ecological Engineering*. 1999, 12, 39-55.
- Groudeva, V. I.; Groudev, S. N.; Doycheva, A.S.** Bioremediation of waters contaminated with crude oil and toxic heavy metal. *International Journal of Mineral Processing*. 2001. 293-299.
- Hammer D. A.** *Creating Freshwater Wetlands*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1992b. 298 s.
- Hammer, DA.** Designing constructed wetlands systems to treat agricultural nonpoint source pollution. *Ecological Engineering*. 1992 a, 1, 49-82.
- Healy, M. G.; Rodgers, M.; Mulqueen, J.** Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters. *Bioresource Technology*. 2007, 98, 2268-2281.
- Healy, M. G; O' Flynn, C. J.** The performance of constructed wetlands treating primary, secondary and dairy soiled water in Ireland (a review). *Journal of Environmental Management*. 2011, 92, 2348-2354.
- Ibekwe, A. M.; Lyon, S. R.; Leddy, M.; Jacobson-Meyers, M.** Impact of plant density and microbial composition on water quality from a free water surface constructed wetland. *Journal of Applied Microbiology*. 2007, 102, 921–936.
- Jamieson, T. S.; Stratton, G. W.; Gordon, R.; Madani, A.** Phosphorus adsorption characteristics of a constructed wetland soil receiving dairy farm wastewater. *Canadian Journal of Soil Science*. 2002, 82, 97-104.
- Jelínek, A. a kol.** *Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel*. Praha: Agrospoj, 2001. 236 s.
- Kadlec, R. H.; Knight, R. L.** *Treatment Wetlands*. New York: Lewis Publishers, 1996. 893 s.
- Kadlec, R. H; Wallace, S. D.** *Treatment wetlands*. New York: CRC Press. 2009. 1016 s.
- Knight R. L.; Payne V. W. E.; Borer R. E.; Clarke R. A.; Pries J. H.** Constructed wetlands for livestock wastewater management. *Ecological Engineering*. 2000, 15(1-2), 41-55.

- Mitsch, W. J.; Gosselink, J. G.** *Wetlands*. New Jersey: Hoboken. 2007. 582 s.
- Münch, C.; Kuschik, P.; Roske, I.** Root stimulated nitrogen removal: only a local effect or important for water treatment? *Water Science and Technology*. 2005, 51 (9), 185-192.
- Mustafa, A.; Scholz, M.; Harrington, R.; Carroll, P. Long.** The Long-term performance of a representative integrated constructed wetland treating farmyard runoff. *Ecological engineering*. 2009, 35, 779-790.
- Newman, J. M; Clausen, J. C; Neafsey, J. A.** Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milkhouse wastewater in Connecticut. *Ecological Engineering*. 2000, 14, 181-198.
- Ouellet- Plamondon, C.; Chazarenc, F.; Comeau, Y.; Brisson, J.** Artificial aeration to increase pollutant removal efficiency of constructed wetlands in cold climate. *Ecological Engineering*. 2006, 27, 258-264.
- Pitter, P.** *Hydrochemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. 568 s.
- Poe, A. C; Pichler, M. F.; Thompson, S. P.; Paerl; H. W.** Denitrification in a constructed wetland receiving agricultural runoff. *Wetlands*. 2003, 23, 817-826.
- Příkryl, M. a kol.** *Technologická zařízení staveb živočišné výroby*. Praha: Tempo Press, 1997. 23-66 s.
- Reddy, G. B.; Hunt, P. G.; Phillips, R.; Stone, K.; Grubbs, A.** Treatment of swine wastewater in marsh-pond-marsh constructed wetlands. *Water Science and Technology*. 2001, 44, 545-550.
- Reddy, K. R.; Patrick, W. H.** Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments. *Review of Environmental Control*. 1984, 13, 273-309.
- Reddy, R. K.; DeLaune, R. D.** *Biogeochemistry of wetlands: science and applications*. Florida: CRC press, 2008. 774 s.
- Scholz, M.** *Wetland systems to control urban runoff*. Amsterdam: Elsevier, 2006. 333 s.
- Scholz, M.; Harrington, R.; Carroll, P.; Mustafa, A.** The integrated constructed wetlands (ICW) concept. *Wetlands*. 2007, 27, 337-354.
- Sievers, D. M.** Performance of four constructed wetlands treating anaerobic swine lagoon effluents. *Transactions of the ASAE*. 1997, 40, 769-775.

Sundberg, C.; Stendahl, J. S. K.; Tonderski, K.; Lindgren, P. E. Overland flow systems for treatment of landfill leachates - potential nitrification and structure of the ammonia-oxidizing bacterial community during a growing season. *Soil Biology and Biochemistry*. 2007, 39, 127-138.

Šálek, J. *Metodiky pro zemědělskou praxi- navrhování a provozování vegetačních kořenových čistíren*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1999. 54 s.

Šimek, M. *Základy nauky o půdě, 1. Neživé složky půdy*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, 2007. 158 s.

Šimek, M. *Základy nauky o půdě, 3. Biologické procesy a cykly prvků*. České Budějovice : Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, 2003. 151 s.

Tanner, C. C. Plants for constructed wetland treatment systems - a comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. *Ecological Engineering*. 1999, 7, 59-83.

Tanner, C. C.; Clayton, J. S.; Upsdell, M. P. Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters in constructed wetlands—II. Removal of nitrogen and phosphorus. *Water Research*. 1995, 29, 17-26.

Toet, S.; Huibers, L. H. F. A.; Van Logtestijn, R. S. P.; Verhoeven, J. T. A. Denitrification in the periphyton associated with plant shoots and in the sediment of a wetland system supplied with sewage treatment plant effluent. *Hydrobiologia*. 2003, 29-44.

Toet, S.; Logtestijn, R. S. P. V.; Schreijer, M.; Kampf, R.; Verhoeven, J. T. A. The functioning of a wetland system used for polishing effluent from a sewage treatment plant. *Ecological Engineering*. 2005, 25, 101-124.

Vymazal, J. *Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách*. Třeboň: ENVI s. r. o., 1995. 146 s.

Vymazal, J. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment: A Review. *Ecological Engineering*. 2005, 25, 478-490.

Vymazal, J. *Kořenové čistírny odpadních vod*. Třeboň: ENKI o. p. s., 2004. 12 s.

Vymazal, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*. 2007, 380, 48–65.

Vymazal, J.; Brix, H.; Cooper, P. F.; Green, M. B.; Haberl, R. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Leiden: Backhuys. 1998. 366 s.

Vymazal, J.; Kröpfelová, L. *Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow*. Heidelberg: Springer. 2008. 566 s.

Wallace, S. D.; Knight, R. L. *Small-scale constructed wetland treatment systems: Feasibility, design criteria, and O&M Requirements*. London: IWA Publishing, 2006. 304 s.

Internetové zdroje:

(Aktuální ke dni 15. 12. 2011)

1) <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-428-2001-sb-kterou-se-provadi-zakon-c-274-2001-sb>

2) <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/narizeni-c-416-2010-sb-o-ukazatelich-a-hodnotach-pripustneho-znecisteni-odpadnich-vod-a-nalezitostech-povoleni-k-vypousteni-odpadnich-vod-do-vod-podzemnich>

3) <http://www.environ.ie/en/Publications/Environment/Water/FileDownload,24931,en.pdf>

4) Groda a kolektiv autorů 2007. Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově [online]. Ministerstvo zemědělství ČR. Dostupný z WWW: http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení_odpadnich_vod.pdf