

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zemědělská fakulta
Katedra biologických disciplín

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: Agroekologie

Diplomová práce

**Podzemní biomasa rákosu obecného (*Phragmites australis*)
na vegetační kořenové čistírně**

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Hana Čížková, CSc.

Autor: Bc. Lenka Moulisová

2010

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem uvedenou diplomovou práci na téma: Podzemní biomasa rákosu obecného (*Phragmites australis*) na vegetační kořenové čistírně vypracovala samostatně na základě vlastních zjištění a použila pramenů, které cituji a uvádím v příloženém soupisu literatury.

V Českých Budějovicích dne

Lenka Moulisová

Poděkování

Nejvíce bych chtěla poděkovat vedoucí mé práce Doc. RNDr. Haně Čížkové, CSc. za odborné vedení, pomoc při zpracování vzorků, shromažďování literatury, poskytnuté rady při vyhodnocování výsledků a při sepisování práce. Děkuji také Ing. Ondřeji Novákovi a Mgr. Vladimíru Suchému za pomoc s odběry vzorků podzemní biomasy. Ještě bych chtěla poděkovat své rodině za podporu při studiu.

Anotace

Diplomová práce je součástí projektu GAČR 206/06/0058 Monitoring těžkých kovů a vybraných rizikových prvků při čištění odpadních vod v umělých mokřadech. Cílem práce je zhodnotit časovou a prostorovou variabilitu podzemní biomasy rákosu obecného na vybrané vegetační kořenové čistírně ve Slavošovicích.

Odběry nadzemní a podzemní biomasy byly provedeny destruktivní metodou. Nadzemní biomasa byla stanovena v roce 2009 ze šesti vzorků odebraných na nátoky a šesti vzorků odebraných na odtok. Podzemní biomasa (v roce 2008) byla odhadnuta ze dvou vzorků na nátoky a dvou vzorků na odtok. V roce 2009 byla podzemní biomasa stanovena ze šesti vzorků odebraných na nátoky a ze šesti vzorků na odtok. Analýza struktury kořenů byla stanovena ze 12 vzorků odebraných na nátoky a 12 vzorků na odtok.

Průměrná celková nadzemní biomasa dosahovala na nátoky 1039 g.m^{-2} a na odtok 1749 g.m^{-2} . Průměrná celková podzemní biomasa v roce 2009 dosáhla na nátoky 1718 g.m^{-2} a na odtok 1562 g.m^{-2} . Průměrná celková délka kořenů vyrůstajících z jedné uzliny oddenku dosahovala na nátoky $284,7 \text{ m.m}^{-2}$ a na odtok $324,9 \text{ m.m}^{-2}$. Průměrná specifická délka všech kořenů byla na nátoky $2589,5 \text{ cm.g}^{-1}$ a na odtok $2956,9 \text{ cm.g}^{-1}$. Průměrná celková délka kořenů na nátoky dosahovala $1,7 \text{ km.m}^{-2}$ a na odtok $2,9 \text{ km.m}^{-2}$.

Klíčová slova: mokřad, mokřadní vegetace, vegetační kořenová čistírna, nadzemní biomasa, podzemní biomasa, kořen, oddenek.

Annotation

My thesis is a part of the project GACR 206/06/0058 Monitoring of selected heavy metals and risk elements in a wastewater cleaning process in artificial wetlands. The goal is to evaluate temporal and spatial variability of underground biomass of *Phragmites australis* in the artificial wetland used for wastewater treatment in Slavošovice.

The destructive method was used for the sampling. The aboveground biomass was determined from six samples taken at the inflow and six samples at the outflow. The belowground biomass (in 2008) was estimated from two samples taken at the inflow and two samples at the outflow. In 2009, the belowground biomass was determined from six samples taken from the inflow and six samples from the outflow. The analysis of the root structure was determined from 12 samples collected at the inflow and 12 samples of the outflow.

The mean total aboveground biomass reached 1039 g.m^{-2} at the inflow and the 1749 g.m^{-2} at the outflow. Average total belowground biomass in 2009 reached the inflow 1718 g.m^{-2} and 1562 g.m^{-2} at the outflow. The average total length of roots growing from one node to was $284,7 \text{ m.m}^{-2}$ and $324,9 \text{ m.m}^{-2}$ in the inflow and outflow part, respectively. Average specific root length of the inflow was $2589,5 \text{ cm.g}^{-1}$ and the outflow $2956,9 \text{ cm.g}^{-1}$. The average total length of roots reaching the inflow of two kilometers and three kilometers of inflow.

Keywords: wetland, wetland vegetation, constructed wetland, aboveground biomass, underground biomass, root, rhizome.

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Literární přehled	2
2.1 Charakteristika mokřadního ekosystému	2
2.1.1 Základní charakteristika a funkce mokřadních ekosystémů.....	2
2.1.2 Vegetační kořenová čistírna jako umělý mokřad	6
2.2 Vlastnosti mokřadní vegetace	9
2.2.1 Základní vlastnosti mokřadní vegetace a jejich funkce v mokřadním ekosystému	9
2.2.2 Specifika rostlinného pokryvu vegetačních kořenových čistíren	10
2.3 Charakteristika rákosu obecného.....	11
2.3.1 Základní charakteristika celé rostliny	11
2.3.2 Strukturní charakteristika oddenků	12
2.3.3 Funkční charakteristika oddenků	13
2.3.4 Strukturní charakteristika kořenů	14
2.3.5 Funkční charakteristika kořenů	16
2.4 Význam podzemních orgánů mokřadních rostlin pro mikrobiální populace	17
3 Popis VKČ ve Slavošovicích.....	18
4 Metodika	19
4.1 Odběr nadzemní biomasy	19
4.2 Odběr podzemní biomasy	19
4.3 Analýza struktury kořenů	20
4.4 Odhad celkové délky kořenů.....	24
5 Výsledky	25
5.1 Hustota prýtů a nadzemní biomasa.....	25
5.2 Podzemní biomasa.....	26
5.3 Analýza struktury kořenů	28
5.4 Celková délka kořenů	29
6 Diskuse	30
6.1 Metody stanovení Nadzemní a podzemní biomasy	30
6.2 Analýza struktury kořenů	31
6.3 Srovnání výsledků s údaji jiných autorů	32
7 Závěr.....	35

8 Použitá literatura	36
9 Přílohy	42

1 ÚVOD

Mokřad je specifický biotop, který je dlouhodobě nebo trvale zaplaven nebo je jeho půda zamokřena. Vyskytují se zde organismy, které jsou k těmto podmínkám přizpůsobeny. Mokřady tvoří rozhraní mezi suchozemským a vodním prostředím. Mokřadní ekosystémy tvoří velmi důležitou složku krajiny. Jsou osídleny rozmanitými a dynamickými společenstvy. Přispívají k tvorbě a udržení lokálního klimatu. I přesto, že mokřady považujeme za velice důležité i cenné biotopy, jejich rozloha a počet klesá.

Mokřady lze rozdělit na přirozené a umělé. Jako příklad přirozených mokřadů lze uvést území bažin, slatin, rašelinišť i lužní lesy mírného pásu. K umělým mokřadům patří např. vegetační kořenové čistírny a pobřeží zatopených pískoven.

První zmínka o vegetačních kořenových čistírnách pochází ze 70. let 20. století z Německé spolkové republiky. Kořenové čistírny jsou řazeny k poměrně propracovaným systémům, které se používají k čištění odpadních vod, zejména malých obcí. Tento umělý mokřad je od podloží oddělen nepropustnou vrstvou a filtrační lože je osázeno mokřadní vegetací. Mokřadní rostliny mají na zamokřené podmínky různé adaptace (anatomické, morfologické a fyziologické). Důležitými vlastnostmi mokřadní vegetace, kromě jejich adaptací k zamokření, patří i rychlý růst, velká produkce biomasy a využití dostupných živin.

Hlavním cílem mé práce bylo přispět k poznání funkce vegetačních kořenových čistíren. Stanovovala jsem časovou a prostorovou variabilitu podzemní biomasy porostu rákosu obecného na vegetační kořenové čistírně ve Slavošovicích, kde probíhá komplexní výzkum od doby jejího uvedení do provozu v r. 2001. Získané informace o podzemní biomase na vegetační kořenové čistírně mají význam pro poznání funkce rostlinné složky vegetační kořenové čistírny, a tak mohou přispět k porozumění funkce čistírny.

2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 CHARAKTERISTIKA MOKŘADNÍHO EKOSYSTÉMU

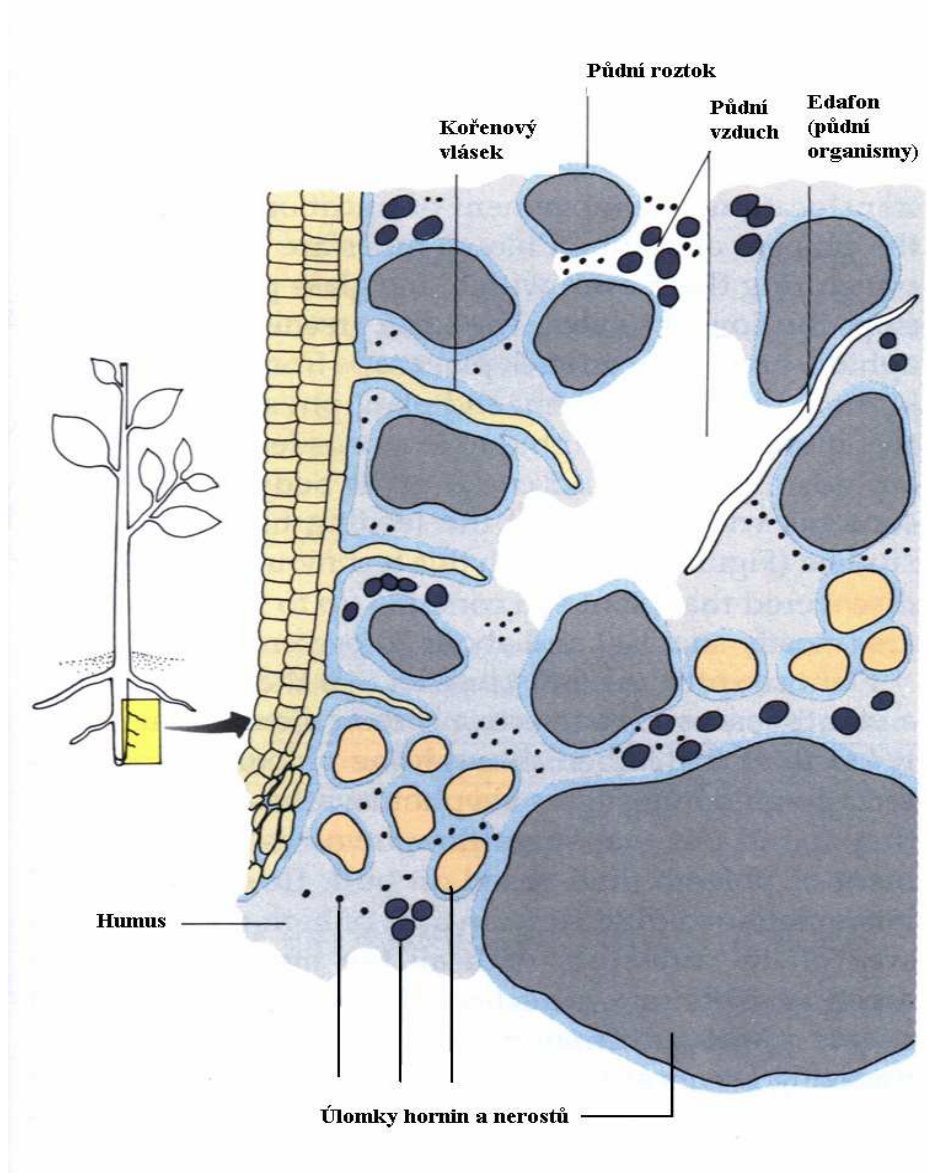
2.1.1 Základní charakteristika a funkce mokřadních ekosystémů

Pod pojmem mokřad si můžeme představit území dlouhodobě nebo dočasně zaplavené vodou. V přírodě lze najít přirozené mokřady, jako jsou bažiny, slatiny, rašeliniště. K uměle vytvořeným mokřadům patří například vegetační kořenové čistírny (Anonymus, 2010). Keddy (2000) definuje mokřad jako ekosystém, který vzniká, když v důsledku zaplavení vodou v půdě převládají anaerobní procesy, což vyvolá vznik adaptací živých organismů (převážně rostlin) na zaplavení. Ramsarská úmluva o ochraně mokřadů definuje mokřad jako: “území bažin, slatin, rašelinišť i území pokrytá vodou, přirozená i uměle vytvořená, trvalá či dočasná, s vodou stojatou či tekoucí, sladkou, brakickou či slanou, včetně území s mořskou vodou, jejíž hloubka při odlivu nepřesahuje 6 metrů” (Chytil et al., 1999).

Od suchozemských ekosystémů se mokřadní ekosystémy odlišují svým vodním režimem. V mokřadních půdách převládají anaerobní podmínky, které jsou indukovány saturací vodou. Nadbytek vody zapříčiňuje fyzikální a chemické změny v půdě. Nejvýznamnější efekt zaplavení spočívá v izolaci půdního systému od atmosferického kyslíku, čímž se systém mění od aerobního a oxidačního na anaerobní a redukční. V odvodněné půdě jsou póry vyplněné vzduchem (obr. č. 1) s relativně vysokým obsahem kyslíku, který je doplňován difúzí z atmosféry (Vymazal, 2010). Naproti tomu v zaplavené půdě jsou půdní póry zaplněné vodou, je zde nedostatek kyslíku a vznikají toxické produkty mikrobiálního metabolismu, jako je redukované železo a mangan, sulfan (sirovodík), organické kyseliny aj. (Čížková a Šantrůčková, 2006). Proto kořeny pro respiraci potřebují získat kyslík z nadzemních částí rostlin (Brix, 1993).

Obrázek č. 1: Nezamokřená půda. Převzato z:

http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kbd/fyzroaek/fyzro_1_zem/1_Vodni_provoz.pdf

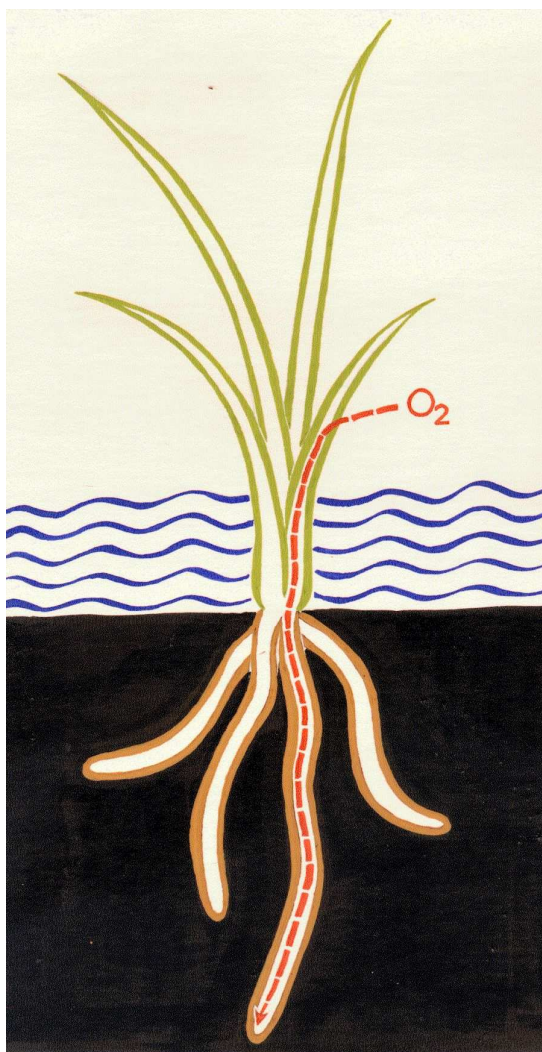


Na zaplavovaných stanovištích se kyslík vyskytuje pouze v tenké vrstvičce na povrchu půdy. V této tenké vrstvě se vyskytuje nejen kyslík, ale i jiné prvky v oxidovaném stavu, jako je například trojmocné železo, nitrátový dusík, čtyřmocný mangan nebo síranová síra, zatímco v hlubších horizontech probíhají anoxické procesy (Čížková a Šantrůčková, 2006). Pro anaerobní bakterie nastávají optimální podmínky při neutrálním pH a při nízkých hodnotách redoxního potenciálu (Vymazal, 2010).

Oxidačně redoxní potenciál je míra dostupnosti elektronů v roztoku. Tato hodnota se používá pro určení stupně elektrochemických redukcí v mokřadních půdách. Redukce je proces, při kterém dochází k uvolnění kyslíku a je přijímán vodík (hydrogenace) nebo se získává elektron (Mitsch a Gosselink 2000). Redoxní reakce v přirozeném mokřadním systému funguje jako chemický „transformátor“ při přeměně živin a jiných minerálů (Richardson 1989).

V různých vrstvách půdy se odehrávají pomocí mikroorganismů tři hlavní procesy: aerobní a anaerobní respirace a fermentace (Čížková a Šantrůčková, 2006). V mokřadních systémech probíhá aerobní respirace ve vodě nad povrchem půdy, v aerobní vrstvě pod povrchem půdy a také v blízkosti kořenů mokřadní vegetace (obr. č. 2).

Obrázek č. 2: Rostlina v zaplavené půdě. Schéma H. Čížková. Převzato z: <http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kbd/ekm/index2.htm>



Aerobní respirace půdního organického uhlíku v mokřadech je regulována množstvím dodávaného kyslíku. Aerobní proces je umožněn aerobními mikroorganismy, které se vyskytují v tenké okysličené vrstvičce na povrchu půdy. V hlubších zamokřených vrstvách po spotřebování kyslíku aerobními mikroorganismy nastávají procesy anaerobní.

Kyslík difundující vodou nad povrch půdy je spotřebován respirací aerobních mikroorganismů v povrchové půdní vrstvě tenké několik milimetrů. Pod touto vrstvičkou obligátně aerobní organismy nemohou přežívat a jsou nahrazeny fakultativně aerobními a anaerobními mikroorganismy. V prostředí bez kyslíku mikroorganismy získávají metabolickou energii dvěma typy procesů: anaerobní respirací a fermentací. Při procesu anaerobní respirace dochází k redukci oxidovaných prvků na NH_4^+ , Fe^{2+} , S_0 nebo S^{2-} a Mn^{2+} a k rozkládání vysokomolekulárních sacharidů na nízkomolekulární organické sloučeniny ve formě rozpuštěného organického uhlíku (Vymazal, 2010). Proces, při kterém jsou organické látky konečným akceptorem elektronů, je fermentace. Fermentační proces umožňují fermentační mikroorganismy, které se uplatňují, když dojde ke zpomalení a posléze až k zastavení aerobní činnosti půdních organismů. Při fermentaci se uvolňuje nejen oxid uhličitý, ale i další organické látky, jako jsou např. organické kyseliny (mléčná, octová) (Čížková a Šantrůčková, 2006).

V mokřadech se organický dusík nejčastěji vyskytuje jako močovina, aminokyseliny, aminy atd. (Vymazal, 2001). V půdě mokřadů dochází k přeměně organických dusíkatých sloučenin na anorganické a naopak. Přeměny dusíku zahrnují amonifikaci (mineralizaci), při níž dochází k uvolňování amoniaku z organických látek (Píček, 2010). Mineralizace za aerobních podmínek probíhá rychle a její rychlost se snižuje v prostředí anoxickém a anaerobním (Vymazal, 2010). Mezi další procesy přeměny patří nitrifikace. Nitrifikace je biologická oxidace amoniaku na dusičnany s dusitany jako mezistupeň v reakci. Nitrifikace může probíhat v zaplaveném prostředí v povrchové aerobní vrstvě půdy a v blízkosti kořenů. Nelze opomenout ani proces denitrifikace. Jde o proces biochemické redukce NO_2^- a NO_3^- na N_2 nebo plynné oxidy dusíku. Z biochemického hlediska je denitrifikace bakteriální proces uskutečněný bakteriemi *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Agrobacterium* aj. (Píček, 2010). Rychlost denitrifikace je v rozdílných typech

mokřadů různá, silně kolísá a pohybuje se od 0,002 do 134 N m⁻² rok⁻¹ (Vymazal, 2001).

Další funkce mokřadů spočívá v klimatizačním efektu výparu. Výpar neboli evapotranspirace je fyzikální jev, při kterém dochází k přeměnění vody z kapalného skupenství do plynného. Evapotranspirace je celkové množství vypařené vody na daném místě (Kincl a Krpeš, 2006). Výpar je umožněn čistou radiací, která slouží jako zdroj energie pro tento proces. Na výpar se může spotřebovat až 90% energie čisté radiace (Pokorný et al., 2007).

Transpirace mokřadní vegetace probíhá ve dne i v noci, ale s tím rozdílem, že v noci dosahuje maximálně 5% denní transpirace. Více transpirují rostliny, které mají větší asimilační plochu a větší kořenový systém, kterým je přijímáno větší množství vody (Pokorný et al., 2007). Transpirací rostlina přichází o část energie (výparné teplo), a tím se ochlazuje (Kincl a Krpeš, 2006). Poměr mezi transpirací za vegetační období k množství vytvořené sušiny udává transpirační koeficient. Transpirační koeficient umožňuje stanovit podmínky, které jsou pro růst a vývoj rostliny ideální (Pokorný et al., 2007).

2.1.2 Vegetační kořenová čistírna jako umělý mokřad

Vegetační kořenová čistírna je umělý mokřad oddělený od podloží nepropustnou vrstvou jílu, betonu nebo folií. Uměle vytvořené mokřady mají rozsáhlé uplatnění, zejména při čištění či dočištění odpadní vody (Říhová Ambrožová, 2010). Vegetační kořenové čistírny využívají fyzikální (sedimentace, filtrace, adsorpce), chemické (rozklad, srážení) a biologické samočisticí schopnosti (bakteriologické procesy a různé formy biologického metabolismu), které se odehrávají v pórovitém (porézním) prostředí, které je nasycené vodou. Vegetační kořenové čistírny se uplatňují při čištění splaškových vod a k dočištění znečištěných povrchových vod (Kočková et al., 1994).

V ČR jsou nejběžnějším systémem vegetační kořenové čistírny s podpovrchovým horizontálním prouděním. Způsob čištění spočívá v horizontálním průtoku odpadní vody propustným substrátem, který je osázen vlhkomilnými rostlinami. Aby nedocházelo k ucpání, které by vedlo k povrchovému odtoku, musí být substrát propustný. Při průtoku odpadní vody substrátem dochází k odstranění

organických a nerozpustných látek a mikrobiálního znečištění. Tento typ kořenové čistírny není zaměřen na odstranění dusíku a fosforu (Vymazal, 1995).

Hlavní návrhové parametry vegetační kořenové čistírny zahrnují plochu kořenového pole, hloubku lože a sklon.

Plochu kořenového pole lze stanovit pomocí rovnice:

$$A_h = \frac{Q_d (ln * C_o - ln * C_t)}{K_{BSK}}$$

kde A_h = povrch lože (m^2); Q_d = průměrný denní průtok (m^3/d); C_o = průměrná denní koncentrace BSK₅ na přítoku (mg/l); C_t = požadovaná průměrná denní koncentrace BSK₅ na odtoku; K_{BSK} = rychlostní konstanta (m/d).

A z rovnice vycházející z Darcyho zákona, která se používá ke stanovení tvaru lože – tzn. poměr délky k šířce.

$$A_c = \frac{Q_d}{K \frac{dH}{ds}}$$

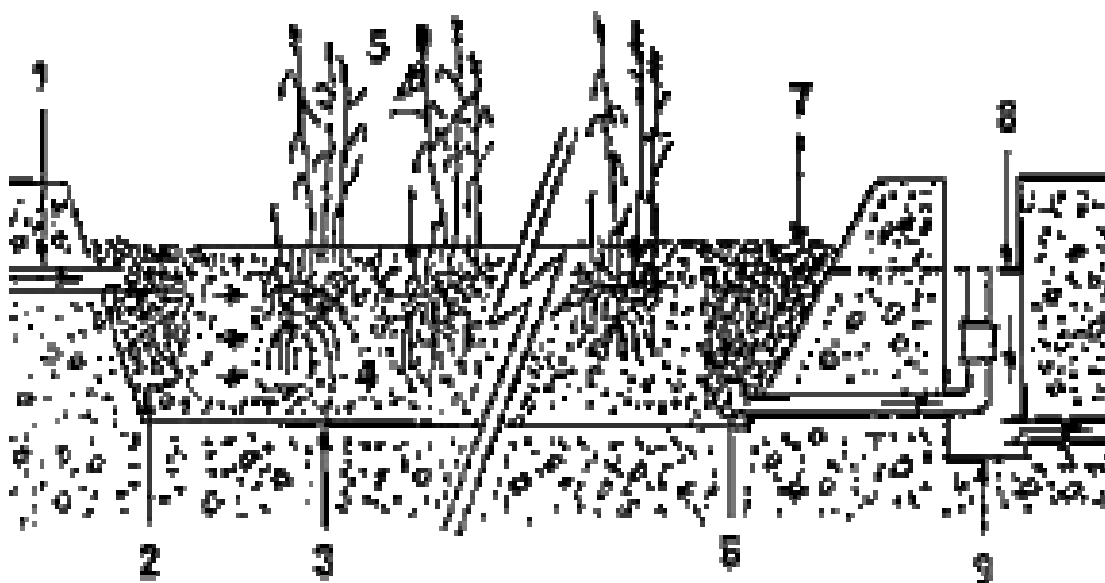
kde A_c = plocha příčného průřezu lože (m^2); Q_d = průměrný přítok splašků (m^3/s); K = nasycená hydraulická vodivost plně vyvinutého lože (m/sp); $\frac{dH}{ds}$ = sklon lože, (m/m).

Průměrná hloubka lože by měla být 0,6 m a hloubka na výtoku by neměla přesáhnout méně než 0,3 m (Sága a Dostál, 1991). Hydraulický gradient je zajišťován sklonem kořenového pole. Dříve se pro kořenové čistírny navrhoval vysoký sklon dna (až 8%). Postupem času došlo k snižování sklonu dna až téměř k nule. V tzv. Evropských směrnících je doporučený sklon dna $\leq 1\%$ (Sága a Dostál, 1991), ale v současné době se doporučuje rovné kořenové lože (Vymazal, 1995). Hloubka filtračního lože je většinou 60-80 cm. Aby nedocházelo k ucpání filtračního lože, musí být substrát dostatečně propustný, proto se k vyplnění nejvíce používá praný štěrk. Kvůli dobrému rozvodu odpadní vody jsou rozvodné a sběrné zóny vyplněny hrubým kamenivem.

Předčištěná odpadní voda je nejprve vedena do rozvodné zóny. Pro rozvod se používají plastové trubky s velkými otvory. Pomocí rozdělovacího potrubí a rozdělovacích pásem se mechanicky předčištěná odpadní voda rovnoměrně rozděluje

po celé šířce filtračního pole. Na dně odtokové části filtračního lože je uloženo sběrné potrubí a v odtokové šachtě je spojeno s výpustným mechanismem, kterým se nastavuje výška vodního sloupce ve filtračním loži. Hladina vody při běžném provozu se udržuje v 5 – 10 cm pod povrchem filtračního lože (Pelikánová, 2010).

Obrázek č. 3: Schéma kořenové čistírny. 1 - přítok odpadní vody; 2 - rozvodná část vyplněná hrubým kamenivem; 3 - nepropustná bariéra (nejčastěji plastová folie); 4 - filtrační lože (např. písek nebo štěrk); 5 - mokřadní vegetace; 6 - sběrná drenáž; 7 - povrch filtračního lože; 8 - výška vodní hladiny; 9 - odtoková šachta. Podle Vymazala (1995).



Společné rysy vegetační čistírny a přirozených mokřadů s dominantním rákosem obecným spočívají nejen ve společné rostlinné dominantě, ale také v tom, že v obou systémech probíhají tytéž chemické a biologické procesy (aerobní a anaerobní dekompozice, fermentace, akumulace oxidu uhličitého, výpar a transpirace).

Odlišnost mezi vegetační kořenovou čistírnou a přirozeným mokřadem s dominantním rákosem spočívá v tom, že vegetační kořenová čistírna je systém vytvořený a obhospodařovaný člověkem za určitým účelem - čištění odpadních vod. Proti většině přirozených mokřadů mívají vegetační kořenové čistírny větší organickou zátěž i větší zatížení živinami. Vegetace na kořenové čistírně se zpravidla kosí, kdežto mnohé přirozené mokřady s dominantním rákosem se nekosí a odumřelá biomasa zůstává na místě.

Názory na kosení vegetační kořenové čistírny jsou různé. Podle Gellera (1991) je sklizeň rostlin nežádoucí a bezvýznamná a také ji nedoporučuje kvůli zhutňování substrátu. Kosení rákosu se nedoporučuje v době metání, což je v polovině června, protože by to vedlo k oslabování porostu. Zopakujeme-li kosení koncem léta, dojde k oslabení porostu natolik, že v následujícím roce nevytvoří souvislý zápoj. Naopak zimní kosení má kladný vliv na stav porostů. Porost je pak hustý a má vyrovnanou jak vertikální, tak horizontální strukturu. Odstraníme-li však veškerou pokosenou hmotu či stařinu, může dojít k poškození mladých prýtů jarními mrazy (Lukavská, 1992).

Vodní režim je hlavní faktor, který způsobuje odlišnost půdy mokřadů od půd ostatních suchozemských ekosystémů (Čížková, 2006). Mokřadní rostliny jsou často vystavovány silnému kolísání vodní hladiny. Při tomto kolísání dochází k častému úplnému zaplavení rostlin (Voeselek a Blom, 1989). Na vegetační kořenové čistírně však je hladina vody regulována a k jejímu kolísání běžně nedochází.

2.2 VLASTNOSTI MOKŘADNÍ VEGETACE

2.2.1 Základní vlastnosti mokřadní vegetace a jejich funkce v mokřadním ekosystému

Za mokřadní (hydrofytní) rostliny lze označit rostliny, které rostou ve vodě nebo v zamokřené či zaplavené půdě. Tato vegetace je k zaplavení přizpůsobena svou anatomickou stavbou. Jedná se o stavbu s množstvím mezibuněčných prostor v podzemních i nadzemních orgánech. Propojené mezibuněčné prostory umožňují transport atmosférického kyslíku do podzemních orgánů. Toto vnitřní zásobení kyslíkem je důležité při vyčerpání kyslíku v zamokřeném prostředí (Čížková, 2006).

Rostliny dále poskytují organický uhlík, který je důležitý pro denitrifikační proces (Vymazal, 1995). Podzemní části rostlin snižují erozní účinek proudící vody, mají i filtrační funkci a odebírají živiny z vodního prostředí. Nadzemní části rostlin vytváří mikroklima. Mokřadní rostliny mají i funkci estetickou, které je dána výběrem rostliny (Šálek, 1999).

Výpar (transpiraci) lze považovat za jednu z významných funkcí rostliny. Spolu s výparem z půdy a volné vodní hladiny (evaporací) tvoří evapotranspiraci neboli výpar z ekosystému. Výpar definujeme jako objem vody nebo jako výšku

vrstvy vody, které se vypaří za určitý čas na určitém místě (ploše). Výpar je udáván v milimetrech (Tlápek et al., 1992).

Mokřadní vegetace se významně podílí na distribuci a přeměnách slunečního záření v mokřadech. Velké množství záření se v mokřadech totiž spotřebovává na výpar vody transpirací. V mokřadech bývá množství spotřebované energie na výpar vody vyšší než na uvolňování zjevného tepla, proto Bowenův poměr nabývá u mokřadních rostlin hodnotu nižší než 1 (Pokorný et al., 2007).

2.2.2 Specifika rostlinného pokryvu vegetačních kořenových čistíren

Existují kritéria, podle nichž se vybírají rostliny vhodné pro vegetační kořenové čistírny. Do vegetační kořenové čistírny se hodí zejména rostliny vytrvalé, tedy rostliny s dlouhou vegetační dobou a širokou ekologickou amplitudou. Tyto vhodné druhy pocházejí z prostředí, které je bohaté na živiny. Za vhodné lze považovat druhy, které jsou vzpřímené nebo trsnaté (trávy, rákosiny), protože mají vysokou produkci biomasy na jednotku plochy. Do vegetačních kořenových čistíren vybíráme druhy, které se rychle a snadno množí a manipulace s nimi je snadná (Husák, 1992).

Funkce rostlin na kořenové čistírně spočívá v přivádění kyslíku do kořenové zóny, aby bylo umožněno aerobní odbourávání organických látek (Vymazal, 1995). Kyslík z atmosféry se do kořenů a oddenků dostává soustavou vzdušných prostor uvnitř rostlinného těla a část ho difunduje přes povrchová pletiva podzemních orgánů do půdy (Kočková et al., 1994). Mokřadní vegetace také vytváří podklad pro růst bakterií, které se nacházejí na podzemních částech rostliny (oddenky, kořeny) (Vymazal, 1995). Tyto bakterie se podílejí na čistícím procesu. Tenká aerobní vrstva, která se vytváří v těsném okolí kořenového systému, umožňuje přítomnost, metabolismus a rozmnožování aerobních bakterií (Kočková et al., 1994).

Na kořenovou čistírnu vybíráme takové druhy, jejichž stařina ležící na povrchu lože v chladném období roku lože zatepluje a tím umožňuje proudění vody ložem i za mrazů (Štěch, Petříček, 2010). Také vybíráme rostliny, které splynou s krajinou. Při vhodném uspořádání a výběru mají mokřadní rostliny také funkci estetickou. Mezi esteticky hodnotné mokřadní druhy, které se vysazují na kořenové čistírny u rodinných domků nebo rekreačních objektů, patří např. kosatec žlutý, šmel okoličnatý nebo puškovec obecný (Kočková, 1994).

2.3 CHARAKTERISTIKA RÁKOSU OBECNÉHO

2.3.1 Základní charakteristika celé rostliny

Rákos obecný (*Phragmites australis*) patří mezi vytrvalé trávy (jednoděložné rostliny). Dorůstá do výšky 4 m, v teplejších oblastech může dosahovat do výšky přes 6 m. Rostlina má mohutný plazivý oddenek a kořeny prorůstají do značných hloubek (i přes 12 m). Hloubka prorůstání oddenků se udává v rozmezí 60 – 70 cm, ale může dosahovat i hloubky 1,5 m (Vymazal, 1995). Nadzemní prýty vyrůstají z oddenku. Stébla jsou ve dvou řadách, na bázi mají až 2 cm v průměru (Dostál, 1989).

Pochvy listů jsou přitisklé, drsné a zakrývají kolénka (Dostál, 1989). Listové čepele rákosu mohou být 5 cm široké a dlouhé až 50 cm (Pelikánová, 2010). Listy jsou čárkovitě kopinaté, šedozelené, na rubu drsné a přitiskle chlupaté. Pochvy listů poléhavých stébel jsou jen 2-5 cm dlouhé a svinuté (Dostál, 1989). Stéblo je zakončené latou, která může dosahovat délky až 40 cm (Pelikánová, 2010). Lata je podlouhle vejčitá, 5-15 cm v průměru (Dostál, 1989). Nafialovělé květy jsou uspořádány v kláscích, které jsou z boku smáčklé, vícekvěté, mají 3-10 květů (Kubát et al., 2002). Dolní květy jsou samčí nebo sterilní, horní květy jsou samičí (Dostál, 1989).

Rákos se rozmnožuje vegetativně pomocí dlouhých vodorovných nebo šikmých podzemních oddenků (Vymazal, 1995, Soukup, 1997). Boční pupeny vyrůstají z oddenků v kolínkách (obr. č. 4).

Podzemní části rákosu obecného se skládají z kořenů a oddenků. Kořenová soustava je svazčitá a je tvořena adventivními kořeny, které vyrůstají z kolének na oddenků a na bázích stonků. Kořeny a oddenky mají na povrchu skvrny způsobené usazeninami železa. Hnědooranžové skvrny obsahují oxidované formy železa. Černé skvrny obsahují redukované dvojmocné železo, a tak indikují nepřítomnost kyslíku.

Obrázek č. 4: Růst pupenů na bocích oddenků



2.3.2 Strukturní charakteristika oddenků

Oddenek je metamorfózou stonku. Má proto tytéž základní anatomické a morfologické znaky jako stonk. Skládá se tedy z článků (internodií) a uzlin (nodů). Charakteristickým znakem stavby oddenků je souvislý systém vzdušných prostor. Umožňuje provětrávání oddenků hromadným tokem. U rákosu je směr proudění od pochev mladých listů přes stébla až do oddenků a dále pak přes stará stébla do atmosféry. Dojde-li k poškození části oddenku, vzdušné kanálky v oddenku se zaplní vodou z okolního prostředí a systém provětrávání tak selže.

Přepážka v koléncích oddenků je tvořena třemi vrstvami aerenchymatických pletiv. Tato pletiva jsou velmi dobře propustná pro plyny. Prostřední pletivo funguje jako bariéra pro vodu, která by do dutiny pronikla. Mezibuněčné prostory mají takové rozměry, že voda skrze ně za malých tlaků neprochází. V koléncích je jemný aktinenchym, který působí jako rozhraní, na kterém se voda pronikající do pletiva zastaví. Anatomická stavba uzliny tak zabraňuje šíření vody z poškozeného článku do článků sousedních a tím omezuje nepříznivé následky poškození. V další fázi

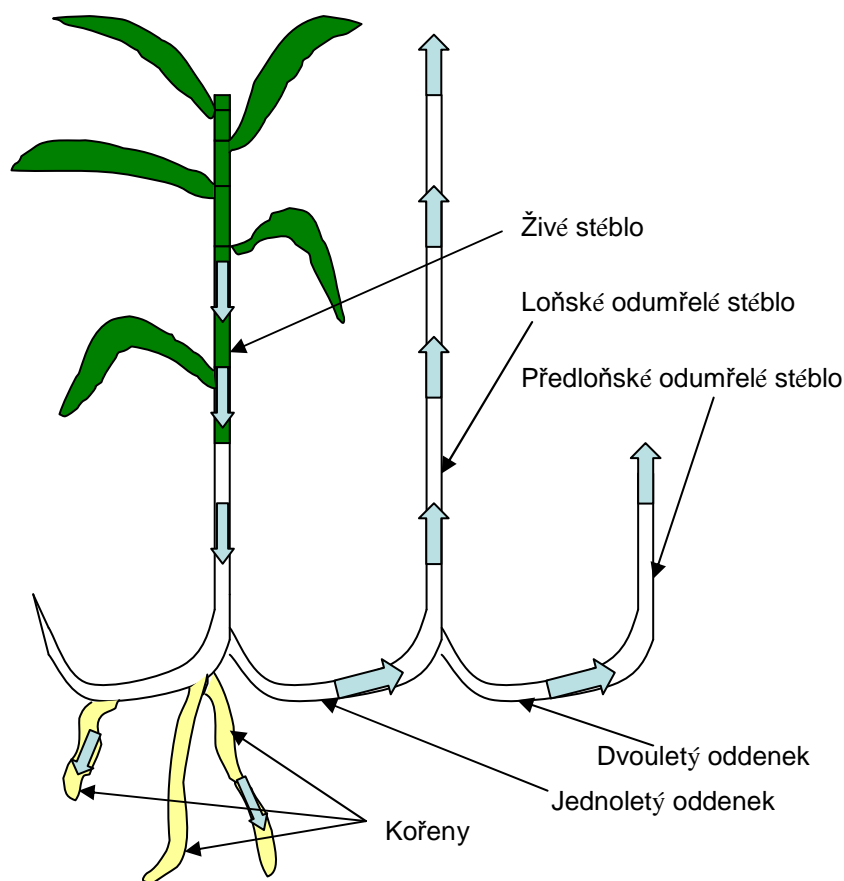
dochází k uzavírání poškozeného segmentu rostliny. Mezibuněčné prostory se zaplní buněčnými výrůstky, jejichž buněčné stěny postupně ztloustnou a lignifikují. Tento proces trvá několik týdnů (Soukup et al., 2000).

2.3.3 Funkční charakteristika oddenků

Funkcí oddenku je vegetativní rozmnožování. Oddenky slouží také k ukládání zásobních látek (rezervní sacharidy). Rezervní sacharidy jsou tvořeny při fotosyntéze a floémem jsou transportovány do podzemních orgánů (Brändle, 1996). Nejvíce zásobních sacharidů se nachází v oddencích. Obsah sacharidů v oddencích během roku kolísá (Brändle, 1990). Největší obsah sacharidů v oddencích je na konci vegetační sezóny, protože je ukončen jejich transport z fotosynteticky aktivních pletiv (Čížková et al., 1994). Nahromaděné zásobní látky podporují rozmnožovací schopnost rákosu a slouží jako zdroj energie pro rychlý růst nových zelených prýtů na začátku další vegetační sezóny. Rezervní sacharidy také slouží jako zdroj metabolické energie pro fermentaci oddenků v zimě po odumření nadzemních prýtů (Čížková, 2006).

Další funkce spočívá i ve vnitřním provětrávání. Vnitřní provětrávání zajišťuje buňkám podzemních orgánů alternativní zásobení kyslíkem. Provětráváním je atmosférický kyslík přiváděn k buňkám podzemních orgánů. Strukturu pro vnitřní provětrávání tvoří propojená soustava vzdušných prostor v pletivech listů, stonků, oddenků a kořenů. Při provětrávání se uplatňují i malé interceluláry (mezibuněčné prostory) v rozích buněk parenchymatického pletiva. Ve vzdušných prostorech uvnitř rostlinného těla se plyny pohybují dvěma mechanismy, difúzí a objemovým neboli hromadným tokem. Difúzí se molekuly plynu pohybují ve směru koncentračního spádu daného plynu. Při hromadném toku se molekuly všech plynů pohybují stejným směrem po spádu tlaku (Čížková, 2006). Takové provětrávání má např. polykormon rákosu. V polykormonu rákosu vzniká přetlak vzduchu v listových pochvách mladých prýtů. Odtud je proud vzduchu přiváděn do oddenku, který je uložen v zaplavené půdě, a pak je ventilován zpět do atmosféry přes staré prýty (obr. č. 5). Gradient tlaku a konvekce byla zjištěna i u dalších mokřadních rostlin s oddenky (Čížková, 2010).

Obrázek č. 5: Schéma struktury polykormonu rákosu. Modré šipky znázorňují směr provětrávání polykormonu. Schéma H. Čížková. Převzato z: <http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kbd/ekm/index2.htm>



2.3.4 Strukturní charakteristika kořenů

Kořen (radix) je podzemní nečlánkovaný orgán, který je charakteristický svým neomezeným růstem do délky (Slavíková, 1984). Kořen je bezlistý a nepravidelně větvený. Pletiva neobsahují chlorofyl, a proto jsou kořeny nezelené (Kubát et al., 1998).

Jednoděložné rostliny jsou charakteristické vznikem adventivních (přídavných) kořenů (s výjimkou primárního kořene), které většinou vyrůstají z oddenků nebo z bazálních částí prýtů. Typickou vlastností kořenů jednoděložných rostlin je to, že většinou nedochází ke druhotnému tloušťnutí, a kořen pak po celou dobu života má pouze primární stavbu (Lichtenberková, 2002).

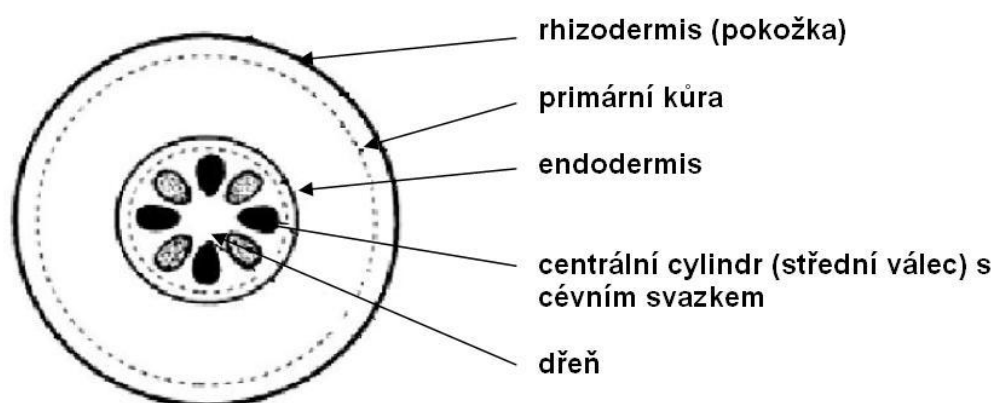
Růst kořene je umožněn činností vrcholového meristému. Vrcholový meristém je chráněn čepičkou (Slavíková, 1984). Čepička (kalyptra) je tvořena

z parenchymatických buněk. Vnější buňky čepičky slizovaty a to umožňuje snazší pronikání kořene půdou (Kubát et al., 1998).

Na příčném řezu kořene jednoděložných rostlin lze rozlišit tři zóny – rhizodermis, primární kůru a střední válec (obr. č. 6) (Lichtenberková, 2002).

Obrázek č. 6: Příčný řez kořenem jednoděložné rostliny. Převzato z:

http://www.giobio.ic.cz/obrazky/botanika/koren_pricna_stavba.JPG



Rhizodermis je jednovrstevná pokožka vyskytující se na povrchu kořenů. U mnoha rostlin má kořenová pokožka krátkou životnost. Buňky rhizodermis mají protáhlý tvar ve směru osy kořene (Penka, 1970). Tyto buňky jsou radiálně prodloužené a po dosáhnutí prodlužovací zóny se přemění v deskovité buňky dospělé rhizodermis. V mladých částech rhizodermis jsou buňky tenkostěnné s primární buněčnou stěnou a jsou dobře propustné pro vodu a ionty. Ve starších částech rhizodermis odumírá a funkci povrchových pletiv přejímá vnější vrstva primární kůry, tzv. exodermis. Exodermis je stavbou podobná endodermis a plní u mokřadních travin funkci ochranné bariéry (Lichtenberková, 2002).

Primární kůra je část stonku nebo kořene, která vyplňuje prostory mezi pokožkovými a vodivými pletivy (Penka, 1970). Ve střední části primární části kůry se mohou objevovat rozsáhlé vzdušné kanály aerenchymu. Aerenchym je pletivo, které obsahuje velké množství plynem vyplněných prostor. Toto pletivo propojuje podzemní část rostliny s nadzemními stonky a listy. Vytváří se tak vnitřní provzdušňovací systém, který umožňuje některým rostlinám přežít nebo růst v prostředí s nedostatkem kyslíku (Lichtenberková, 2002). Množství kyslíku

dodávané do zaplavené půdy je totiž omezováno malou rozpustností kyslíku ve vodě a nízkou rychlostí difúze kyslíku vodou (Erhart, 2000).

Aerenchym se rozlišuje na dva typy, a to schizogenní a lysigenní (Erhart, 2000). Schizogenní aerenchym vzniká oddálením buněk od sebe během růstu pletiva. Lysigenní aerenchym vzniká rozkladem a odumřením částí buněk primární kůry (Lichtenberková, 2002).

U kořenů se střední válec skládá z pericyklu a vodivých pletiv, mezi nimiž jsou základní pletiva. Podél kořene se průměr středního válce většinou zmenšuje směrem k vrcholu orgánu (Luxová, 1989).

Pericykl většinou tvoří vrstva tenkostěnných parenchymatických buněk, které přiléhají k endodermis. Pericykl je důležitou součástí kořene, protože při ontogenetickém vývoji si zachovává meristemický charakter a endogenně se v něm zakládají postranní kořeny (Lichtenberková, 2002).

2.3.5 Funkční charakteristika kořenů

Jednou z hlavních funkcí kořene je upevňování rostliny v půdě. Mezi další neméně významné funkce patří čerpání a rozvádění rozpuštěných minerálních látek (Kubát et al., 1998) a zásobení rostlinných pletiv vodou (Seiler, 1994). Kořeny mají také funkci zásobní a jsou místem syntézy důležitých organických látek. Kořeny se také uplatňují při symbioze s mikroorganismy a houbami, které se v půdě žijí (Slavíková, 1984). Funkce kořene spočívá i v ochraně půdy před vodní erozí (Penka, 1970).

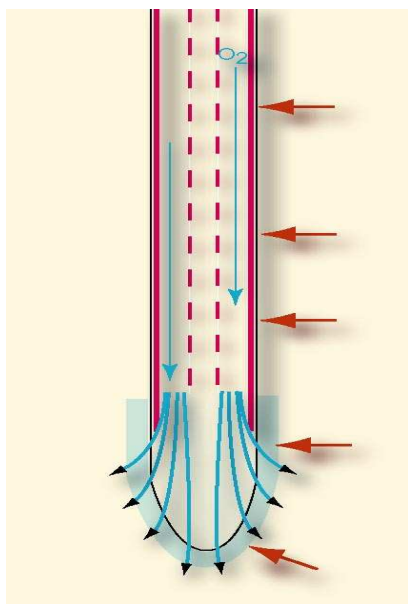
Funkce kořenů spočívá i ve vnitřním provětrávání. Difúze je hlavní mechanismus transportu atmosférického kyslíku přes soustavu vzdušných prostor uvnitř rostliny. Transportovaný kyslík do kořenů je využit pro aerobní respiraci buněk. Část kyslíku difunduje radiálním směrem ze vzdušných prostor kořene přes povrchová pletiva do rhizosféry a tím vytváří v okolí kořene okysličenou vrstvu. Tato okysličená vrstva částečně chrání rostlinná pletiva před toxickým působením látek, které se vytvářejí v anaerobním prostředí (obr. č. 7).

Mokřadní rostliny jsou schopné radiální únik kyslíku do určité míry omezit a tím zajistit, aby se dostatečné množství kyslíku dostalo k apikálnímu meristému. U starších částí oddenků a kořenů vznikají tzv. ochranné bariéry. Tyto ochranné

bariéru tvoří povrchové a podpovrchové vrstvy pletiv, které jsou tvořeny buňkami se ztloustlými buněčnými stěnami impregnovanými ligninem, kutinem či suberinem (voskovitá látka, která se ukládá ve ztlustlých buněčných stěnách korkového pletiva), které omezují propouštění plynů. Vrstvy brání úniku kyslíku z pletiv do okolí a zároveň tvoří bariéru proti průniku fyto toxinů z anaerobního prostředí do pletiv kořene (Čížková, 2010).

Obrázek č. 7: Tok kyslíku vzdušnými prostory kořene, jeho spotřeba buňkami kořene a únik do rhizosféry. Schéma A. Soukup. Převzato z:

<http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kbd/ekm/index2.htm>



2.4 VÝZNAM PODZEMNÍCH ORGÁNŮ MOKŘADNÍCH ROSTLIN PRO MIKROBIÁLNÍ POPULACE

Na kořenových čistírnách ponořené části rostlin poskytují substrát pro rozvoj bakterií, které se podílejí na čistícím procesu (Kočková et al., 1994). Na kořenech makrofyt a na filtračním materiálu vytváří bakterie aktivní vrstvu. Na povrchu kořenového systému rostlin je hustota populace bakterií vyšší než v okolním substrátu (Čížková-Končalová, 1992).

Kromě organické zátěže v odpadní vodě je dalším zdrojem organické hmoty na vegetační kořenové čistírně vlastní biomasa rostlin (Picek et al., 2007). Odumřelá rostlinná hmota je hlavním zdrojem organického materiálu v přirozených mokřadech.

Tato organická hmota se za anaerobních podmínek rozkládá pomaleji než za aerobních (Ponnamperuma, 1972). Proto se v zaplavených půdách půdní organický uhlík často hromadí (Čížková, 2006).

Aerenchymem mokřadních rostlin je do zamokřené půdy přirozených mokřadů i do filtračního lože vegetačních čistíren přiváděn kyslík. V blízkosti kořenové špičky, kde nejsou impregnované podpokožkové vrstvy, je oxidovaná zóna, odkud dochází k úniku kyslíku do rhizosféry (Soukup, 1997).

3 POPIS VKČ VE SLAVOŠOVICÍCH

Vegetační kořenová čistírna se nachází ve vesnici Slavošovice, která je vzdálená přibližně 10 km od Třeboně. Provoz kořenové čistírny byl zahájen v srpnu roku 2001. Denně se v kořenové čistírně vyčistí přibližně 30m³ odpadní vody. Kořenová čistírna se skládá ze dvou částí: předčištění a dvou vegetačních (kořenových) polí. Předčištění se skládá z česel a lapáku písku, jejichž funkcí je zbavovat odpadní vodu hrubých nečistot. Z předčištění voda přitéká na kořenové pole. Plocha každého pole je 374 m², celková plocha je tedy 748 m². Délka pole je 17 m, šířka pole je 22 m a sklon pole je 1%. Kořenové pole je odděleno od podloží vrstvou jílu, která je nepropustná. Pole je vyplněno říčními valouny o velikosti 1 – 2 cm. Nátoková a odtoková zóna kořenového (rákosového) pole je vyplněna hrubým štěrkem, ve kterém je umístěna perforovaná drenážní trubka, jejíž funkcí je přivádět a odvádět vodu. Pole jsou osázena porostem rákosu obecného (*Phragmites australis*) (Dušek, ústní sdělení).

4 METODIKA

4.1 ODBĚR NADZEMNÍ BIOMASY

Nadzemní biomasa byla odebrána destruktivní metodou dle Jakrlové (1987) a následně stanovena váhově. Vzorky nadzemní biomasy jsem odebírala na konci vegetační sezóny roku 2009 (8.9. a 29.9. 2009).

Dne 8.9. 2009 bylo odebráno v nátokové části celkem šest vzorků. Vzorky byly odebírány ze čtverce 0,5 x 0,5m, tj. z plochy 0,25 m². Z těchto vymezených ploch byla odebrána čerstvá biomasa všech rostlin, které na ploše kořenily. Jako pracovní pomůcky byly použity metr, odběrová vidlice k vymezení odběrové plošky, zahradnické nůžky, provázek, mísa, kbelík, papírové sáčky, tužky. Na odběr biomasy jsem si připravila všechny potřebné pomůcky. Po umístění odběrové vidlice a pomocí zahradních nůžek jsem těsně u povrchu půdy odebrala vzorek rákosu z plochy vidlice. Poté jsem v odebraném vzorku spočítala počet živých a letošních odumřelých stébel. Takto roztríděný vzorek jsem vložila do označených papírových sáčků (lokalita, datum, místo sběru a obsah sáčku) a v sušárně vysušila do konstantní hmotnosti při 85°C. Po vysušení do konstantní hmotnosti jsem vzorky zvážila na laboratorních vahách a zjištěné hodnoty zaznamenala do tabulky 1 v datové příloze.

Dne 29. 9. 2009 bylo odebráno šest vzorků na odtoku. Postup odběrů byl stejný jako při odběru vzorků na nátoku 8. 9. 2009.

4.2 ODBĚR PODZEMNÍ BIOMASY

Podzemní biomasu jsem odebrala 31. 10. 2008. V roce 2009 jsem podzemní biomasu odebrala ve stejných termínech jako nadzemní biomasu, tj. 8. a 29. 9. 2009. Pomocí rýče jsem vyryla substrát s kořeny a oddenky z plochy 0,5 x 0,5 m, na níž jsem předtím odebrala nadzemní biomasu. Hloubka monolitu byla 0,3 – 0,4 m podle hloubky prokořenění. Vyrýpnuté vzorky jsem vložila do igelitových pytlů a dovezla do laboratoře. V laboratoři jsem vzorky vyprala v umělohmotném umyvadle a pomocí zahradnických nůžek rozdělila na odumřelé a živé báze, odumřelé a živé kořeny a živé a mrtvé oddenky. Za živé jsem považovala kořeny a oddenky, které měly slonovinovou barvu, protože jejich mezibuněčné prostory byly naplněny vzduchem. Za odumřelé jsem považovala kořeny a oddenky sklovitého vzhledu.

Sklovitý vzhled je způsoben tím, že aerenchymatické prostory, které v živých částech obsahovaly vzduch, jsou nyní vyplněny vodou.

Oddělené části jsem proprala v umělohmotném umyvadle za použití síta. Po omytí jsem rozebrané vzorky vložila do popsaných sáčků (lokalita, datum, místo sběru a obsah sáčku) a v sušárně vysušila do konstantní hmotnosti při 85°C. Po zvážení s přesností na 0,01 g jsem zjištěné hodnoty zaznamenala do tabulky č. 2, 3a a 3b. Hmotnost detritu, který po proprání vzorků zůstal ve vodě (případně na sítu), jsem nestanovovala.

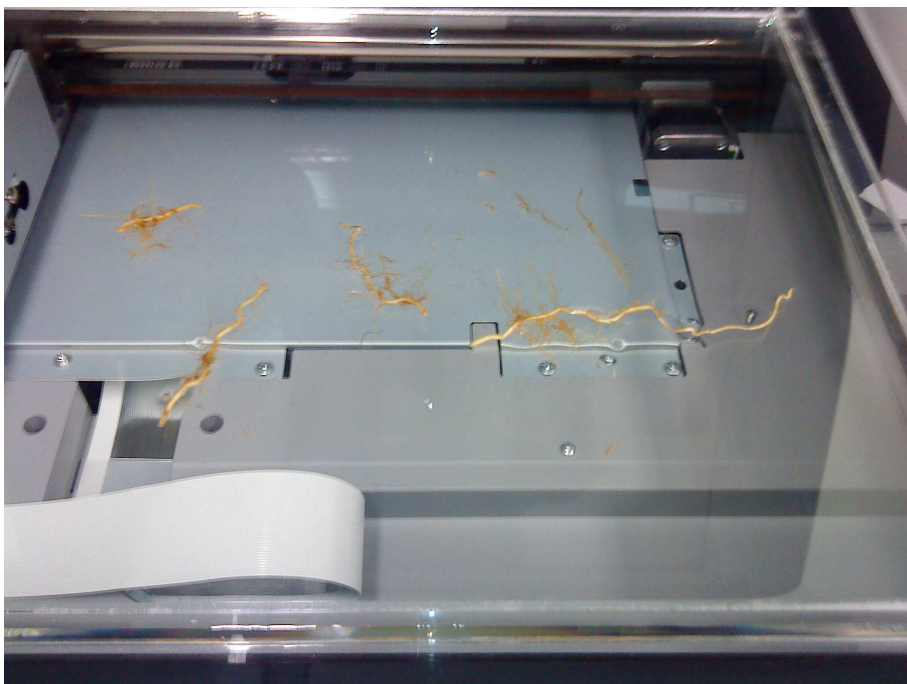
4.3 ANALÝZA STRUKTURY KOŘENŮ

Odběr vzorků na analýzu struktury kořenů proběhl 27. 10. 2009 ve Slavošovicích. Odebrala jsem 12 vzorků z nátoky (po třech z pravé, střední a levé části pole) a 12 vzorků na odtoku. Vzorky byly odebrány z plochy 20 x 20cm a hloubky 35cm. Jako pracovní pomůcky sloužil rýč na vyrýpnutí vzorku, metr, plastové mísy na vzorky a pytle. Odebrané vzorky jsem omyla, vložila do plastových pytlů a uchovala v chladu až do analýzy.

Analýzu struktury kořenů jsem provedla v laboratoři Institutu systematické botaniky a ekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity v Ulmu v období 2.-13.11. 2009. Zde jsem jako pracovní pomůcky použila skener, počítač s programem na analýzu kořenů WinRhizoPro, pinzety, skalpel, kádinku na vodu, papírové sáčky, sušárnu, tácek, štětec, plastové kelímky a lihový fix.

Ze skenovací plochy jsem odstranila folii a na plochu jsem umístila nádobu o velikosti A3, do které jsem nalila vodu po rysku a pak do ní vložila vybrané vzorky kořenů (obr. č. 8).

Obrázek č. 8: Vzorky v nádobě s vodou připravené na skenování



Z každého vzorku jsem vybrala tři oddenky. Z každého oddenku jsem pomocí skalpelu odřízla jednu uzlinu s kořeny (obrázek č. 9, 10), na které jsem spočítala počet adventivních kořenů. Kořeny jsem pak odstříhla nůžkami, umístila na skenovací plochu a oskenovala.

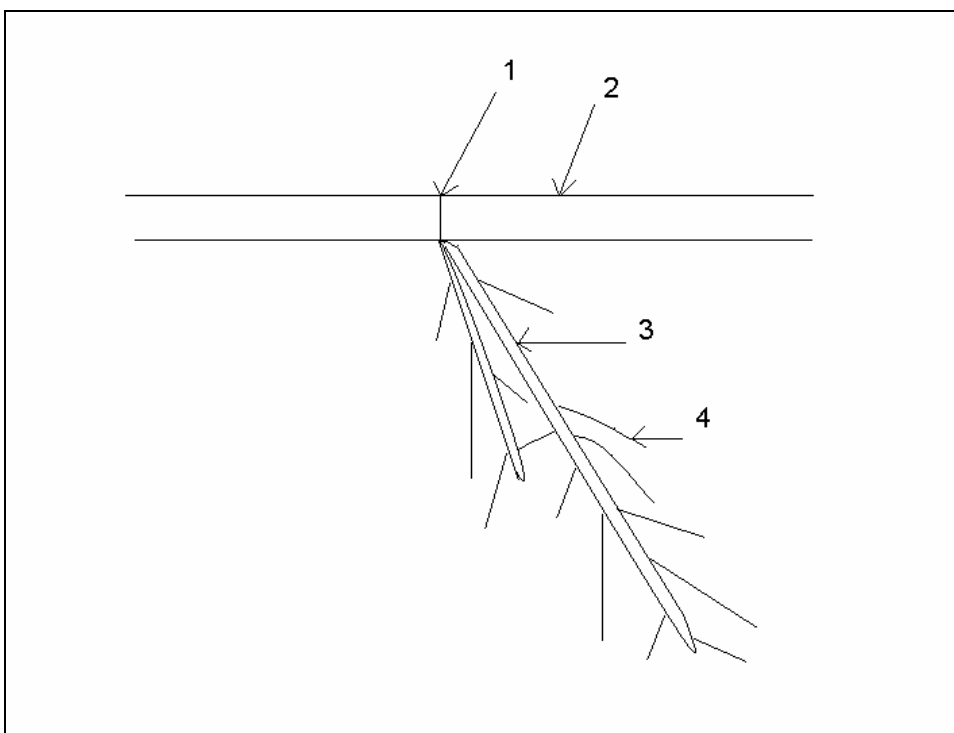
Oskenované kořeny vložila do popsaného papírového sáčku. Sáčky s analyzovanými vzorky kořenů jsem usušila v sušárně do konstantní hmotnosti při teplotě 85°C. Po vysušení jsem kořeny roztřídila na adventivní a postranní kořeny (obrázek č. 11 a 12). Po roztřídění vzorků jsem na analytických váhách zjišťovala hmotnost adventivních a postranních kořenů. Zvážené hodnoty jsem zapsala do tabulky.

Získaný soubor výsledků analýzy programem WinRhizoPro obsahoval celkovou délku kořenů pro každý analyzovaný vzorek. Dodatečně jsem zjišťovala délku adventivních kořenů pro jednotlivé vzorky. Měření jsem provedla manuálně. Z rozdílu celkové délky kořenů vzorku a délky adventivních kořenů jsem získala délku postranních kořenů. Následně jsem spočítala specifickou délku kořenů jako podíl délky kořenů a jejich sušiny.

Obrázek č. 9: Odříznutá uzlina



Obrázek č. 10: Náčrt morfologického uspořádání kořenů vyrůstajících z uzliny. Popis k náčrtu: 1- uzlina (nodus) oddenku, 2- článek (internodium) oddenku, 3- adventivní kořen, 4- postranní kořen.



Obrázek č. 11: Adventivní kořeny



Obrázek č. 12: Postranní kořeny



4.4 ODHAD CELKOVÉ DÉLKY KOŘENŮ

Celkovou délku kořenů na ploše 1m^2 pole čistírny jsem spočítala jako součin specifické délky kořenů a biomasy kořenů, a to zvláště pro nátokovou a odtokovou část pole.

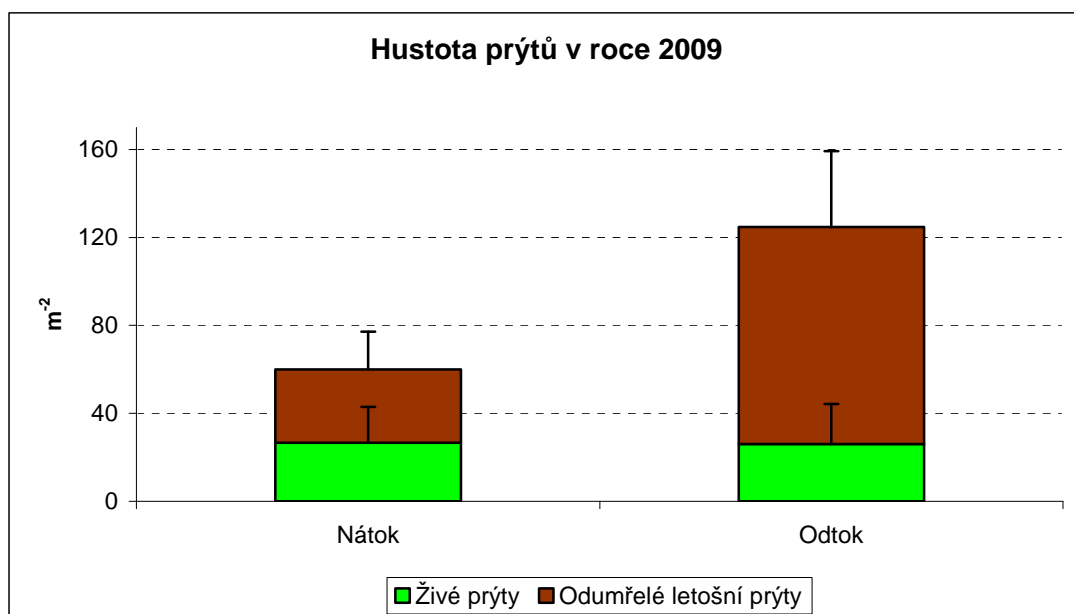
Celkovou délku adventivních kořenů na ploše 1m^2 pole čistírny jsem spočítala jako součin celkové délky všech kořenů na 1m^2 a průměrného podílu délky adventivních kořenů k délce všech kořenů, který jsem získala při strukturní analýze (kap. 4.3).

5 VÝSLEDKY

5.1 HUSTOTA PRÝTŮ A NADZEMNÍ BIOMASA

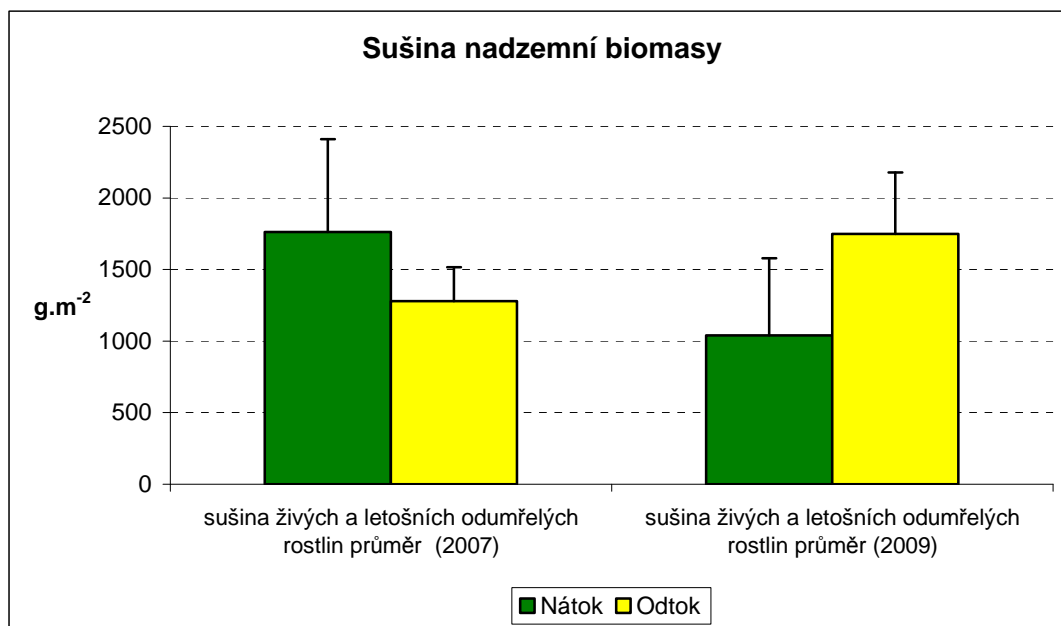
Graf č. 1 znázorňuje průměrné hodnoty hustoty živých prýtlů a odumřelých letošních prýtlů na nátokové a odtokové části pole. Z grafu vyplývá, že na nátokové části pole byla zjištěna nižší hustota odumřelých letošních prýtlů než na odtokové části pole. Průměrná hustota živých prýtlů byla na nátoku 27 m^{-2} a na odtoku 26 m^{-2} , což jsou velice podobné hodnoty.

Graf č. 1 Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky hustoty prýtlů (m^{-2}) rákosu obecného na vegetační kořenové čistírně ve Slavošovicích v roce 2009.



Graf č. 2 znázorňuje průměrné hodnoty nadzemní biomasy. Z grafu je patrné, že v roce 2007 byly hodnoty sušiny živých a letošních odumřelých prýtlů vyšší než v roce 2009. V roce 2007 byla sušina živých a letošních odumřelých prýtlů na nátoku větší než na odtoku, kdežto v roce 2009 byla sušina na nátoku nižší než na odtoku. Tyto rozdílné hodnoty mezi roky jsou pravděpodobně dány tím, že v roce 2009 nebyl porost posečen.

Graf č. 2 Průměrné hodnoty v celkové nadzemní biomase (sušina živých a letošních odumřelých prýtů) rákosu obecného na vegetační kořenové čistírně ve Slavošovicích v letech 2007 a 2009.

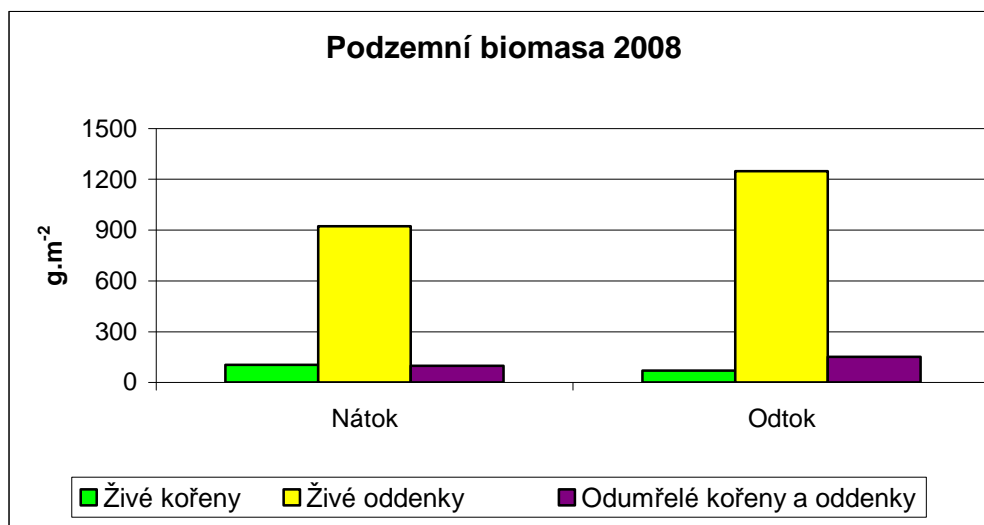


Poznámka ke grafu č. 2: Data z roku 2007 byla publikována v bakalářské práci Moulisové 2008.

5.2 PODZEMNÍ BIOMASA

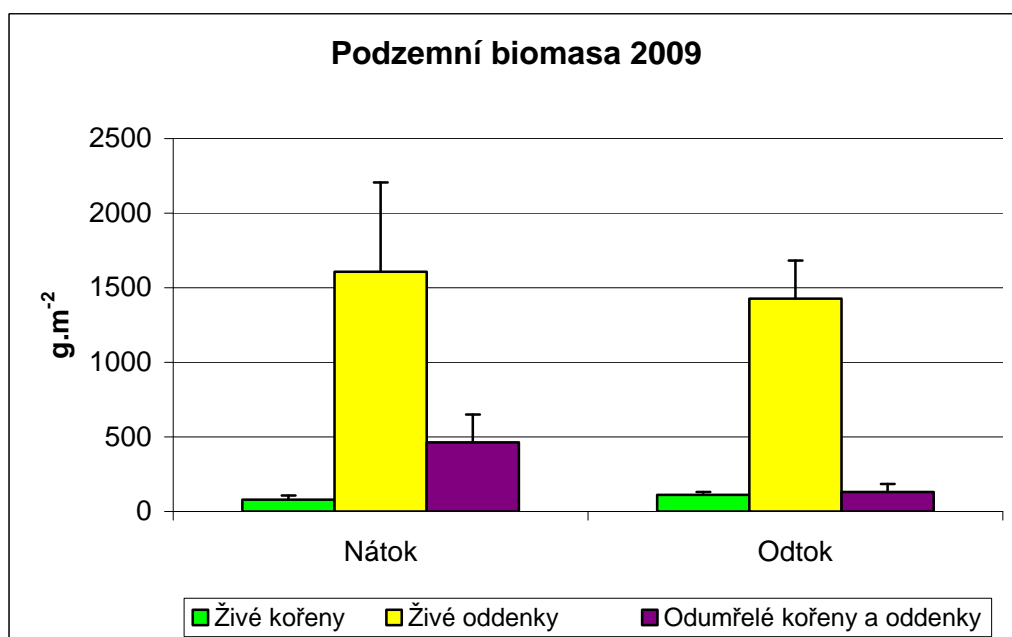
Graf č. 3 znázorňuje průměrné hodnoty podzemní biomasy v roce 2008. Na nátokové i odtokové části největší podíl podzemní biomasy tvořily živé oddenky. Na nátoku bylo 104 g.m⁻² živých kořenů a na odtoku 70 g.m⁻². Biomasa živých oddenků byla na nátoku nižší (923 g.m⁻²) než na odtoku (1249 g.m⁻²). Na nátoku byla zjištěna i nižší hodnota odumřelých kořenů a oddenků (99 g.m⁻²) než na odtoku, kde bylo zjištěno 152 g.m⁻² odumřelých kořenů a oddenků.

Graf č. 3: Průměrné hodnoty podzemní biomasy rákosu obecného [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$] na kořenové čistírně ve Slavošovicích v roce 2008. Hodnoty představují průměry ze dvou nezávislých vzorků.



Graf č. 4 udává průměrné hodnoty biomasy z roku 2009. Na nátoku bylo $79 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ živých kořenů a na odtoku bylo zjištěno $112 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ živých kořenů. Biomasa živých oddenků na nátoku dosáhla $1607 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, kdežto na odtoku byla nižší ($1427 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$). Biomasa odumřelých kořenů a oddenků na nátoku byla $463 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ a na odtoku $130 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Celkově je z grafu patrné, že poněkud vyšší hodnoty podzemní biomasy byly na nátokové části.

Graf č. 4: Průměrné hodnoty podzemní biomasy rákosu obecného [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$] na kořenové čistírně ve Slavošovicích v roce 2009. Hodnoty představují průměry ze šesti vzorků.



5.3 ANALÝZA STRUKTURY KOŘENŮ

Na nátoku i na odtoku z jedné uzliny oddenku rákosu vyrůstaly v průměru 4 adventivní kořeny (datová příloha č. 4). Datová příloha č. 5 a tabulka č. 1 udává hodnoty délek kořenů vyrůstajících z jedné uzliny oddenku. Na nátoku byl jeden adventivní kořen dlouhý v průměru 6 cm a z něj vyrůstaly postranní kořeny o celkové délce 65 cm. Na odtoku byla průměrná délka jednoho kořene 5 cm a z něj vyrůstaly postranní kořeny o celkové délce 76 cm. Celková délka kořenů byla na nátoku o 12,4% menší než na odtoku. Délka adventivních kořenů byla na nátoku o 14,8% větší než na odtoku. Délka postranních kořenů byla na nátoku o 14,2% menší než na odtoku.

Tabulka č. 1: Délky kořenů vyrůstajících z jedné uzliny oddenku rákosu obecného na VKČ ve Slavošovicích.

Část pole	Nátok		Odtok	
	Průměr	S.D	Průměr	S.D
Celková délka kořenů (m)	284,7	156,4	324,9	178,9
Délka adventivních kořenů (m)	23,1	8,1	20,1	5,1
Délka postranních kořenů (m)	261,6	152,6	304,8	174,7

S.D. – směrodatná odchylka

V tabulce č. 2 je uvedena specifická délka kořenů. Průměrná specifická délka všech kořenů na nátoku byla menší než na odtoku. Podobně i specifická délka postranních kořenů na nátoku byla menší než na odtoku. Specifická délka adventivních kořenů byla velmi podobná na nátokové části i na odtokové části pole.

Tabulka č. 2: Specifická délka kořenů rákosu obecného na vegetační kořenové čistírně ve Slavošovicích.

Část pole	Nátok		Odtok	
	Průměr	S.D.	Průměr	S.D.
Specifická délka všech kořenů (cm.g ⁻¹)	2589	1462	2957	1255
Specifická délka adventivních kořenů (cm.g ⁻¹)	288	126	275	85
Specifická délka postranních kořenů (cm.g ⁻¹)	7597	4165	10053	5504

S.D. – směrodatná odchylka

5.4 CELKOVÁ DÉLKA KOŘENŮ

Tabulka č. 3 uvádí odhad celkové délky kořenů na ploše 1m² vegetačního pole čistírny. Ukazuje, že délka kořenů na nátokové části pole byla nižší než na odtokové části. Celková délka kořenů na nátoku byla o 39,9% menší než na odtoku. Délka adventivních kořenů na nátoku byla o 22,6% menší než na odtoku. Délka postranních kořenů na nátoku byla o 40,2% menší než na odtoku. Celková délka kořenů na ploše 1m² na nátoku dosahovala téměř dvou kilometrů a na odtoku téměř tří kilometrů.

Tabulka č. 3: Délky kořenů rákosu obecného na vegetační kořenové čistírně.

Část pole	Průměry	
	Nátok	Odtok
Celková délka kořenů (m.m ⁻²)	1746	2903
Délka adventivních kořenů (m.m ⁻²)	48	62
Délka postranních kořenů (m.m ⁻²)	1698	2840

6 DISKUSE

6.1 METODY STANOVENÍ NADZEMNÍ A PODZEMNÍ BIOMASY

Biomasu můžeme definovat jako hmotnost sušiny, která se v daném časovém okamžiku vyskytuje na jednotce plochy půdy. Produkci lze definovat jako vytvoření množství sušiny (podzemní i nadzemní) porostů, rostlin nebo jejich částí za určitý čas (den, týden, rok), které jsou vztažené na jednotku plochy porostu (Jakrlová, 1987).

Přesnost v odhadu biomasy je dána velikostí odběrových plošek a počtem opakování ve stejném odběru. Podle Jakrlové (1987) závisí velikost plošek a počet opakování na typu porostu (tedy na jeho struktuře a velikosti rostlin). Ondok a Květ (1978) zjistili, že nejvhodnější plocha pro odebrání vzorku rákosu má rozměry 0,4 x 0,8 m². Já jsem při svých odběrech nadzemní a podzemní biomasy použila plošky o rozměrech 0,5 x 0,5 m², která má podobnou plochu jako ploška navržená Ondokem a Květem (1978).

Za další kritérium při odběrech biomasy považujeme náročnost a časové možnosti. V odběru nadzemní biomasy v roce 2009 jsem provedla šest opakování (6 vzorků na nátoku a 6 vzorků na odtoku). Vymazal a Kröpfelová (2005) charakterizovali nadzemní biomasu rákosu na vegetačních kořenových čistírnách pomocí tří opakování.

Při odběrech podzemní biomasy v roce 2008 jsem provedla dvě opakování (2 vzorky na nátoku a 2 vzorky na odtoku). V odběru podzemní biomasy v roce 2009 jsem provedla šest opakování (6 vzorků na nátoku a 6 vzorků na odtoku). Čížková a Lukavská (1999) odebraly monolity o rozměrech 60 x 60 x 60 cm v rybničním litorálu. Z každé plochy byl odebrán jen jeden monolit, z čehož vyplývá, že nebylo možné provést statistické srovnání zkoumaných ploch. Lukavská (1988) při studiu podzemní biomasy travinných mokřadních porostů odebírala z každé studované plochy jeden monolit o straně 50 cm a hloubce 25 cm. Parr (1990) odebíral podzemní části na vegetační kořenové čistírně v Británii pomocí sondy o ploše 5 x 10 cm a hloubce 40 cm. Odebíral od 4 až do 24 vzorků podle velikosti čistírny. Šantrůčková et al. (2001) stanovovali podzemní biomasu přirozených rákosin pomocí sondy o průměru 11 cm a délce 0,7 m, odebírali vždy alespoň 10 vzorků. Z těchto příkladů je patrné, že ke stanovení podzemní biomasy se používají dva přístupy, které mají

své výhody i nevýhody. Nevýhodou monolitu je malý počet opakování kvůli pracnosti a časové náročnosti. Nevýhodou odběrů pomocí sondy je malá velikost vzorků a velká variabilita mezi nimi. Ve své práci jsem dala přednost metodě monolitů. Odebrala jsem však vždy větší počet vzorků, aby hodnoty bylo možné porovnat statisticky.

6.2 ANALÝZA STRUKTURY KOŘENŮ

Analýza struktury kořenů poskytuje cenné informace k pochopení funkce rostlin za různých podmínek. Schopnost rostlin přijímat vodu a v ní rozpuštěné látky souvisí mimo jiné s velikostí povrchu kořenové soustavy. Velikost povrchu kořenů závisí na jejich délce a průměru. Stejný povrch mohou mít delší a tenčí kořeny nebo kratší a tlustší kořeny. Čížková a Lukavská (1999) uvádějí, že tloušťka a délka kořenů také ovlivňují intenzitu vnitřního provětrávání. Tlustší kořen má menší poměr povrchu k objemu, což zvyhodňuje transport kyslíku aerenchymem a omezuje ztráty přes povrch kořene do okolí. Kratší kořen má lepší zásobení kyslíkem než delší. Armstrong a Armstrong (1988) uvádějí, že kyslík se rychle uvolňuje z apikálních pupenů na oddencích, mladých adventivních kořenů a zejména z bohatě větvených jemných postranních kořenů. Naproti tomu starší části oddenků a adventivních kořenů nevykazují žádný únik kyslíku, což souvisí s ukládáním kutinu, suberinu a ligninu do buněčných stěn povrchových pletiv.

V této práci jsem porovnávala základní charakteristiky kořenové soustavy rostlin na nátoku a odtoku. Nejzajímavějším výsledkem byla podstatně menší celková délka kořenů na nátoku než na odtoku. Existují dvě možná vysvětlení, která mohou platit současně. Za prvé menší délka kořenů na nátoku je způsobena větší nabídkou živin. Za druhé kořeny na nátoku jsou kratší a méně se větví, protože jsou vystaveny větším kyslíkovým deficitům. Z dlouhodobých měření redoxního potenciálu (Dušek et al., 2008) lze soudit, že kyslíkové deficity na nátokové části pole jsou větší a nastávají častěji než na odtoku. Na kyslíkové deficity na nátoku lze usuzovat i z černého povlaku na kořenech, který obsahuje redukovanou formu železa (Fe^{2+}). Na odtoku naopak jsou kořeny zbarveny hnědooranžově, což indikuje přítomnost oxidovaných forem železa (Fe^{3+}). Podobně zbarvené byly i valouny tvořící náplň lože (obr. č. 13).

Obrázek č. 13: Zbarvení oxidovanou a redukovanou formou železa.



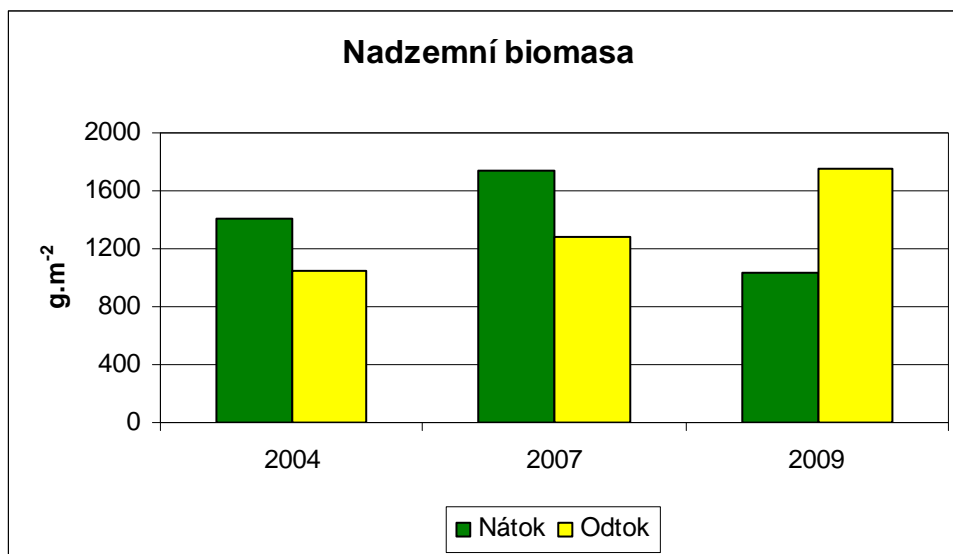
Soukup (1997) uvádí, že pro oligotrofní stanoviště rákosu je typická tvorba dlouhých, bohatě větvených laterálních kořenů a jen zřídka se zde vyskytují mladé a rychle rostoucí kořeny. Naopak na eutrofních stanovištích jsou běžné krátké, mladé a rychle rostoucí kořeny. Struktura kořenů na nátokové části vegetační čistírny je podobná s kořeny na eutrofních stanovištích. Naopak kořeny na odtoku jsou podobné kořenům na oligotrofních stanovištích.

6.3 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S ÚDAJI JINÝCH AUTORŮ

Produkce biomasy je ovlivňována stanovištními podmínkami, sezónním průběhem meteorologických podmínek v daném ročníku a také stářím porostu. Na změny biomasy v závislosti na stáří porostu je možno usuzovat ze srovnání mých výsledků s výsledky získanými na slavošovické čistírně jinými autory v roce 2004. V roce 2004 byla na kořenové čistírně ve Slavošovicích naměřena celková nadzemní biomasa na nátoku 1411 g.m^{-2} . Na odtoku byla celková nadzemní biomasa 1052 g.m^{-2} (Čížková, ústní sdělení). Ve svém měření v roce 2009 na stejné lokalitě jsem zjistila, že sušina živé nadzemní biomasy dosahovala na nátok hodnot 806 g.m^{-2} a na odtoku 728 g.m^{-2} . Sušina odumřelých letošních prýtů byla na nátok

233 g.m⁻² a na odtoku 1021 g.m⁻². Celková nadzemní biomasa dosahovala na nátoku 1039 g.m⁻² a na odtoku 1749 g.m⁻². Celková hodnota nadzemní biomasy v roce 2009 se na nátoku oproti roku 2004 a 2007 snížila, kdežto na odtoku se hodnota zvýšila (graf č. 5). V zimě mezi roky 2008 a 2009 nebyla vegetace na vegetační kořenové čistírně pokosena. V roce 2009 došlo k zastínění mladých prýtů odumřelými stébly z předchozího roku, a proto jich více odumřelo již během vegetační sezóny.

Graf č. 5: Celková nadzemní biomasa rákosu obecného [g.m⁻²] na kořenové čistírně ve Slavošovicích v letech 2004-2009



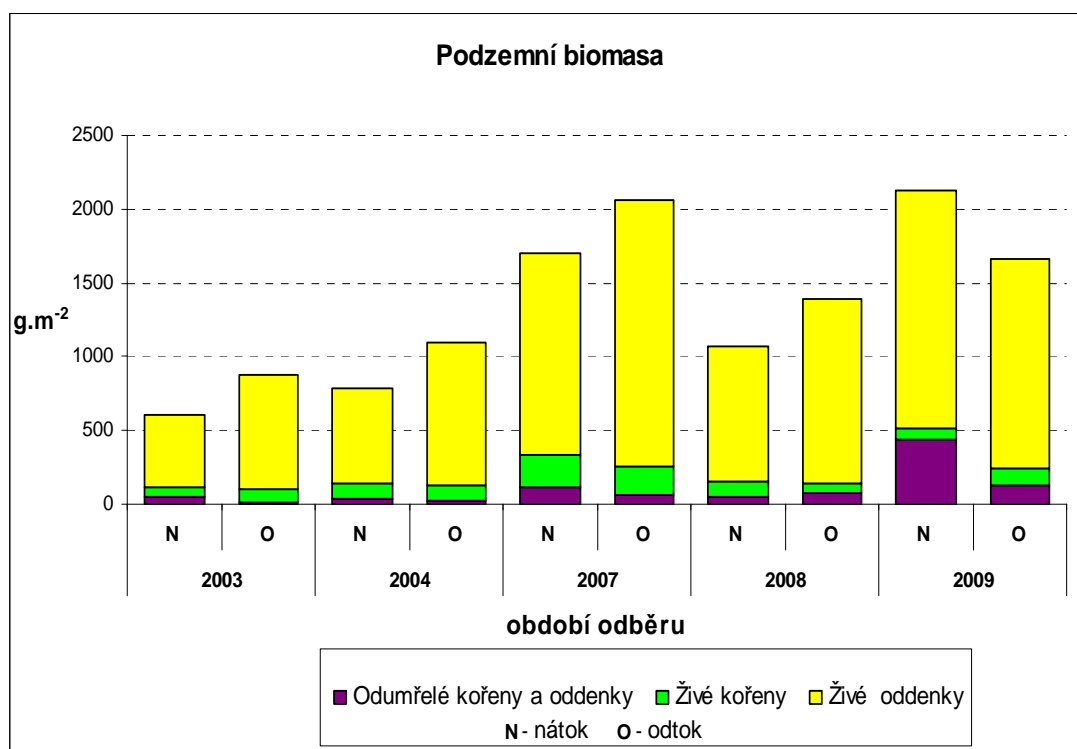
Zjištěné hodnoty nadzemní biomasy odpovídají údajům jiných autorů, podle nichž na většině přirozených a polopřirozených biotopů studovaných v České republice rákos obecný dosahuje maximální sezónní nadzemní biomasy 1 až 1,5 kg (Čížková, 2006). Vymazal a Kröpfelová (2005) zjistili, že na některých vegetačních čistírnách byly mnohem vyšší hodnoty nadzemní biomasy rákosu obecného, až 5 kg.m⁻².

Podzemní biomasa na kořenové čistírně ve Slavošovicích v roce 2009 dosahovala hodnoty na nátok 1517 g.m⁻². Podzemní biomasa na odtoku byla 1762 g.m⁻². Za období pěti let od r. 2003 do r. 2009 se hodnoty podzemní biomasy zvýšily (graf č. 6).

Údajů o podzemní biomase vegetace na vegetačních kořenových čistírnách je málo. V databázi WOS jsem nenašla jediný odkaz, který by se týkal této problematiky. Parr (1990) uvádí výsledek předběžného šetření na nově založených vegetačních čistírnách ve Velké Británii. Nejvyšší hodnoty podzemní biomasy na

britských čistírnách dosáhly 800-1000 g. m⁻². Tyto hodnoty přibližně odpovídají hodnotám zjištěným na slavošovické čistírně v r. 2004. Parr (1990) během svého výzkumu popsal čistírny, které byly staré nejvýše tři roky, což pravděpodobně vysvětluje nízké hodnoty biomasy. Podzemní biomasa z přirozených rákosin z oblasti Jižních Čech, dosahovala na lokalitě Branná 1080 g.m⁻², v litorálu Oborského rybníka 3970 g.m⁻², na lokalitě S v litorálu Opatovického rybníka 5930 g.m⁻² a v litorálu rybníka Rožmberka 3167 g.m⁻² (Čížková, 2006). V přirozených rákosinách tedy byly zjištěny i větší hodnoty podzemní biomasy než na vegetační čistírně ve Slavošovicích. Je tedy možné, že podzemní biomasa na čistírně bude v dalších letech ještě narůstat.

Graf č. 6: Průměrné hodnoty podzemní biomasy rákosu obecného [g.m⁻²] na kořenové čistírně ve Slavošovicích v letech 2003-2009.



2003 a 2004 – Čížková, nepublikovaná data. Hodnota odumřelé biomasy v roce 2007 nezahrnuje kořeny; 2007- Moulisová (2008).

7 ZÁVĚR

Práce přináší informace o podzemní biomase na vegetační kořenové čistírně, které přispívají k porozumění funkci čistírny. Podzemní biomasa rákosu tvoří významný zdroj organické hmoty, jehož velikost ovlivňuje intenzitu rozkladných procesů (Pícek et al. 2007).

Nadzemní biomasa byla stanovena na podkladě destruktivního odběru na konci vegetačního období v roce 2009 na nátoku a odtoku vegetační kořenové čistírny ve Slavošovicích. Průměrná hustota prýtů dosáhla na nátok 27 a na odtoku 26 prýtů na 1m^2 . Průměrná celková nadzemní biomasa dosahovala na nátok 1039 g.m^{-2} a na odtoku 1749 g.m^{-2} .

Podzemní biomasa byla stanovena odběrem monolitů o rozměrech $0,5 \times 0,5 \times 0,4\text{ m}$ na podzim roku 2008 a 2009. Průměrná živá podzemní biomasa v roce 2008 dosáhla na nátok 1061 g.m^{-2} a na odtoku 1348 g.m^{-2} . V roce 2009 byla průměrná živá podzemní biomasa na nátok 1718 g.m^{-2} a na odtoku 1562 g.m^{-2} . Srovnání výsledků s údaji z předchozích let ukázalo, že hmotnost podzemní biomasy se zvětšila.

Průměrná specifická délka všech kořenů byla na nátok $2589,5\text{ cm.g}^{-1}$ a na odtoku $2956,9\text{ cm.g}^{-1}$. Průměrná celková délka kořenů vyrůstající z jedné uzliny dosahovala na nátok $284,7\text{ m.m}^{-2}$ a na odtoku $324,9\text{ m.m}^{-2}$. Z analýzy struktury kořenů je nejzajímavější rozdíl v celkové délce kořenů mezi nátokem a odtokem. Průměrná celková délka na nátok dosahovala $1,7\text{ km.m}^{-2}$ a na odtoku $2,9\text{ km.m}^{-2}$.

8 POUŽITÁ LITERATURA

ARMSTRONG, J., ARMSTRONG, W. (1988): *Phragmites australis* – A preliminary study of soil-oxidizing sites and internal gas transport pathways. *New Phytol.* 108: 373-382.

BRÄNDLE, R. (1990): Flooding resistance of rhizomatous amphibious plants. In: Jackson M. B., Davies D. D. a Lambers H. (Eds.): *Plant life under oxygen deprivation*. SPB Academic Publishing bv., The Hague, pp. 35-46.

BRÄNDLE, R. (1996): Some Aspects of the Extreme Anoxia Tolerance of the Sweet Flag, *Acorus calamus* L. *Folia Geobot. Phytotax.* 31: 37-46.

BRIX, H. (1993): Macrophyte-mediated oxygen transfer in wetlands: transport mechanisms and rates. In: Moshiri, G.A. (Ed.), *Constructed Wetlands for Water Pollution Improvement*. CRC Press, Boca Raton, pp. 391-398.

CHYTIL, J., et al., (1999): Mokřady České republiky - přehled vodních a mokřadních lokalit ČR. Český ramsarský výbor, Mikulov.

ČÍŽKOVÁ, H. et al., (1994): Carbohydrate levels in rhizomes of *Phragmites australis* as related to nutrient availability. In: *Plant survival under wetland conditions: Biochemical and physiological knowledge as confronted with field observations*. List of abstracts. A workshop at the Institute of Botany, Academy of Sciences of the Czech Republic, Třeboň 7-10th September.

ČÍŽKOVÁ, H. (2006): Faktory ovlivňující dynamiku porostů rákosu obecného v kulturní krajině. [Habilitationní práce]. Zemědělská fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

ČÍŽKOVÁ-KONČALOVÁ, H. (1992): Funkce kořenů rostlin v kořenové čistírně. In: Čížková-Končalová, H., Husák, Š. (eds.): *Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin*. Sborník semináře BÚ ČSAV Třeboň, str. 70-74.

ČÍŽKOVÁ, H., LUKAVSKÁ, J. (1999): Rhizome age structure of three populations of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.: Biomass and mineral nutrient concentrations. *Folia Geobotanica* 34: 209-220.

ČÍŽKOVÁ, H., ŠANTRŮČKOVÁ, H. (2006): Procesy spojené s eutrofizací mokřadů. *Živa* 5/2006, str. 201-204.

DOSTÁL, J. (1989) : Nová květena ČSSR. Academia, Praha.

DUŠEK, J., Píček, T., Čížková, H. (2008): Redox potential dynamics in a horizontal subsurface flow constructed wetland used for wastewater treatment: Results of continuous measurements in situ. *Ecological Engineering* 34: 223-232.

ERHART, L. (2000): Růst, struktura a větvení kořenů rostlin rákosu obecného ovlivněného množstvím dusíku v substrátu. [Diplomová práce.] Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze.

GELER, G. (1991): Pflanzenkläranlagen – Kurzinformation. Informace k BMFT – výzkumnému záměru 02 WA 88407 Bewachsene Bodenfilter zur Reinigung von Wassern, TU München.

HUSÁK, Š. (1992): Druhy rostlin vhodné pro vegetační čistírny. In: ČÍŽKOVÁ-KONČALOVÁ, H., HUSÁK, Š. (Ed): Sborník přednášek „Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin“. Botanický ústav ČSAV, Třeboň, str. 75-79.

JAKRLOVÁ, J. (1987): Primární produkce. In: Dykyjová D. (Ed.): *Metody studia ekosystémů*. Academia, Praha, str. 56-60.

KEDDY, P.A. (2000): *Wetland Ecology. Principles and Conservation*. Cambridge Univerzity Press, Cambridge.

KENDER J. (ed.) (2000): *Teoretické a praktické aspekty ekologie krajiny*. MŽP a Enigma s.r.o., Praha.

KINCL, M., KRPEŠ, V., (2006): Základy fyziologie rostlin. Katedra biologie a ekologie, Přírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita.

KOČKOVÁ, E. et al. (1994): Vegetační kořenové čistírny odpadních vod. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.

KUBÁT, K. et al. (1998): Botanika. Scientia spol. s. r. o., pedagogické nakladatelství Praha.

KUBÁT, K. et al. (2002): Klíč ke květeně České republiky. Academia, Praha.

LICHTENBERKOVÁ, L. (2002): Vývoj struktury kořene mokřadních rostlin. [Diplomová práce.] Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze.

LUKAVSKÁ, J. (1988): Vliv seče na produkční charakteristiky mokřadních travinných porostů. [Diplomová práce]. Vysoká škola zemědělská Praha, Fakulta agronomická v Českých Budějovicích.

LUKAVSKÁ, J. (1992): Množení, výsadba a ošetřování porostu na kořenových čistírnách. In: Čížková-Končalová, H., Husák, Š. (eds.) (1992). Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin. Sborník semináře BÚ ČSAV Třeboň, str. 67-70.

LUXOVÁ, M. (1989): The vascular system in the roots of barley and its hydraulic aspects. In: Loughman, B.C. et al. (Eds.): Structural and Functional Aspects of Transport in Roots. Kluwer Academic Publishers, pp. 15-20.

MITSCH, W.J., GOSELINK, J.G. (2000): Wetlands. 3. vydání. Joh Wiley and Sons, New York.

MOULISOVÁ, L. (2008): Růst rákosu obecného (*Phragmites australis*) na vybrané vegetační kořenové čistírně. [Bakalářská diplomová práce.]. Fakulta zemědělská, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

ONDOK, J.P., KVĚT, J. (1978): Selection of sampling areas in assessment of production. In: Dykyjová, D., Květ, J. (Eds.): Pond Littoral Ecosystems. Structure and Functioning. Springer-Verlag, Berlin, pp. 163-174.

PARR, W.T. (1990): Factors Affecting Reed (*Phragmites australis*) Growth in UK Reed Bed Treatment Systems. In: Cooper, P.F., Findlater, B.C. (Eds.): Constructed Wetlands in Water Pollution Control. Pergamon Press, Oxford, pp. 67-76.

RICHARDSON, C.J. (1989): Freshwater wetlands: transformers, filters or sinks? In: Sharitz, R.R. a Gibbons, J.W. (eds.), Freshwater Wetlands and Wildlife. USDOE Office of Scientific and Tech. Inf., Oak Ridge, Tennessee, pp. 25-46.

PENKA, M. (1970): Všeobecná botanika - I., Základy morfologie rostlin. Fakulta lesnická, Vysoká škola zemědělská v Brně.

PICEK, T. et al. (2007): Greenhouse gas emissions from a constructed wetland - Plants as important sources of carbon. Ecological Engineering 31: 98–106.

POKORNÝ, J. et al. (2007): Úloha makrofyt v energetické bilanci mokřadů. Zprávy České botanické společnosti, Praha, 42, Materiály 22 str. 47-60.

PONNAMPERUMA, F.N. (1972): The chemistry of submerged soils. Advan. Agron. 24: 29-96.

SÁGA, P., DOSTÁL, T. (1991) : Evropské směrnice pro navrhování a provoz kořenových čistíren. [Překlad z anglického originálu: Cooper, P.F. (Ed) (1990): European Design and Operation Guidelines for Reed Bed Treatment Systems. Published by WRc as Report UI 17].

SEILER, G. J., (1994): Primary and Lateral Root Elongation of Sunflower Seedlings. Environmental and Experimental Botany 34: 409-418.

SLAVÍKOVÁ, Z. (1984): Morfologie rostlin. SPN, Praha.

SOUKUP, A. (1997): Strukturní adaptace rákosu obecného k podmínkám zaplaveného substrátu a jejich možné změny vyvolané eutrofizací. [Diplomová práce.] Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze.

SOUKUP, A., et al. (2000). Internal segmentation of rhizomes of *Phragmites australis*: protection of the internal aeration system against being flooded. *New Phytol.* 145: 71-75.

ŠANTRŮČKOVÁ, H., et al., (2001): Decomposition processes in soil of a heathy and a declining *Phragmites australis* stand. *Aquatic Botany* 69: 217-234.

ŠÁLEK, J. (1999) : Navrhování a provozování vegetačních kořenových čistíren: Metodiky pro zemědělskou praxi, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.

TLAPÁK, V. et al. (1992): Voda v zemědělské krajině. Zemědělské nakladatelství Brázda, Praha.

VOESENEK, L.A.C.J., BLOM, C.W.P.M. (1989): Ethylene and flooding responses of *Rumex* species. In: Clijsters H. (1989): *Biochemical and Physiological Aspects of Ethylene Production in Lower and Higher Plants*. Kluwer Academic Publishing, The Hague, pp 245-253.

VYMAZAL, J. (1995): Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI s. r. o., Třeboň.

VYMAZAL, J. (2001): Nutrient removal and transformation mechanisms in constructed wetlands. In: Vymazal, J. (ed.), *Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands*. Backhuys Publishers, Leiden, pp. 1-93.

VYMAZAL, J., KRÖPFELOVÁ, L. (2005): Growth of *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* in constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic. *Ecological Engineering* 25: 606-621.

Internetové zdroje:

ANONYMUS (2010): <http://www.ramsar.org/>. Staženo dne 8.1. 2010.

ČÍŽKOVÁ, H. (2010): Adaptabilita rostlin na prostředí mokřadů. <http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kbd/ekm/index2.htm>. Staženo dne 3.2. 2010.

PELIKÁNOVÁ, J. (2010) : Bahenní rostliny. <http://kco.v.wz.cz/Bahennirostliny.php>. Staženo dne 8.1. 2010.

PICEK, T. (2010): Chemické transformace a biogeochemické cykly v mokřadech. http://kbe.prf.jcu.cz/files/prednasky/Ekologie_mokradu/Chemicke_transformace_a_biogeochemicke_cykly_v_mokradech.pdf. Staženo dne 25.4. 2010.

ŘÍHOVÁ- AMBROŽOVÁ, J. (2010): Vegetační „kořenové“ čistírny. http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=V001. Staženo dne 16.3. 2010.

ŠTĚCH, K., PETŘÍČEK, P. (2010): Přírodní kořenové čistírny. <http://chatar-chalupar.newtonit.cz/default.asp?cache=377407>. Staženo dne 15.4. 2010.

VYMAZAL, J. (2010): Chemismus a biogeochemické cykly v mokřadech. http://www.eamos.cz/amos/kek/externi/kek_407/03/03.htm. Staženo dne 25.4. 2010.

9 PŘÍLOHY

Seznam datových příloh

Datová příloha č. 1: Počty prýtů a maximální nadzemní biomasa rákosu obecného

Datová příloha č. 2: Podzemní biomasa rákosu obecného na VKČ v r. 2008

Datová příloha č. 3a: Podzemní biomasa rákosu obecného na VKČ v r.2009 – nátok

Datová příloha č. 3b: Podzemní biomasa rákosu obecného na VKČ v r.2009 – odtok

Datová příloha č. 4: Počet kořenů vyrůstajících z jedné uzliny oddenku na VKČ

Datová příloha č. 5: Délka kořenů vyrůstajících z jedné uzliny oddenku na VKČ

Datová příloha č. 6: Sušina kořenů vyrůstajících z jedné uzliny rákosu obecného

Datová příloha č. 7: Specifické délky kořenů na VKČ

Seznam fotografických příloh

Foto č. 1: Pomůcky na odběr

Foto č. 2: Připravená plocha k odběru

Foto č. 3: Odebraná podzemní biomasa

Foto č. 4: Roztřízená podzemní biomasa

Foto č. 5: Skener na analyzované vzorky

Foto č. 6: Analyzovaný vzorek na skenování

Foto č. 7: Sken analyzovaných kořenů z jedné uzliny - Nátok P2-3

Foto č. 8: Sken analyzovaných kořenů z jedné uzliny - Odtok P2-1

Datová příloha č. 1: Počty prýtů a maximální nadzemní biomasa rákosu obecného na vegetační kořenové čistírně ve Slavošovicích v roce 2009.

L- levá strana pole, S- střed, P- pravá strana pole. S.D.- směrodatná odchylka.

Část pole	Vzorek	Hustota prýtů (m ⁻²)		Sušina nadzemní biomasy (g.m ⁻²)	
		Živé prýty	Odumřelé letošní prýty	Živé prýty	Odumřelé letošní prýty
Nátok	L1	12	56	202,7	231,5
Nátok	L2	16	24	137,3	197,5
Nátok	L3	60	32	1717,8	464,8
Nátok	S1	16	12	412,1	145,8
Nátok	S2	24	56	1612,2	191,0
Nátok	P1	32	20	753,8	167,0
	Průměr	26,67	33,33	805,98	232,93
	S.D.	16,28	17,07	639,07	107,04
Odtok	L1	60	144	1641,6	926,6
Odtok	L2	40	112	1171,0	1421,8
Odtok	S1	16	84	455,2	981,1
Odtok	S2	8	60	136,4	670,6
Odtok	P1	12	56	398,4	886,4
Odtok	P2	20	136	566,5	1238,5
	Průměr	26,00	98,67	728,20	1020,83
	S.D.	18,29	34,54	514,78	244,74

Datová příloha č. 2: Podzemní biomasa rákosu obecného ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) na kořenové čistírně ve Slavošovicích 31.10.2008.

L- levá strana pole, P- pravá strana pole.

Část pole	Vzorek	Živé kořeny	Živé oddenky	Živé báze	Odumřelé kořeny	Odumřelé oddenky	Odumřelé báze	Živé části celkem	Odumřelé části celkem
Nátok	L	112,4	1043,2	36,7	12,9	28,6	62,2	1192,4	103,6
Nátok	P	95	802,7	32	18,9	136,7	108,7	929,7	264,3
	Průměr	103,7	922,95	34,35	15,9	82,65	85,45	1061,05	183,95
Odtok	L	76,6	1454,9	32,1	30,2	216	124,1	1563,5	370,3
Odtok	P	64,3	1043,1	25,8	8,5	49,4	67,2	1133,2	125,2
	Průměr	70,45	1249	28,95	19,35	132,7	95,65	1348,35	247,75

Datová příloha č. 3a: Podzemní biomasa rákosu obecného (g.m^{-2}) na nátokové části pole vegetační kořenové čistírny ve Slavošovicích 8.9.2009.

L- levá strana pole, S- střed, P- pravá strana pole. S.D.- směrodatná odchylka.

Část pole	Vzorek	Živé kořeny	Živé oddenky staré+ mladé	Živé oddenky staré	Živé oddenky mladé	Živé báze	Odumřelé kořeny	Odumřelé oddenky	Odumřelé báze	Živé kořeny a oddenky	Živé části celkem	Odumřelé kořeny a oddenky	Odumřelé části celkem
Nátok	L1	113,8	2382,1	n	n	43,3	44,9	814,9	281,1	2495,9	2539,2	859,8	1140,9
Nátok	L2	30,8	547,9	n	n	4,3	49,7	453,9	86,7	578,7	583,0	503,6	590,3
Nátok	L3	113,5	1214,8	1072,7	142,1	57,6	39,0	360,5	188,4	1328,3	1385,9	399,5	587,9
Nátok	S1	71,6	1899,5	1724,8	174,7	26,2	47,6	263,6	297,2	1971,1	1997,3	311,2	608,4
Nátok	S2	58,8	1560,6	n	n	33,4	29,0	308,3	106,9	1619,4	1652,8	337,3	444,2
Nátok	P	84,2	2038,8	1465,8	573,1	28,0	32,8	336,0	213,2	2123,0	2151,0	368,8	582,0
	Průměr	78,78	1607,28	1421,10	296,63	32,13	40,50	422,87	195,58	1686,07	1718,20	463,37	658,95
	S.D.	29,48	598,67	268,09	195,94	16,34	7,62	184,65	79,29	617,34	624,85	187,46	222,35

n - nerozdělováno

Datová příloha č. 3b: Podzemní biomasa rákosu obecného ($g \cdot m^{-2}$) na odtokové části pole vegetační kořenové čistírny ve Slavošovicích 22.9.2009.

L- levá strana pole, S- střed, P- pravá strana pole. S.D.- směrodatná odchylka.

Část pole	Vzorek	Živé kořeny (g)	Živé oddenky staré+ mladé (g)	Živé oddenky staré (g)	Živé oddenky mladé (g)	Živé báze (g)	Odumřelé kořeny (g)	Odumřelé oddenky (g)	Odumřelé báze (g)	Živé kořeny a oddenky	Živé části celkem (g)	Odumřelé kořeny a oddenky	Odumřelé části celkem (g)
Odtok	L1	113,6	1717,5	1550,9	166,6	29,9	29,6	145,5	112,3	1831,1	1861,0	175,1	287,4
Odtok	L2	84,2	965,1	819,7	145,4	19,0	16,3	37,8	57,2	1049,3	1068,3	54,1	111,3
Odtok	S1	96,0	1494,3	1430,4	63,9	12,7	9,8	87,6	76,3	1590,3	1603,0	97,4	173,7
Odtok	S2	129,5	1431,1	1280,0	151,1	16,4	31,5	50,7	116,9	1560,6	1577,0	82,2	199,1
Odtok	P1	103,8	1268,5	1142,8	125,7	11,8	26,2	140,6	95,9	1372,3	1384,1	166,8	262,7
Odtok	P2	142,6	1685,2	1509,4	175,8	49,5	34,9	167,7	126,0	1827,8	1877,3	202,6	328,6
	průměr	111,62	1426,95	1288,87	138,08	23,22	24,72	104,98	97,43	1538,57	1561,78	129,70	227,13
	S.D.	19,75	256,28	251,28	36,78	13,17	8,84	49,34	24,10	270,62	278,72	54,42	73,32

Datová příloha č. 4: Počet kořenů vyrůstajících z jedné uzliny oddenku rákosu obecného na vegetační kořenové čistírně ve Slavošovicích v roce 2009.

L- levá strana pole, S- střed, P- pravá strana pole. S.D.- směrodatná odchylka.

Část pole	Vzorek	Uzlina 1	Uzlina 2	Uzlina 3	Průměr
Nátok	L1	9	2	3	4,67
Nátok	L2	5	6	4	5,00
Nátok	L3	4	3	1	2,67
Nátok	L4	2	5	4	3,67
Nátok	S1	5	5	4	4,67
Nátok	S2	5	5	2	4,00
Nátok	S3	3	7	3	4,33
Nátok	S4	2	4	6	4,00
Nátok	P1	5	4	3	4,00
Nátok	P2	2	6	5	4,33
Nátok	P3	4	4	4	4,00
Nátok	P4	2	4	4	3,33
	Průměr	4,00	4,58	3,58	4,06
	S.D.	1,96	1,32	1,26	0,61
Odtok	L1	2	5	7	4,67
Odtok	L2	n	n	n	
Odtok	L3	5	3	2	3,33
Odtok	L4	3	4	3	3,33
Odtok	S1	3	3	2	2,67
Odtok	S2	4	5	6	5,00
Odtok	S3	6	3	3	4,00
Odtok	S4	2	4	2	2,67
Odtok	P1	2	4	5	3,67
Odtok	P2	4	7	5	5,33
Odtok	P3	7	5	6	6,00
Odtok	P4	5	4	4	4,33
	Průměr	3,91	4,27	4,09	4,09
	S.D.	1,62	1,14	1,73	1,04

n- neměřeno

Datová příloha č. 5: Délka kořenů vyrůstajících z jedné uzliny oddenku rákosu obecného na vegetační kořenové čistírně ve Slavošovicích v roce 2009.

L- levá strana pole, S- střed, P- pravá strana pole. S.D.- směrodatná odchylka.

Část pole	Vzorek	Délka adventivních kořenů	Délka postranních kořenů	Délka všech kořenů
Nátok	L1	29,1	1259,2	1288,3
Nátok	L2	30,4	492,4	522,8
Nátok	L3	8,0	411,5	419,5
Nátok	L4	17,8	642,8	660,5
Nátok	S1	19,5	762,1	781,6
Nátok	S2	35,9	701,7	737,5
Nátok	S3	22,3	503,0	525,3
Nátok	S4	22,3	747,3	769,6
Nátok	P1	29,0	1983,6	2012,6
Nátok	P2	22,7	1187,0	1209,7
Nátok	P3	20,4	397,2	417,6
Nátok	P4	8,8	328,7	337,5
	Průměr	7,39	784,72	806,88
	S.D.	2,65	457,84	461,68
Odtok	L1	14,3	410,5	424,8
Odtok	L3	17,8	1238,5	1256,3
Odtok	L4	18,8	466,5	485,3
Odtok	S1	12,8	640,0	652,8
Odtok	S2	20,2	346,6	366,8
Odtok	S3	15,7	581,3	596,9
Odtok	S4	16,8	306,8	323,6
Odtok	P1	25,0	1533,8	1558,8
Odtok	P2	26,8	1598,7	1625,5
Odtok	P3	28,9	1710,0	1738,9
Odtok	P4	24,0	1227,1	1251,1
	Průměr	6,70	914,52	934,62
	S.D.	1,70	523,98	528,16

Datová příloha č. 6: Sušina kořenů vyrůstajících z jedné uzliny rákosu obecného na vegetační kořenové čistírně ve Slavošovicích v roce 2009.

L- levá strana pole, S- střed, P- pravá strana pole. S.D.- směrodatná odchylka.

Část pole	Vzorek	Adventivní kořeny celkem (mg)	Postranní kořeny celkem (mg)	Suma adventivních a postranních kořenů (mg)
Nátok	L1	55,7	38,1	93,8
Nátok	L2	83,6	37,4	120,9
Nátok	L3	128,0	15,1	143,1
Nátok	L4	74,8	32,1	106,9
Nátok	S1	59,6	61,6	121,2
Nátok	S2	130,4	52,1	182,5
Nátok	S3	117,1	13,2	130,3
Nátok	S4	68,2	54,4	122,6
Nátok	P1	67,8	66,5	134,3
Nátok	P2	73,5	32,9	106,4
Nátok	P3	54,1	46,0	100,1
Nátok	P4	41,5	52,4	93,9
	Průměr	79,53	41,82	121,35
	S.D.	28,51	16,17	23,91
Odtok	L1	88,4	8,2	96,6
Odtok	L3	72,9	60,1	133,0
Odtok	L4	64,5	39,0	103,4
Odtok	S1	30,9	15,8	46,7
Odtok	S2	76,6	20,7	97,3
Odtok	S3	51,2	12,5	63,7
Odtok	S4	50,7	33,5	84,2
Odtok	P1	97,1	53,9	151,0
Odtok	P2	75,8	38,8	114,6
Odtok	P3	194,7	87,2	281,9
Odtok	P4	60,3	85,5	145,8
	Průměr	74,70	39,47	119,83
	S.D.	40,79	26,36	59,69

Datová příloha č. 7: Specifické délky kořenů (cm.g^{-1}) na vegetační kořenové čistírně ve Slavošovicích v roce 2009.

L- levá strana pole, S- střed, P- pravá strana pole. S.D.- směrodatná odchylka.

Část pole	Vzorek	Délka adv. kořenů	Délka postranních kořenů	Délka všech kořenů
Nátok	L1	29,1	1259,2	1288,3
Nátok	L2	30,4	492,4	522,8
Nátok	L3	8,0	411,5	419,5
Nátok	L4	17,8	642,8	660,5
Nátok	S1	19,5	762,1	781,6
Nátok	S2	35,9	701,7	737,5
Nátok	S3	22,3	503,0	525,3
Nátok	S4	22,3	747,3	769,6
Nátok	P1	29,0	1983,6	2012,6
Nátok	P2	22,7	1187,0	1209,7
Nátok	P3	20,4	397,2	417,6
Nátok	P4	8,8	328,7	337,5
	Průměr	7,39	784,72	806,88
	S.D.	2,65	457,84	461,68
Odtok	L1	14,3	410,5	424,8
Odtok	L3	17,8	1238,5	1256,3
Odtok	L4	18,8	466,5	485,3
Odtok	S1	12,8	640,0	652,8
Odtok	S2	20,2	346,6	366,8
Odtok	S3	15,7	581,3	596,9
Odtok	S4	16,8	306,8	323,6
Odtok	P1	25,0	1533,8	1558,8
Odtok	P2	26,8	1598,7	1625,5
Odtok	P3	28,9	1710,0	1738,9
Odtok	P4	24,0	1227,1	1251,1
	Průměr	6,70	914,52	934,62
	S.D.	1,70	523,98	528,16

Foto č. 1: Pomůcky na odběr

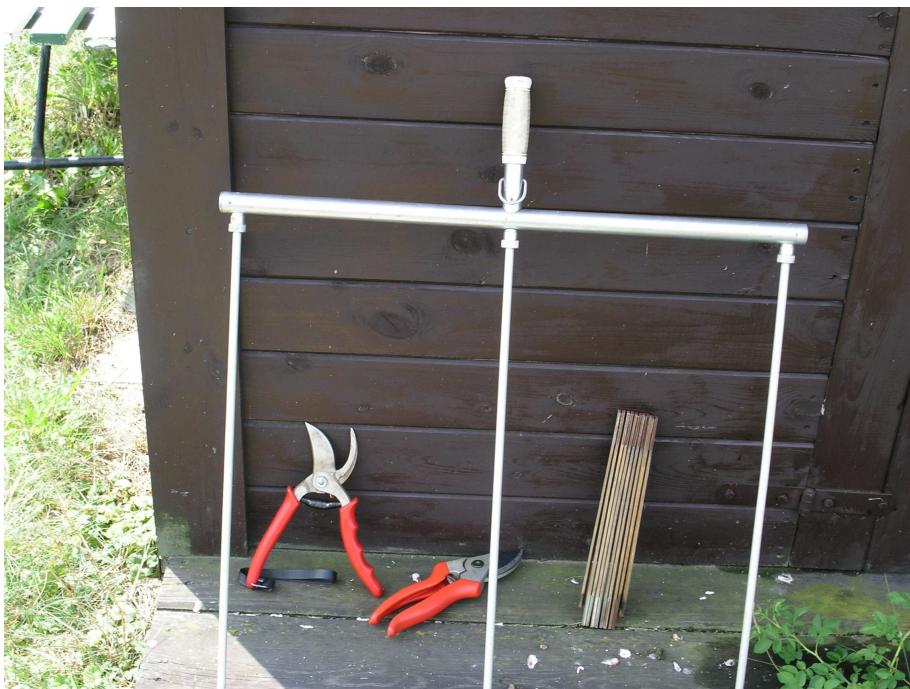


Foto č. 2: Připravená plocha k odběru



Foto č. 3: Odebraná podzemní biomasa



Foto č.4: Roztříděná podzemní biomasa

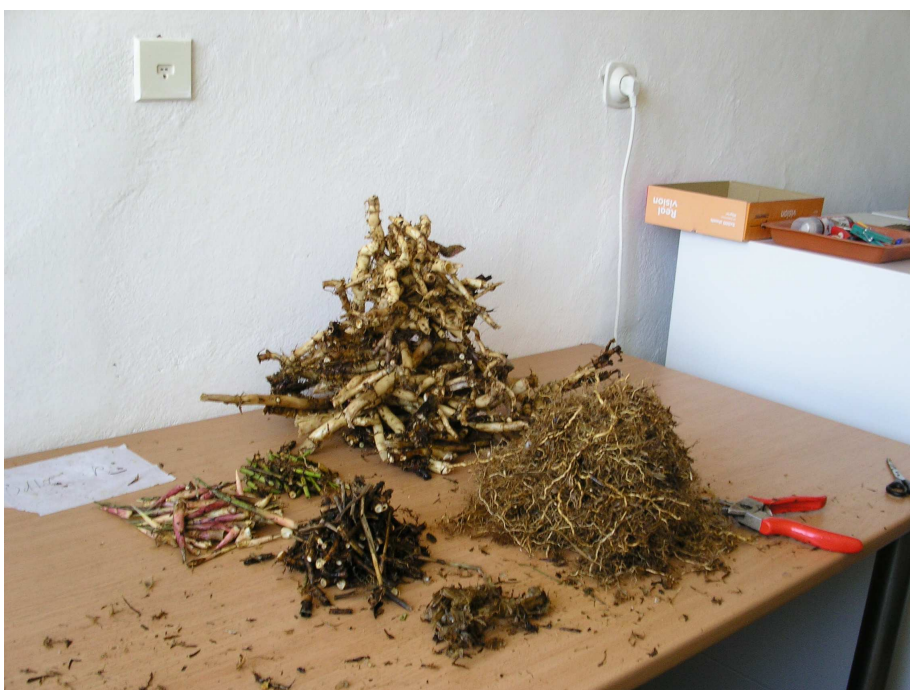


Foto č. 5: Skener na analyzované vzorky



Foto č.6: Analyzovaný vzorek na skenování

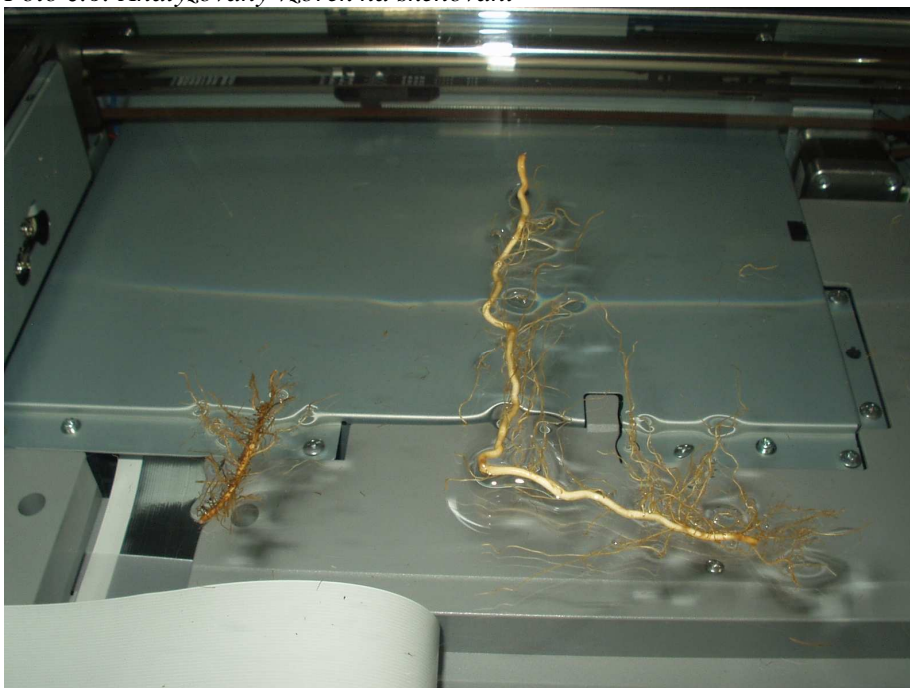
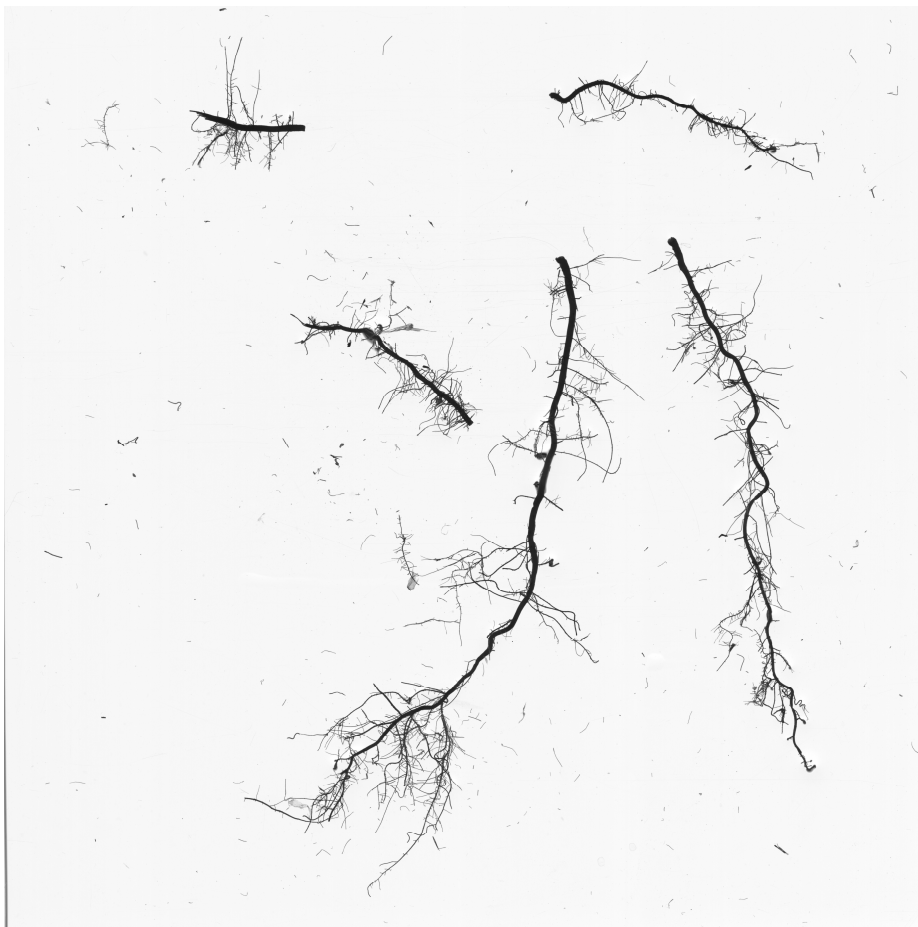


Foto č. 7: Sken analyzovaných kořenů z jedné uzliny – Nátok P2-3.



P- pravá strana pole, 2- vzorek, 3- podvzorek

Foto č. 8: Sken analyzovaných kořenů z jedné uzliny – Odtok P2-1.



P- pravá strana pole, 2- vzorek, 1- podvzorek