
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802R022 – Informatika a logistika

Hodnocení ekonomické efektivity fytořemediace při aplikaci huminových látek

The evaluation of economic effectiveness of phytoremediation with humic substances application

Bakalářská práce

Autor: **Radek Vinkler**
Vedoucí práce: Ing. Hana Čermáková, CSc.
Konzultant: Ing. Šárka Nováková

V Liberci 20. 4. 2009

Abstrakt

Tato práce se soustřeďuje na zpracování informací o dispozicích jednotlivých druhů biomasy vhodných k fytoremediaci. K analýze byly vybrány čtyři druhy biomasy.

Účelem práce je vytvoření detailního nákladového modelu pěstování těchto rostlin a dále výpočet ukazatelů ekonomické efektivity využití biomasy k odstranění kontaminace z půdy při aplikaci vybraných druhů huminových látek.

Výsledkem je zhodnocení efektu fytoremediace z ekonomického hlediska a zhodnocení z hlediska ekologického. Ekologické hledisko je vyjádřeno jako úbytek škodlivých látek z kontaminované půdy.

Klíčová slova: fytoremediace, biomasa, huminové látky, kontaminant, nákladový model

Abstract

This work focuses on processing information about dispositions of individual biomass kinds which are suitable for phytoremediation. Four kinds of biomass were chosen for an analysis.

The purpose of this work is to create an detailed cost model of growing these plants and to calculate an economic effectiveness of indicators of biomass usage in order to decontaminate specific humic substances in soil by using the application.

The result is the assessment of an phytoremediational effect from an economical and ecological point of view. The ecological aspect is formulated as a decrease of toxical substances from contaminated soil.

Key words: phytoremediation, biomass, humic substances, contaminant, cost model

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Haně Čermákové, CSc. za cenné rady, připomínky, čas i za ochotu při konzultacích. Dále děkuji Ing. Ladislavu Junkovi za technické podklady.

Obsah

A	Seznam tabulek.....	7
B	Seznam obrázků.....	7
1.	Úvod – celkový.....	9
2.	Fytoremediace.....	11
2.1	Úvod.....	11
2.2	Rozdělení fytořediačních technik.....	12
2.2.1	Fytoakumulace (někdy též nazývána jako fytoextrakce).....	12
2.2.2	Fytostabilizace.....	13
2.2.3	Fytodegradace (někdy také fytořransformace).....	14
2.2.4	Fytovolatilizace.....	15
2.2.5	Rhizodegradace (někdy nazývána jako fytořtimulace).....	15
2.2.6	Rhizofiltrace.....	15
2.3	Výhody a nevýhody fytořmediace.....	16
2.3.1	Výhody:.....	16
2.3.2	Nevýhody:.....	17
3.	Huminové látky.....	19
4.	Obecný ekonomický model.....	20
4.1	Nákladový model.....	20
4.1.1	Náklady.....	20
4.1.2	Kalkulace nákladů.....	22
4.2	Ekonomická efektivnost.....	23
4.2.1	Výsledek hospodaření.....	23
4.2.2	Křtéria efektivnosti a rentability.....	24
5.	Ekonomická analýza realizace procesu.....	25

5.1	Teorie modelů	25
5.1.1	Popis modelů	25
5.1.2	Struktura modelů	26
5.2	Výsledky modelů	28
5.2.1	Celkové náklady na realizaci procesu	28
5.2.2	Technologický efekt fytořemediace	31
5.2.3	Ekonomický efekt fytořemediace	33
6.	Závěr	37
	Literatura	38

A Seznam tabulek

Tab.1:	Hyperakumulátory těžkých kovů [13]	13
Tab.2:	Aplikace fytořemediace [13]	16
Tab.3:	Náklady řemediačních postupů [13]	17
Tab.4:	Všeobecný kalkulační vzorec [8]	22
Tab.5:	Náklady na huminové látky	29

B Seznam obrázků

Obr.1:	Schéma principu fytořtabilizace [12]	14
Obr.2:	Pěstební náklady procesu fytořremediace v i-tém období	29
Obr.3:	Celkové náklady fytořremediace za první období	30
Obr.4:	Celkové náklady fytořremediace za druhé období	31
Obr.5:	Množství odstraněného kadmia (Cd)	31
Obr.6:	Množství odstraněného olova (Pb)	32
Obr.7:	Množství odstraněného zinku (Zn)	32

Obr.8: Nejlepší akumulátory kovů.....	33
Obr.9: Jednotkové náklady na odbourání 1g kadmia (Cd).....	34
Obr.10: Jednotkové náklady na odbourání 1g olova (Pb).....	34
Obr.11: Jednotkové náklady na odbourání 1g zinku (Zn).....	35
Obr.12: Jednotkové náklady nejefektivnějších variant fytořediace	36

1. Úvod – celkový

V minulosti se na ochranu a obnovu životního prostředí příliš nedbalo. Škodlivé plyny z továren se koloběhem dostávaly zpět do půdy a do vod. Až přibližně v 70. letech minulého století se začal náhled na ochranu přírody celosvětově měnit. Z lokálního problému se stal problém globální, jak některé živočišné i rostlinné organismy začaly rychle mizet. Ochrana životního prostředí se začala měnit z ochrany konzervační (zákazy vstupů) v ochranu aktivní (řízené hospodaření apod.).

Přibližně v této době vzniká myšlenka o obnově míst zničených člověkem pomocí samotné přírody. Důvodem bylo i to, že dosud běžně užívané metody obnovy byly velmi nákladné. Začalo se experimentovat s rostlinami schopnými vyčistit znečištěnou půdu a navrátit zeleň (tzv. fytoremediace).

V praxi se však fytoremediace začíná používat až v 90. letech minulého století. Výzkum v tomto směru probíhá všude ve světě včetně České republiky. V ČR vznikla za tímto účelem speciální Laboratoř rostlinných biotechnologií, která je společným pracovištěm Výzkumného ústavu rostlinné výroby v Praze a Ústavu experimentální botaniky Akademie věd České republiky. Tento institut se v posledních pěti letech zabývá především fytoextrakcí pomocí technických plodin.[1]

Cílem této práce je posoudit efektivnost využití fytoremediace k likvidaci kontaminace. Práce je zaměřena na odbourávání těžkých kovů. Vzorek zde zastupují tři kovy: olovo, zinek a kadmium. Za tímto účelem byly vytvořeny čtyři modely, každý s jinou rostlinou vhodnou k remediaci. Jmenovitě jsou to Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea L.*), Mužák prorostlý (*Silphium perfoliatum L.*), Čičorka pestrá (*Coronilla varia*) a Vrba (*Salix sp.*). Zvolené rostliny nejsou nejlepšími akumulátory kontaminantu, ale na rozdíl od hyperakumulátorů mohou být pěstovány v podmínkách zdejšího klimatu. Pěstební modely byly vypracovány pro modelovou plochu o rozloze 1 ha. Jako hnojivo se použily vybrané huminové látky. Průmyslový kompost byl základní hnojící prostředek, lignocelulózový substrát další a jako poslední byly použity speciální hnojící směsi SD07/Ca a SD07/O4Ca. Pro dosažení ještě lepších pěstebních výsledků se tyto směsi kombinovaly s předchozím průmyslovým kompostem a lignocelulózovým substrátem. V analýze bylo tedy celkem použito 8 různých druhů huminových substrátů.

Výsledkem práce je vyčíslení ekonomického efektu fytoremediace, což je v tomto případě peněžní vyjádření nákladů fytoremediace v Kč na gram sanovaného materiálu. Další neméně důležitou věcí je technologický efekt fytoremediace, který je dán úbytkem kontaminantu v gramech na jednotku plochy. Závěr práce obsahuje posouzení úspěšnosti jednotlivých druhů biomasy k likvidaci kontaminace při použití různých typů huminových látek.

Celá práce je rozdělena do šesti kapitol včetně úvodu (první kapitola). Druhá kapitola se zabývá teorií fytoremediace. Je zde popsáno rozdělení bioremediace, základní rozdělení fytoremediačních technik a příklady použití. Závěr kapitoly se věnuje výhodám i nevýhodám této remediační techniky. Třetí kapitola stručně popisuje význam a schopnosti huminových látek. Čtvrtá kapitola obsahuje teoretický podklad k ekonomickému hodnocení. Část je věnována problematice nákladů a jejich kalkulace, část vyjádření ekonomické efektivity. Předposlední pátá kapitola je rozdělena na dvě hlavní části. První teoretická seznamuje s vypracovanými modely a jejich strukturou. Druhá část pak popisuje, zobrazuje a hodnotí dosažené výsledky všech modelů. Poslední šestou kapitolou je závěr.

2. Fytoremediace

2.1 Úvod

Anglické Phytoremediation pochází ze spojení řeckého slova φυτο (phyto) = rostlina a latinského slova remedium, což by se dalo přeložit jako navrácení rovnováhy. Fytoremediace tedy přesně znamená snižování nebo odstraňování kontaminace z životního prostředí za pomoci zelených rostlin a s nimi spojených mikroorganismů, půdních doplňků a agronomických technik. Nelze ale vždy mluvit jen o odstraňování, někdy se rostliny používají i k tzv. stabilizaci kontaminantů v životním prostředí, aby se například dále nešířily.

Fytoremediace ale není jediným řešením degradace organických polutantů. Je to pouze jedna z mnoha technologií bioremediace, jak je vidět na následujícím seznamu.

Rozdělení bioremediace: [2]

- Fytoremediace
- In situ bioremediace
 - Přirozené mikroorganismy
 - Uměle přiváděné mikroorganismy
- Ex situ bioremediace
 - Kompostování
 - Řízené biologické ošetření
 - Zemědělské zpracování
 - Řízené biologické ošetření suspenze
- Biologické čištění vody

Nás bude ale hlavně zajímat fytoremediace. Proto se zaměříme dále jen na ni. Při fytoremediaci se uplatňují čtyři různé procesy: extrakce kontaminantů z půdy (hlavně těžkých kovů a radionuklidů), degradace organických sloučenin, volatilizace organických sloučenin (ale i některých anorganických např. Rtuť(Hg), Selen(Se), Arzen(As)) a stimulace mikrobiálního metabolismu v rhizosféře. Fytoremediační techniky se dělí podle typu kontaminantu a jeho zpracování rostlinami.

2.2 Rozdělení fytořediačních technik

Seznam technik:

- Fytoakumulace
- Fytostabilizace
- Fytodegradace
- Fytovolatilizace
- Rhizodegradace
- Rhizofiltrace

2.2.1 Fytoakumulace (někdy též nazývána jako fytoextrakce)

Je to metoda, která využívá rostliny k odstranění kontaminantů z půdy, sedimentů nebo vody, a to transportem těchto látek z půdy do kořenů, stonků a listů. Rostliny se následně sklídí a plocha se znovu osází rostlinami. To se opakuje, dokud není koncentrace kontaminantů v půdě na přijatelné úrovni.

Rostliny používané v této metodě musejí vykazovat hyperakumulační vlastnosti vůči sanovanému kontaminantu. To znamená i stonásobky akumulacních vlastností oproti ostatním rostlinným druhům. Metoda se s úspěchem používá při sanaci těžkých kovů, polokovů, radionuklidů a nekovů, avšak není příliš vhodná pro organické látky. Ty totiž mohou být rostlinou přeměněny na mnohem toxičtější látku, případně hrozí tzv. vydýchání látky do ovzduší.

Velice zajímavým příkladem využití fytoakumulace jsou slunečnicové lány kolem bývalé elektrárny Černobyl, které slouží ke snižování obsahu izotopů Cs a Sr z povrchových vod.

Je dobré zmínit, že další možností využití fytoakumulace je fytomining. Ten využívá rostliny k těžení neekonomické rudy. Vypěstovaná a následně sklizená biomasa se spálí a výsledkem je „bio-ruda“. Ta je téměř bez obsahu síry (na její tavení je třeba méně energie než na sulfidické rudy) a obsah kovu je v ní také obvykle mnohem vyšší než v běžné rudě (není potřeba tolik skladovacího místa). [2][3]

Aby fytoextrakce mohla být považována za účinný způsob dekontaminace, je nutné, aby rostlina poskytovala výnos nejméně 3 tuny sušiny z hektaru ročně a ve sklíditelné části

akumulovala přes 1000 mg kovu na 1 kg sušiny. Obecně platí, že biodostupnými kovy pro příjem v rostlinách je Ni, Cd, Zn, As, Se a Cu. Méně dostupnými jsou Co, Mn, Fe. [5]

V následující tabulce je prezentován příklad nejlepších rostlinných hyperakumulátorů těžkých kovů:

Těžký kov	Rostlinný druh	Koncentrace kovu po sklizni (mg/kg sušiny)
kadmium	<i>Thlaspi caerulescens</i> (Penízek modravý)	1 800 ve výhoncích
meď	<i>Ipomoea alpina</i> (Povijnice alpská)	12 300 ve výhoncích
kobalt	<i>Haumaniastrum robertii</i> (Rákosník robertův)	10 200 ve výhoncích
olovo	<i>Thlaspi rotundifolium</i> (Penízek okrouhlolistý)	8 200 ve výhoncích
mangan	<i>Macadamia neurophylla</i> (Makadámie)	51 800 ve výhoncích
nikl	<i>Psychotria douarrei</i> (*) <i>Sebertia acuminata</i> (*)	47 500 ve výhoncích 25% hm. sušiny dřeva
zinek	<i>Thlaspi caerulescens</i> (Penízek modravý)	51 600 ve výhoncích

* - k těmto rostlinným druhům nebyl nalezen ekvivalentní český název

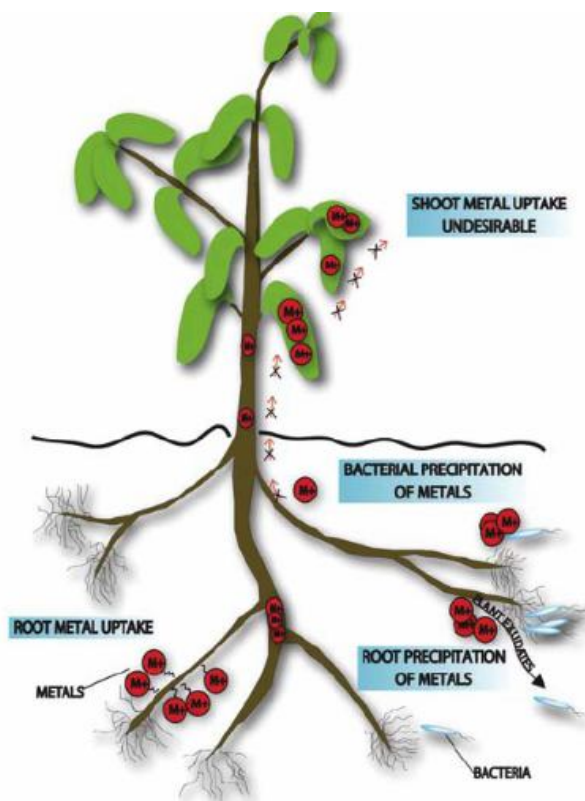
Tab.1: Hyperakumulátory těžkých kovů [13]

2.2.2 Fytostabilizace

Fytostabilizace, jak již z názvu plyne, se zaměřuje na dlouhodobou stabilizaci kontaminantů v půdě. Nejedná se tedy přímo o odstranění, jako spíše o zadržení látek a zabezpečení jejich dalšího šíření. Rostlinné druhy, které se dají dobře využít pro fytostabilizaci, jsou schopné snášet vysoké koncentrace těžkých kovů. Kořenový systém pomocí absorpcí a jiných systémů snižuje možnost vymývání kontaminantů z půdy, sedimentů a kalů. Rostliny také svým vzrůstem zabraňují vodní a větrné erozi, čímž snižují možnost rozptýlu kontaminace na

povrchu. Fytostabilizaci lze dále využít tam, kde je třeba obnovit vegetační pokrývku, ale kvůli vysoké kontaminaci nelze použít běžné rostlinstvo, anebo pro finální úpravu ploch zasažených kontaminací, kde se provedla sanace jinými technologiemi.[2][3]

Na obrázku 1 je vidět princip přesunu kovů z půdy přes kořeny do stonků a listů rostliny při fytostabilizaci.



Obr.1: Schéma principu fytostabilizace [12]

2.2.3 Fytodegradace (někdy také fytotransformace)

Při fytodegradaci dochází k absorpci a přeměně kontaminantu uvnitř rostliny. Tato metoda se používá především pro odstraňování organických polutantů (jako jsou např. pesticidy, výbušniny, rozpouštědla a další xenobiotické substance). Fytodegradace je proces, kdy rostliny uvolňují enzymatické metabolity a reagují s polutanty, čímž přeměňují toxické látky na méně toxické. Tento proces metabolizace je podobný procesu v lidských játrech. U metody se však musí zajistit, aby nedocházelo k přeměnám látek, které jsou toxičtější, než původní polutant. [2][3]

2.2.4 Fytovolatilizace

U této metody dochází k nasávání kontaminantů do rostliny přes kořenový systém a následnému transportu do nadzemní části. Přitom rostlina metabolizuje kontaminant a pomocí enzymů ho přemění na látky, které se díky svým fyzikálním vlastnostem rozptýlí do okolí ve formě par. Nejčastěji používanou rostlinou této metody je zřejmě topol. Ten může díky svým bakteriím obsahujícím rtuť-reduktázu redukovat HgII na kovovou rtuť a tu následně vydýchat do ovzduší. Nicméně použití fytovolatilizace je značně kontroverzní. Nedochozí totiž k odstranění kontaminace, ale pouze přesunu z půdy do ovzduší. [2][3]

2.2.5 Rhizodegradace (někdy nazývána jako fytostimulace)

Kořeny rostlin vytvářejí vhodné prostředí pro růst hub a různých mikroorganismů, které se živí organickými polutanty. Rostliny vylučují např. cukry a alkoholy, které se stávají potravou bakterií. Ty se díky tomu neustále množí, což je velmi důležité pro odbourávání okolních polutantů. [3]

2.2.6 Rhizofiltrace

Princip rhizofiltrace je podobný jako u fytoakumulace. Kořeny absorbují kontaminant z povrchových, splaškových nebo vyčerpaných podzemních vod, ale zůstávají v kořenech a nepokračují v rostlině dále. [3]

Přehled metod uvádí tabulka 2:

Metoda	popis	kontaminant	rostlina
Půda			
Fytotransformace	Sorpce, příjem, přeměna	organické látky, nitroaromáty, chlorované alif. a aromat. látky	stromy a trávy
rhizosferní biodegradce	mikrobiální biodegradce v rhizosféře	PAH, ropné uhlovodíky, TNT, pesticidy	trávy, vojtěška, stromy
Fytostabilizace	stabilizace na složky půdy, zabránění prosakování	kovy, organické látky	různé druhy s hlubokými kořeny
Fytoextrakce	Příjem kontaminantů z půdy do sklíditelných částí	kovy, radionuklidy	Hyperakumulátory (<i>Thalaspia</i> , <i>Alysum</i> , <i>Brassica</i>)
Voda, spodní voda			
Rhizofiltrace	Sorpce do nebo na kořenech	kovy, radionuklidy, hydrofobní látky	vodní rostliny, <i>Brassica</i> , slunečnice
Hydraulická regulace	Odstranění velkých objemů pomocí stromů	anorg. látky, chlorovaná rozpouštědla	topol, vrba
Fytovolatilizace	Příjem a volatilizace, konverze Se a Hg na těkavou formu	Těkavé organické látky, Se, Hg	stromy, trávy, <i>Brassica</i>
Pokrývka porostem	Zabránění prosakování	organické, anorganické látky	stromy, topol, trávy

Tab.2: Aplikace fytořemediace [13]

2.3 Výhody a nevýhody fytořemediace

Jako každá metoda i fytořemediace má své výhody a nevýhody. Na následujícím seznamu jsou uvedeny nejdůležitější z nich. [3][4][6]

2.3.1 Výhody:

- Pokud mluvíme o fytořemediaci, mluvíme o metodě In-situ. To znamená, že není třeba přesouvat půdu z místa kontaminace. Může to přinést nemalou úsporu financí.
- Kromě setí a jiných agronomických technik není třeba lidského personálu.
- Metoda je slučitelná s jinými technologiemi dekontaminace. Jako hlavní se použije jedna z remediačních technik a jako dlouhodobé dočištění a stabilizace následně fytořemediace.
- Výhoda fytořemediace také souvisí se snížením plynných emisí jako je prašnost apod.

- Pokud se jedná o veřejné mínění, je tato metoda vysoce akceptovatelná. Lidé zkrátka slyší na slova jako „zelená příroda“ apod.
- Jako energie se využívá pouze sluneční záření, proto je energeticky naprosto nenáročná.
- Metoda je podle následující tabulky teoreticky levnější než ostatní techniky:

Použitá metoda	Náklady \$/t
Fytoremediace	10-35
In situ bioremediace	50-150
Venting	20-220
Thermální desorpce	120-300
Vymývání půdy	80-200
Solidifikace, stabilizace	240-340
Extrakce rozpouštědly	360-440
Incineration	200-1500

Tab.3: Náklady remediačních postupů [13]

2.3.2 Nevýhody:

- Je mnohem pomalejší než běžné fyzikálně-chemické metody.
- Metoda vykazuje obvykle nízký transport kontaminantů z kořene do nadzemní části. Toto je závažná nevýhoda, jelikož jsme schopni sklídit většinou právě jen nadzemní část rostlin.
- Rostliny dosahují malé velikosti, což snižuje schopnost remediace . Je to dáno tím, že kontaminanty redukuje růst rostlin a navíc hyperakumulátory jsou rostliny s malou produkcí biomasy.
- Naše končiny vykazují nedostatek rostlin vhodných pro remediaci. Většina druhů roste totiž v subtropickém pásmu.
- Další nevýhodou je nebezpečí kontaminace potravního řetězce. Rostliny bývají spásány živočichy. [11]

- Může se stát, že kontaminace je mnohem hlouběji v půdě a tím pádem je mimo dosah kořenů rostlin.
- Problémy mohou nastat s ukládáním kontaminované biomasy. Je potřeba speciálních skládek nebo spaloven.
- Negativně může působit i vliv jiných faktorů jako je struktura půdního profilu, koncentrace solí a přítomnost dalších toxinů.
- Poslední a neméně významnou nevýhodou je současná nedůvěra dozorčích orgánů v novou technologii. To se snad ale do budoucna změní.

3. Huminové látky

Huminové látky jsou obsažené v půdě (rašelině, hnědém uhlí, lignitu). Jsou jednou ze základních složek uhelné hmoty. U mladších druhů představují dokonce hlavní část celkové hmoty. Huminy jsou směsí různých složek, lišících se svými fyzikálními vlastnostmi. Je to směs organické hmoty žlutohnědé či tmavohnědé barvy, rozpustné v roztocích alkalicky reagujících látek, z nichž se opět vylučují působením kyselin.

Vznikají biochemickými přeměnami (tlením) organických zbytků a podle Raye von Wondruszky z University of Idaho: „tato skupina látek je hlavní složkou humusu v půdě a vodě a propůjčuje půdě její charakteristickou hnědou barvu“. Struktura huminových látek je velice rozmanitá a liší se podle původu, naleziště, ale i doby odběru. Huminové látky se totiž chovají jako živý organismus a pokud mají vhodné podmínky k růstu, mění svou strukturu. Tento cyklus přeměny je důležitou součástí půdotvorných procesů.

Huminové kyseliny mají některé zajímavé schopnosti (spektrální, koloidní, elektrochemické, iontově výměnné a hlavně sorpční). Huminové látky mají schopnost sorbovat těžké kovy vytvářením komplexů s funkčními skupinami (-COOH; -C=O; -OH) vázanými na povrchu huminových kyselin. [7]

4. Obecný ekonomický model

V ekonomické části této práce je nejprve třeba se seznámit s teorií a s principy manažerské ekonomiky. Jednotlivé složky této kapitoly tvoří tyto problémové okruhy:

- konstrukce nákladového modelu,
- ekonomická efektivnost.

4.1 Nákladový model

Nákladové modely by se daly popsat jako zjednodušený obraz ekonomiky reálného výrobního procesu. Slouží jako podklad pro efektivní řízení a jako zdroj informací o ekonomické náročnosti procesu. Náklady procesu jsou ovlivněny celou řadou činitelů jako např. rozsah, objem a struktura produkce, ceny výrobních činitelů, náklady na mzdy a podobně. Nákladový model by měl být sestaven tak, aby byl schopen co nejpřesněji vyhodnotit výši nákladů v závislosti na objemu výroby. Z tohoto důvodu při konstrukci nákladového modelu provádíme podrobnou analýzu technologického procesu s detailním rozlišením nákladových položek. [8][9]

4.1.1 Náklady

Ve většině odborných publikací autoři definují s nepatrnými rozdíly náklady jako peněžně vyjádřenou spotřebu výrobních faktorů, které manažeři účelně řídí a vynakládají na tvorbu a odbyt podnikových výkonů. Řízení nákladů vyžaduje jejich podrobné třídění.

Druhové třídění nákladů je základním tříděním v plánu nákladů a ve výkazu zisku a ztráty (výsledovce). Toto třídění se zabývá především tím, co bylo spotřebováno, avšak už se nezabývá příčinou vynaložení prostředků (proto není možné hodnotit hospodárnost, účinnost a efektivitu). Druhové třídění nákladů rozlišuje: [8]

- Spotřebu surovin a materiálu a externích služeb
- Odpisy hmotného i nehmotného dlouhodobého majetku
- Mzdové a ostatní osobní náklady (mzdy, provize, sociální a zdravotní pojištění)
- Finanční náklady (pojistné, placené úroky, poplatky)

Třídění nákladů podle místa vzniku a odpovědnosti je v podstatě tříděním podle

vnitropodnikových útvarů. Podle velikosti podniku a složitosti výroby se náklady člení v několika úrovních: [8]

- Náklady výrobní činnosti (hlavní, pomocné, vedlejší a přidružené výroby) a náklady nevýrobní činnosti (náklady na odbyt, správu a zásobování)
- Jednicové náklady jako technologické náklady, které souvisí přímo s určitým výkonem
- Režijní náklady jako náklady na obsluhu a řízení, které přímo souvisejí s výrobou jako celkem

Kalkulační členění nákladů je rozhodující pro podnik z hlediska jeho zisku, protože umožňuje zjistit rentabilitu jednotlivých výrobků (služeb). Rozdělujeme je na náklady přímé a nepřímé. [8]

- Přímé souvisejí s určitým druhem výkonu. Do přímých nákladů patří náklady jednicové a takové režijní, které s výrobkem přímo souvisejí.
- Nepřímé náklady jsou takové, které jsou společné pro více druhů výrobků a jejich vynaložení zajišťuje produkci jako celek.

V manažerském rozhodování je velice důležité členění nákladů podle závislosti na změnách objemu výroby. V tomto směru rozlišujeme: [8]

- Celkové náklady N jsou veškeré náklady vynaložené na celkový objem produkce.
- Fixní náklady jsou nezávislé na objemu produkce. Jsou to pevné náklady na chod, pohotovost a výrobní kapacitu podniku jako celku. Mění se skokem se změnou výrobní produkce. Do fixních nákladů zahrnujeme např. odpisy, nájemné, pojištění, úroky z půjček, leasingové splátky, náklady na technické vybavení podniku, náklady na školení apod. Fixní náklady vznikají, i když podnik nevyrábí.
- Variabilní náklady jsou naopak ovlivněny změnou objemu výroby. Jsou to například jednicové mzdy, jednicový materiál ad.
- Průměrné jednotkové náklady jsou náklady na jednotku produkce. Vypočítávají se tak, že se celkové náklady N dělí celkovým množstvím produkce. Je-li objem produkce vyjádřen v Kč (Q), dostaneme haléřový ukazatel nákladovosti h , který

vyjadřuje podíl nákladů na 1Kč produkce.

- Přírůstkové náklady tvoří přírůstek nákladů vyvolaný přírůstkem objemu produkce.
- Marginální náklady vyjadřují náklady na teoreticky nekonečně malý přírůstek produkce (v praxi je to přírůstek výroby o jednu jednotku).
- Oportunitní náklady nebo také Náklady ztracené příležitosti jsou ušlým výnosem, způsobeným v případě, že nejsou zdroje práce využívány nejlepší možnou alternativou.
- Explicitní náklady podnik platí za nakoupené výrobní zdroje, za nájem, za použití cizího kapitálu atd.
- Implicitní náklady nemají formu peněžních výdajů, jsou tudíž obtížně vyčíslitelné. K jejich měření se používá oportunitních nákladů.

4.1.2 Kalkulace nákladů

Kalkulace nákladů znamená propočítání jednotlivých složek nákladů a jejich úhrnu na kalkulační jednici. Kalkulační jednice je určitý výkon (výrobek, služba, práce, činnost...), vymezený určitou měřicí jednotkou, např. množstvím (ks), hmotností (kg) apod. Jednotlivé složky nákladů se vyčíslují v kalkulačních položkách. Tyto kalkulační položky jsou obsaženy ve všeobecném kalkulačním vzorci, který není samozřejmě nijak závazný, avšak je používán ve většině podniků v České republice. Schéma je uvedeno v tabulce 4: [8]

1	Přímý materiál
2	Přímé mzdy
3	Ostatní přímé náklady
4	Výrobní (provozní) režie
	1-4 Vlastní náklady výroby
5	Správní režie
	1-5 Vlastní náklady výkonu
6	Odbytové náklady
	1-6 Úplné vlastní náklady výkonu
7	Zisk (ztráta)
	Cena výkonu

Tab.4: Všeobecný kalkulační vzorec [8]

- **Přímý materiál** tvoří suroviny, polotovary, pohonné hmoty, pomocný a ostatní materiál.
- Do položky **přímé mzdy** patří základní mzdy, příplatky a doplatky ke mzdě, prémie a odměny.
- **Ostatní přímé náklady** zahrnují palivo a energie, odpisy, opravy, ztráty z vadné výroby atd.
- **Výrobní (provozní) režie** zahrnuje nákladové položky, související s řízením a obsluhou (režijní mzdy ve strojové výrobě, opotřebení nástrojů, náklady na opravy, režijní materiál, ...).
- Do **správní režie** patří náklady, související s řízením podniku (odpisy správních budov, platy manažerů, telefonní a internetové poplatky, pojištění aj.).
- **Odbytové náklady** souvisejí s náklady na skladování, propagaci a expedici výrobku.

4.2 Ekonomická efektivnost

Pojem ekonomická efektivnost je popsán v různých publikacích jako poměr výstupu a vstupu (např. poměr množství výrobků a výrobních faktorů na ně vynaložených). V podniku se efektivnosti dosahuje, pokud jsou všechny jeho zdroje plně využívány při nejvyšší možné hospodárnosti. Termín nejvyšší možná hospodárnost by se měl dále rozvést. Není ekonomicky efektivní kupovat drahé suroviny, je však otázkou, zda budeme s lacinými surovinami schopni dosáhnout požadované kvality výrobků. [15]

4.2.1 Výsledek hospodaření

Důležitý pojem spojený s ekonomickou efektivností je zisk. Zisk je výsledkem hospodaření, pokud rozdíl mezi výnosy a náklady je kladný. Záporný výsledek je ztráta. Zisk je vlastně cílem veškerého podnikání, avšak ne jediným. Někdy ustupuje jiným zájmům podniku, jako je např. získání nezávislosti a samostatnosti, dosažení lepší kvality výroby, růstu výroby a uplatnění na trhu apod.

Zisk je možné zvyšovat dvěma způsoby. První cesta představuje snižování nákladů, druhá zvyšování výnosů. Výnosy jsou peněžním vyjádřením výsledků provozování firmy, jejich

hlavní část tvoří tržby.

V této práci ale není zisk relevantním výsledkem hospodaření, jelikož naše pěstovaná biomasa není určena k prodeji a je pouze skladována, případně spalována.

4.2.2 Kritéria efektivity a rentability

Existuje celá řada kritérií ekonomické efektivity, jejichž úkolem je vybrat optimální variantu vzhledem k charakteristice investice. V zásadě se dají kritéria rozdělit na dvě skupiny, a to na poměrová a absolutní. Absolutní kritéria buď maximalizují efekt (výnos, tržbu, zisk) při určených nárocích, nebo minimalizují nároky při určeném efektu (výnosu, tržbě, zisku). U poměrových se zpravidla jedná o maximalizaci poměru efektu k nárokům. [10]

Výčet efektivity a rentability poměrových kritérií je popsán následujícím seznamem:

- nákladovost – udává, kolik Kč nákladů jsme vynaložili na 1 Kč výnosů, tento ukazatel se dá zúžit na náročnost jednotlivých nákladových druhů (náklady/výnosy)
- efektivnost nákladů – udává, kolik Kč výnosů přinesla 1 Kč nákladů (výnosy / náklady)
- rentabilita celkového kapitálu – udává, kolik Kč hrubého zisku přinesla 1 Kč (hrubý zisk / kapitál)
- rentabilita vlastního kapitálu – udává, kolik Kč zisku přinesla 1 Kč vlastního kapitálu (čistý zisk / vlastní kapitál)
- rentabilita výnosů (tržeb) – udává, kolik Kč hrubého zisku přinesla 1 Kč výnosů (hrubý zisk / výnosy (tržby))
- obrat kapitálu – udává, kolikrát se kapitál vrátil v tržbách (tržby / kapitál)
- rentabilita tržeb – udává, kolik Kč hrubého zisku přinesla 1 Kč nákladů (hrubý zisk / náklady)

Pro účely této práce byl zvolen ukazatel nákladové efektivity.

5. Ekonomická analýza realizace procesu

5.1 Teorie modelů

5.1.1 Popis modelů

Za účelem posouzení ekonomické efektivity fytořemediace jsou v rámci této bakalářské práce vytvořeny čtyři modely, pro jednotlivé druhy rostlin. Čičorka pestrá a Mužák prorostlý jsou zástupci vytrvalých bylin, Vrba je dřevina a Chrástice rákosovitá patří mezi víceleté traviny.

Do modelů jsou zahrnuty všechny procesy podílející se na pěstování těchto rostlin. Jednotlivé položky nákladů jsou získány především dotazováním zemědělců, z technologických a technických normativů pro zemědělskou výrobu vydaných Výzkumným ústavem zemědělské techniky v Praze (VÚZT), případně podle již dříve vypracovaných modelů. Do těchto nákladů jsou zahrnuty i položky nepřímo se týkající pěstování, jako je uskladňování a kontrola biomasy. Základním předpokladem této práce je, že subjekt zabývající se tímto tématem vlastní pěstební plochu a strojní vybavení určené k pěstování fytořemediační biomasy. Z tohoto důvodu do celkových nákladů nejsou započítány náklady na jejich pořízení ani odpisy. Seznam potřebného vybavení je vždy uveden ve vstupním listu každého modelu.

Veškeré položky nákladů jsou kalkulovány na jednotku plochy o rozloze jeden hektar. Při kalkulaci nákladů souvisejících s režijními a obslužnými činnostmi je bráno v úvahu období, ve kterém jsou tyto činnosti vykonávány. Jedná se o činnosti spojené s přípravou pozemku před samotným setím (sázením), údržbou nebo sklizní. Tyto činnosti nejsou rovnoměrné po celou produkční dobu plantáže a musí se v modelech přesně vymezit.

Období procesu fytořemediace, včetně přípravy pozemků k tomu určených, je stanoveno na 10 let. Dále se počítá (kromě prvního roku trvání plantáže) s každoroční sklizní veškeré vypěstované biomasy. Sklizená je však jen nadzemní část rostlin, kořeny v zemi zůstanou a na jaře z nich znovu vyrostou nové rostliny. Sklizená nadzemní část biomasy se pouze uskladní na poli a nadále s ní není manipulováno.

Ačkoliv jsou v této práci rostliny energetické, nebere se v úvahu získání státních dotací na pěstování energetické biomasy dle § 2 a § 2d zákona č. 252/1997 Sb., o zemědělství ve znění pozdějších předpisů č.j.: 1026/2009 – 17000. Je to dáno charakterem vyprodukované biomasy.

Ta je vysoce toxická a není ji tudíž možno použít jako biomasu určenou k energetickým účelům.
[14]

Všechny modely jsou vytvořeny v programu Microsoft Excel. To nám umožňuje měnit model podle aktuálních podmínek. To je důležité vzhledem k možnosti aktualizace vstupních údajů, jako je cena pohonných hmot apod. Pomocí těchto snadno měnitelných vstupů lze také simulovat různé počáteční podmínky a na základě vypočítaných výsledků se rozhodnout o efektivním postupu. Stačí změnit vstupní hodnoty a požadovaný výsledek se okamžitě zobrazí.

5.1.2 Struktura modelů

Jednotlivé modely se svojí strukturou příliš neliší, proto je vysvětlena pouze na jednom z nich. List **Vstupy** pro náš zadaný požadavek je nepodstatný, ale pro úplnost jej uvádím. Obsahuje vstupní údaje, které předpokládají prodej biomasy. Je to z důvodu možné úpravy modelu na model pěstování libovolného druhu energetické biomasy. Jedná se konkrétně o ukazatele výnos, obsah a cena sušiny. Poslední položka vstupu jsou předpokládané státní dotace.

Další list má název **Pěstební model** a je hlavní částí celého modelu. Má za úkol vyčíslení všech nákladů potřebných k vypěstování fyto-remediační biomasy v každém z deseti let, kdy bude na ploše plantáže prováděna fyto-remediace. Tyto náklady jsou rozděleny do čtyř hlavních bloků, v návaznosti na pěstební činnosti v jednotlivých etapách pěstování. První je *příprava pozemku* a obsahuje všechny procesy spojené s přípravou neobdělávaného pole na pěstování rostlin (sečení plevelů, podmítka, hluboká orba, kombinátorování). Druhý blok představuje *setí* u chřastice rákosovité a čičorky pestré nebo *sázení* u mužáku prorostlého a vrby. Třetí blok tvoří *náklady na údržbu porostu*. Tím je myšleno hlavně hnojení rostlin pomocí huminových látek, avšak samotná cena těchto látek na tomto místě zahrnuta není. Huminovým látkám se věnuje samostatný list s názvem Huminy (bude popsán později). Je to z důvodu velkého počtu kombinací huminových látek, které se při zkušebním pěstování použily. Pro každou z těchto osmi kombinací by se musel dělat samostatný nákladový model, přičemž by se lišily pouze jedinou položkou. Posledním blokem podílejícím se na pěstebních nákladech je blok s názvem *sklizeň*. Obsahuje všechny procesy nutné ke sklizení vypěstované biomasy, jako je sečení případně štěpkování (podle druhu rostliny), ale i lisování a zpracování biomasy do formy vhodné k transportu, její uskladnění a v neposlední řadě i kontrola uložené biomasy během skladování.

Náklady pěstování jsou postupně kalkulovány pro všechny dílčí činnosti pěstování. Podkladem k jejich vyčíslení jsou údaje o nárocích na spotřebu vstupních komodit (osivo, nafta, pracnost apod.) a jejich jednotkové ceny. Tyto údaje jsou uvedeny ve sloupci Plánování a Náklady. Měrná spotřeba je vztažena vždy na jeden hektar plochy (např. spotřeba normohodin na posekání jednoho hektaru plochy). Model je sestaven v obecné formě a obsahuje seznam všech dílčích činností (které se nemusí provádět nutně v každém roce). Počet opakování každé činnosti se zadává ve sloupci Počet opakování a udává, kolikrát a ve kterých obdobích (letech) se tato činnost provádí. Ve sloupci s názvem Náklady jsou údaje o cenách jednotlivých komodit (např. hodinová mzda).

Klíčovou položkou každé činnosti je *práce*. Dotazováním zemědělců jsem získal hodnoty od 60 do 90 Kč mzdových nákladů na hodinu. Pro model jsem zvolil průměrnou hodnotu ve výši 75 Kč/hod. Podobnou položkou je cena za *naftu*. Průměrem jsem dostal hodnotu 23,5 Kč za litr nafty. Zvláštní položkou modelu jsou *fixní náklady*. Jejich hodnota je pro každou činnost odvozena z ceny použitého strojního vybavení. Tyto hodnoty jsem získal z normativů vydaných VÚZT nebo od zemědělských odborníků. V normativech se uvádí pro každé zařízení jeho roční nasazení (v hodinách) a výkonnost (hektary na hodinu). Fixní náklady každé činnosti jsou pak vypočítány vynásobením spotřebovaného času k této činnosti s výkonností potřebného strojního vybavení. Poslední položkou spojenou s každou činností jsou náklady na *pomocný materiál* a ostatní materiál potřebný pro určitou činnost (např. osivo).

Dalším listem souboru je záložka **Huminy**. Obsahuje dvě tabulky. První má název *Náklady* na huminové látky. Jsou zde vyčísleny náklady na pořízení jednotlivých druhů huminových látek včetně nákladů na pořízení směsi huminových substrátů. U každého substrátu je zde uvedena hodnota aplikovaného množství v tunách na hektar a cena za tunu substrátu. Druhá tabulka s názvem *Celkové náklady fytořemediace* zobrazuje úplné konečné náklady vynaložené na fytořemediaci v každém z deseti plánovaných let procesu. Náklady jsou rozepsány pro každou z osmi aplikovaných druhů huminových substrátů. Hodnota těchto nákladů je dána součtem celkových pěstebních nákladů a nákladů na příslušný huminový substrát.

Na tomto místě je třeba zmínit, proč jsou v modelu uvedeny hodnoty pouze pro první a druhý rok. Naměřené úbytky těžkých kovů, které nám byly poskytnuty Oddělením ekotoxikologie VÚRV (Výzkumná stanice Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i. v

Chomutově), byly neúplné. Předpokládá se desetiletý pěstební cyklus, ale měření výsledků fytořemediace bylo zahájeno před dvěma roky. Model je však připraven na celou délku trvání sanace a je možno výsledky ročních měření do modelu postupně doplňovat tak, jak budou k dispozici.

Poslední list sešitu má název **Efekt nákladů** a opět obsahuje dvě části. První tabulka s názvem *Technologický efekt fytořemediace* je určena k vyčíslení úbytku každého ze tří těžkých kovů z půdy v příslušném roce. A to podle druhu zvoleného huminového substrátu. Všechny rostliny použité v této práci jsou vytrvalé. Proto v prvním roce pěstování vytvoří menší hmotu a jejich schopnost absorpce kontaminantu je nižší než v dalších letech. To je důvod, proč se v prvním roce měření efektu fytořemediace neprovádí a tedy efekt likvidace kontaminantu v našem modelu není pro první období udán. Druhá tabulka se jmenuje *Ekonomický efekt fytořemediace*. Udává, kolik je potřeba peněžních prostředků na váhovou jednotku odstraněného kontaminantu v příslušném roce (v tomto případě jsou to Kč na gram odstraňované kontaminace). Jako v předchozí tabulce jsou výsledky sledovány podle druhu použitého huminového substrátu.

5.2 Výsledky modelů

Výstupní údaje této práce jsou zpracovány výhradně v tabulkách a grafech. Ty se dělí na tři kategorie.

- Celkové náklady na realizaci procesu
- Technologický efekt fytořemediace
- Ekonomický efekt fytořemediace

Jelikož vstupní údaje nemusejí být zcela aktuální, je možné, že výsledky vypočítané pro všechny modely nemusí být zcela přesné.

5.2.1 Celkové náklady na realizaci procesu

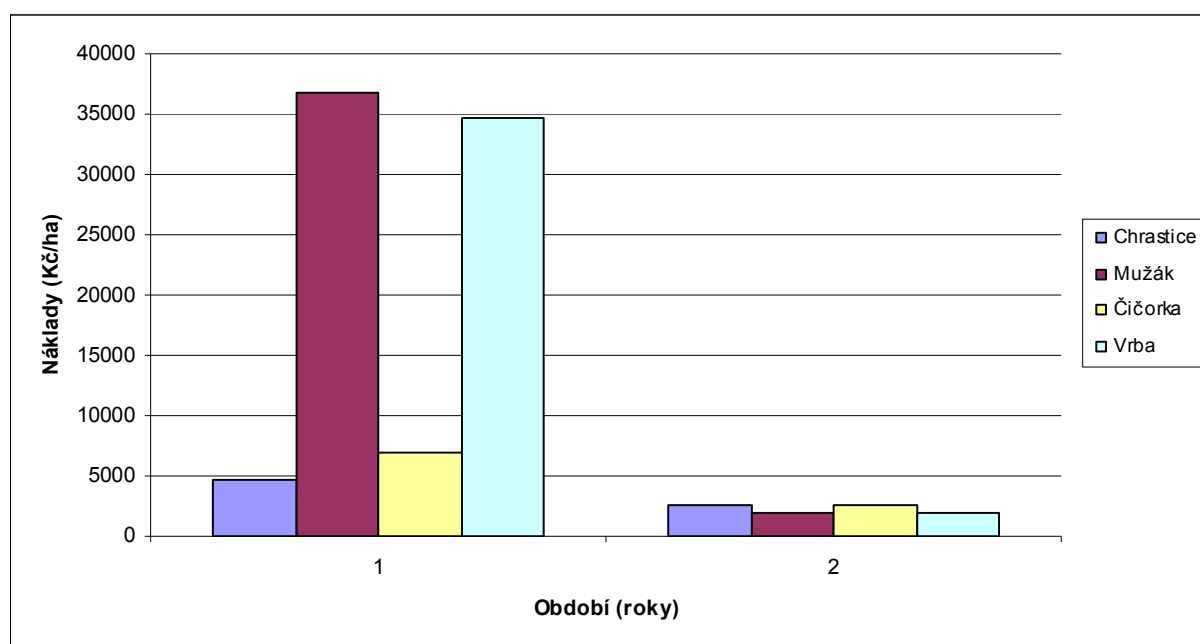
Pěstební náklady pro model **Chrastice rákosovité** jsou v prvním roce 4981 Kč/ha. V dalších letech je tato položka stejná a má hodnotu 2661 Kč/ha.

Pro model **Čičorky pestré** jsou pěstební náklady 6948 Kč/ha v prvním roce a 2661 Kč/ha v ostatních letech. Pěstební model je téměř stejný jako u Chrastice, rozdíl v nákladech

v prvním roce je způsoben u Čičorky hlavně vyšší cenou osiva.

Výše pěstebních nákladů u **Mužáku prorostlého** je v prvním roce 36 705 Kč/ha. Jak je vidět, je rozdíl v ceně oproti prvním dvěma modelům značný. To je způsobeno především pořizovací cenou řízků Mužáku, která tvoří téměř 93 % nákladů. V dalších letech jsou náklady naopak o něco nižší než u předchozích modelů a to 1986 Kč/ha.

Model **Vrby sp.** je podobný Mužáku. Náklady v prvním roce jsou 34 705 Kč/ha a 1986 Kč/ha v dalších letech. Srovnání těchto nákladů ukazuje následující tabulka:



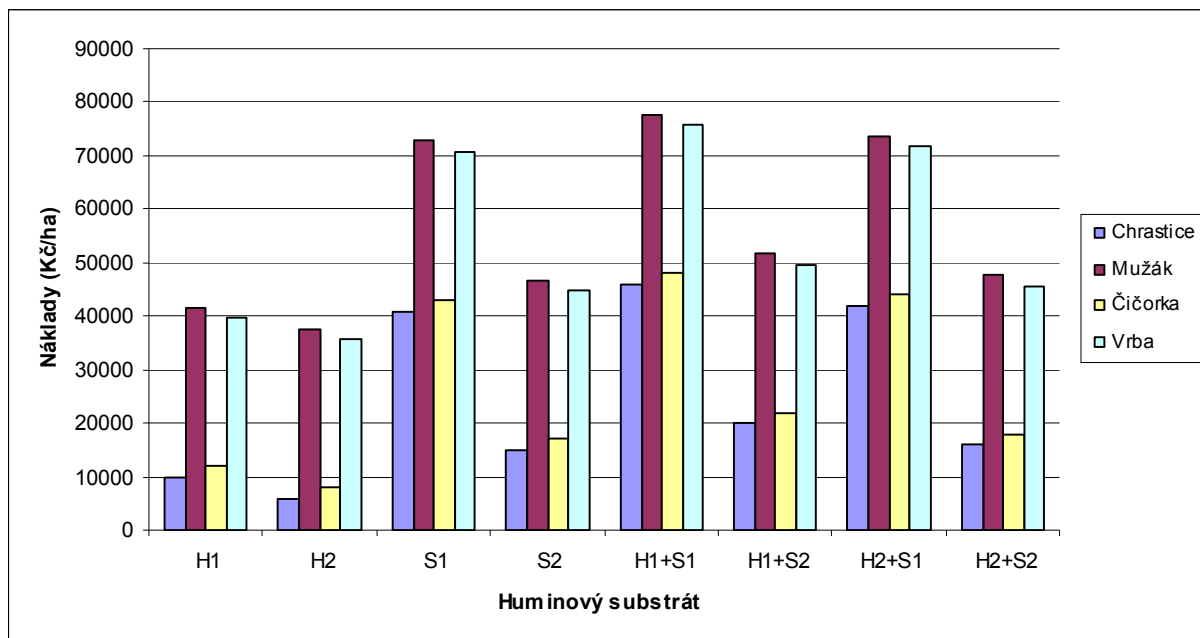
Obr.2: Pěstební náklady procesu fytořemediace v i-tém období

Množství použitých huminových látek je pro všechny modely stejné. Toto množství včetně ceny je uvedeno v následující tabulce:

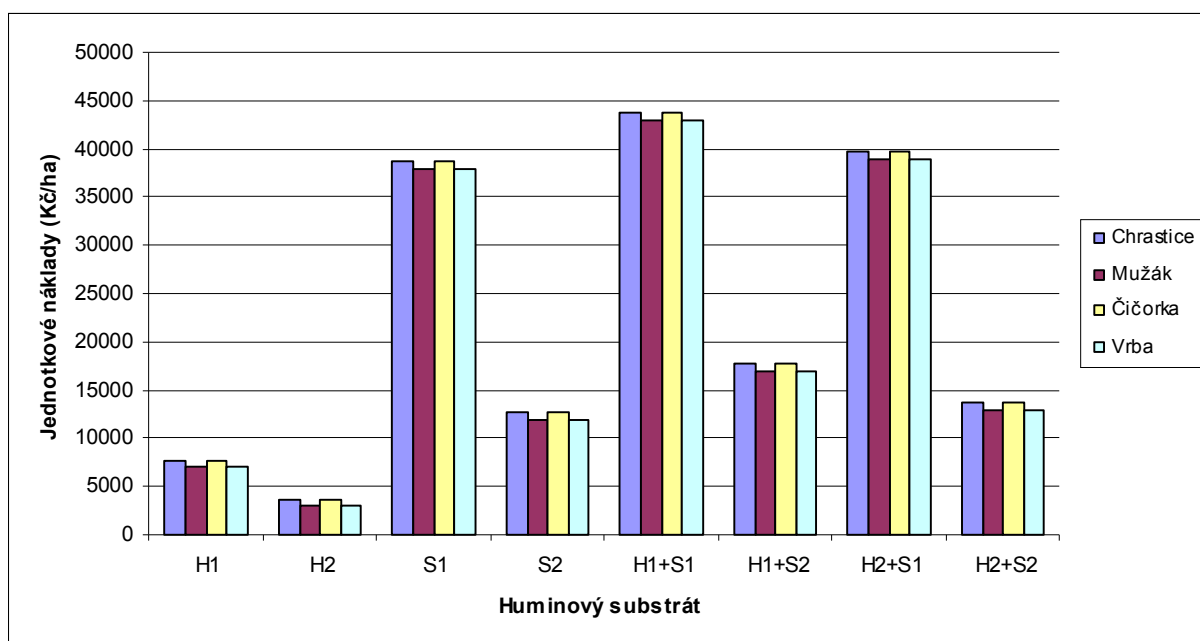
Náklady na huminové látky									
Název huminové látky		SD07/04Ca	SD07/Ca	průmyslový kompost	lignocelulózový substrát				
Alternativní název		H1	H2	S1	S2	H1+S1	H1+S2	H2+S1	H2+S2
	měr. j. spotřeby								
SD07/04Ca	t/ha	2				2	2		
SD07/Ca	t/ha		2					2	2
průmyslový kompost	t/ha			40		40		40	
lignocelulózový substrát	t/ha				40		40		40
jednotková cena substrátu	Kč/t	2500	500	900	250				
Náklady na huminové látky	Kč/t	5000	1000	36000	10000	41000	15000	37000	11000

Tab.5: Náklady na huminové látky

Celkové konečné náklady fytofarmacie jsou pak tvořeny součtem předchozích dvou položek, přičemž záleží na druhu použité huminové směsi. Získanou hodnotu těchto nákladů zobrazuje Obr. 3 a 4.



Obr.3: Celkové náklady fytofarmacie za první období

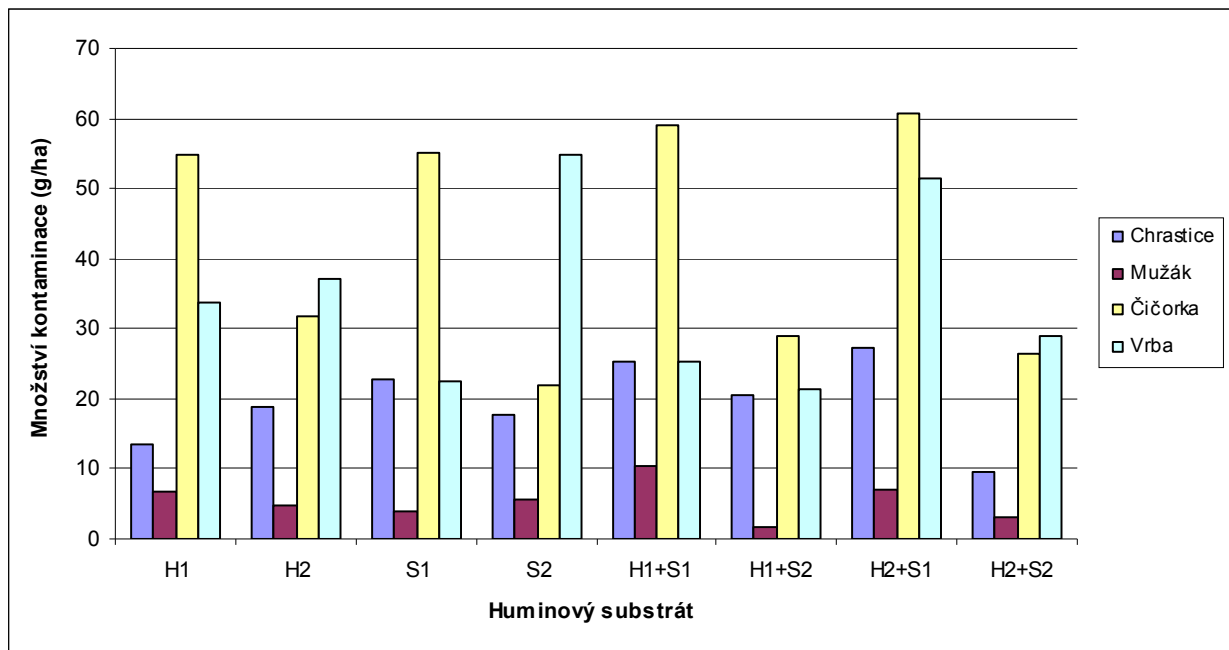


Obr.4: Celkové náklady fytořemediace za druhé období

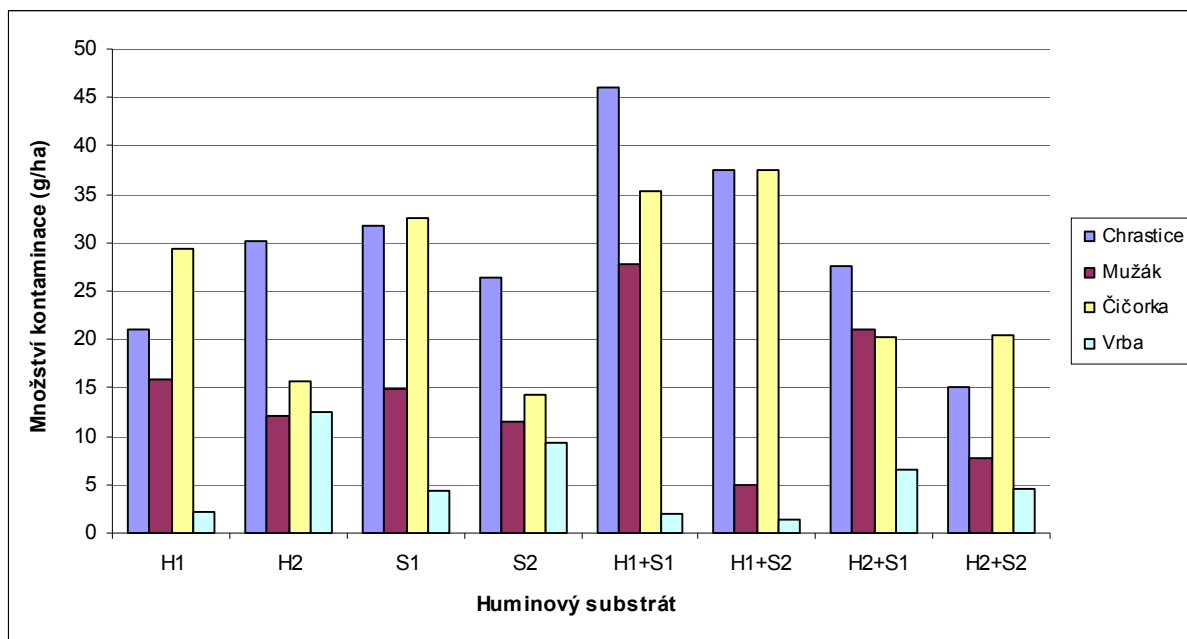
Na předchozím grafu je vidět nárůst ceny všude tam, kde se použije průmyslový kompost (S1). Je to způsobeno především velkým množstvím, které je potřeba ke hnojení rostlin.

5.2.2 Technologický efekt fytořemediace

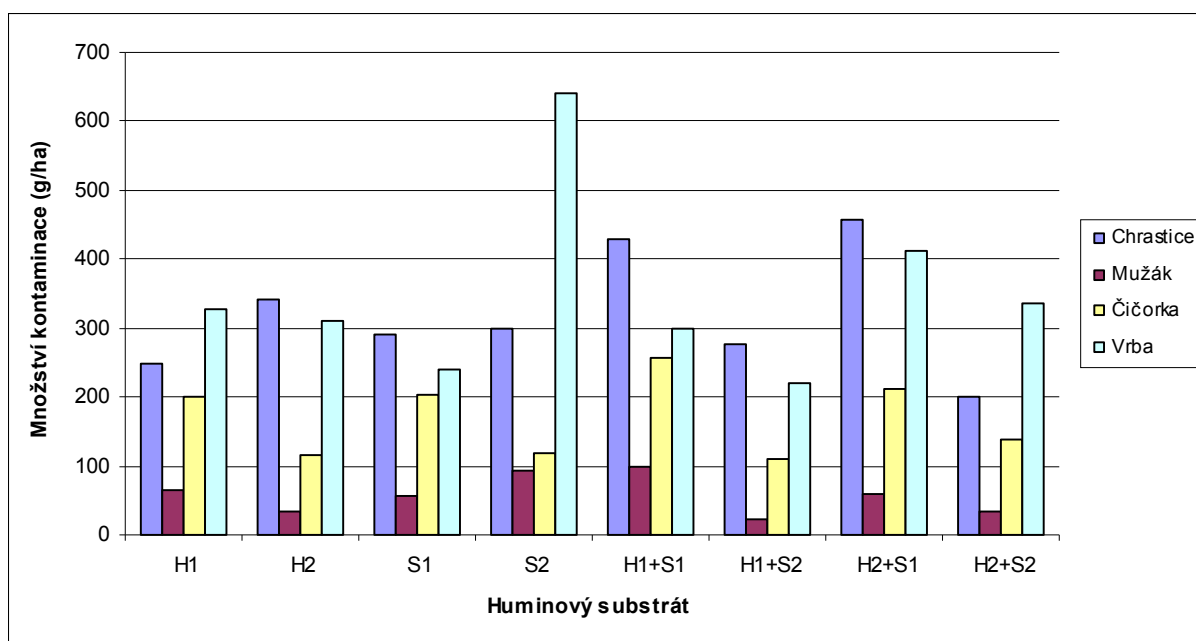
Technologickým efektem fytořemediace je množství odstraněných kontaminantů z půdy. Jak již bylo řečeno dříve, jedná se pouze o jedno měřené období vzhledem k poskytnutým informacím. Následující grafy zobrazují hodnoty množství odstraněného kontaminantu fytořemediací při aplikaci vybraných druhů huminových substrátů.



Obr.5: Množství odstraněného kadmia (Cd)



Obr.6: Množství odstraněného olova (Pb)

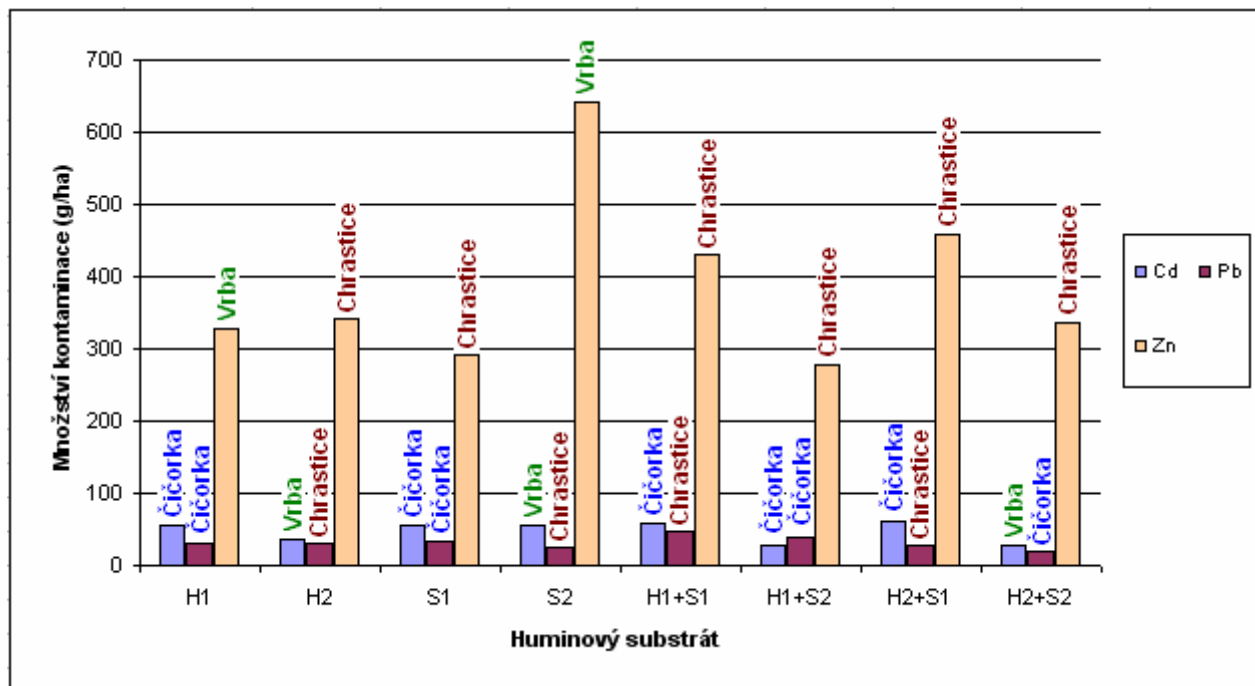


Obr.7: Množství odstraněného zinku (Zn)

Z grafů vyplývá řada poznatků. Jednotlivé rostliny mají velice rozdílnou absorpční schopnost pro různé kovy, což se dalo předpokládat. Avšak rozdíl, který je patrný nejvíce u prvního grafu, je obrovský. Čičorka má až 10x vyšší schopnost absorbovat kadmium než Mužák. Další zajímavostí je rozdíl v absorpci různých kovů u některých rostlin. Tak například

Vrba je schopná odbourat 642 g/ha zinku, ale pouze 2 g/ha olova. Mužák se pak jeví jako nejhorší z našich čtyř testovaných rostlin. Kromě olova je totiž jeho schopnost absorpce příliš nízká.

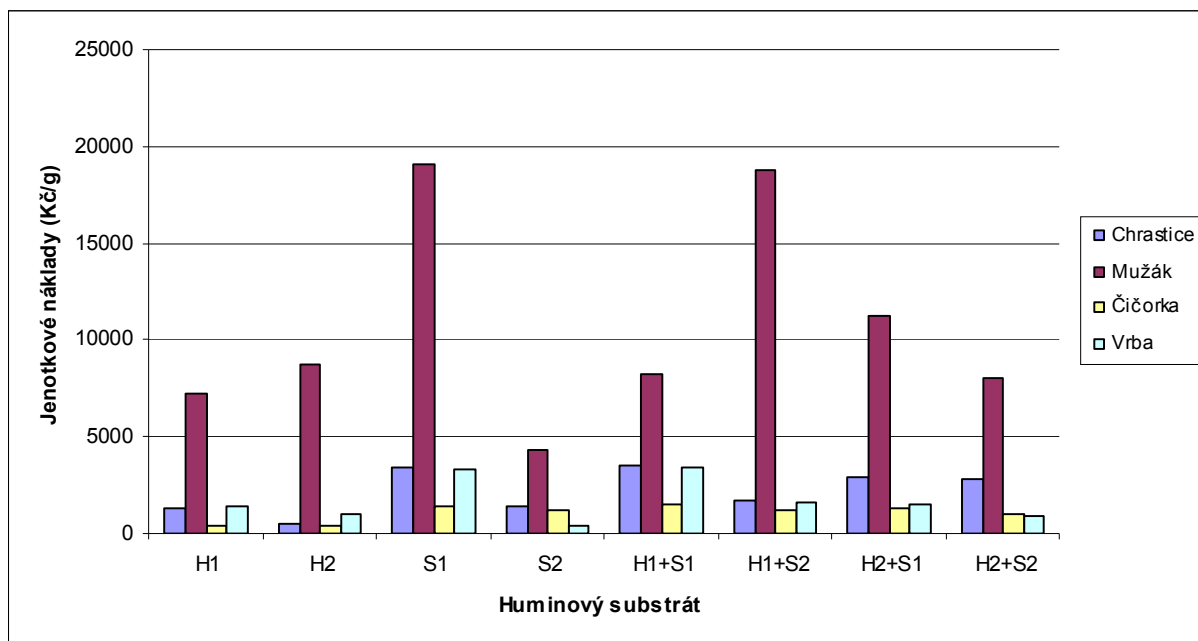
Pro úplnou přehlednost je uveden graf zobrazující nejlepší rostlinné akumulátory pro každou huminovou směs.



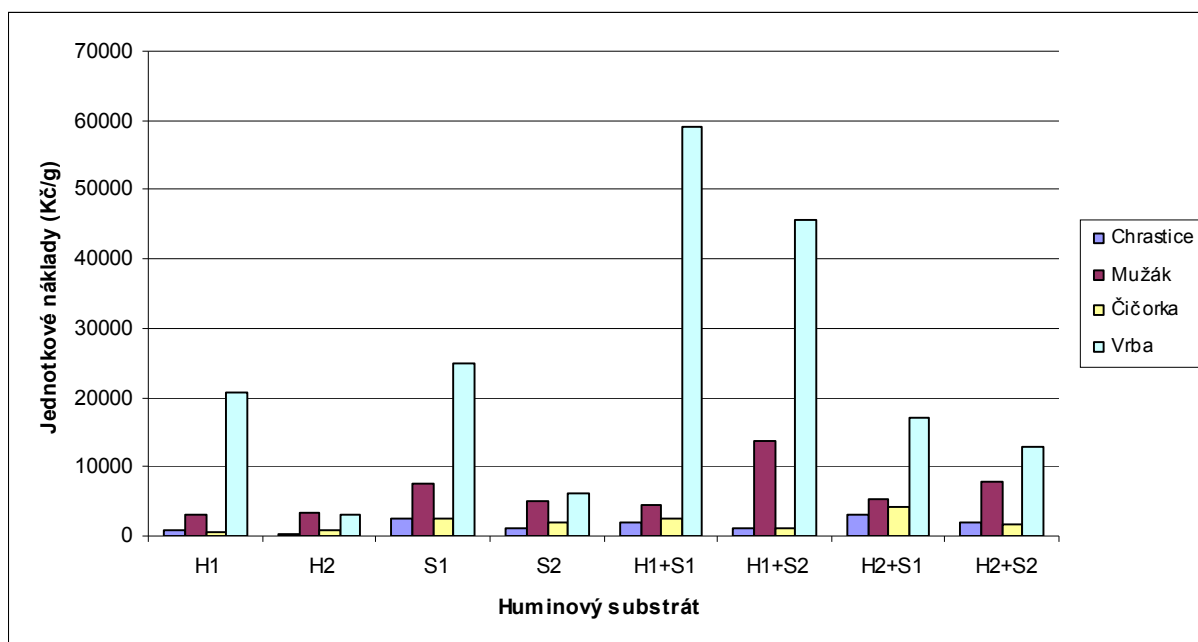
Obr.8: Nejlepší akumulátory kovů

5.2.3 Ekonomický efekt fytořemediace

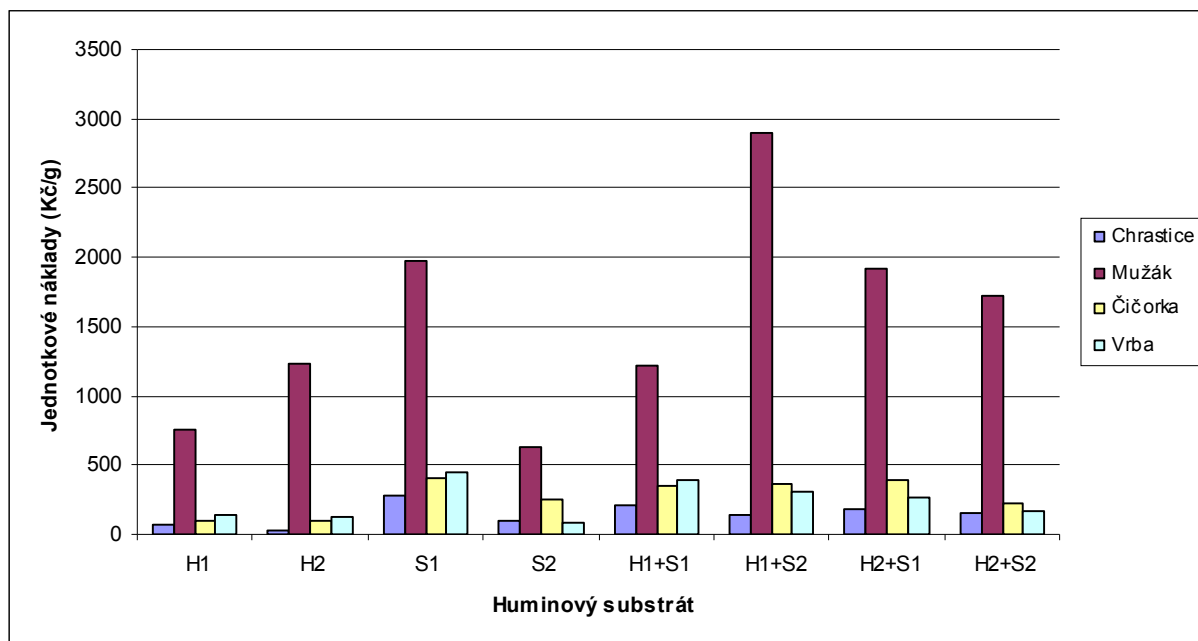
Nejdůležitější je však ekonomický efekt fytořemediace a proto i výsledky ekonomického vyhodnocení. Ekonomický efekt poskytuje informaci, která rostlina a který huminový substrát je pro proces fytořemediace z ekonomického hlediska nejvhodnější. V následujících grafech jsou zobrazeny jednotkové náklady na odstranění jednoho gramu kovu a to opět podle druhu huminové směsi.



Obr.9: Jednotkové náklady na odbourání 1g kadmia (Cd)

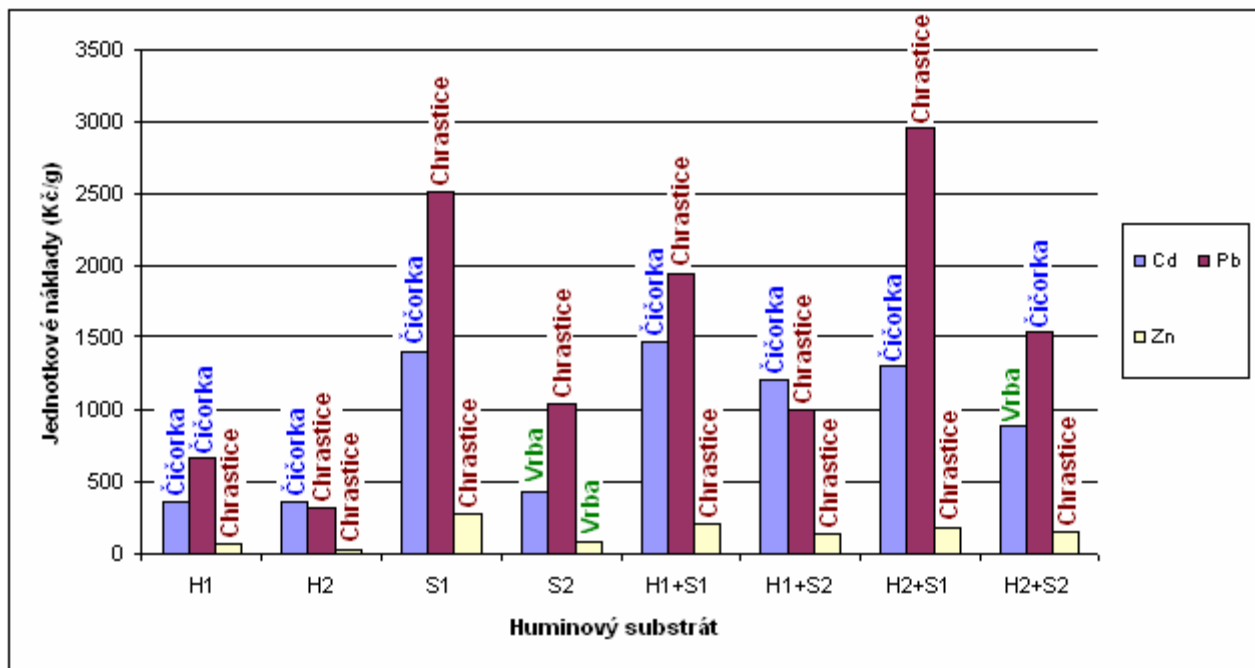


Obr.10: Jednotkové náklady na odbourání 1g olova (Pb)



Obr.11: Jednotkové náklady na odbourání 1g zinku (Zn)

Na Obr. 9 a 11 můžeme pozorovat vysoké hodnoty jednotkových nákladů pro model Mužáku prorostlého. To přímo souvisí s jeho nízkou absorpční schopností kadmia a zinku, o čemž je zmínka již v předchozí kapitole. To samé platí i pro model Vrby u absorpce olova (Obr. 10). Volba huminového substrátu pak nemá na absorpční schopnosti vliv. Celkový přehled nejvyššího efektu dosahovaného kombinací huminových látek s druhem biomasy zobrazuje poslední graf (Obr. 12).



Obr.12: Jednotkové náklady nejefektivnějších variant fytoremediace

Z grafu můžeme vyčíst, že nejlepší kombinace pro dekontaminaci těžkých kovů jsou:

- Pro kadmium **Čičorka pestrá** při hnojení huminovým substrátem H1 (SD07/O4Ca)
358 Kč/g
- Pro olovo **Chrastice rákosovitá** při hnojení huminovým substrátem H2 (SD07/Ca)
320 Kč/g
- Pro zinek **Chrastice rákosovitá** při hnojení huminovým substrátem H2 (SD07/Ca)
28 Kč/g

6. Závěr

Na začátku práce jsme si vytyčili jasný cíl. Posoudit efektivnost využití fytoremediace k likvidaci kontaminace, přesněji tří vybraných těžkých kovů. K tomuto účelu byly vytvořeny čtyři modely podle stejného počtu použitých rostlin. Ke zvýšení efektu výtěžnosti biomasy byly v průběhu pěstování aplikovány huminové substráty. Pěstební efekt je vyhodnocen pro celkem osm druhů huminových substrátů. Modely jsou sestaveny pro desetiletý pěstební cyklus. Ten se však nepodařilo zcela naplnit, protože poskytnuté údaje o měření úbytku kontaminace jsou získány pouze z druhého roku pěstování. To má zásadní vliv na objektivitu našich výsledků. Dá se totiž předpokládat, že především Vrba bude mít s postupem času mnohem lepší absorpční schopnosti, dané větším objemem biomasy. Navíc Vrba i Mužák jsou v nevýhodě, způsobené vyššími pěstebními náklady v prvním roce. Tyto vysoké náklady se sčítají s náklady v druhém roce, kdy proběhlo měření, a značně ovlivňují celkový ekonomický efekt fytoremediace. V dalších letech jsou však tyto náklady několikanásobně nižší a tedy i výsledný ekonomický efekt je bližší ostatním rostlinám.

Z údajů, které byly k dispozici, vyplývají tyto závěry: K sanaci těžkých kovů metodou fytoremediace jsou nejvhodnějšími rostlinami Chrastice rákosovitá a Čičorka pestrá, podpořené hnojením huminovými látkami SD07/Ca resp. SD07/O4Ca. Pokud se podíváme na problém z hlediska čistě technologického, zjistíme, že ani tyto rostliny nejsou nejvhodnější. V porovnání s nejlepšími hyperakumulátory (ve světovém měřítku) mají jen zlomek jejich absorpčních schopností. Většinu těchto hyperakumulátorů však není možné v klimatických podmínkách ČR pěstovat.

Dalším velice důležitým faktorem ovlivňujícím výsledek je výměra zkušební plantáže, na které se měření provádělo. V podmínkách reálné fytoremediace, prováděné na kontaminovaném pozemku většího rozsahu, je sanační efekt ovlivněn faktory, které jsou ve zkušebních podmínkách zcela nebo částečně vyloučeny. Jedná se především o povětrnostní vlivy, ale také nerovnoměrnost rozložení kontaminace, nestejnorodost půdy v sanované lokalitě atd.

Závěrem bych chtěl dodat, že vzhledem k neúplnému naplnění zpracovaných modelů daty, nelze závěry této práce považovat za podklad k rozhodování o volbě nejvhodnějšího druhu biomasy k fytoremediaci. Aby tomu tak bylo, musí být modely doplněny o údaje technologického efektu fytoremediace ve zbývajících letech a vyhodnocen efekt celého desetiletého pěstebního cyklu. Vytvořené modely jsou na to již připraveny.

Literatura

- [1] VALIŠ Zdeněk, VANĚK Tomáš. *Téma měsíce: Rostliny vyčistí vodu a půdu a ještě dodají energii*. ČESKÝ ROZHLAS 7, [05-01-2008]. [internet]. URL: <<http://www.radio.cz/cz/clanek/99222/limit>>
- [2] WIKIPEDIA The Free Encyklopedia. *Phytoremediation*. [internet]. URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Phytoremediation>>
- [3] SOUDEK Petr. *Fytoremediace*. Laboratoř rostlinných biotechnologií, Společná laboratoř ÚEB AV ČR v.v.i. a VÚRV v.v.i [internet]. URL: <www.ueb.cas.cz/Laboratory%20of%20Plant%20Biotechnologies/fytoremediace.pdf>
- [4] LASAT M.M. *Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues*. Journal of Hazardous Substance Research, Volume 2. [2000]. [internet]. URL: <<http://www.engg.k-state.edu/HSRC/JHSR/vol2no5.pdf>>
- [5] SCHNOOR Jerald L. *Phytoremediation of Soil and Groundwater*. Technology evaluation report TE-98-01, Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center: Pittsburgh, PA. [2002].
- [6] ALKORTA I. *Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic*. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, Volume 3. [2004]. ISSN: 1572-9826. [internet]. URL: <<http://www.springerlink.com/content/j678360j82j1336n/fulltext.pdf>>
- [7] SD-HUMATEX a.s. *Huminové látky*. SD-Humatex a.s.Bílina. [2005]. [internet]. URL: <<http://www.humatex.cz/informace-o-huminovych-latkach.html>>
- [8] SYNEK Miroslav a kol. *Manažerská ekonomika, 4.vydání*. Grada Publishing a.s. [2007] ISBN: 978-80-247-1992-4
- [9] GRUBLOVÁ Eva a kol. *Podniková ekonomika*, Respronis [2001]. ISBN: 80-86122-75-1
- [10] VÍTEK Miroslav. *Ekonomika a řízení telekomunikací-přednáška*. [internet]. URL: <https://ekonom.feld.cvut.cz/web/index.php?option=com_content&task=view&id=297&Itemid=180 - 40k>

- [11] OFFICE OF SOLID WASTE AND EMERGENCY RESPONSE. *A Citizen's Guide to Phytoremediation*. United States Environmental Protection Agency. [2001]. [internet]. URL: <<http://www.clu-in.org/download/citizens/citphyto.pdf>>
- [12] MENDEZ Monica O., MAIER Raina M. *Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments – An Emerging Remediation Technology*. Department of Soil, Water and Environmental Science, University of Arizona, Tuscon, Arizona, USA. [2008]. [internet]. URL: <<http://www.scribd.com/doc/6486277/Phytostabilization-of-Mine-Tailings-in-Arid-and-Semiarid-EnvironmentsAn-Emerging-Remediation-Technology>>
- [13] MACKOVÁ Martina, MACEK Tomáš. *Využití rostlin k eliminaci xenobiotik z životního prostředí*. Vědecký Výbor Fytosanitární a Životního Prostředí. [2005]. [internet]. URL: <www.phytosanitary.org/projekty/2004/vvf-13-04.pdf>
- [14] MISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *Informace o podpoře pěstování energetických plodin pro rok 2008*. Ministerstvo Zemědělství České republiky, Těšnov 17, Praha 1 - 117 05. [2008]. [internet]. URL: <www.mze.cz/attachments/a-prirucka2008-v8.doc>
- [15] OPLETAL Petr. *Ekonomická efektivnost*. ControS. [2008]. [internet]. URL: <<http://www.contros.cz/controlling/diskuse/ee.htm>>