

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta

Bakalářská práce

Možnosti snížení odnosu živin projektovanými opatřeními v krajině

Zdeněk Lasovský

Vedoucí práce: RNDr. Jakub Borovec, Ph.D.

České Budějovice 2014

Lasovský, Z., 2014: Možnosti snížení odnosu živin projektovanými opatřeními v krajině

[Possibilities to reduce transport nutrients projected measures in the landscape. Bachelor thesis in Czech.] – 32 pp., University of South Bohemia, Faculty of Science, České Budějovice, Czech Republic

Anotace:

Práce je zaměřena na návrh projektových opatření na malých vodních tocích v krajině. Ve vybraném toku bude sledována bilance živin, zejména dusíku, přičemž bude zjištěna účinnost jednotlivých opatření.

Annotation:

The thesis is focused on the proposal project measures on small streams in the landscape. In the selected stream will be monitored balance of nutrients, especially nitrogen whereas will be effectiveness of individual measures identified.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval 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

Zdeněk Lasovský

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na malé vodní toky v České republice. Práce je psaná v podobě literární rešerše a návrhu projektu. V literární rešerši jsou zpracovány významné druhy projektových opatření na tocích, které mají vliv na retenci dusíku v toku. V projektu bude vybrán vyhovující nejmenovaný tok, u kterého bude nejprve změřena bilance dusíku před úpravou a poté po vybraných úpravách. Z výsledků bude zjištěna účinnost retence dusíku v jednotlivých upravených úsecích toku. Práce poslouží k ověření účinnosti retence dusíku v jednotlivých opatřeních na toku a poskytne důležitá data při průběhu revitalizací na tocích.

Abstract

The bachelor thesis is focused on small streams in Czech Republic. The thesis is written in the form of a literature search and conception of project. The literature search includes important engineering measures on streams that affect the retention of nitrogen in streams. For the project will be selected a proper nameless stream where nitrogen balance will be measured before and after engineering measures. Results will provide efficiency of nitrogen retention in particular sections of the modified stream. The thesis will verify the efficiency of nitrogen retention within the engineering measures on the stream and provide important data for revitalization of streams.

Poděkování:

Rád bych poděkoval svému školiteli RNDr. Jakubovi Borovec, Ph.D. za vedení bakalářské práce a za čas strávený při průběžných kontrolách mé práce. Dále děkuji svým spolužákům za podporu v psaní této práce.

Obsah:

1	Literární rešerše: Možnosti zadržení živin, zejména dusíku v malém vodním toku	6
1.1	Úvod:.....	6
1.2	Krajina v České republice	7
1.2.1	Dusík v ekosystému krajiny	7
1.2.2	Formy dusíku.....	8
1.3	Zdroje dusíku v krajině	8
1.3.1	Antropogenní zdroje.....	8
1.3.2	Přírodní zdroje dusíku v ekosystému krajiny	10
1.4	Procesy v rámci cyklu dusíku.....	11
1.4.1	Asimilace živin.....	12
1.4.2	Amonifikace	12
1.4.3	Nitrifikace.....	12
1.4.4	Denitrifikace.....	13
1.4.5	Sedimentace	13
1.5	význam dusíku v ekosystému.....	13
1.5.1	Půdní ekosystémy.....	13
1.5.2	Vodní ekosystémy	14
1.6	Projektová opatření při revitalizacích toků jako možná řešení zadržení živin	15
1.6.1	Technické revitalizace	15
1.6.2	Legislativa	15
1.6.3	Hodnocení toku	15
1.7	Revitalizace toků v České republice	15
1.7.1	Revitalizační opatření.....	17
2	Projekt: Měření bilance dusíku v toku	20
3	Cíle a Hypotézy předpokládaného projektu	21
3.1	Cíle projektu.....	21
3.2	Hypotézy	21
3.3	Návrh projektu	22
3.4	Navrhovaná terénní měření	23
3.5	Odběrová místa	24

3.6	Použité metody	24
3.7	Časový harmonogram projektu	25
3.8	Rozpočet projektu v tis. Kč	25
3.9	Podrobný rozpis nákladů projektu na tři roky	26
4	Závěr	28
5	Citace:	29

1 Literární rešerše: Možnosti zadržení živin, zejména dusíku v malém vodním toku

1.1 Úvod:

Dnes je možné krajinu České republiky definovat jako krajina kulturní. V minulých letech měla lidská činnost na krajinu velký vliv a došlo k řadě zásahů do přirozené krajiny. Dnes převládá především zemědělská krajina.

Problémem v této změněné krajině je zemědělská činnost a přísun znečištěné vody z lidských sídel. Následkem je dotování toků nadměrným množstvím živin, zejména dusíku a fosforu, což se odráží na jakosti vody. Nadbytek živin způsobuje velký rozvoj řas a sinic (eutrofizaci), tedy zhoršení kvality vody v tocích a jejich recipientech. V rámci malé retence živin v tocích se živiny dostávají v nadměrném množství do oceánů, což způsobuje problémy.

Na našem území je typický výskyt malých vodních toků. U těchto toků docházelo v minulosti k úpravám s cílem odvodnit krajinu. Odvodnění mělo za následek napřímení koryt toků a často docházelo i k celkovému zatrubnění. U regulovaných toků bývá neúměrně zvýšen odnos živin, což má za následek snížení přirozených samočisticích procesů.

Následkem těchto lidským zásahů se do dnešní doby na našem území zachovala jen malá část přírodě blízkých toků. Dnes už však dochází u některých toků k nápravám, při kterých koryta toků získávají opět přírodní ráz.

U revitalizovaných toků je v zájmu projektantů navrátit korytu přírodní ráz, avšak zlepšení kvality vody bývá opomíjeno.

Cílem mého projektu je nalézt nejlépe vyhovující revitalizační opatření na toku, která povedou k snížení odnosu živin, zejména dusíku. Porovnáním naměřených výsledků před revitalizací a po revitalizaci toku bude zjištěna celková účinnost revitalizačních opatření. Projekt přinese důležité poznatky pro plánování nových revitalizací a úprav prováděných na našich tocích.

1.2 Krajina v České republice

Krajinu je možné definovat jako část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem. Tvořená je ze souborů funkčně propojených ekosystémů a civilizačními prvky (Novotná, 2001). Celková výměra půdy v ČR je 7886702 ha. Největší podíl z celkové rozlohy tvoří zemědělská půda, jejíž rozloha je přibližně 4254406 ha. Z této rozlohy připadá 3039669 ha na orné půdy a 976225 ha na trvale zatravněné plochy. Z nezemědělské půdy jsou důležitou složkou krajiny lesy, které zabírají 2649149 ha a vodní plochy, které zabírají 161420 ha (Kozák et al., 20009).

Pro lepší popsání koloběhu živin v malém vodním toku nebudou brána v potaz lidská sídla jako zdroj znečištění. Předpokládané území okolo toku bude tvořeno následující skladbou krajiny mimo zastavěné území.

Území bude tvořeno z 35 % lesy, z 50 % poli, z 13 % loukami a z 2 % vodním tokem. Procentuální zastoupení jednotlivých ekosystémů je rozděleno mezi 4 základní, které se v ČR vyskytují ve volné krajině nejčastěji a přibližně ve stejném procentuálním zastoupení.

1.2.1 Dusík v ekosystému krajiny

Dusík patří mezi nejrozšířenější prvek, který tvoří 78,1 % objemu zemské atmosféry. Tento dusík není zapojen do globálního cyklu. Hlavním zdrojem dusíku v rámci jeho cyklu je biosféra. Dusík se zde vyskytuje jako součást organických látek a těl rostlin a živočichů. Jedná se tedy o prvek, který je nezbytný pro veškeré formy života. V rámci cyklu je dusík v organických sloučeninách obsažen zhruba z 15 % z jeho celkového objemu na Zemi (Galloway et al., 2004).

V zemské kůře se dusík vyskytuje vzácně. V minerálech je jeho výskyt zejména v podobě ledku draselného (KNO_3), který má největší ložiska na území Indie, nebo v podobě chilského ledku (NaNO_3), jehož výskyt je limitován na pouštní oblasti v Chile (Greenwood & Earnshaw, 1997). V půdách je celkové množství dusíku velmi rozdílné, v orniční vrstvě v ČR se nachází 0,1 - 0,2 % veškerého dusíku. V ornici z 98-99 % veškerý dusík přítomný v organické a zbytek v minerální formě.

1.2.2 Formy dusíku

V atmosféře se dusík vyskytuje v podobě sloučenin ve formě NH_3 , který přechází do atmosféry z disociované formy NH_4^+ vznikající při tlení organického materiálu. Další formou výskytu je oxid dusný (N_2O), který vzniká při elektrických výbojích. Poté následuje reakce za vzniku oxidu dusičitého (NO_2), ze kterého vzniká kyselina dusičná (Kallf, 2002).

Ve vodních a terestrických ekosystémech se dusík nejhojněji vyskytuje v podobě elementárního (N), jako anorganicky vázaný ve formě dusičnanových iontů (NO_3^-), dusitanových iontů (NO_2^-) a amonných iontů (NH_4^+ , NH_3) a jako organicky vázaný v podobě aminokyselin, močoviny, aminů, nukleových kyselin a proteinů (Vitousek, 1994).

1.3 Zdroje dusíku v krajině

Zdroje dusíku v krajině lze rozdělit na přírodní, které probíhají v rámci přirozeného koloběhu živin a na antropogenní, které se významně podílejí na zatížení ekosystému dusíkem. Mezi přírodní zdroj dusíku patří procesy jako sopečná činnost, požáry, rozklad organické hmoty, nebo fixace dusíku. Do antropogenních zdrojů patří depozice, nebo hnojení dusíkatými hnojivy (Šimek, 2003).

1.3.1 Antropogenní zdroje

1.3.1.1 Suchá a mokrá depozice

Příčinou antropogenních zdrojů dusíku jsou spalovací procesy, při kterých se dusík do atmosféry uvolňuje v podobě oxidů dusíku (NO_x). K uvolnění oxidů dusíku nedochází jen při spalování paliv, ale i při spalování za vysokých teplot, kdy dochází k oxidaci molekulového dusíku na NO_x . V atmosféře následně dochází k procesům, kdy vzniká kyselina dusičná, která se v podobě kyselých dešťů dostává do ekosystémů (Elliott et al., 2009).

V atmosféře se reakční dusík vyskytuje v podobě amonných iontů. Jako plynný amoniak (NH_3) reaguje s vodní párou za vzniku iontové formy NH_4^+ . Amoniak dále reaguje se sírany a vzniká síran amonný, který dopadá na zem v podobě depozice. Další formou výskytu jsou oxidované dusíkové sloučeniny jako NO , NO_2 , N_2O_5 . Při reakci s vodní parou vzniká v atmosféře kyselina dusičná (HNO_3) a dochází ke spadu v podobě kyselého deště.

V podobě suchých depozic se dusík dostává na zem s prachovými částmi, na které se váže (Burt et al., 1993).

Na základě statistik lze tedy suchou a mokrou depozici zařadit jako významný zdroj dusíku, který se dostává do ekosystémů krajiny.

Tab. 1: Odhad imisí dusíku na rok 2012 pro území ČR (Hunová et al., 2012)

formy dusíku	depozice (t/rok)		
	suchá	Mokrá	celková
N (oxidovaný)	23796	20052	40546
N (redukováný)	31285		
N (ox. + red.)	55081		75133

Jako zdroj emisí nelze opomenout ani amonné ionty (NH_3^+), které pocházejí ze zemědělské činnosti. Největším zdrojem amonných iontů je v ekosystému krajiny chov skotu a výroba průmyslových hnojiv (Hruška & Kopáček, 2005).

1.3.1.2 Zemědělství

Největší přísun dusíku do ekosystému krajiny pochází ze zemědělské činnosti a to zejména díky používání dusíkatých hnojiv. Množství hnojiv, které je možné aplikovat na určité půdy, nebo určitý druh plodin za rok je upravováno legislativou evropské unie (nitrátovou směrnicí 91/676/EHS). Antropogenní přísun dusíku je o 10 – 40% v průměru 25 % větší než v přírodních ekosystémech

V České republice se tento zdroj dusíku dělí na dva typy. Na hnojení minerálními hnojivy a na hnojení statkovými hnojivy živočišného původu. Dle dostupných dat se přísun statkových hnojiv pohybuje v ČR kolem 20 kg.ha⁻¹/rok a přísun minerálních hnojiv kolem 77 kg.ha⁻¹/rok (Kopáček et al. 2013).

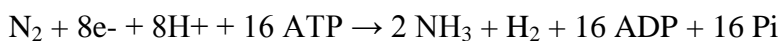
1.3.2 Přírodní zdroje dusíku v ekosystému krajiny

1.3.2.1 Fixace molekulového dusíku bakteriemi a sinicemi

Fixace dusíku je proces, při kterém dochází k redukci molekulárního dusíku na amoniak. Jedná se o proces, který je energeticky náročný. Probíhá u některých zástupců sinic a bakterií. Bakterie a sinice často tvoří symbiotické vztahy s rostlinami. Této symbióze se říká asociativní. Bakterie na rostlině osídlují nejčastěji kořenové systémy (Lellák & Kubíček., 1992).

K přeměně volného molekulového dusíku slouží bakteriím enzym nitrogenáza (bílkovinný komplex s atomy Fe a Mo), která katalyzuje redukci dusíku na amonný iont.

Reakce probíhá podle sumární rovnice:



Mezi časté symbiotické druhy bakterií patří bakterie z rodu *Rhizobium*. Rod *Rhizobium* tvoří symbiotický vztah s rostlinami z čeledi bobovitých. Další významnou skupinou symbiotických fixátorů dusíku je rod *Frankia*, který tvoří symbiotický vztah s dřevinami.

Dalším způsobem získu molekulového dusíku je fixace nesymbiotická, která probíhá u bakterií z rodu *Azotobacter* a *Clostridium* (Möllerová, 2006).

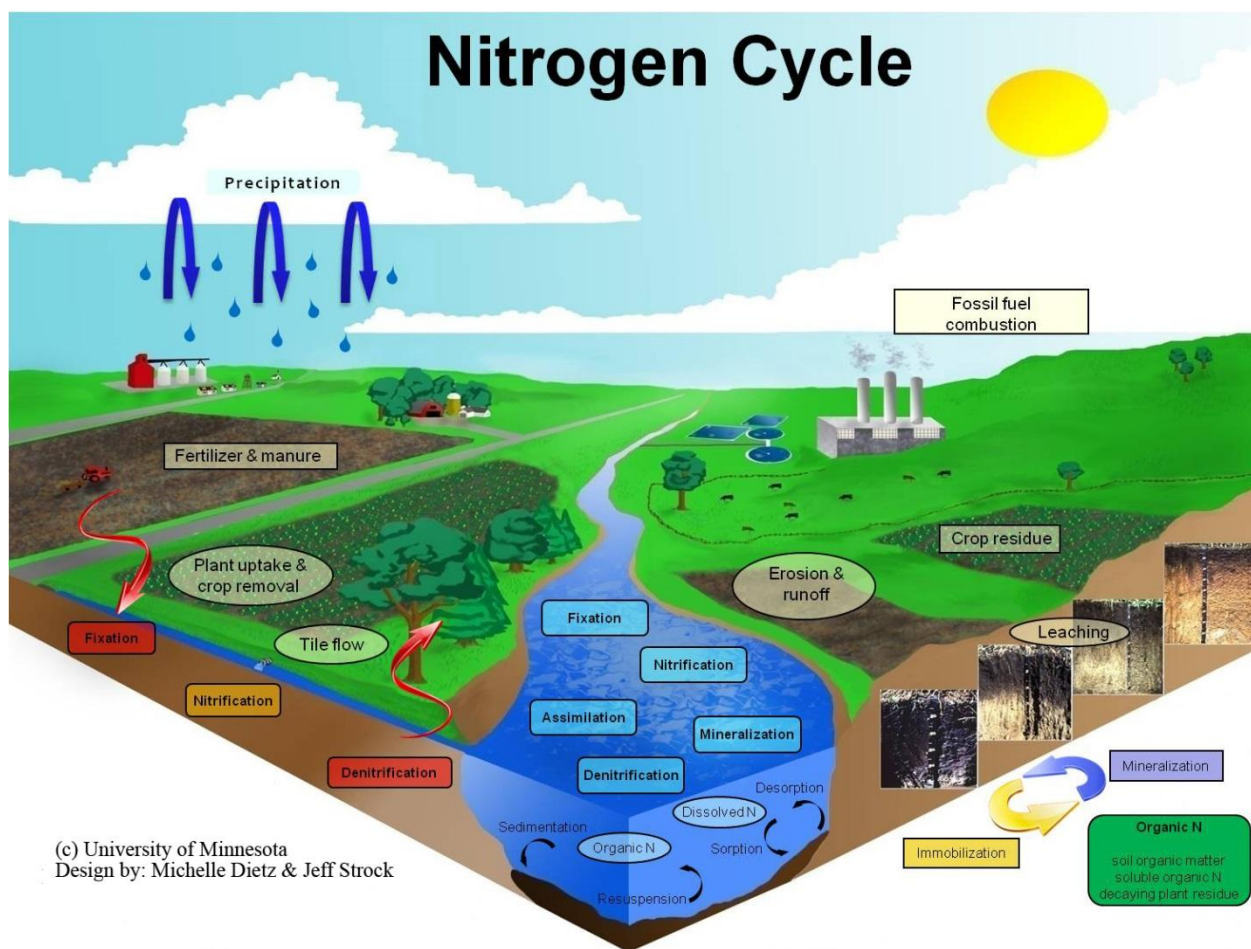
Ročně vstupuje do ekosystému 500 kg/km² dusíku, který je vázán volnými vazáči a kolem 600 až 1100 kg/km² v současnosti přibližně 1000 kg/km² dusíku, jež je vázán symbiotickými vazáči. Celkově se do krajiny, především polí dostává ročně až 1500 kg/km² dusíku, který je dále využit (Kopáček et al., 2013).

1.3.2.2 Odumřelá organická hmota

Na fixaci dusíku navazuje proces, kdy je část dusíku opět uvolněna do atmosféry a část opět přijímána. K uvolnění amoniakálního dusíku dochází při rozkladu odumřelých rostlin a živočichů, dusík se do ekosystémů uvolňuje i z exkrementů živočichů. K rozkladu odumřelé organické hmoty dochází při činnosti dekompozitorů, tedy rozkladačů organické hmoty na anorganické formy dusíku NO₃⁻ a NH₄⁺, které mohou být opět přijímány. Plynný dusík je při rozkladu uvolněn do ovzduší (Erisman et al., 2007).

1.4 Procesy v rámci cyklu dusíku

Koloběh dusíku je biogeochemickým cyklem, který popisuje přeměny dusíku a jeho sloučenin v přírodě. Hlavní zdroj dusíku na Zemi je obsažen v atmosféře. Atmosférický dusík jsou schopné vázat pouze některé druhy bakterií a sinic. Živé organismy jsou schopné dusík vázat pouze ve sloučeninách. V terestrických i vodních ekosystémech je atmosférický dusík fixován některými druhy řas a sinic a bakterií, které buď žijí v symbióze s rostlinami, nebo jsou schopny fixovat dusík sami (Wetzel, 1983).



Obr. 1: Cyklus dusíku v krajině (Dietz & Strotz. 2014) Dostupné z:

<http://swroc.cfans.umn.edu/ResearchandOutreach/SoilManagement/SoilResearch/NitrogenCycle/index.htm>

1.4.1 Asimilace živin

Důležitým procesem je asimilace sloučenin dusíku rostlinami, kdy rostliny přijímají dusík v podobě dusičnanových a amonných iontů. Z rostlin je část dusíku vylučována zpět do prostředí.

Vyloučený dusík je zařazen do potravního řetězce, kde je využit konzumenty a zbytek dusíku obsaženého v rostlinných tělech se uvolňuje do prostředí po jejich úhynu (Taiz & Zeiger., 1991).

1.4.2 Amonifikace

Amonifikace je proces, při kterém se dusík z živočišné biomasy navrácí do koloběhu vylučováním, při odumření živočichů a rozkladu jejich organické hmoty. Na rozkladu se podílejí heterotrofní bakterie. Při rozkladu hmoty jsou produkovány amonné ionty (NH_4^+). Transformací organického dusíku ve vodním prostředí vzniká nedisociovaný hydroxid amonný (NH_4OH). Poměr mezi amonnými ionty a hydroxidem amonným je závislý na teplotě vody a na pH. Obecně platí, že s rostoucím pH se zvyšuje množství hydroxidu amonného (Wetzel, 2001).

1.4.3 Nitrifikace

Za aerobních podmínek dochází v půdě i ve vodním prostředí k nitrifikaci. Proces nitrifikace má dvoustupňový průběh, kdy za činnosti nitrifikačních bakterií nejčastěji z rodu *Nitrosomonas* a *Nitrobacter* dochází k chemosyntéze a biologické oxidaci amoniaku na nitrát. Proces nitrifikace je možné vyjádřit obecnou rovnicí:

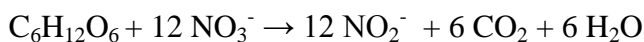


Dvoustupňový proces je rozdělen na první fázi nitritaci, kdy dochází k tvorbě dusitanů a druhou fází nitrataci, při které vznikají dusičnany. Při nitrifikaci dochází k velké spotřebě kyslíku, což má za následek vznik anaerobního prostředí v hypolimniu, nebo v sedimentech (Kallf, 2002).

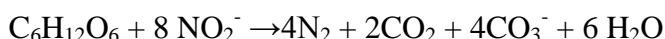
Účinnost nitrifikace je ovlivňována přísunem kyslíku a teplotou při které probíhá. Při teplotě vody, nebo půdy pod 10 °C dochází k pozastavení celého procesu (Landry et al., 2009).

1.4.4 Denitrifikace

Denitrifikace je děj, při kterém dochází k redukci oxidů dusíku (NO_3^- , NO_2^-) na atmosférický dusík a na plynné oxidy (NO , N_2O) jako meziprodukty. Proces probíhá v anaerobních podmínkách za účasti fakultativně anaerobních bakterií, nejčastěji z rodu *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Escherichia*, *Bacillus* a *Micrococcus* (Wetzel, 2001). Denitrifikaci lze vyjádřit rovnicí, kdy dochází k oxidaci glukózy a redukci dusičnanů na dusitany jako meziprodukt:



Následuje reakce, při které jsou dusitany redukovány na atmosférický dusík:



V podstatě se jedná o nitrátovou respiraci, při které nejprve za činnosti nitrát reduktázy vzniká nitrit, který je dále redukován nitrit reduktázou na oxid dusnatý. Některé typy bakterií redukují NO až na plynný dusík.

Denitrifikace je ovlivňována okolní teplotou, čím je teplota vyšší, tím probíhá rychleji. Při teplotě kolem 2 °C dochází k velkému zpomalení procesu. Vliv na denitrifikace má i PH vody, kdy optimum je kolem pH 6 (Hutchinson, 1957).

1.4.5 Sedimentace

K ukládání sedimentů dochází při snížení proudění toku jeho přehrazením, nebo erozivní činností. V České republice dochází k ukládání materiálu při tání a splachům ze zemědělských půd. Vlivem naplavených sedimentů dochází k vyčerpání kyslíku, což má za následek snížení účinnosti procesů jako nitrifikace a mineralizace. Tento typ sedimentů má však za následek podporu denitrifikačních procesů, které vedou k odstranění dusičnanového dusíku (Weigelhofer et al., 2013).

1.5 význam dusíku v ekosystému

Dusík je nezbytný pro tvorbu biomasy a životní funkce buněk všech organismů.

1.5.1 Půdní ekosystémy

Půdní dusík je nejčastěji přijímán rostliny a bakteriemi. Dusík je rostlinami přijímán v podobě iontů NO_3^- a NH_4^+ obsažených v půdě, nebo pomocí symbiotických bakterií se schopností fixovat vzdušný dusík. V rostlinách patří dusík mezi limitující prvky. U rostlin závisí množství dusíku na jejich celkovém růstu. Při nedostatku dusíku dochází k zakrslosti rostlin, ke zmenšení

jednotlivých buněk a ztloustnutí stěn buněk. Nedostatek dusíku se projevuje i v podobě žloutnutí a opadu listů, nebo jejich zabarvením do fialova

Po příjmu dusíku rostlinou dochází k asimilaci, kdy se dusík podílí na vzniku aminokyselin, z nichž poté vznikají proteiny, nukleové kyseliny a dusíkaté sloučeniny. Dusík se významně podílí na veškerých metabolických procesech, které v rostlině probíhají (Larcher, 1995).

Do půdního ekosystému se organický dusík opět navrácí s opadem listů, nebo po odumření rostlin. K přeměně na anorganický dusík dochází při činnosti heterotrofních živočichů (houby a bakterie), a tak je dusík opět využitelný k dalším procesům (Kincl & Krpeš, 2006).

1.5.2 Vodní ekosystémy

Ve vodě se dusík vyskytuje v podobě sloučenin a v organické formě. Některé jeho formy mohou působit pro vodní organismy toxicky. Při zvýšené teplotě vody a pH takto působí především na ryby amoniakální dusík.

Dusík bývá ve vodních ekosystémech i limitujícím prvkem. Často bývá uváděn celkový poměr živin C:N:P ve vodním prostředí. Při nadbytku ve vodách dochází k významnému ději eutrofizaci (Lellák & Kubíček, 1993). Eutrofizace je soubor přírodních i uměle vyvolaných dějů, které vedou ke zvyšování anorganických živin v povrchových vodách. Nadměrné obohacení živinami vede k rozvoji planktonních organismů. Tento nárůst mikroorganismů má za následek zhoršení kvality vody a některé druhy řas a sinic jsou toxické pro vodní prostředí. Eutrofizace je nejčastěji způsobena antropogenní činností. (Lampert & Sommer, 1997).

1.6 Projektová opatření při revitalizacích toků jako možná řešení zadržetí živin

1.6.1 Technické revitalizace

Revitalizace lze chápat jako stavebně- technická opatření v tocích. Cílem revitalizací je zlepšení současného stavu většiny našich malých vodních toků v okolí zemědělské krajiny, u nichž došlo v minulých letech k nešetrným zákrokům úpravou koryta (Vrána, 2004).

1.6.2 Legislativa

Revitalizace vodních toků se řídí dle vodního zákona s implementovanou Rámcovou směrnicí. Při tvorbě revitalizací vodního toku je základním předpokladem znalost morfologie toku pro provedení správného revitalizačního zákroku. Revitalizační úpravy jsou brány jako stavby, proto podléhají stavebnímu i vodohospodářskému správnímu řízení. Při vzniku revitalizací nelze opomenout problémy majetkoprávní, uživatelské a správní. Je potřebný souhlas vlastníků přírodních pozemků nebo odkup pozemků, případně jejich výměna v rámci pozemkových úprav (Just et al., 2005).

1.6.3 Hodnocení toku

Pro určení vhodného revitalizačního zákroku je nutné nejprve provést hydromorfologické hodnocení. V zásadě existuje pro zhodnocení toků několik metod používaných v zemích EU. Parametry pro hodnocení toku lze nalézt ve Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost společenství v oblasti vodní politiky (Just et al., (2005)

1.7 Revitalizace toků v České republice

Po prostudování několika projektových podkladů revitalizačních opatření na území ČR u malých toků lze konstatovat, že jako nejvhodnější opatření, u kterých je předpoklad, že bude docházet ke snížení živin jsou: úprava dna, neboli zvětšení biologického povrchu dna, prodloužení toku, vytvoření tůní a mokřadů.

Upravení dna je revitalizační krok, který je používán z vybraných opatření nejméně. Často bývá při revitalizacích upravováno nejen dno, ale i dosazovány břehové porosty. Častějším způsobem úpravy toků na území ČR bývá právě tvorba meandrů a prodlužování toku. Ve většině nalezených revitalizací byl tento typ revitalizace kombinován s dalšími opatřeními,

nejčastěji s tvorbou tůní na toku, výsadbou doprovodné vegetace a tvorbou postranních mokřadů.

Právě takto vybudované mokřady vykazují dobrou retenci živin a probíhají zde nejintenzivněji procesy denitrifikace a asimilace dusíku rostlinami. Na malém toku by bylo vhodné vybudovat několik mokřadů na jeho postranních přítocích ze zemědělských melioračních struh (Rešerše technického řešení. 2014).

Tab. 2: Předpokládané přínosy jednotlivých opatření na toku. Všechny přínosy jsou považovány za pozitivní, pokud není uvedeno jinak.

opatření	proudění	diverzita	povodeň	retence živin
zvětšení biologického povrchu dna	tvorba turbulentního proudění za překážkami	prostory pro zoobentos a nárosty	nízký protipovodňový efekt	zvýšení potenciální fixace dusíku
prodloužení toku	tvorba tišin v meandrech zpomalení doby odtoku vody	prostor pro bentické organismy v říčních lavičích	možnost rozlítí se toku do okolí	nitrifikace a denitrifikace v sedimentu říčních lavič
tvorba tůní	snížení rychlosti proudu	rozvoj makrofyt	rozlítí toku do okolí	retence živin v sedimentu, fixace dusíku rostlinami
tvorba mokřadů	pomalé proudění	druhovává pestrost makrofyt	zadržení vody při povodních	nitrifikace, denitrifikace + fixace dusíku rostlinami

1.7.1 Revitalizační opatření

1.7.1.1 Zvětšení biologicky aktivního povrchu koryta

Většina našich malých toků byla svedena do úzkého toku, jehož dno tvoří betonové tvárnice, nebo je nějakým způsobem pozměněno lidskou činností. K nápravě takového toku je možné použít metodu, kdy bude vodní tok obohacen šterkovým typem dna a většími kameny. Po zásahu dojde ke zvětšení plochy, na které se mohou přichytit vodní organismy a rostliny. Zanesením kamenů do vodního toku bude docházet ke změně proudění. Při nižší rychlosti toku dojde za vodními překážkami k sedimentaci živin (Just et al., 2005).

V toku se zlepší samočisticí procesy ve vodách vlivem nárůstu počtu bakterií, sinic a řas. Pro lepší pochopení je potřeba si představit, že na dno budou umístěny kameny a pro výpočet bude jejich tvar přibližně ve tvaru koule. Při umístění jedné souvislé vrstvy kamenů, bude tvořit omočený povrch 3,14 násobek oproti rovnému dnu. Z toho vyplývá, že na m^2 dna bude připadat $4,14 m^2$ omočeného povrchu. Pokud bychom do toku umístily souvislou vrstvu šterku, bude omočený povrch několikanásobný. Vytvoření dobrého prostředí pro fixátory dusíku může potenciálně umožnit fixaci až $100g N m^2$ za den (Just et al., 2003).

1.7.1.2 Prodloužení délky toku

Prodloužením toku je v tomto případě myšlena tvorba meandrů. Větší členitost toku povede ke zpomalení proudu a zlepšení samočisticích procesů jako zvýšená sedimentace a zlepšení podmínek pro fixátory dusíku. Po tomto typu revitalizace lze zdržet vodu v daném úseku v řádu několika minut (cca. 14 min.). V „zatačkách“ nově vytvořených meandrů, kde vzniká sediment v podobě lavic, kde dochází k procesům nitrifikace a denitrifikace. V zásadě lze vytvořit na toku několik typů lavic a jesepů. Přirozeně by však v přírodním toku měly vznikat lavice v ústí přítoků a v ohybových částech v meandrech (Králová, 2001).

Dle studie Martina Rulíka na českém potoku Sitka, na kterém sleduje metan a ostatní látky v sedimentech lze usoudit, že při vstupu do sedimentů byly zjištěny poměrně vysoké hodnoty dusičnanového dusíku v řádech kolem $15 mg.l^{-1}$. Při průběhu vody sedimentem v našem případě lavicí dochází nejdříve k aerobním procesům při vstupu do sedimentu a probíhá proces nitrifikace. Prostupováním vody sedimentem je kyslík redukován v aerobních procesech a po odčerpání kyslíku ze sedimentu dochází k anaerobním procesům, tedy k denitrifikaci, při které

je dusík z vodního prostředí redukován. Při výstupu ze sedimentů se koncentrace dusíku snížila na hodnotu kolem 5 mg.l^{-1} . Lze tedy usuzovat, že několik po sobě jdoucích meandrů s přirozenými lavicemi bude velmi dobře podporovat samočisticí schopnost toků (Rulík et al., 2000).

1.7.1.3 Podpora růstu makrofyt v toku tvorbou tůň

Metoda je založena na principu kořenové čistírny odpadních vod. Tok může být přehrazen kameny, nebo jiným materiálem a dojde zde ke zniku uměle vytvořené tůně. Vznik tůně bude mít za následek snížení rychlosti proudění v toku. Přehrazení toku má v takovém případě kladný vliv na růst vodních makrofyt (Just et al. 2005). Experiment lze podpořit výsadbou některých druhů vodních makrofyt, které se nejvýrazněji podílejí na odstraňování živin z toku. Takto se nejvíce uplatňují rostliny běžně vysazované v kořenových čistírnách odpadních vod jako rákos obecný, nebo některé druhy orobince.

Pro představu příjem dusíku makrofyty může být až kolem 263 g N m^{-2} za rok a denní až 163 mg N m^{-2} . Tvorba podobné tůně, nebo soustavy tůň v krajině porostlých těmito makrofyty by mohla vést k výraznému snížení organických látek v toku (Vymazal, 1995).

1.7.1.4 Rozvolnění toku a tvorba mokřadu

Revitalizace tohoto typu probíhá tak, že v příbřežní části toku dojde k vytvoření mělké zaplavené oblasti s vegetací a vznikne doprovodný postranní mokřad. V daném zaplaveném území dojde k zpomalení toku a bude zde umožněn rozvoj typické vegetace mokřadů. Vznik mokřadu vytvoří dobré podmínky pro samočištění vod, zejména budou podpořeny denitrifikační procesy. V mokřadech se na odstranění dusíku nejvíce podílí právě denitrifikace, při které může být odstraněno 47 až 75 % N z celkově odstranitelného dusíku za rok a v aerobních zónách mokřadů probíhá nitrifikace.

Menší podíl na odstranění dusíku mají makrofyty, u kterých dochází k odstranění až 20 % TN za rok (Landry et al., 2009). Množství odstraněného dusíku makrofyty velmi kolísá, závisí zejména na druhu rostlin a na jejich celkové hustotě v mokřadu. Hodnoty fixovaného dusíku mohou kolísat od 78 do 1048 g.m^{-2} . V omezené míře lze hovořit i o těkání amoniaku. Další možností je tvorba slepých, nebo průtočných zamokřených ramen, vzdouváním vody v korytě, nebo rozšiřováním koryta.

Nejčastěji navrhované bývají mokřady s emerzními rostlinami. Pro tento druh mokřadů bývají základními parametry: doba zdržení: 5-15 dní, poměr šířka:délka: 2:1 až 10:1, hloubka vody: 20-40 cm, vrstva dnového substrátu: 20-30 cm bez zvláštních požadavků na propustnost (Vymazal, 2013).

Z výzkumu, který prováděli Y. T. Tu, P. C. Chiang a kol. v roce 2010 na uměle vytvořených mokřadech na toku je patrné, že při zdržení vody v mokřadech alespoň po dobu 10 dní je možné odstranit až 14 % TN za den a 75 % TN za rok (Tu et al., 2014).

1.7.1.5 Tvorba mokřadů z drenážních systémů

Jedná se o zatím nepoužívanou revitalizaci, která spočívá ve vyvedení drenážního systému, který ústí do vodního toku na povrch. Vyvedená drenáž na povrch bude zaslepena, nebo přehrazena a dojde k rozlití vody a podmáčení půdy. Zamokřené místo budou osídlovat typické emerzní vodní makrofyty a měl by zde vzniknout malý mokřad, který bude podporovat retenční a samočisticí procesy přímo u zdroje znečištění. Přestože se jedná o levnou metodu, při které dojde k vytvoření přirozené sukcese, tak není v České republice používána, protože je v rozporu s navrhovanými revitalizacemi. Problémem jsou však i dotčené organizace, vztahy majetkoprávní atd. (Sklenička, 2002).

2 Projekt: Měření bilance dusíku v toku a zjištění účinnosti jednotlivých vybraných opatření

Na základě literární rešerše, kdy jsem dospěl ke zjištění, že u revitalizovaných toků není kladen důraz na retenci živin, jsem se rozhodl pro měření bilance dusíku v revitalizovaném toku a zjištění účinnosti samočisticích procesů na toku. V projektu jsem se zaměřil zejména na navrženou revitalizaci toku, při které bude u toku prodloužena délka, dojde ke vzniku meandrů a tvorbě říčních lavic. Dále bude na sledovaném malém vodním toku provedena revitalizace přilehlého pole, u kterého dojde k přerušení drenáže a vzniku malého mokřadu.

Na vybraných místech budou měřeny koncentrace dusíku a následně bude z těchto měření vyvozena celková účinnost jednotlivých opatření na toku.

3 Cíle a Hypotézy předpokládaného projektu

3.1 Cíle projektu

1. Porovnání a vyhodnocení naměřených hodnot retence dusíku před revitalizací a po revitalizaci.
2. Prokázání účinnosti retence živin, zejména dusíku pro vybraná revitalizační opatření na toku

3.2 Hypotézy

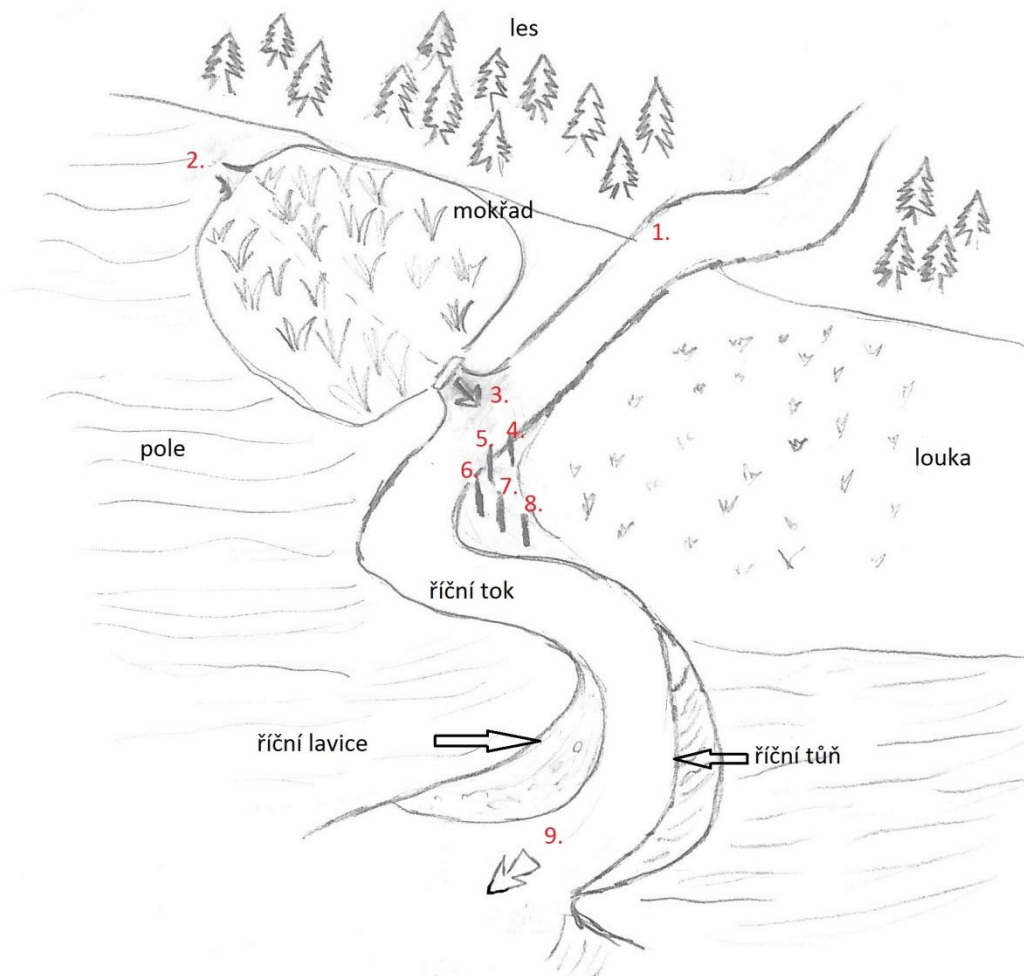
1. Přírodní procesy čištění na toku budou probíhat právě tehdy, když na začátku říčních lavic bude aerobní prostředí pro nitrifikace a postupem vody v sedimentu bude spotřebován kyslík na anoxické prostředí vhodné pro denitrifikaci.
2. V umělém mokřadu budou probíhat procesy nitrifikace a denitrifikace právě, když zde bude voda zdržena alespoň po dobu 5-10 dní a bude zde jak oxické, tak anoxické prostředí včetně množství rostlin, které se podílejí na asimilaci.
3. Účinnost čistících pochodů bude v průběhu kalendářního roku variabilní, bude se měnit s teplotou vody a množstvím kyslíku, u rostlin bude snižena účinnost zejména v letních měsících.

3.3 Návrh projektu

Projekt se zabývá typickým zregulovaným malým tokem na území České republiky, u něhož proběhne revitalizace, při které bude prodloužená délka koryta, vytvořen přirozený tok s meandry a dojde k vybudování postranního mokřadu na přítoku. Mokřad vznikne odstraněním drenážního potrubí a vyvedením vody z drenáže na povrch. Voda se zde přehradí, aby došlo ke zpomalení toku a rozvolnění přítoku. Sledovaný revitalizovaný vodní tok bude ponechán bez lidských zásahů.

Na toku je předpoklad, že pokud bude takto ponechán bez dalšího zásahu, tak při zvýšeném průtoku se zde budou ukládat plaveniny v meandrech a vzniknou přirozené říční lavice ze sedimentu.

Z rešerše vyplývá, že jednotlivé procesy v rámci cyklu dusíku na toku by se měly výrazně podílet na snížení TN. Proto navrhuji, aby u vybraného potoku proběhly odběry vzorků před revitalizací po dobu přípravné fáze (1 rok) a následující 2 hydrologické roky po revitalizaci. Vzorky vody budou odebírány jednou za měsíc na několika vytipovaných místech, zejména nad a pod revitalizací, v říční lavici a nad a pod mokřadem. Celkem bude každý měsíc odebráno devět vzorků na vytipovaných odběrových místech. V prvním roce budou na vytipovaném doposud nerevitalizovaným toku probíhat jen tři odběry nad a pod revitalizací a jeden v ústí drenáže.



Obr. 2: Revitalizovaný malý vodní tok včetně předpokládaných odběrových míst (1 – 9).

3.4 Navrhovaná terénní měření

Na vybraném toku bude probíhat monitoring lavic, při němž se říční lavice zaměří a budou sledovány jejich změny v průběhu roku. Předpokládané změny rozmístění sedimentu v lavicích budou probíhat při zvýšení hladiny, proto bude monitoring zaměřen na podzimní a jarní období. V rámci monitoringu bude specializovanou firmou změřena celková doba zdržení vody v říční lavici pomocí signální látky, a bude zjištěno geologické složení lavice. U říčních lavic bude určena jejich plocha a celkové umístění. Měření proběhnou během projektu celkem čtyřikrát, přičemž všechna měření budou uskutečněna až po revitalizaci toku. První měření se uskuteční v druhém roce projektu v podzimních měsících. Při prvním měření budou do říční lavice umístěny duté trubice, které následně poslouží k odběrům vzorků vody. Následující měření proběhne po opadnutí vody na jaře. V dalším roce proběhnou opět dvě měření opět ve stejnou

dobu, jako předchozí. Při těchto měřeních bude říční lavice opět zaměřena a budou zmonitorovány změny, ke kterým došlo v průběhu roku.

3.5 Odběrová místa

Ve vybraném území budou po dobu 2 let pravidelně, v jednoměsíčním intervalu, probíhat odběry vzorků pro stanovení koncentrací forem dusíku a fyzikálně chemických veličin uvedených dále. Odběrová místa budou vytipována v úseku nad a pod uvažovanou/provedenou revitalizací a nad a pod zbudovaným mokřadem. V přípravné fázi budou navíc odebírány vzorky z vyústění drenáže na místě projektovaného mokřadu. Při každém odběru budou na místě změřeny: vodivost, koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě, teplota a pH a průtok, dále budou do odběrových nádob odebrány vzorky vody, uloženy do chladicích boxů, a převezeny do laboratoře k analýzám.

3.6 Použité metody

V projektu bude zjištěna efektivita odstranění dusíku v říčních lavicích a odebírány vzorky na odběrových místech. Na těchto vybraných místech budou měřeny základní fyzikálně chemické vlastnosti vody pomocí přenosných přístrojů.

V říční lavici budou odběry probíhat pomocí lyzimetrů, tedy dutých trubic částečně vnořených do sedimentu, u kterých bude zachováno proudění vody. Říční lavice bude těmito trubicemi osazena v různých místech. První trubice bude umístěna na začátku lavice a za ní postupně další až po konec. Voda z trubic bude odebrána a provede se laboratorní analýza jako u předchozích vzorků. Nejprve bude však u odebrané vody proměřen kyslíkový gradient směsného vzorku. Měření poslouží ke zjištění, jestli je případný vzorek homogenní. V případě, že se nejedná o homogenní vzorek, tak zde bude odebírán reprezentativní vzorek.

3.7 Časový harmonogram projektu

Časový harmonogram projektu je uveden v Tab. 3. Projekt je navrhován jako tříletý s „přípravnou“ (1. rok řešení) a „hlavní“ (2. a 3. rok řešení) fází. Během přípravné fáze budou na doposud nerevitalizovaném toku probíhat v intervalu jednou za měsíc odběry vzorků vody (viz Kap. 3.5). Harmonogram pro přípravnou fázi není součástí Tab. 2, pouze odpovídá jejímu řádku „odběry vzorků“.

Tab. 3: Časový harmonogram projektu na rok 2016 a 2017

měsíc	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
odběry vzorků	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
vyhodnocení vzorků	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
monitoring a zaměření lavic	■							■					■							■				
vyhodnocení a prezentace výsledků												■												■

3.8 Rozpočet projektu v tis. Kč

Finanční náročnost projektu je uvedena v Tab. 4. Jednotlivé náklady jsou rozděleny do pěti hlavních položek a níže v kapitole 3.9 je rozpočet rozepsán na jednotlivé položky.

Tab. 4: Finanční náklady projektu na tři roky

rok	2015	2016	2017
věcné náklady (tis. Kč)	2	4	4
služby (tis. Kč)	20	90	90
cestovní náklady (tis. Kč)	18	18	18
mzdové náklady (tis. Kč)	130	130	130
režijní náklady (tis. Kč)		163,9	
celkem (tis. Kč)		817,9	

3.9 Podrobný rozpis nákladů projektu na tři roky

Věcné náklady:

Pomocné terénní vybavení 10 tisíc Kč

Pod pomocné terénní vybavení patří položky jako např.: ochranné pomůcky atd.

Služby:

Chemické analýzy vzorků stanovené odbornou laboratoří celkem..... 130 tisíc Kč

Geologický monitoring..... 20 tisíc Kč

Geodetické zaměření říčních lavic 40 tisíc Kč

Zapůjčení terénního vybavení (měřících přístrojů)..... 10 tisíc Kč

Chemická analýza bude probíhat odbornou laboratoří. Celkem bude do laboratoře zasláno k rozboru 2916 vzorků z 324 odběrů. V laboratoři bude stanoven celkový dusík, dusičnanový dusík, dusitanový dusík amonné ionty. Předpokládaná cena za jednu analýzu je přibližně 400 Kč. Dále budou přizváni geodeti na zaměření říčních lavic celkem 4x přičemž cena jednoho zaměření se pohybuje kolem 10 tisíc Kč. Bude proveden také geologický průzkum lavic celkem 2x během projektu, cena je podobná jako u geodetického zaměření, tedy 10 tisíc Kč. Dále bude zapůjčeno terénní vybavení, které zahrnuje položky jako oxymetr, pH metr atd. Přístroje budou zapůjčeny 1x měsíčně od podniku Povodí a budou sloužit ke změření základních veličin.

Cestovní náklady:

Doprava..... 54 tisíc Kč

Položka doprava zahrnuje náklady spojené s 324 cestami na odběrové místo a odvozy vzorků do laboratoře. Při vzdálenosti odběrových míst 10 km a při nákladech na dopravu 8 Kč/km.

Mzdové náklady:

1 zaměstnanec..... 390 tisíc Kč

Mzda je vypočítána z přibližné doby strávené v terénu, zpracování a vyhodnocení dat. Celkem se jedná o přibližně 324 dní strávených v terénu a vyhodnocováním dat. Zhruba se jedná o 2592 hodin. Celkem s hodinovou mzdou 150 Kč činí mzdové náklady 390 tisíc Kč po dobu trvání projektu.

Režijní náklady.....163,9 tisíc Kč

Režijní náklady pracoviště byly stanoveny interním předpisem a jsou odvozeny jako 25 % z celkové ceny projektu.

4 Závěr

Z rešerše vyplývá, že přísun dusíku do toku je nejvíce ovlivněn zemědělskou činností. Většina malých toků na našem území byla v minulosti zregulována, proto dochází k rychlému odtoku živin a následné eutrofizaci.

V současnosti se tyto zregulované toky navrací do původních koryt pomocí revitalizací. U těchto revitalizací jsou ale opovrhovány samočisticí schopnosti u vody a nejsou dále rozebírány účinnosti jednotlivých úprav pro zadržení živin v toku.

Navrhovaný projekt se zabývá právě těmito přírodními procesy zejména u dusíku. Na základě porovnání odebraných vzorků před revitalizací a po revitalizaci bude zjištěna celková účinnost procesů jako nitrifikace, denitrifikace a asimilace dusíku. Dále bude zjištěna účinnost odstraňování dusíku v říčních lavicích na vybraném toku.

Výsledky mohou posloužit i pro projektanty revitalizací toků, kdy bude objasněno, který postup revitalizace je nejlépe vhodný pro snížení organického znečištění v toku.

5 Citace:

Burt T. P., Heathwaite A. L., Truttgill S. T., (1993): Nitrate: processes, patterns and management. Wiley, Chichester: 444 pp

Dietz M., Strock J., (2014): Nitrogen cycle. Driven to discover. University of Minnesota, citace 5.10. 2014, přístup z internetu:

<http://swroc.cfans.umn.edu/ResearchandOutreach/SoilManagement/SoilResearch/NitrogenCycle/index.htm>

Elliott E. M., Kendall C., Boyer E. W., Burns D. A., Lear G. G., Golden H. E., Harlin K., Bytnerowicz A., Butler T. J., Glatz. R., (2009): Dual nitrate isotopes in dry deposition: Utility for partitioning NO_x source contributions to landscape nitrogen deposition. Journal of geophysical research, 114: 1 - 15

Erisman J. W., Bleeker A., Galloway J., Sutton M. S., (2007): Reduced nitrogen in ecology and the environment. Environmental pollution, 150: 140 – 149

Galloway J. N., Dentener F. J., Capone D. G., Boyer E. W., Howarth R. W., Seitzinger S. P., Asner G. P., Cleveland C. C., Green P. A., Holland E. A., Karl D. M., Michaels A. F., Porter J. H., Townsend A. R., Smarty C. J., et al., (2004): Nitrogen cycles: past, present, and future. Biogeochemistry. Kluwer Academic Publishers, 70: 153 - 226

Greenwood N. N., Earnshaw A., (1997): Chemistry of the elements. Butterworth – Heinemann, Oxford: 1341 pp.

Hůnová I., Hesoun R., Kurfürst P., Ostatnická J., Stoklasová P., (2013): atmosférické depozice na území České republiky. Hydrometeorologický ústav, Praha, citace 28. 12. 2013, přístup z internetu: <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr12cz/tab/t32.html>

Hutchinson G. E., (1957): A treatise on limnology. Vol. 1, Geography, physics, and chemistry. Willey, New York: 1015 pp

Just T., Matoušek V., Dušek M., Fischer D., Karlík P., (2005): Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. Český svaz ochránců přírody, Praha: 359 pp

Just T., Šámal V., Dušek M., Fischer D., Karlík P., Pykal J., (2003): Revitalizace vodního prostředí. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha: 155 pp

Kallf J., (2002): Inland water ecosystems. Upper Sadle River, Prentice Hall: 592 pp.

Kincl M., Krpeš V., (2006): Základy fyziologie rostlin. Ostravská univerzita, Ostrava: 220 pp

- Kopáček J., Hejzlar J., Posch M., (2013): Factors Controlling the Export of Nitrogen from Agricultural Land in a Large Central European Catchment during 1900–2010. *Environmental Science & Technology*, 47: 6400 – 6407
- Kopáček J., Hruška J., (2005): Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost. Ministerstvo životního prostředí, Praha, číslo 5/2005: 4 – 24
- Králová H., (2001): Řeky pro život. Revitalizace řek a péče o nivní biotopy. ZO ČSOP Veronica, Brno: 440 pp
- Lampert W., Sommer U., (1997): *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. Oxford University Press, New York: 382 pp
- Landry G. M., Maranger R., Brisson J., Chazarenc F., (2009): Nitrogen transformation and retention in planted and artificially aerated constructed wetlands. *Water Research*, 43: 535 – 545
- Larcher W., (1995): *Physiological plant ecology*. Springer, New York: 506 pp
- Lellák J., Kubiček F., (1992): *Hydrobiologie*. Univerzita Karlova, Praha: 256 pp
- Möllerová J., (2006): Symbiotická fixace dusíku. *Živa*, 1: 9 – 12
- Novotná Dagmar., (2001): Úvod do pojmosloví v ekologii krajiny. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha: 399 pp.
- Prof. Ing. Kozák Josef, DrSc. dr.h.c. a kolektiv., (2009): *Atlas půd České republiky 2*. Upravené vydání. Česká zemědělská univerzita, Praha: 150 pp.
- Rulík M., Čáp L., Hlaváčová E., (2000): Methane in the hyporheic zone of a small lowland stream (Sitka, Czech Republic). *Limnologia*, 30: 359 - 366
- Sklenička P., (2003): *Základy krajinného plánování*. Naděžda Skleničková, Praha: 321 pp
- Šimek. M., (2003): *Základy nauky o půdě 3. Biologické procesy a cykly prvků*. Jihočeské univerzita, České Budějovice: 151 pp.
- Taiz L., Zeiger E., (1991): *Plant physiology*. Benjamin/Cummings, Redwood City: 565 pp
- Tu Y. T., Chiang P. C., Yang J., Chen S. H., Kao C. M., (2014): Application of a constructed wetland system for polluted stream remediation. *Journal of Hydrology*, 510: 70 – 78
- Vitousek. P. M., (1994): Beyond global warming: Ecology and global change. *The ecological society of America*, 75: 1861 – 1866

Vrána K., (2004): Revitalizace malých vodních toků. Ministerstvo životního prostředí ČR: Consult, Praha: 60 pp

Vymazal., (1995): Constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech republic. Water Science & Technology, 44: 357 – 364

Vymazal., (2013): Emergent plants used in free water surface constructed wetlands. Ecological Engineering, 61: 582 – 592

Weigelhofer G., Welti N., Hein T., (2013): Limitation of stream restoration for nitrogen retention in agricultural headwater streams. Ecological Engineering, 60: 224 – 234

Wetzel R. G., (1983): Limnology. Saunders Collage Publishing, Forth Worth: 767 pp

Wetzel R. G., (2001): Limnology: lake and river ecosystems. Academic Press, San Diego: 1006 pp

Rešerše technického řešení., (2014): citace 10.11 2014. přístup z internetu:

http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX1BMSzEyODhfb3puYW1lbmlET0NfMS5wZGY/PLK1288_oznameni.pdf

<http://www.krnap.cz/revitalizace-vapenickeho-potoka/>

<http://labskepiskovce.ochranaprirody.cz/revitalizace-cerneho-potoka/zahajeni-realizace-projektu/>

<http://www.obeckarlik.cz/file.php?nid=702&oid=3296564>

http://www.poh.cz/VHP/pop/C/4_LISTY_OPATRENI/C4_13/1_PROGRAM_OPAT%C5%98EN%C3%8D/OH110104.pdf

http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/navrhpop/C/4_LISTY_OPATRENI/C4_13/2_OSTATNI/LA110038.pdf

http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/c-stav/listyopatreni/c4_13/1_program_opatreni/mo110026.pdf

http://www.pvl.cz/portal/hydroprojekt/BE/C/4_LISTY_OPATRENI/C4_13/1_PROGRAM_OPATRENI/BE110069.pdf

http://www.pvl.cz/portal/hydroprojekt/BE/C/4_LISTY_OPATRENI/C4_13/2_OSTATNI/BE110054.pdf

http://envis.praha-mesto.cz/plan_pov_berounky_122009/C/4_LISTY_OPATRENI/C4_13/1_PROGRAM_OPATRENI/BE110061.pdf

http://www.pod.cz/plan-oblasti-povodi-Odry/c-stav/listyopatreni/c4_13/od110004.pdf

http://www.poh.cz/VHP/pop/C/4_LISTY_OPATRENI/C4_13/1_PROGRAM_OPAT%C5%98EN%C3%8D/OH110038.pdf

http://envis.praha-mesto.cz/plan_pov_hslabe_122009/WEB/zakl_udaje/..%5C.%5CC%5C4_LISTY_OPATRENI%5CC4_13%5C1_PROGRAM_OPATRENI%5CLA110198.pdf

http://extranet.kr-vysocina.cz/download/olvhz/pop/ZK-06-2009-80pr4_Horni_Vltava/C/4_LISTY_OPATRENI/C4_13/1_PROGRAM_OPATRENI/HV110081.pdf

http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/navrhpop/C/4_LISTY_OPATRENI/C4_13/2_OSTATNI/LA110099.pdf