

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Ústav pro životní prostředí

Studijní program: Geologie
Obor: Praktická geobiologie

**Změny vlastností výsypkových substrátů během urychleného
zvětrávání**

The effect of artificial weathering on overburden properties

Bakalářská práce
Radka Zadinová



Vedoucí práce: Doc. Jan Frouz, CSc.

Praha 2010

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, pouze s pomocí citovaných zdrojů. Obě vytištěné verze se shodují s elektronickou verzí.

V Praze dne 3.6. 2010

..... Radka Zadinová

Chtěla bych moc poděkovat své rodině, za jejich finanční a psychickou pomoc při studiu v Praze. Děkuji svému školiteli Doc. Janu Frouzovi, CSc. (PřF UK, Ústav pro životní prostředí) za veškerý věnovaný čas, poskytnuté materiály, hodnotné rady a znalosti, pomoc při výzkumu a připomínky k práci. Dále bych pak chtěla poděkovat RNDr. Petru Rojíkovi (geolog SUAS) za poskytnuté materiály a konzultaci ke geologickým vlastnostem jednotlivých substrátů.

ABSTRAKT

Povrchová těžba uhlí zanechává na krajině nevratné následky. Při povrchové těžbě hnědého uhlí vznikají rozsáhlé plochy výsypek. Vznik půd je významně ovlivněn procesem zvětrávání matečné horniny. Na odebraných vzorcích nejčastějších substrátů byl proveden pokus s urychleným zvětráváním. Vzorky byly zalité destilovanou vodou, ponechaly se nasáknout, poté se zmrazily, rozmrazily a usušily. Tento cyklus byl zopakován dvacetkrát. Před pokusem a po pokusu byly změřeny hodnoty: pH, konduktivita, obsah organické hmoty ztrátou žiháním, zrnitost a nasáklivost. Před i po pokusu byl proveden test toxicity pro rostliny vysetím semen hořčice žluté (*Sinapis alba*). Pokus urychleného zvětrávání ukázal možný vývoj zvětrávání výsypkových substrátů v čase zejména posun pH k neurálním hodnotám, a zvýšení nasáklivosti materiálů, přes tyto změny nebyl zaznamenán posun v toxicitě některých půd pro rostliny.

ABSTRACT

Surface mining of coal cause massive changes of landscape. Dumps, heaps and tailings created vast areas in post mining landscape. Soil formation is influenced by the weathering process. Sample-the most common substrates have been subject of accelerated weathering. Samples were watered by distilled water, left to soak in, then froze, thaw and dried. This cycle was repeated twenty times. Before the experiment and after experiment pH, conductivity, organic matter loss on ignition, grain size and water absorption were measured. Before and after the experiment were tested for toxicity to plants using yellow mustard seeds (*Sinapis alba*). Accelerated weathering showed the possible development of weathering spoil substrates over time namely shift of pH towards neutral value, and increase in water holding capacity, despite of this no changes in plant toxicity in toxic substrates were found.

KLÍČOVÁ SLOVA

fytotoxicita, povrchová těžba uhlí, výsypka, výsypkové substráty, zvětrávání

KEYWORDS

brown coal mining, phytotoxicity, post-mining sites, spoil substrates, weathering

OBSAH

ÚVOD	6
1. ZVĚTRÁVÁNÍ	7
1.1. Mechanické zvětrávání.....	7
1.2. Chemické zvětrávání.....	7
1.3. Zvětrávání výsypkových půd.....	8
1.4. Význam zvětrávání.....	9
2. JÍLOVÉ MINERÁLY A JEJICH VZNIK	10
2.1. Základní charakteristika jílových minerálů.....	10
2.2. Vznik jílových minerálů.....	10
3. TĚŽBA A JEJÍ VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	11
3.1. Těžba hlubinná.....	11
3.2. Těžba povrchová.....	12
3.3. Těžba na Sokolovsku.....	13
4. OBNOVA KRAJINY PO TĚŽBĚ HNĚDÉHO UHLÍ	15
4.1. Zemědělská rekultivace.....	15
4.2. Lesnická rekultivace.....	16
4.3. Vodní rekultivace.....	16
4.4. Rekreační rekultivace.....	17
5. TVORBA PŮD NA VÝSYPKÁCH	17
METODIKA	19
VÝSLEDKY	22
DISKUZE	28
ZÁVĚR	30
SEZNAM LITERATURY	31

ÚVOD

Těžba nerostných surovin je pro člověka posledních několik tisíciletí velmi důležitá. Po průmyslové revoluci se těžba uhlí stala nepostradatelnou. I se snahou moderního světa o používání k přírodě šetrnějších způsobů získávání energie, poskytuje uhlí nemalou část energie zajišťující chod lidské společnosti. Těžba uhlí velmi zatěžuje životní prostředí a mění krajinu. Zvláště velké změny způsobuje povrchová těžba hnědého uhlí. Vznikají velké těžební jámy a velké plochy výsypek. Avšak tyto plochy s použitím správného managementu mohou zajistit do budoucna velké plochy zeleně, sloužící nejen pro produkční účely kraje, ale i pro rekreaci. Protože plochy vzniklé těžbou velmi často trpí extrémními hodnotami pH, těžkých kovů a jiných hodnot, je důležité sledovat vývoj a tvorbu půd. Jedním z faktorů ovlivňujícím tvorbu půd je zvětrávání jednotlivých substrátů. Proces zvětrávání určuje další vývoj složení, zrnitosti a vznik vodního režimu půd. Všechny tyto faktory jsou velmi důležité pro osídlení výsypek rostlinami a půdní faunou.

Tato práce si klade následující otázky: Jak se liší dominantní druhy výsypkových materiálů Sokolovska v při změnách klíčových fyzikálních a chemických parametrů během urychleného zvětrávání? Jak změny jednotlivých fyzikálně-chemických parametrů korelují se změnou toxicity výsypkových substrátů pro rostliny? Jak výsledky urychleného zvětrávání korespondují se změnami těchto substrátů uložených různou dobu na výsypkách?

1. ZVĚTRÁVÁNÍ

Zvětrávání je soubor procesů způsobujících změny ve složení a vývoji hornin. Nastává v místě výskytu hornin na povrchu nebo v blízkosti povrchu. Zvětrávání vzniká působením exogenních činitelů. Mezi exogenní činitele patří atmosféra, voda, led, kolísání teploty a činnost organismů (Petránek, 1972). Zvětrávání je první fází pochodu vedoucího ke vzniku usazených hornin s výjimkou pyroklastik (Petránek, 1972). Hlavní faktor působící na rychlost zvětrávání jsou klimatické poměry, z nichž jsou zvláště významné kolísání teploty a humidita (Petránek, 1963). Zvětrávání napomáhají organismy (Blatt et al, 1972). Tyto procesy nepůsobí zvlášť, ale navzájem se doplňují (Petránek, 1963).

1.1. Mechanické zvětrávání

Mechanické neboli fyzikální zvětrávání vede k rozpadu hornin, aniž by se změnilo chemické složení (Petránek, 1963). Příčinami mechanického zvětrávání jsou insolace, mráz, krystalizace solí a pronikání kořenů rostlin (Petránek, 1963). Tento rozpad může být způsoben i destrukčními účinky řek a mořského příboje, pohybem ledovců či větrem (Petránek, 1963).

Rozrušování hornin insolací je nejvýraznější v horských oblastech bez vegetace (Petránek, 1963). Minerály mají různé barvy, a proto absorbují různé množství slunečního záření a různě se rozpínají (Blatt et al., 1972). Při velkých výkyvech denních a nočních teplot nastává rozpad povrchu hornin (Petránek, 1963).

Zvětrávání pomocí mrazu může mít velké destruktivní účinky. Mrznutím voda zvětší objem o 9,2% (Blatt et al., 1972). Podmínkou pro účinnost síly mrazu je vyplnění celých pórů a dutin vodou (Petránek, 1963).

Na stejném principu jako je zvětrávání mrazem působí i zvětrávání pomocí krystalizace. Vznikající krystaly solí mají větší objem než roztok a tlakem na okolí způsobí praskání horniny (Petránek, 1963).

1.2. Chemické zvětrávání

Chemické zvětrávání spočívá v úplné změně fyzikálních a chemických vlastností za vzniku nových minerálů. Nově vzniklé minerály mají nižší specifickou váhu i za současného zvětšování porozity horniny (Petránek, 1963). Typické produkty zvětrávání jsou hydratované

minerály, zahrnující jílové minerály a hydratované oxidy (Blatt et al., 1972). Některé tyto jevy jsou podporovány biologickou činností mikroorganismů (Petránek, 1963). Hlavní látky podmiňující zvětrávání jsou rozpuštěny ve srážkách- oxid uhličitý, kyslík a antropogenní polutanty (Petránek, 1963). Oxid uhličitý vzniká také dýcháním organismů v půdě (Petránek, 1963). Množství rozpuštěného oxidu uhličitého je závislé na teplotě, tlaku a v menší míře na přítomnosti ostatních rozpuštěných látek (Petránek, 1963). Ionty se uvolňují s dodáním různého množství energie (Blatt et al., 1972). Nejsnadněji se uvolňují ionty draslíku a sodíku, nejvíce odolné jsou ionty křemíku (Blatt et al., 1972). Rozkladem bílkovin vzniká sirovodík a amoniak (Petránek, 1963). Dvojmocné železo se v oxidačním prostředí na povrchu mění ve trojmocné (Dideriksen et al., 2010). Rozkladem poměrně hojného pyritu vzniká kyselina sírová, která je velmi účinným činitelem (Petránek, 1963).

Na rozpouštění má vliv i zrnitost horniny. Jemnozrnné se rozpouštějí snadněji jak hrubozrnné stejného složení (Petránek, 1963).

Nejstálejší v roztoku jsou alkálie, chloridy a sírany, proto jsou v roztoku odplaveny daleko od místa svého vzniku (Petránek, 1963). Méně stálé jsou sloučeniny kovů alkalických zemin. Nejméně stálé jsou sloučeniny železa, hliníku a silikáty (Petránek, 1963). Tyto látky se velmi rychle zpět vysráží a zůstávají v blízkosti zdroje. (Petránek, 1963)

Chemickým zvětráváním vznikají nejjemnější součástky půd, které se pak společně s humusem podílejí na zadržování vody a iontové výměně. (Štýs, 1981)

1.3 Zvětrávání výsypkových půd

Přemístěné výsypkové půdy tvoří vždy horniny rozpojené bez ohledu na jejich charakter. V procesu fyzikálního zvětrávání je důležitý podíl zvětralin, zejména částic pod 2,0 mm (Štýs, 1981). Tato velikost je velmi důležitá pro rozvoj vodního režimu a základních chemických vlastností substrátu (Štýs, 1981). Proces fyzikálního zvětrávání probíhá velmi rychle u šedých lupkovitě zpevněných jílu až jílovců, šedých jílu a jílu cyprisové série (Štýs, 1981). Tyto horniny se velmi rychle získávají lístkovou strukturu (Obr. 1.). Spraše, písky, hlinité a ostatní jílové sedimenty podléhají fyzikálnímu zvětrávání velmi pozvolna (Štýs, 1981). Tyto substráty již jednou v minulosti zvětrávání podlehly. To platí i pro homogenní vazké jíly s koherentní strukturou (Štýs, 1981). U lupků a jílovců dochází k rozpadu na bázi bahenních trhlin a lístkovitých struktur jílnatých částic vzniklých cementací (Štýs, 1981). U štěrkopísků dochází k dalšímu rozpadu valounů (Štýs, 1981).

Intenzita chemického zvětrávání na výsypkách a odvarech je závislá na původu vyspaných hornin. V tercierních sedimentech hlavní procesy zvětrávání již proběhly.

Primární minerály jsou zde již zvětralé a přeměněné na sekundární. Dochází ke zvětrávání cementačních tmelů lístkových strukturních elementů v jílových sedimentech (Štýs, 1981). Cementační tmely jsou vesměs organominerální a jejich odolnost značně závisí na obsahu jílových minerálů (Jonáš, 1975). Důležitou cementační látkou je u některých jílů siderit, obsahující dvojmocné železo (Jonáš, 1975). Přeměna na trojmocné železo probíhá za dostatečné přítomnosti vody a kyslíku (Jonáš, 1975). Chemické zvětrávání lupkovitě zpevněných šedých jílů je doprovázeno procesem hnědnutí. Proces hnědnutí způsobuje rozpad cementačních tmelů, sloučenin železa a manganu (Štýs, 1981). Jíly obsahující větší množství organické hmoty obsahují větší množství montmorillonitu (Jonáš, 1975). Lístkové agregáty těchto jílů jsou odolnější proti rozplavení lístkových elementárních částic (Jonáš, 1975). Uhelne jíly vznikají ve vrstvě kontaktu jílu s uhelnou slojí (Jonáš, 1975). Obsahují toxické příměsi síry a jejich sloučenin a těžkých kovů (Jonáš, 1975).

Velmi negativním projevem zvětrávání na výsypkách je oxidace pyritu. Pyrit je vázán na uhelnou substanci. Oxidací pyritu vzniká síran železnatý a kyselina sírová (Štýs, 1981). Při této oxidaci vzniká velké množství tepla, které může způsobit samovznícení uhelné sloje. (Štýs, 1981). Okyselení substrátů kromě zvětrávání pyritu způsobuje zvětrávání sideritu, který je součástí cementů (Jonáš, 1975).

Obr. 1: Lístková struktura cyprisů (foto autorka)



1. 4. Význam zvětrávání

Zvětrávání je první fází procesu vedoucího ke vzniku usazených hornin.

Vede k velké a poměrně rychlé změně geomorfologie. Důkazem těchto velkých změn jsou hluboká údolí vyhloubená činností řek nebo zemní pyramidy tercierních písčitých sedimentů. Rozpouštění vápenců vede ke vzniku krasových jevů.

Zvětráváním mohou vzniknout důležitá ložiska, například kaolinu nebo nashromáždění odolných minerálů (např. diamanty) a kovů (např. zlato, platina) (Petránek, 1963). Tento proces může působit zároveň škodlivě. Zvětrávání například znehodnocuje povrch uhelných slojí nebo vyloužení draselných solí (Petránek, 1963).

Zvětrávání je velmi významné pro vznik a vývoj půdního profilu a jeho vodní režim.

2. JÍLOVÉ MINERÁLY A JEJICH VZNIK

2.1. Základní charakteristika jílových minerálů

Základními složkami jílovitých hornin jsou jílové minerály, nejílový klastický materiál, nejílové minerály a adsorbované kationy nebo aniony (Petránek, 1963).

Jílové minerály jsou primární nebo authigenní. Primární minerály jsou ty, které vznikly zvětráváním nebo v menší míře hydrotermálními rozkladnými pochody (Petránek, 1963). Jako authigenní označujeme ty, které se vytvořily in situ, uvnitř sedimentu po jeho uložení (Petránek, 1963). Nejhojnějšími jsou kaolinit, hydroslídy, montmorillonit a minerály se smíšenou strukturou, ve kterých se již zmíněné minerály střídají buď pravidelně nebo nepravidelně.

Z chemického hlediska jsou jílové minerály vodnaté alumosilikáty s proměnlivým složením (Petránek, 1963). Mohou obsahovat další kationy, zejména draslík, sodík, vápník, hořčík, železo a další. Jejich důležitou vlastností je bobtnání. Minerály přijímají různé množství vody. Vodu vážou v pórech, na povrchu částic a strukturně. Strukturně vázat vodu dokáží především minerály skupiny montmorillonitu, jejichž mřížka je schopná velké změny objemu (Petránek, 1963).

Některé jílové minerály jsou schopné výměny kationů a anionů. Mohou z roztoku přijímat určité kationy a aniony a výměnou uvolňovat jiné molekuly (Petránek, 1963).

2.2. Vznik jílových minerálů

Jílové minerály mohou vzniknout buď zvětráváním nebo diageneticky.

V různých podmínkách mohou vzniknout z jedné horniny různé jílové minerály (Petránek, 1963). Ve stejných podmínkách mohou z různých hornin vzniknout stejné jílové minerály (Petránek, 1963). Vznik sekundárním minerálů určují dva hlavní faktory - klima a biotické faktory (Tan, 1994). Z kyselých vyvěřelin bohatých draslíkem a hořčíkem vzniká illit nebo montmorillonit (Petránek, 1963). Z bazických vyvěřelin a Ca-Mg-karbonátových hornin vzniká montmorillonit (Petránek, 1963). Až po vyloužení hořčíku, draslíku a vápníku vzniká při dalším zvětrávání kaolinit (Petránek, 1963). V teplých humidních oblastech vznikají přednostně jíly s obsahem illitu před jíly s kaolinitem (Tan, 1994).

Po vzniku usazené horniny vzniká období diagenese. Nastává postupná dehydratace jílové usazeniny, které obsahovala 60- 80% vody (Petránek, 1963). Tento úbytek se projevuje kompakcí, rekrytalizací jílových gelů a vznikem nových jílových minerálů (Petránek, 1963). Na rozkladu organické složky se podílí bakterie. Jejich činností se uvolňuje oxid uhličitý, methan a sulfan (Petránek, 1963). Současně s tvorbou nových jílových minerálů probíhá rozklad hrubší příměsi živců, slíd a jiných minerálů (Petránek, 1963). Zvětrávání minerálů je ukončeno iontovým nasycením okolních roztoků (Tan, 1994).

3. TĚŽBA A JEJÍ VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

S moderním vývojem společnosti roste i spotřeba nerostných surovin. S rostoucím tlakem na růst těžby surovin roste i hmotné zajištění lidí a jejich mobilita. S mobilitou a souvisejícím růstem turismu se zvyšují i nároky na rozlohu a kvalitu životního prostředí. Devastační vlivy těžby se mění od maloplošného vlivu po velkoplošné destrukce celého povrchu, mnohdy velmi rozsáhlých území velkolomů (Štýs, 1981). Aby mohl být prostor těžby po jejím ukončení začleněn do zbytku krajiny a mohl být dále nějak využíván, vznikla potřeba sanačních a rekultivačních opatření (Štýs, 1981). Dnes jsou tyto potřeby ukotveny i v zákoně. V České republice tuto problematiku ošetřuje zákon č. 44/1988 Sb..

3.1. Těžba hlubinná

Hlubinná těžba uhlí se provádí komorováním nebo stěnováním. Obě tyto metody způsobují na povrchu vznik propadlin (Štýs, 1981). Po vytěžení části uhelné sloje se zvýší v okolí napětí, které po nějakém čase překročí mez pevnosti hornin (Štýs, 1981). Vznikne pásmo zavalování. Jednotlivé horniny popraskají a klesají do vyrubaného prostoru (Štýs, 1981). Poklesové kotliny mohou být suché, mokré nebo zvodnělé (Lhotský et al., 1994). Toto stádium trvá pár měsíců. Poté nastane pokles až o 80 % celkové hodnoty. Pokles může být

velice náhlý a může poškodit okolní stavby a komunikace. V období dozívání se proces pomalu zastavuje. Celý proces poklesu může trvat až 5 let (Štýs, 1981).

Těžba nerud hlubinnou metodou probíhá podobně jako těžba uhlí. Tyto suroviny jsou obvykle uloženy ve slojích (Štýs, 1981).

Většina rudních ložisek patří k žilnému typu. Často je nutné s rudou dobýt i množství hlušiny. Pevnost rud je mnohem vyšší, a proto je nutné použít trhavinu. Hlubinná těžba rud většinou nezpůsobuje výraznou devastaci povrchu. Horniny si i po vytěžení rudy zachovávají svou pevnost a nelámou se (Štýs, 1981).

Hlušina se po hlubinné těžbě ukládá na odvaly. V úpravkách uhlí a rud vznikají odkaliště. Tyto antropogenní plochy jsou často toxické (Lhotský et al., 1994). Po odstranění toxicity nebo jejím snížení jsou odvaly velmi rychle osidlovány vegetací. Odvaly tvoří substráty s dostatečnou vlhkostí a dostatkem živin, a proto po nějakém čase zde rostou i náročnější dřeviny (Štýs, 1981).

3.2. Těžba povrchová

Povrchová těžba se provádí ve dvou fázích. V první fázi se odklidí nadložní vrstva hornin a ve druhé fázi se odtěží vlastní nerost. Skrývka nadložních hornin je odtěžena pomocí různých typů rýpadel. Poté je skrývka dopravena a nasypána na vnější nebo vnitřní výsypku.

Povrchová těžba se velmi podílí na změnách životního prostředí. Při těžbě se mění horninové prostředí a reliéf (Obr. 2.). Ovlivňuje atmosféru, deformuje režim hydrosféry, ničí celou pedosféru a výrazně ovlivňují chod biosféry (Štýs, 1981). Povrchovou těžbou jsou často zničena nebo postižena okolní lidská sídla. (Štýs, 1981)

Všechny hlavní aktivity těžby v povrchovém lomě produkují prach. Tento prach zhoršuje kvalitu ovduší v lomě a kolem lomu (Onder, 2009). Prach z těžby vytváří mnoho faktorů ohrožujících zdraví (Onder, 2009).

Další problémy vyvolává kyselá drenáž. Kyselá drenáž je charakteristická vysokým obsahem železa, síranů a nízkým pH (Ardejani et al., 2008). Způsobuje okyselení prostředí a s ním svázané problémy. Vzniká v oblastech, kde těžený materiál nebo výsypkový substrát obsahuje vysoké množství pyritu (Allouache, 2009).

Obr. 2. : Povrchová těžba hnědého uhlí na Sokolovsku, nejhlubší místo lomu- cca 200 m pod úrovní původního povrchu (foto autorka)



3.3. Těžba na Sokolovsku

Uhelné sloje v Sokolovské pánvi pochází z terciéru. Sokolovská pánev je na severu ohraničena krušnohorským zlomem, na jihu zlomem oherským (Chlupáč et al., 2002). Pánev zaujímá rozlohu asi 200 km² a výplň dosahuje mocnosti až 500 m².(Chlupáč et al., 2002)

Podloží pánve je tvořeno krušnohorským krystalinikem a karlovarskou žulou. (Valášek, Chytka, 2009)

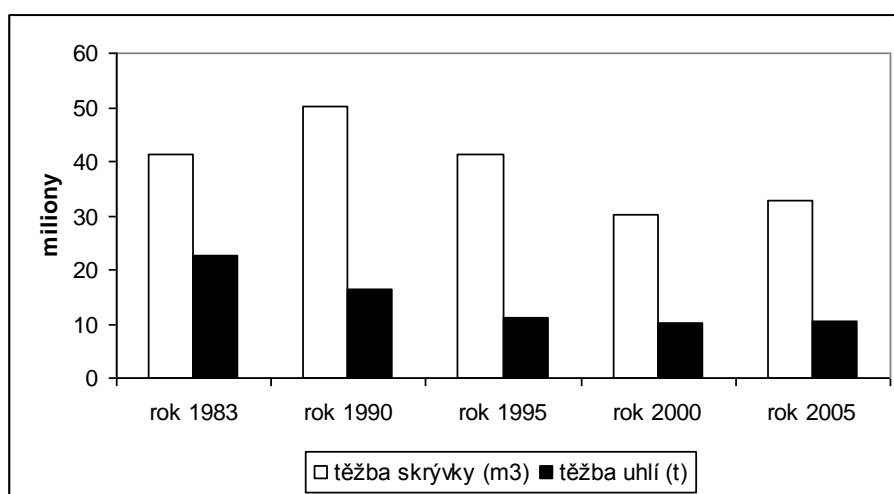
Nejstarší výplň tvoří starosedelské souvrství o mocnosti až 50 metrů (Chlupáč et al, 2002). Toto souvrství tvoří kaolinické písky a jíly a druhotně prokřemenělé pískovce až křemence (Chlupáč et al., 2002). Na starosedelském souvrství je navrženo novosedelské souvrství, složené ze sladkovodních a přemístěných vulkanických uloženin (Chlupáč et al., 2002). Nad novosedelským souvrstvím je utvořena uhelná sloj Antonín, znehodnocená vysokým obsahem pyritu a popelovin (Chlupáč et al., 2002). V nadloží sloje Antonín přibývá vulkanického materiálu z aktivní sopky v Doupovských horách (Chlupáč et al, 2002). Nad touto vrstvou se nachází hlavní slojové souvrství. V období vzniku nastal vulkanický klid a pánev zarůstala sladkovodní uhlotvornou vegetací (Chlupáč et al., 2002). Souvrství je tvořeno menší a méně kvalitní slojí Anežka a větší slojí Antonín (Chlupáč et al, 2002). Sloj Anežka již byla vytěžena v minulosti (Valášek, Chytka, 2009). V centru pánve tyto dvě sloje splývají

v jednu (Chlupáč et al., 2002. Tvorba uhlí byla ukončena vzestupem hladiny a vznikem jezera (Chlupáč et al., 2002).

Nadloží slojí tvoří sladkovodní uloženiny cyprisového souvrství. Toto souvrství nese jméno podle hojného ostrakoda *Cypris angusta* (Chlupáč et al, 2002). Souvrství je tvořeno sledem šedých a hnědých jíílů a bitumenních jíilovců s jemnou písčitou nebo prachovou příměsí a konkrécemi pyritu (Chlupáč et al, 2002).

Vytěžená skrývka převyšuje množství těženého uhlí (Obr. 3).

Obr. 3: Těžba skrývky a uhlí na Sokolovsku, Zdroj: SUAS- Tvorba nové krajiny na Sokolovsku, 2007



První zmínky o těžbě uhlí pocházejí z roku 1772 v karlovarské části pánve (Valášek, Chytka, 2009). V roce 1958 byl uzavřen poslední důl a o obnově těžby v této části pánve se neuvažuje (Valášek, Chytka, 2009). Ve východní části pánve je známá těžba od roku 1780 (Valášek, Chytka, 2009). Poslední aktivní těžba zde probíhá v lomech Jiří a Družba. Těžba v západní části sokolovské pánve probíhá od roku 1779 (Valášek, Chytka, 2009). Poslední lom Medard-Libík ukončil těžbu v roce 2003 (Valášek, Chytka, 2009).

Aktivní těžba probíhá ve 2 velkolomech Alberov-Velkolom Jiří (Obr. 2,4) a Nové Sedlo-Družba a v jednom menším lomu Královské Poříčí-Marie. Uhlí se používá v energetice a při výrobě některých karbochemických produktů (geofond 2009, stav 2008).

Obr. 4.: Těžba skrývky (foto autorka)



4. OBNOVA KRAJINY PO TĚŽBĚ HNĚDÉHO UHLÍ

Při povrchové těžbě musí být odklizen nadloží ložiska. Toto nadloží je převezeno na vnější výsypky a teprve později ve vytěžených částech lomu vznikají výsypky vnitřní (Lhotský, 1994). Sanace a rekultivace jsou dlouhodobé procesy, které se vyvíjejí s postupem vývoje nových poznatků a technologií (Lhotský, 1994). Úkolem obnovy krajiny je zmírnit následky těžby a vytvořit novou krajinu tak, aby mohla sloužit zemědělské, lesnické, vodohospodářské a rekreační funkci. Je společným zájmem vyhovět požadavkům lidské společnosti a zároveň vytvořit nová stanoviště pro ohrožené ekosystémy (Lhotský, 1994). Úkolem rekultivace není navrátit krajině původní podobu a funkce, ale vytvořit krajinu novou, která bude ekologicky vyvážená a pro obyvatele esteticky příjemná (Lhotský, 1994).

4.1. Zemědělská rekultivace

Zemědělská rekultivace se provádí za účelem obnovy produkce potravin a krmiv (Štýs, 1981). Zemědělská rekultivace na Sokolovsku se provádí buď navezením ornice ze zabraných pozemků ve vrstvě cca 35 cm nebo bez ornice (Frouz, 2007). Na cyprisových jílech lze provádět zemědělskou rekultivaci přímo (Frouz, 2007). Tyto jíly mají vhodné mineralogické složení a obsah organické hmoty (Frouz, 2007). Nutné je dodávání minerálních látek a dodržování předem určeného střídání plodin (Lhotský, 1994).

Zemědělská rekultivace nemusí probíhat jen ve směru vzniku polí, ale i pastvin pro dobytek. Na Sokolovsku je tento příklad reprezentován masným plemenem Charolais (SUAS,

2008). Tento chov byl založen v roce 1993 a stal se harmonickou součástí krajiny (SUAS, 2008).

4.2. Lesnická rekultivace

Lesní porosty mají přínos v podobě asanační, zdravotní, půdoochranné, klimatotvorné a hydričké (Štýs, 1981). Mimo funkcí pro ekosystém mají lesní porosty ekonomickou funkci, jako producenti dřevní hmoty (Štýs, 1981). Lesnická rekultivace má pro zničenou krajinu zásadní význam a působí jako stabilizující faktor (Lhotský, 1994). Lesy slouží i k rekreaci místních obyvatel a turistů. Lesní porosty mají ze všech rekultivačních kultur nejmenší nároky na územně technickou vybavenost (Štýs, 1981). Lesní porosty mají na rozdíl od zemědělské rekultivace nižší nároky na kvalitu stanoviště (Lhotský, 1994).

Lesnická rekultivace se provádí především na svazích . Důležitý je správný výběr druhů dřevin (Lhotský, 1994). Z listnatých stromů se na Sokolovsku nejčastěji používá olše šedá a černá, javor klen, jasan ztepilý, dub zimní a letní a jeřáb (Frouz, 2007). Z jehličnanů se používá borovice lesní, smrk ztepilý a modřín evropský (Frouz, 2007). Rekultivací vnitřní výsypky západně od Sokolova vzniklo arboretum Antonín, ve kterém roste 220 druhů a poddruhů dřevin na rozloze 165 ha (Valášek, Chytka, 2009)

4.3. Vodní rekultivace

Koncepce vodní rekultivace, pokud je použito vhodných řešení, je pro krajinu velmi přínosná. Tento způsob rekultivace výrazně ovlivňuje i realizaci zemědělských a lesnických rekultivací v okolí vybudovaných toků a nádrží (Štýs, 1981). Voda se uplatňuje jako půdotvorný a růstový faktor (Štýs, 1981). Vytváří se nové hydričké vlastnosti oblasti, důležitá je hlavně tvorba stálé hladiny podzemní vody (Štýs, 1981). Menší vodní nádrže na výsypkách se budují nejen pro návrat vodních ekosystémů do krajiny, ale také pro zachycení přívalových dešťů a na úpravě povrchových vod (Štýs, 1981).

Ve zbytkových jamách lomů na Sokolovsku vzniknou velká jezera. V současné době se pracuje na zatopení jezera Medard- Libík (Obr. 5). Plánuje se i budoucí zatopení jámy po lomech Jiří a Družba. Důležitá je podpora oligotrofie jezer omezením přítoku a velkou hloubkou. Tím by se měla zaručit stálá kvalita vody a její vhodnost pro rekreaci (Krajíček, Rothbauer, 2003).

Obr. 5.: Vznikající jezero Medard na Sokolovsku (foto autorka)



4.4. Rekreační rekultivace

Plochy vzniklé za účelem rekreace jsou také jednou možností, hlavně v okolí lidských sídel. Za účelem rekreace mohou vzniknout vodní plochy, parky, zahrádkářské kolonie nebo sportovní prostory (Štýs, 1981).

5. TVORBA PŮD NA VÝSYPKÁCH

Kvalita výsypkových substrátů pro tvorbu půd je velmi proměnlivá (Štýs, 1981). V nadloží uhelné sloje jsou nejčastěji zastoupeny jíly a jílům podobné materiály (Jonáš, 1975). Příčinou rozdílů v kvalitě substrátů je různá zrnitost, obsah fyzikálního jílu, zastoupení jílových minerálů, chemismus a diagenetický vývoj (Jonáš, 1975). Vegetační kryt hraje zásadní roli v obnově a stabilizaci výsypek (Moreno-de las Heras, 2009).

Minerální síla je podmíněna chemismem substrátů (Štýs, 1981). Minerálně silné půdy vznikají na tercierních vulkanitech (tufické jíly a bentonity) a na některých jílech s vysokým obsahem montmorillonitu a vápníku (Štýs, 1981). Substráty tvořené z holocenních hlín a spraší jsou také minerálně bohaté (Štýs, 1981). Středně silné jsou substráty z odvápnělých spraší a hlín, na jílech s nízkým obsahem trojvrstevných jílových minerálů a vyšším obsahem kaolinitu (Štýs, 1981). Minerálně slabé jsou substráty s vysokým podílem křemene (Štýs, 1981). Půdní pH se snižuje se zvyšujícím se stádiem sukcese a tedy i stářím substrátu (Frouz et al., 2007) Obsah sodíku a vápníku také klesá se stářím výsypky a pokročilostí sukcesního

stádia (Frouz et al., 2007) Obsah uhlíku, dusíku, dostupného draslíku a ve vodě rozpuštěného fosforu stoupá se stupněm sukcese na výsypce (Frouz et al., 2007).

Mobilita arsenu v půdě a jeho přeměna v jiné sloučeniny jsou významným ohrožením prostředí výsypek. Mobilní arsen se ve většině případů zachytí v hydroxidech hliníku a železa. Zbytek arsenu absorbují rostliny (Moreno-Jimenez, 2010).

Podle poměru jemnozrnné složky substrátu vznikají v půdotvorném procesu půdy lehké, středně těžké a těžké (Štýs, 1981).

Důležitým činitelem při vzniku půd je biologické zvětrávání (Štýs, 1981). Rostliny produkují biomasu, ve které přeměňují látky, které si berou z půdy a zpět je vrací opadem (Štýs, 1981). Opad prochází cyklem rozkladu za pomoci reducentů a tím vzniká humusová vrstva (Štýs, 1981). Důležitá je při tvorbě výsypkových půd kořenová soustava, která se stává základním humusotvorným substrátem (Štýs, 1981). Kořenová soustava navíc působí v nově vznikající půdě jako drenáž (Štýs, 1981). Kořeny také vylučují organické kyseliny, které chemicky narušují horniny (Štýs, 1981). Výsypky jsou velmi rychle osídlené mikroflórou (Štýs, 1981). Půdní makrofauna nezvyšuje mineralizaci profilu, ale promíchává opad s minerální vrstvou (Frouz, 2002). Tento efekt je výraznější v rekultivovaných částech výsypky (Frouz et al., 2005). Populace kroužkovců, důležité součásti půdní makrofauny, se zvyšuje se zvyšujícím se pH, snižujícím se obsahem polyfenolů, konduktivitou a obsahem hliníku a železa (Frouz, 2004). V rekultivovaných částech výsypky roste počet druhů a biomasa kroužkovců rovnoměrně od tří let do 46 let po provedení rekultivace (Dunger, 2005). Důležitým faktorem pro vývoj půdní fauny je pH. Mnoho mikroorganismů se vyvíjí v rozmezí pH 4-9, acidofilní organismy žijí i v prostředí, které má pH nižší 1 (Bardgett, 2005). Z kroužkovců dominují v kyselých půdách enchytraeidi (Bardgett, 2005).

Vliv na vznik půdy má také reliéf výsypek. Tento faktor se uplatňuje expozicí, nadmořskou výškou, členitostí a s tím spojenou odlišností mikroklimatu, vodního režimu a vodní erozí (Štýs, 1981). Vrstva humusu se začíná objevovat ve 24 let staré výsypce. V depresích se tvoří rychleji než na vyvýšeninách (Frouz et al., 2007)

Podzemní voda se na výsypkách projevuje nepříznivými tendencemi - ať už nedostatkem nebo přebytkem a důležité je její ustálení v optimálním režimu (Štýs, 1981). Velikost odtoku se snižuje exponenciálně s růstem vegetačního krytu (Moreno-de las Heras, 2009). Vegetační kryt zvyšuje trvalou infiltraci odtokové vody (Moreno-de las Heras, 2009).

METODIKA

Vzorky byly odebrány na konci dubna 2009 na výsypkách a v povrchových velkolomech Sokolovské hnědouhelné společnosti. Souřadnice jednotlivých lokalit a popis jednotlivých vzorků naleznete v tabulce 1. Vzorky byly nabrány do igelitových pytlů a odvezeny do laboratoře.

Z každého pytle bylo odebráno 100 g substrátu (popis vzorků a jejich složení naleznete v tabulce 1. a 2.). Tento substrát byl dán do plastových lahví. Od každého ze sedmi substrátů byly odebrány 4 vzorky. V prvním cyklu bylo přidáno 100 ml destilované vody. Přes noc se vzorky nasákly vodou. Poté byly vzorky zmrazeny na jeden den při teplotě -18°C. Po vyjmutí z mrazničky vzorky jeden den roztávaly a přebytečná voda byla slita. Poprvé byly vzorky sušeny 1 den při 40 °C. Po usušení bylo do lahví nalito opět 100 ml vody. Tento cyklus byl dvacetkrát opakován s malými úpravami. Od druhého cyklu se vzorky sušily 2 dny při 40°C. Od čtvrtého cyklu bylo do vzorků přiléváno jen 30 ml destilované vody. Po ukončení posledního cyklu byl substrát znovu zvážen a zjištěn úbytek váhy.

Na substrátu před cyklem a po cyklu byl proveden test s rostlinami. Na test bylo použito kvalitní osivo hořčice žluté (*Sinapis alba*). Do plastových kelímků byla nasypána vrstva cca 3 cm substrátu. Do každého kelímku bylo zaseto 20 semen. Každý substrát byl zastoupen třemi kelímky. Test substrátu před cyklem urychleného zvětrávání byl proveden na zahradě, chráněn textilií proti ptákům a škůdcům. Test substrátu po 20 cyklech byl proveden v bytovém prostředí na parapetu. Test trval 14 dnů. Poté byly rostliny změřeny a spočítány. Měřila se délka jejich kořene a hypokotylu.

Před cyklem a po cyklu urychleného zvětrávání bylo zváženo a spočítáno procento zastoupení frakce menší 2 mm. Tyto údaje byly součástí hustoměrné metody zrnitosti (podle A. Casagrandeho). Test zrnitosti byl proveden ve válcích o objemu 1000 ml. Substrát před testem byl zalit destilovanou vodou, krátce povařen, nalit do válce a zalit destilovanou vodou do objemu 1000 ml. Poté byl obsah válce rovnoměrně promíchán protřepáním a hustoměrem byla měřena hustota v časových intervalech 30 sekund, 1 minuta, 2 minuty, 5 minut, 15 minut, hodina a 24 hodin. Test měření hustoměrem byl na každém substrátu proveden dvakrát. Podle vzorce byla spočítána zrnitost.

V roztoku slitém z rozmraženého substrátu přes filtrační papír byla v prvním a ve dvacátém cyklu změřena konduktivita a pH.

Po prvním a po dvacátém cyklu byl substrát dvakrát zvážen. Poprvé po rozmrznutí a slití přebytečné vody, podruhé po usušení. Rozdíl hodnot ukázal změnu nasákivosti substrátů.

Tabulka 1.: Popis a označení vzorků, podle Rojíka (osobní sdělení, 2010)

Označení vzorku	UJ1	UJ2	UJ3	CJK	CJ1	CJ2	CJ3
Název vzorku + GPS souřadnice	Uhelnatý jíł Chodov 50°14'24.831"N 12°43'26.011"E	Uhelnatý jíł Marie 50°11'38.82"N 12°39'56.198"E	Lomnice 3 50°12'45.699"N 12°38'42.892"E	Kaolinic-ký cypris Marie 50°11'32.104"N 12°40'10.044"E	Cypris Marie lupeny 50°11'35.173"N 12°40'14.535"E	Cypris Marie 50°11'37.092"N 12°40'16.561"E	Cypris V. 50°15'16.897"N 12°44'12.218"E
Původní stratigrafická pozice	oligoceń, novosedelské souvrství	miocén, sokolovské souvrství, antonínské vrstvy	miocén, sokolovské souvrství, antonínské vrstvy	miocén, cyprisové souvrství	miocén, cyprisové souvrství, střední část	miocén, cyprisové souvrství, spodní část	miocén, cyprisové souvrství
Petrografický popis	Jíł prachovitý, s písčitou a uhelnou příměsí, světle hnědošedý, klastickou příměsí tvoří muskovit, sericit, jemnozrný křemen, místy rozložený pyrit, uhelnou příměsí tvoří jemný pigment a prouhelnlé kofínky, hornina byla po usazení druhotně zvěřená, došlo k promíchání vrstev různé zrnitosti, pravděpodobně fosilní půda	Jíł prachovito-písčitý, místy až jílovito-prachovitý písek, s uhelnou příměsí, světle hnědošedý, klastické částice tvoří ostrohnaný křemen > muskovit, živec, intraklasty jílovitého písku	Jíł prachovito-písčito-šterkovitý, uhelnatý, světle hnědý, šterkové částice z intraklastů této jílu, pískové částice tvoří ostrohnaná zrna křemene, muskovitu a uhlí, zastoupení zrnitostních frakcí ve vzorku kolísá, jílová frakce obsahuje uhelný pigment, celá hornina je prouhelnlá prouhelnlými kofínky (zploštělá vlákna xylitu do 2 mm), je střípkovitě rozpadavá, jen s místy naznačenou laminací, po usazení byla přepracována bioturbací - fosilní půda	Jíłovec prachovitý, světle zelenošedý, laminovaný, s klastickými povlaky písčitého prachu, složeného ze sericitu >> muskovitu, křemene a oxidovaného organického detritu	Jíłovec karbonátický, bitumenní, světle hnědošedý, tence laminovaný, s klastickými povlaky prachu, složeného ze sericitu >> křemene, organického detritu a karbonátu	Jíłovec prachovitý, pravděpodobně karbonátický, světle zelenošedý, s peletovou strukturou, tence deskovitě vrstevnatý, s klastickými laminami prachovitěho písku, složeného z muskovitu, křemene a druhotně vykrystalizovanéh o karbonátu	Jíłovec prachovitý, pestrobarevný, z úlomků světle zelenošedé, světle šedé, oranžové a světle hnědošedé barvy, laminovaný, prokládaný klastickými laminami prachovitěho písku, složenými ze sericitu > muskovitu, křemene, organického detritu a karbonátu, na vrstevních plochách zčernalé otisky listů
Stav vzorku	drobné zaoblené střípky v rovnováze s jemnými částicemi	jemné prachové a jílové částice > střípky	střípky v rovnováze s jemnými částicemi	ploché destičky > jemné částice	lupínky > jemné částice	hrudky > jemné částice jílu a prachu	ploché destičky > jemné částice
Stupeň zvětrání vzorku	zvětralý (desintegrace, rezavé povlaky Fe-hydroxidu, hodně černých manganatých záteků)	navětralý (desintegrace, krystalizace karbonátů na střípkách, slabý simý zápach)	zvětralý, (střípkovitý rozpad, rekrystalizace)	téměř nezvětralé	zvětralý (vrstevní plochy s rezavými povlaky Fe-hydroxidu, druhotná krystalizace karbonátu)	nezvětralý	zvětralý (desintegrace, železitě a manganatě záteky, směs jíloveč, prostoupená kofínky y recentních rostlin)

Tabulka 2. Složení vzorků (osobní sdělení Rojíka 2010)

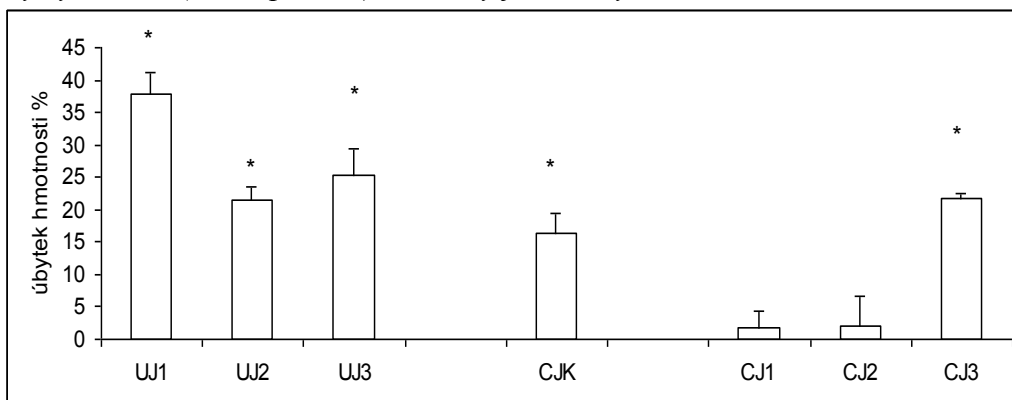
Označení vzorku	Podstatné množství (nad 10 %)	Vedlejší množství (1-10 %)	Akcesorické množství (pod 1 %)
Uhelnatý jíł Chodov	kaolinit, křemen	illit, sericit, muskovit, uhelná substance	Pyrit, goethit, oxidy manganu
Uhelnatý jíł Marie	<i>Kaolinit</i> , křemen	Muskovit, živce, <i>illit</i> , <i>anatas</i> , <i>rutil</i> , <i>siderit</i> , uhelná substance	<i>leukoxen</i> , <i>pyrit</i>
Lomnice 3	<i>Kaolinit</i> , křemen, muskovit, uhelná substance	<i>anatas</i>	<i>pyrit</i>
Kaolinický cypris Marie	<i>Kaolinit</i> (57 %)	křemen, sericit až <i>illit</i> , <i>siderit</i> , <i>kalcit</i> , živce	Muskovit, organický detrit, <i>anatas</i> , <i>pyrit</i>
Cypris Marie lupeny	<i>Kaolinit</i>	sericit, křemen, kerogen řasového původu, <i>illit</i> , <i>montmorillonit</i> , <i>siderit</i> , <i>analcim</i> , živce	goethit
Cypris Marie	<i>Kaolinit</i> (75 %)	křemen, muskovit, <i>illit</i> až <i>sericit</i> , <i>siderit</i> , <i>kalcit</i> , živce	<i>anatas</i> , <i>pyrit</i>
Cyprisy V	kaolinit, křemen, illit	sericit, muskovit, <i>kalcit</i> , <i>siderit</i> , organická hmota (kerogen převážně řasového původu)	Organická hmota (detrit z prouhelných rostlinných pletiv), goethit, Mn-oxidy

Vysvětlivka. Normálním písmem: složení horniny zjištěné přímo na vzorku rtg. difrakcí (sdělení M. Řehoř 2010) a optickými metodami, *kurzívou*: pravděpodobné složení, předpokládané na základě archivních analýz stejných vrstev v blízkém okolí (Rojík 2004)

VÝSLEDKY

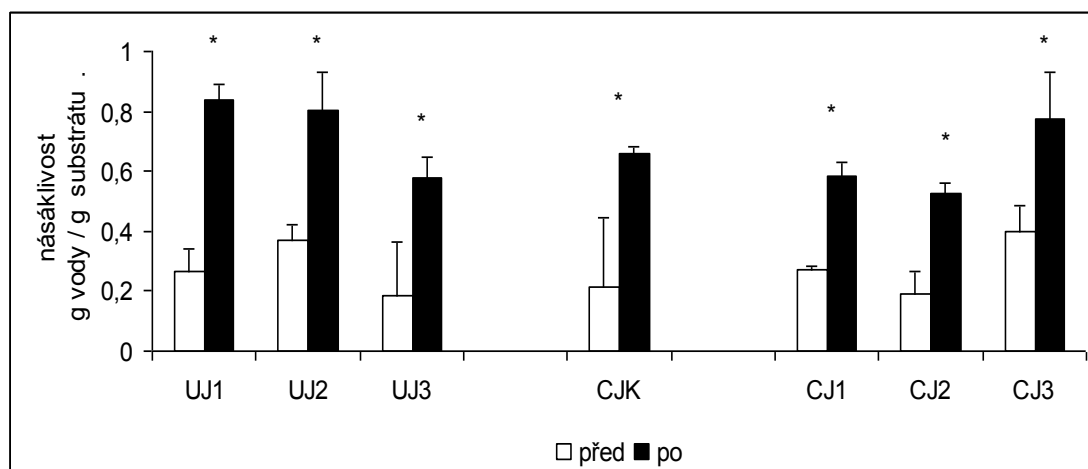
Největší úbytek hmotnosti vykazuje skupina uhelných jíílů (Obr. 6.). Celkový úbytek je způsoben přeměnou hornin při zvětrávání. Některé složky horniny se mohly vyluhovat do roztoku, který se v jednotlivých cyklech sléval. Téměř nulový úbytek hmotnosti vykazují cyprisové jíly CJ1 a CJ2, jejichž struktura je velmi hrubozrnná. Jejich listková a destičková struktura se zachovala po celou dobu pokusu. Z těchto jíílů dochází k největšímu úbytku u jíilu CJ 3, který již před pokusem zvětrával na výsypce více jak 40 let.

*Obr. 6.: Úbytek hmotnosti jednotlivých druhů substrátů po 20 cyklech zrychleného zvětrávání v procentech původní hmotnosti. Průměr a směrodatná odchylka, úbytky označené * jsou statisticky významné (t-test, $p < 0.05$). Zkratky jednotlivých substrátů naleznete v tabulce 1.*



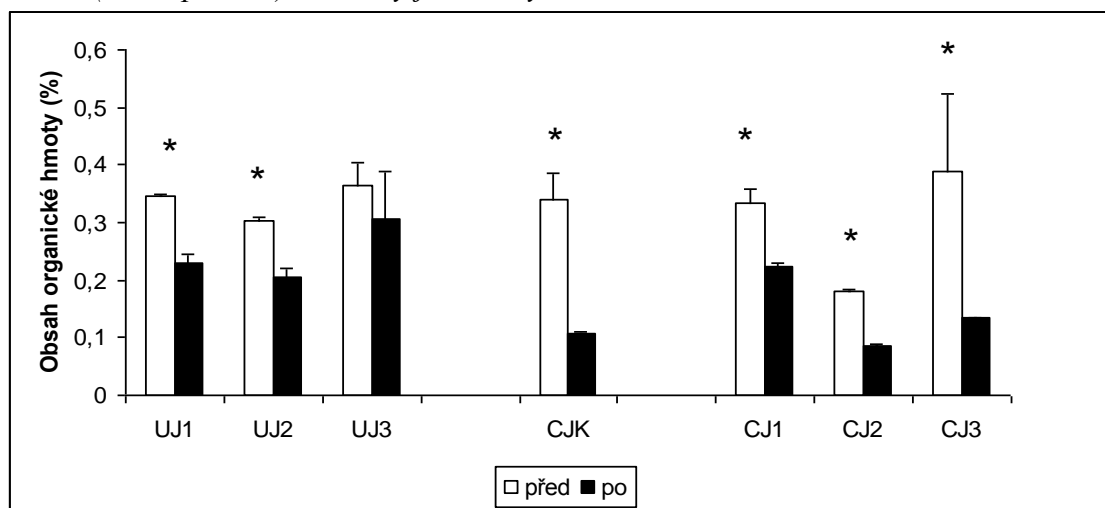
Porovnání nasáklivosti (Obr. 7.) ukazuje růst nasáklivosti u všech sledovaných substrátů. Tato změna ukazuje na změnu složení jednotlivých minerálů. U uhelných jíílů se dá předpokládat vyšší obsah kaolinu.

*Obr. 7.: Změna nasáklivosti jednotlivých druhů substrátů před a po 20 cyklech zrychleného zvětrávání. Průměr a směrodatná odchylka, rozdíly mezi hodnotami před a po označené * jsou statisticky významné (t-test, $p < 0.05$). Zkratky jednotlivých substrátů naleznete v tabulce 1.*



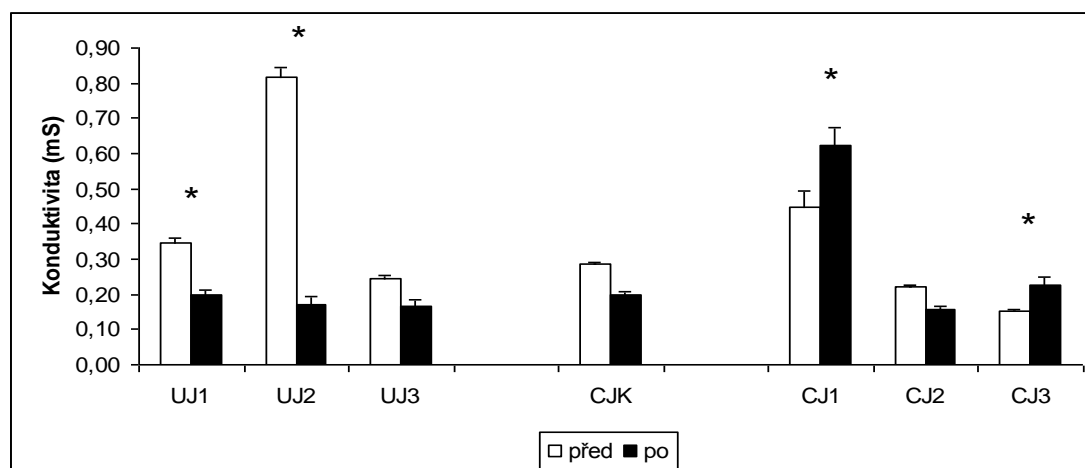
Na počátku pokusu byl obsah organické hmoty (Obr. 8.) u všech vzorků s výjimkou CJ2 podobný. Během pokusu došlo u všech sledovaných substrátů s výjimkou UJ3 k statisticky významnému poklesu obsahu organické hmoty. U skupiny uhelných jíílů zaznamenáváme menší pokles obsahu organiky než u ostatních vzorků.

*Obr. 8: Změna obsahu organické hmoty jednotlivých druhů substrátů před a po 20 cyklech zrychleného zvětrávání v procentech původní hmotnosti před žiháním při 550°C. Průměr a směrodatná odchylka, rozdíly mezi hodnotami před a po označené * jsou statisticky významné (t-test, $p < 0.05$). Zkratky jednotlivých substrátů naleznete v tabulce 1.*



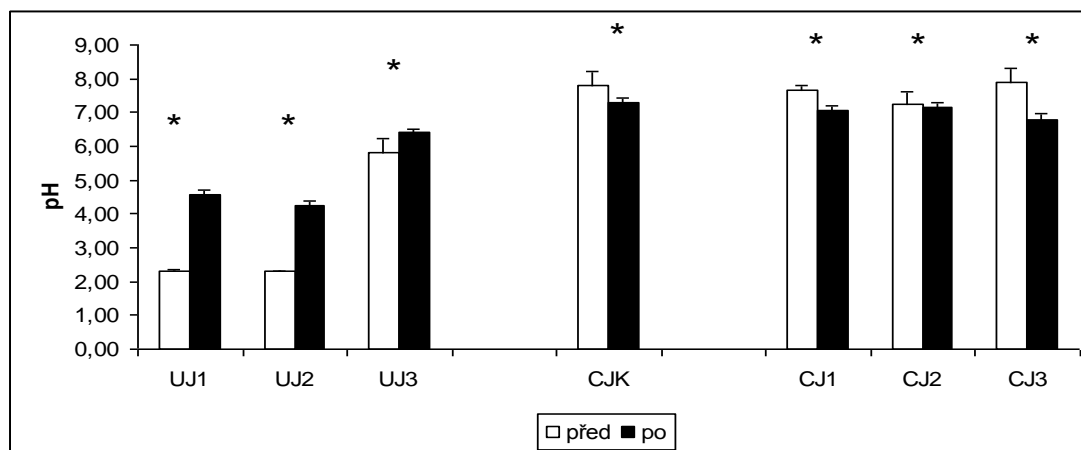
U skupiny uhelných jíílů konduktivita klesá (Obr. 9.) a srovnává se na podobnou hodnotu. Vzorek CJK vykazuje stejný trend jako uhelné jíily i když rozdíl není statisticky významný. Konduktivita skupiny cyprisových jíílů je na konci pokusu buď statisticky významně větší než na jeho začátku (CJ1 a CJ3) nebo se během pokusu statisticky významně nemění (CJ2).

*Obr. 9.: Změna konduktivity jednotlivých druhů substrátů před a po 20 cyklech zrychleného zvětrávání v miliSiemensech. Průměr a směrodatná odchylka, rozdíly mezi hodnotami před a po označené * jsou statisticky významné (t-test, $p < 0.05$). Zkratky jednotlivých substrátů naleznete v tabulce 1.*



Na počátku pokusu měly uhelné jíly pH kyselé (Obr. 10.), ostatní vzorky měly pH mírně zásadité. Po 20 cyklech došlo u uhelných jílu k statisticky významnému nárůstu pH, u ostatních vzorků pH mírně, ale statisticky významně pokleslo. Celkově lze říci, že během zvětrávání má pH tendenci přibližovat se z obou stran k neutrální hodnotě. Největší změny byly zaznamenány u silně kyselých jílu, které se nejvíce lišily, naopak u mírně kyselých nebo mírně zásaditých substrátů jsou změny malé.

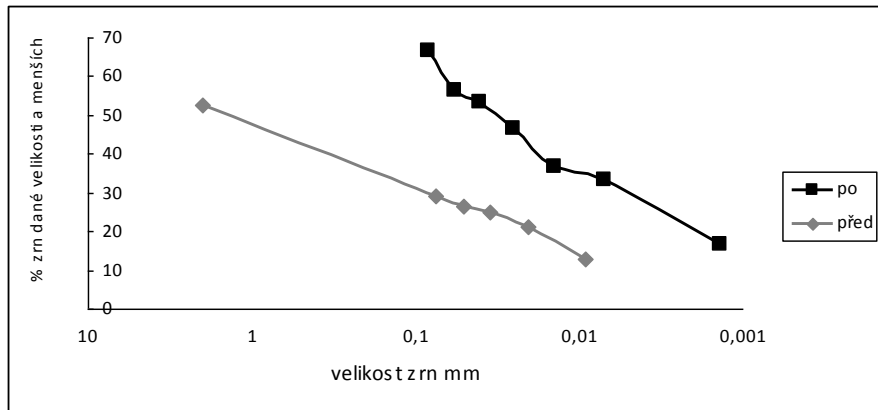
*Obr. 10.: Změny pH jednotlivých druhů substrátů před a po 20 cyklech zrychleného zvětrávání. Průměr a směrodatná odchylka, rozdíly mezi hodnotami před a po označené * jsou statisticky významné (t-test, $p < 0.05$). Zkratky jednotlivých substrátů naleznete v tabulce 1.*



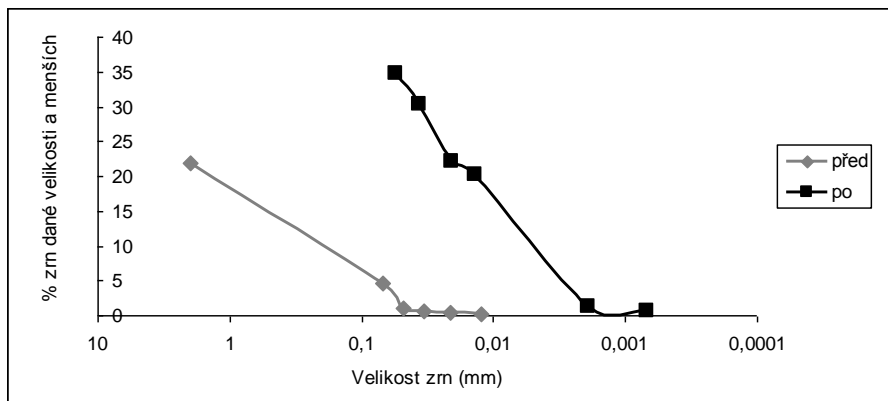
Všechny vzorky vykazují zvýšení obsahu zrn o velikosti pod 0,1 mm (Obr. 11. a,b,c,d,e,f). Vzorky CJK, CJ2 a CJ3 (Obr. 11.d,e,f) mají pouze křivku zaznamenávající hodnoty po 20 cyklech urychleného zvětrávání. Před pokusem měly zanedbatelně malý nebo žádný obsah frakce pod 2 mm. Vzorek CJ1 měl i po pokusu zanedbatelně malý obsah frakce pod 2 mm, z větších destiček vznikly menší lístky a proto tento substrát není v grafu zaznamenán. Vzorky CJK a CJ2 (Obr. 11.d,e) byly před pokusem nezvětralé nebo jen velmi málo zvětralé, a proto se jejich křivky po pokusu podobají křivkám ostatních vzorků před pokusem. Urychlené zvětrávání nevedlo ke vzniku vyššího obsahu fyzikálního jílu (frakce pod 0,001mm) s výjimkou substrátu UJ1 (Obr. 11.a). Důvodem vyššího obsahu fyzikálního jílu je pokročilost zvětrávání substrátu UJ1. Tento substrát byl odebrán z místa, které bylo rekultivováno přibližně před 40 lety.

Obr. 11.: Změna zrnitosti jednotlivých druhů substrátů před a po 20 cyklech zrychleného zvětrávání v procentech zrn dané velikosti a menších. U Obr. 6 d- f je křivka zaznamenávající průběh zrnitosti pouze po pokusu, protože před pokusem byla frakce pod 2mm zanedbatelně malá nebo žádná. U vzorku CJ1 byla frakce pod 2 mm bezvýznamná i po pokusu. Zkratky jednotlivých substrátů naleznete v tabulce 1.

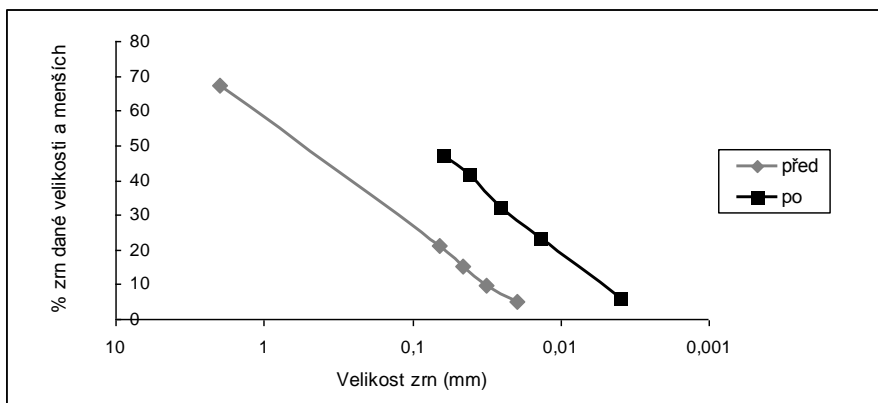
Obr. 11.a- UJ1



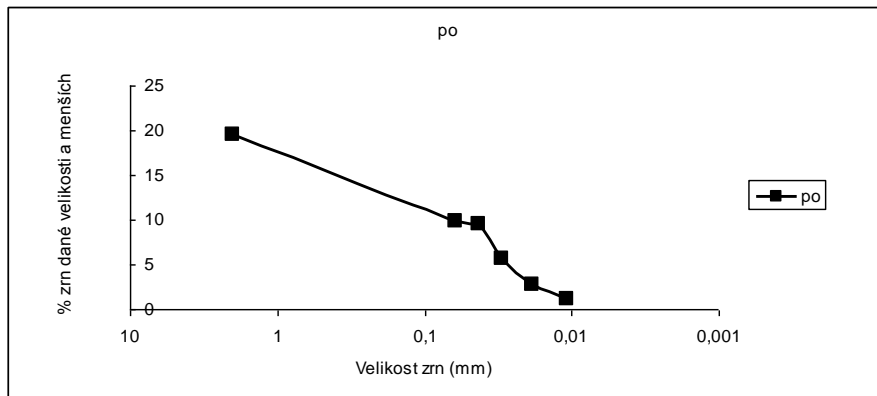
Obr. 11.b- UJ2



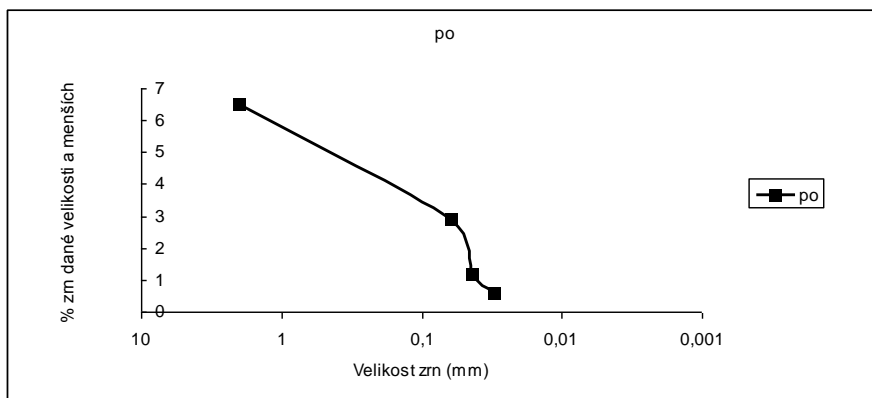
Obr. 11.c- UJ3



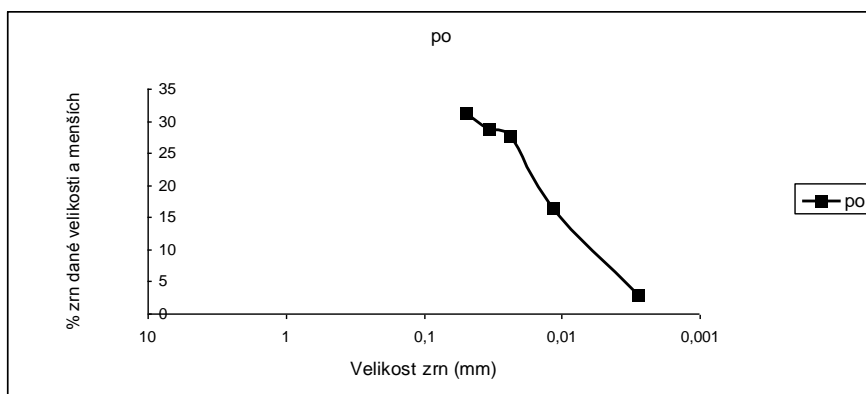
Obr. 11.d- CJK



Obr. 11.e- CJ2



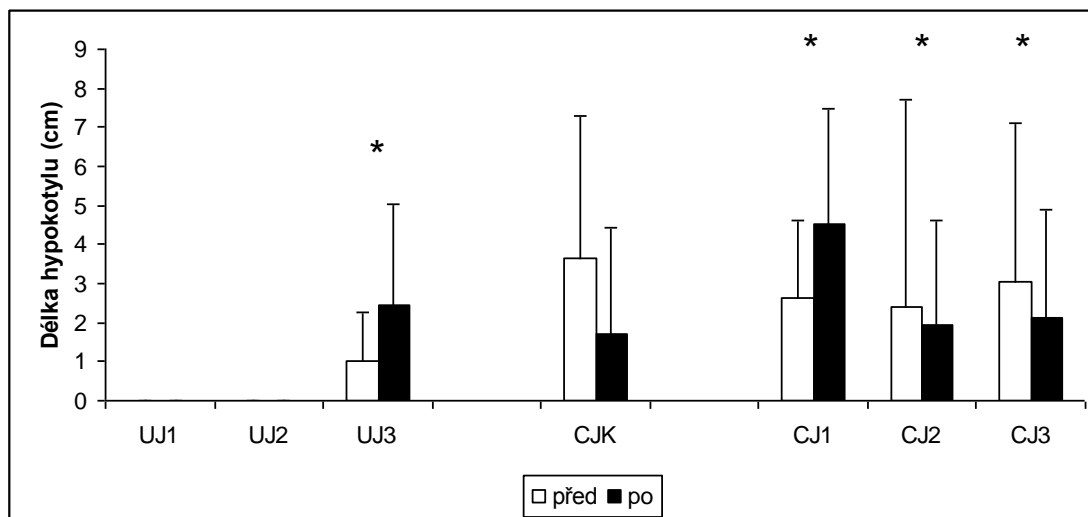
Obr. 11.f- CJ3



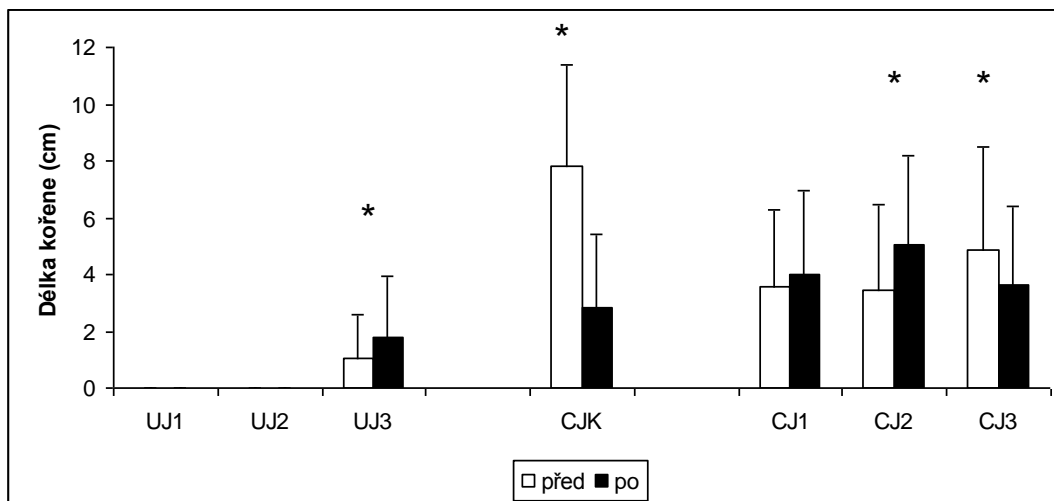
Z testu výsevu rostlin vyplývá (Obr. 12.a,b), že vzorky s nejnižším pH označené UJ1 a UJ2 jsou pro hořčici toxické, a to jak před zvětráváním, tak po něm. Příčinou patrně není jen velmi nízké pH, protože ani po zvýšení pH se růst nezlepšil. U vzorků UJ3 a CJ1 je zaznamenáno zlepšení růstu hypokotylu (Obr. 12.a). Vzorky CJ2 a CJ3 vykazují mírný pokles růstu hypokotylu. Vzorek UJ3 vykazuje mírné zlepšení růstu kořene (graf 12.b), ale půda je

pro rostlinu stále mírně toxická. Vzorek CJK vykazuje velké zhoršení růstu kořene. U vzorků CJ1 a CJ2 je pozorované mírné zlepšení a vzorek CJ3 vykazuje mírné zhoršení růstu kořene.

*Obr. 12.a: Změny délky hypokotylu hořčice žluté (Sinapis alba) po 14 dnech růstu v jednotlivých substrátech před a po 20 cyklech zrychleného zvětrávání. Průměr a směrodatná odchylka, rozdíly mezi hodnotami před a po označené * jsou statisticky významné (t-test, $p < 0.05$). Zkratky jednotlivých substrátů naleznete v tabulce 1.*



*Obr. 12.b: Změny délky kořene hořčice žluté (Sinapis alba) po 14 dnech růstu v jednotlivých substrátech před a po 20 cyklech zrychleného zvětrávání. Průměr a směrodatná odchylka, rozdíly mezi hodnotami před a po označené * jsou statisticky významné (t-test, $p < 0.05$). Zkratky jednotlivých substrátů naleznete v tabulce 1.*



DISKUZE

Toxické substráty mají vysoký obsah solí sodíku, hliníku a železa (Frouz et al., 2004). Tyto uvolněné těžké kovy způsobují toxicitu pro rostliny. Přestože v řadě případů byly zaznamenány signifikantní rozdíly v růstu rostlin na substrátech před a po urychleném zvětrávání, jsou absolutní hodnoty těchto změn relativně malé a odhady toxicity čerstvých výsypkových substrátů (Frouz et al., 2005) dávají dobrý odhad jejich toxicity i po určitém období zvětrávání. V souladu s Frouzem et al. (2005) se ukázalo, že substráty s extrémně nízkým pH a vysokou konduktivitou, zejména uhelné jíly, jsou velmi toxické pro růst rostlin. Nicméně tato toxicita se významně nesnižuje ani po urychleném zvětrávání, i když došlo k výraznému vzestupu pH. To ukazuje, že toxicita může souviset s jinými faktory, jejichž přirozený výskyt je s pH korelován, ale přímo na něm nezávisí. Nízké pH způsobené zvětráváním pyritu způsobuje uvolňování těžkých kovů (Garcia et al., 2009). Zvětrávání může vést k vzestupu pH, ale substráty i po změně zůstávají toxické. To může být způsobeno nedostačujícím vyplavením těžkých kovů, které při zvýšení pH přestávají být mobilní a zůstanou v substrátu. Protože rostliny si při příjmu živin často okyselují své bezprostřední okolí, těžké kovy jsou rozpuštěny a vstřebány rostlinou.

Substráty CJK a CJ3 mají největší ztrátu organické hmoty. U těchto dvou substrátů lze také pozorovat snížení růstu rostlin. U substrátu CJK byl pokles růstu značný. Příčiny tohoto poklesu nejsou zcela zjevné. Ze substrátu se mohla vyplavit důležitá organická složka a tím se snížila schopnost růstu rostlin. Je též možné, že došlo k zhoršení fyzikálních vlastností substrátu. Tyto výsledky jsou v souladu i s dlouhodobým pozorováním různých výsypkových substrátů v terénu. Místa na výsypce, kde byly vysypány tyto uhelné jíly, zůstávají dlouho bez vegetace. Z mého pozorování na výsypce tato toxická místa dokáže osídlit ve větším počtu jedinců pouze bříza (*Betula pendula*). Tato holá místa, jen občas porostlá odolným jedincem, by mohla do budoucna zajistit větší míru heterogenity prostředí. Naopak na cyprisových jílech se na Sokolovsku ve velké míře uplatňuje lesnická rekultivace s výsadbou prostokořenných sazenic, které se dobře rozvíjí v neupravených cyprisových jílech a i v místech samovolné sukcese se vytváří les. Rychle se zde vytváří půdní profil (Frouz et al., 2007).

Jak již bylo zmíněno, v jednotlivých substrátech dochází k posunu pH směrem k neutrálním hodnotám. To patrně souvisí s vyplavováním iontů. Lze očekávat, že více se vyplavují soli silných kyselin a silných zásad, které jsou obecně rozpustnější. Proto může

docházek k preferenčnímu vyplavení síranů u kyselých ploch a sodných iontů u alkalických ploch, což může podpořit pozorovaný trend v posunu pH.

U všech substrátů byl pozorován rozpad na menší částice a tomu odpovídající vzestup nasáklivosti.

Největší úbytek hmotnosti mají uhelné jíly (až téměř 40%). Vzhledem k tomu, že uhelné jíly vykazují i největší pokles konduktivity, může být tento úbytek alespoň z části způsoben úbytkem solí, které mohly být rozpuštěny v roztoku a slity.

V testu obsahu organiky zůstává větší podíl organiky v uhelných jílech. Uhelne jíly obsahují vysoký podíl uhlí, ostatní substráty obsahují kerogeny. Kerogeny jsou méně stabilní oproti uhlí, a proto se rychleji rozkládají a v substrátech se rychleji snižuje obsah organiky.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo najít základní rozdíly ve vývoji vlastností nejčastějších výsypkových substrátů Sokolovska. Pokus s urychleným zvětráváním ukázal změny všech základních vlastností substrátů, většinou s pozitivní tendencí. Bylo také zjištěno, že vývoj substrátů při urychleném zvětrávání probíhá rychleji než zvětrávání v přírodě. Vývoj toxicity pro rostliny se ukázal různý. Uhelné jíly i při zlepšení testovaných vlastností zůstaly pro rostliny toxické. Jediný uhelný jíl v Lomnici směřuje ke zlepšení toxicity. Některé další substráty ukázaly zhoršení růstu rostlin. Pokus urychleného zvětrávání ukázal podobné tendence jako má vývoj substrátů na výsypkách. Konduktivita se snížila a pH směřuje k neutrální hodnotě.

Cílem práce bylo ukázat na důležitost zvětrávání při vývoji vlastností půd vznikajících na výsypkových substrátech a jejich spojení s vývojem toxicity substrátů, jež ovlivňuje růst rostlin.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Allouache A. a kolektiv: Soil moisture variability and acid mine drainage in the spoil dump of pyritized hydroquartzite in the region of Banska Stiavnica, Slovakia, *Carpathian journal of earth and environmental sciences* 4, 2009

Blatt H., Middleton G., Murray R.: Origin of sedimentary rocks, *Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey* 1972, str. 217- 254

Bardgett R.: The biology of soil, A community and ecosystem approach, *Oxford university press* 2005, str. 22-23

Dideriksen K. a kolektiv: Paleo-redox boundaries in fractured granite, *Geochemica et cosmochimica acta* 72, 2010, str. 2866- 2880

Dunger W., Voigtlander K.: Assessment of biological soil quality in wooded reclaimed mine sites, *Geoderma* 129, 2005, str. 32-44

Frouz J. a kolektiv: Determination of toxicity of spoil substrates after brown coal mining using a laboratory reproduction test with *Enchytraeus crypticus* (Oligochaeta), *Water, Air and Soil Pollution* 162, 2005, str. 37-47

Frouz J. a kolektiv: Effects of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed post mining sites: Results of a field microcosm experiment, *Applied soil Ecology* 33, 2006, str. 308-320

Frouz J. a kolektiv: Interaction between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites, *European journal of soil biology* 44, 2008, str. 109- 121

Frouz J. a kolektiv: Tvorba nové krajiny na Sokolovsku, *Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s., Sokolov 2007*

Garcia I. a kolektiv: Mobility of arsenic and heavy metals in Sandy- loam textured and carbonated soil, *Pedosphere 19, 2009*

Geofond: Surovinové zdroje České republiky nerostné suroviny (stav 2008), *Ministerstvo životního prostředí, České geologická služba- Geofond 2009*, str.165-166

Chlupáč I. a kolektiv: Geologická minulost České republiky, *Academia 1992*, str. 307- 311

Jonáš F. : Určení způsobů rekultivace a tvorba nových půd na výsypkách v severočeském hněduhelném revíru, *Výzkumný ústav meliorací, Praha- Zbraslav n. Vlt. 1975*, str. 49- 109

Krajíček L., Rothbauer I.M.: Územní prognóza území dotčeného těžbou hnědého uhlí na Sokolovsku, *Atelier T-plan s.r.o., Praha 2003*, str. 25-26

Lhotský J. a kolektiv : Kultivace a rekultivace půd, *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha 1994*, str. 143- 156

Moreno-de las Heras M., Merino- Martin L., Nicolau J.M.: Effect of vegetation cover on the hydrology of reclaimed mining soils under Mediterranean- Continental climate, *Catena 77, 2009*, str. 39- 47

Moreno- Jimenez E. a kolektiv: The fate of arsenic in soil adjacent to an old mine site (Bustarviero, Spain): mobility and transfer to native flora, *Journal of soils and sediments 10, 2010*

Onder M., Yigit E.: Assesment of respirable dust exposures in an opencast coal mine, *Environmental monitoring and assessment 152, 2009*

Petránek J.: Usazené horniny jejich složení, vznik a ložiska, *nakladatelství Československé akademie věd, 1963*, str. 327- 364, 551- 584

Sokolovská uhelná: Zpráva o hospodaření za rok 2008, *Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s., Sokolov 2009*

Štýs S. a kolektiv: Rekultivace území postižených těžbou nerostných surovin, *SNTL Nakladatelství technické literatury, Praha 1981*, str. 61- 126, 362- 502, 607- 618

Tan, Kim Howard : Environmental soil science, *New York: M. Dekker, 1994*, str. 33- 36

Valášek V., Chytka L.: Velká kronika o hnědém uhlí, minulost, současnost a budoucnost těžby hnědého uhlí v severozápadních Čechách, *G2 studio s.r.o., 2009*, str. 31- 33, 108- 119, 160-167, 264- 265