

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta
Katedra Agroekologie

Studijní program: **4131 B** Zemědělství
Studijní obor: Agroekologie



Hydrovodivost pod různými rekultivačními porosty

Vedoucí bakalářské práce:
prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.

Autor:
Jiří Cejpek

2009

Poděkování

Rád bych poděkoval mému bývalému vedoucímu práce prof. Ing. Rostislavu Ledvinovi, CSc. za cenné rady a kontakty. Můj dík patří stávajícímu vedoucímu práce prof. Ing. Stanislavu Kuželovi, CSc. Velké poděkování směřuji mému školiteli doc. Ing. Mgr. Janu Frouzovi, CSc. za umožnění tuto bakalářskou práci realizovat, děkuji mu za nezbytné rady, motivaci, pomoc, připomínky a podporu. Dík patří také Jitce Weydové, Mgr. Ondřeji Mudrákovi z ÚPB AV ČR a firmě Gematest spol s.r.o. za pomoc při laboratorních pracích. Za psychickou a finanční podporu děkuji velmi svým rodičům.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma: „*Hydrovodivost pod různými rekultivačními porosty*“ vypracoval samostatně s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu literatury, vlastních získaných poznatků a po odborných konzultacích s vedoucím bakalářské práce a školitelem.

Dále prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě, fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG, provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne

.....
podpis

Obsah

1. Úvod	6
2. Cíl	7
2.1. Cíl práce.....	7
3. Literární rešerše.....	8
3.1. Půda.....	8
3.1.1. Pojem půda.....	8
3.1.2. Ekologie půdy.....	9
3.1.3. Ochrana půdy.....	10
3.2. Území postižené těžbou.....	10
3.2.1 Klady a zápory hornické činnosti.....	10
3.2.1.1. Vliv na hydrosféru.....	11
3.2.1.2. Vliv na litosféru.....	11
3.2.1.3. Vliv na atmosféru.....	11
3.2.1.4. Vliv na pedosféru.....	12
3.2.1.5. Vliv na biosféru	12
3.3. Výsypky.....	12
3.3.1. Vlastnosti výsypkových půd.....	14
3.3.2. Stanoviště vzácných druhů.....	15
3.4. Rekultivace.....	16
3.5. Vodní režim krajiny.....	19
3.5.1. Péče o vodu.....	19
3.5.2. Fyzikální vlastnosti, vodní režim rekultivovaných půd.....	20
3.5.2.1. Vlhkost půdy.....	21
3.5.2.2. Hydraulická vodivost.....	23
3.5.2.3. Oblast použití.....	24

4. Metodika práce.....	26
4.1. Popis území.....	26
4.1.1. Sokolovský region.....	26
4.1.1.1. Geologické poměry.....	26
4.1.1.2. Historie a současnost hornické činnosti v sokolovské pánvi..	27
4.1.1.3. Popis sledovaných ploch.....	28
4.2. Použité metody.....	30
4.2.1. Terénní práce.....	30
4.2.1.1. Hydraulická vodivost.....	30
4.2.1.2. Půdní vlhkost.....	32
4.2.2. Laboratorní práce.....	33
4.2.2.1. Půdní uhličitany Ca.....	33
4.2.2.2. Stanovení zrnitostního složení.....	35
5. Výsledky.....	37
5.1. Hydraulická vodivost.....	37
5.2. Půdní vlhkost.....	38
5.3. Půdní uhličitany.....	40
5.4. Stanovení zrnitostního složení.....	42
6. Diskuze	43
6.1. Hydraulická vodivost pod různými rekultivačními porosty.....	43
7. Závěr	47
8. Použitá literatura.....	48
9. Přílohy.....	51

Souhrn

Velká podkrušnohorská výsypka na Sokolovsku je největší výsypkou v České republice, která vznikla přesunem milionů tun zeminy z povrchové těžby hnědého uhlí. Díky rozsáhlému měření fyzikálních a chemických vlastností na rekultivovaných i nerektivovaných výsypkových půdách byla zjištěna i řada hydrologických pochodů, hydraulická vodivost byla měřena Guelphským permeametrem, vlhkost Dielektrickým měřičem vlhkosti a v neposlední řadě půdní karbonáty Ca Jankovým vápnoměrem. Vodní režim a % zastoupení karbonátů je výrazně ovlivněn technologií sypání a stářím výsypek obou typů, rozdíly mezi depresními a vrcholovými částmi na nerektivovaných půdách jsou průkazné díky trhlinám ve vrcholových částech. Svou roli plní také rekultivační porosty, které hrají důležitou roli v půdotvorném procesu.

Klíčová slova

Výsypky, Rekultivace, Hydraulická vodivost, Půdní vlhkost, Uhličitany Ca.

Summary

Velka podkrušnohorská spoil heap in the Sokolovsko region is the largest heap in the Czech republic, which was created by transferring millions of tons of soil from opencast mining of brown coal. According to a large measuring (large land surveying) of physical and chemical properties on the reclaimed and unreclaimed heap soil were found many hydrological properties. Hydraulic conductivity was measured by Guelph permeameter, moisture was measured by Dielectrical indicator of moisture and last but not least soil carbonates Ca was measured by Janek's carbonmeter. Water mode and percentual representation of carbonates is markedly influenced by the technology of sending and by the age of heaps of both types, differences between bottom parts and top parts on unreclaimed soil are conclusive due to crevasses on the top parts. The other factor is the presence of reclaimed vegetation, which have an important role in the pedogenic process.

Keywords

Spoil heaps, Recultivation, Hydraulic conductivity, Soil humidity, Carbonates Ca

1 Úvod

Půda je nejen hlavním prostředkem k výrobě potravin, ale je i neobnovitelným přírodním zdrojem a významnou složkou krajiny, jejíž charakter a ekologickou hodnotu do značné míry určuje.

Těžba nerostů a zejména pak povrchová těžba hnědého uhlí způsobuje značné poškození ekosystémů včetně půdy. Těžbou uhlí se narušují půdní poměry, mikroklimatické, hydrologické a vegetační. Dochází k rozrušení původních půd, jejich morfologických a genetických znaků, které charakterizují půdní profil (**Špiřík, 1994**).

Rekultivace půd se stala povinností v okamžiku určované činností člověka a způsobem jeho hospodaření s půdou, kdy člověk svou činností začal půdu poškozovat. Nutný úkol je uchování produkčních a ekologických funkcí půd, ale i poznání zdrojů a příčin poruch těchto nezastupitelných půdních funkcí (**Janeček, 1994**).

Důležitým a dosud opomíjeným problémem je hospodaření s vodou na výsypkách (**Čermák, 2003**). Z hlediska půdních organismů je vodní režim velmi důležitý, dá se říci, že je dominantní **Kuráží (2003)**.

Na navážkách obvykle chybí hladina podzemní vody a organismy jsou často postihovány nedostatkem vláhy; naopak v depresích po vytěžení substrátů se voda hromadí; poklesy území v důsledku báňské činnosti jsou rovněž zaplavovány vodou. Uměle vytvořené svahy s východní a jižní expozicí trpí nedostatkem vláhy. Převládajícím negativním jevem v souvislosti se změnami vodního režimu je vysušování půdních substrátů **Linhart (2005)**. Proto je velmi důležité studium a průběžný výzkum hydrologických vlastností výsypkových půd, které jsou na těchto lokalitách značně proměnlivé vzhledem k sukcesi, která utváří narušenou krajinu a odlišné od vyvinutých půd běžné krajiny.

Fyzikální význam propustnosti vody na povrchu půdy, která se stará o tento transport, je jinak také popisován jako hydraulická vodivost. K jejímu měření lze použít několik možných metod. Díky těmto dostupným metodám jsme schopni porozumět funkčním vlastnostem, které jsou charakteristicky rozdílné pro daný typ půdy a na základě porozumění zvolit taková opatření, která povedou k obnově

funkčních ekosystémů na výsypkách a tím k rozvoji a tvorbě půdy se všemi jejími vlastnostmi.

Tato práce vznikla ve spolupráci s ÚPB AV ČR a je zaštitěna dlouhodobým výzkumným programem, monitoringem a požadavky Sokolovské uhelné a.s.

2 Cíl

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem bakalářské práce je sledování hydraulické vodivosti, vlhkosti a zrnitostního složení a v neposlední řadě stanovení % zastoupení půdních karbonátů - uhličitánů na výsypkových půdách vznikajících pod různými porosty dřevin. Na velké podkrušnohorské výsypce na Sokolovsku byl vybrán soubor 12ti ploch 20-30ti letých porostlých pěti typy dřevinné vegetace: olší, dubem, smrkem, borovicí a nerekultivované plochy porostlé spontánní vegetací. Na těchto plochách byly již dříve měřeny retenční křivky (**Frouz a kol, novinový článek**). Význam práce bude doplnit tato měření o další parametry, zejména hydraulickou vodivost a vlhkost.

Cílem mého měření na výsypkách nebylo zachytit dynamiku vodního režimu, ale možnost porovnat naměřené hodnoty vlhkosti v jednotlivých měsících ze všech výše uvedených ploch a s nimi i spojené změny a zásoby vody s ohledem na vegetační pokryv plochy.

3 Literární rešerše

3.1 Půda

3.1.1 Pojem půda

„Je trapné, že nejsme schopni shodnout se na tom, co je to půda. V tom však nejsou pedologové jediní. Biologové se nemohou shodnout na definici života a filozofové na vymezení filozofie.“

Hans Jenny, Půdní ochrana: Původ a režim

Na půdu je třeba vždy pohlížet jako na dynamický přírodní útvar, (Tomášek, 2007) lze ji chápat jako třífázový systém složený z pevné části, půdní vody a půdního vzduchu, (Kuráž, 2003) který se vytváří, vyvíjí a udržuje pod vlivem okolního prostředí, proto část půdy, vytržená z celku půdního těla a zkoumaná bez souvislosti s podmínkami svého vzniku, přestává být půdou a stává se pouhou zeminou. Nejvýstižnější definici půdy podal jeden ze zakladatelů světového půdoznalství V.V.Dokučajev, který půdu považuje za „samostatný přírodně-historický útvar, který vzniká a vyvíjí se zákonitým procesem, jenž probíhá působením několika půdotvorných činitelů.“ Podobná, i když dnes už trochu zastaralá, je definice jednoho ze zakladatelů českého půdoznalství V. Nováka: „Půda je přírodní útvar, který se vyvíjí z povrchových zvětralin kůry zemské a ze zbytků ústrojenců a jehož stavba a složení jsou výsledkem podnebí a jiných faktorů půdotvorných.“ (Tomášek, 2007)

Jednou z nejdůležitějších vlastností půdy je její úrodnost. Úrodnost půdy je její schopnost poskytovat rostlinám takové životní podmínky, které mohou uspokojit jejich požadavky na vodu, živiny a půdní vzduch po celé vegetační období a tak zabezpečit jejich úrodu. Je to souhrnná vlastnost, která je dána celým souborem fyzikálních, biologických a chemických charakteristik celého půdního profilu v návaznosti na stanoviště, na kterém se půda nachází. (Pavel, 1984) V současné době se však do popředí stále více dostávají mimoprodukční funkce půdy: jako je funkce stabilizační, krajnotvorná, hygienická. (Tomášek, 2007)

Půda je v profesním zaměření chápána rozdílně, každá její složka představuje pro různé obory jinou hlavní zájmovou skupinu. Pro zemědělce je půda základním výrobním prostředkem a je tedy uplatňováno i ekonomické hledisko.

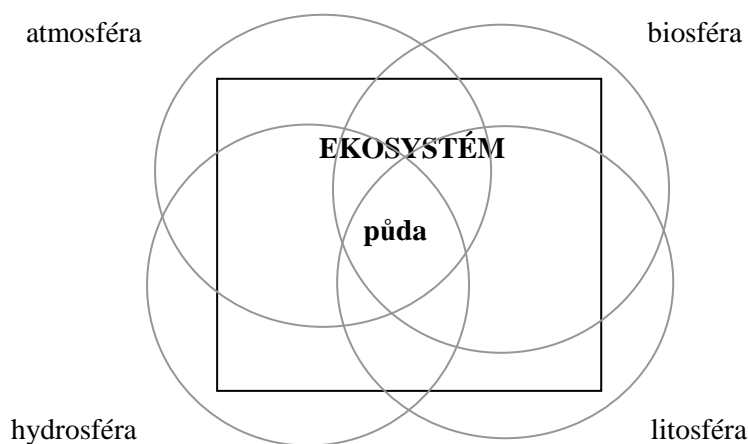
Z geologického hlediska se jedná o zvětranou povrchovou část zemské kůry, která je promíchána s organickými zbytky. Z pohledu chemika je pak zásobárnou prvků a sloučenin nezbytných pro výživu rostlin.

Z ekologického hlediska je prostředím půdního edafonu, účastní se koloběhu vody a živin v přírodě. (**Ledvina, Horáček, 1997**)

3.1.2 Ekologie půdy

Půda je prostředím, ve kterém žije velké množství různých organismů, ale je zároveň jejich produktem - tzn. že organismy půdy také spoluvytvářejí. Bez organismů by Země měla kůru, atmosféru i vodu, ale neměla by půdu. Obecně si můžeme půdu představit jako výsledek společného působení podnebí, organismů a zejména rostlinstva na horniny zemského povrchu (Obr.1). Půda je prostředí, které umožňuje růst a zakotvení rostlin a je zdrojem jejich minerální výživy. Ekologie půdy klade důraz na živou složku půdy, půdní organismy – edafon (**Šantrůčková, 2001**).

Dřívější studie, prováděné na výsypkách v okolí Sokolova, ukazují, že půdní organismy se mohou významnou měrou podílet na tvorbě půdy na výsypkách. V tomto směru je významná zejména činnost žížal, které se výrazně podílí na promíchávání půdního profilu a tvorbě organominerálního humusového horizontu (**Frouz a kol., 2008, 2007a b**).



Obrázek 1: Vzájemně působení atmosféry, litosféry, hydrosféra a biosféry v půdě.

3.1.3 Ochrana půdy

Vliv člověka na půdu se projevuje různým způsobem, a to jak v příznivém, tak i v nepříznivém slova smyslu: zvyšuje hloubku prohumózněné vrstvy, způsobuje pronikavé kladné změny ve fyzikálních, fyzikálně-chemických i biologických vlastnostech. Na druhé

straně však kultivační činnost přináší např. nežádoucí úbytek humusu v proorávané vrstvě, je příčinou jejího zhutňování, vystavuje půdu zvýšeným účinkům eroze, kontaminuje ji cizorodými xenobiotickými látkami (Tomášek, 2007), to vedlo k znehodnocení značného podílu půd v celosvětovém měřítku (Brady, Weil, 2002).

Kvalitní půda je základním prostředkem pro existenci lidské populace. Úrodná, šetrně využívaná a nedegradovaná zemědělská půda je zdrojem pro zdravou a hodnotnou potravu. Obnova půdy trvá tisíce let. Je odpovědností každé generace zanechat půdu svým potomkům v lepším stavu a v nezmenšené ploše a nezhoršené kvalitě. Stejný význam jako pro zemědělství má půda pro lesnictví z hlediska produkčního i úloh vytváření vodního režimu krajiny, ochrany před erozí. Na kvalitu půdy a její ochranu reaguje i Evropská charta z roku 1972, ve které je zakotven požadavek na zdraví půd. Evropská unie připravuje strategii a směrnici, jejíž cílem je zachování dostatku kvalitní půdy pro budoucnost lidské populace. V této strategii se počítá se zákony na ochranu veškerých půd, neboť omezení na zemědělské využití je nedostatečné a kontraproduktivní. V České republice byl v srpnu roku 1994 schválen návrh zásad ochrany půdy, který je zaměřen nejen na ochranu kvantitativní (ochrana proti erozi), ale i na ochranu kvalitativní (proti kontaminaci) (Veleba, 2008).

3.2 Území postižená těžbou

3.2.1 Klady a zápory hornické činnosti

Hornická činnost má pro danou oblast své záporné, ale i kladné stránky. Doly se zejména v období druhé poloviny 20. století významně podílely na financování výstavby řady důležitých staveb a zařízení na Sokolovsku: výstavba bytů, mateřských školek, polikliniky, výstavba sportovních zařízení. Na druhé straně každá hornická činnost znamená velký zásah do krajiny (Štrundl, 2001).

Povrchová těžba znamená pro krajinu a životní prostředí veliké zatížení, způsobuje vážnou destrukci základních složek přírodního systému krajiny.

3.2.1.1 Vliv na hydrosféru

Vody jsou ovlivňovány v kvantitativních i kvalitativních kategoriích, zpravidla narušením režimu a kontaminací. Dochází k snižování hladiny podzemní vody, k vysušování okolí, ke znehodnocování ekotopu a ztrátám užitkové a pitné vody (Štýs, 1981). Došlo ke snížení podílu vody, která obíhá v krajině v tzv. krátkém cyklu, což se projevuje

přehříváním rozsáhlých ploch v létě (Rothbauer, 2003). Lze sledovat i kladné působení - např. zvýšenou akumulaci kapacity zbytkových lomů (při povodních). Z hlediska kontaminace jsou důlní vody charakteristické: nízkou hodnotou pH, velkou tvrdostí, vysokými obsahy iontů kovů, vysokou koncentrací rozpuštěných látek, mimořádně nízkými obsahy organických látek.

3.2.1.2 Vliv na litosféru

Během skrývky, dopravy a zakládání dochází k destrukci původního horninového prostředí, k výrazné petrografické, stratigrafické a hydrogeologické transformaci, je měněn reliéf území i nadmořská výška (Štýs, 1981).

3.2.1.3 Vliv na atmosféru

Na některých lokalitách mohou emise, plynné škodliviny a prašnost ovlivnit kvalitu vzduchu (Štýs, 1981). Změna klasických klimatických veličin ovlivňuje i kvalitu vzduchu nejen pánve, ale i přilehlých horských částí řešeného území, kam již v létě nestoupá z pánve vzduch vlhký, jako tomu bylo v minulosti, ale převážně vzduch suchý (Rothbauer, 2003). Ekologicky závažné je přitom výrazné přehřívání přízemních vrstev ovzduší na jižně exponovaných svazích zvláště tam, kde jsou na povrchu tmavé substráty s mimořádnými hodnotami albeda, na kterých dochází k výraznému přehřívání povrchových zemin a přízemních vrstev ovzduší a následně ke zvyšování výparu a snižování ovzdušné vlhkosti přízemních vrstev (Štýs, 1981). Na plochách zbavených vegetace a vody se sluneční energie mění převážně v teplo, protože se nemůže vázat do vodní páry (Štrundl, 2001).

3.2.1.4 Vliv na pedosféru

Dochází k degradaci nebo k destrukci půdy jakožto základního ekologického činitele. K degradaci půdy dochází nadměrným zamokřením nebo vysušením v okolí nezavodněných či zavodněných zbytkových lomů, popř. nadměrným zamokřením pedosféry v okolí vnějších výsypek. Kontaminace pedosféry je zpravidla důsledkem znečištění, ale i negativního působení imisního pozadí v celé těžební oblasti, kde působí vedle těžebních jednotek další emisní zdroje, především tepelné elektrárny a jiná průmyslová topeniště. K destrukci pedosféry dochází nezbytně na celé ploše lomu a postupně v celém dobývacím prostoru (**Štýs, 1981**).

3.2.1.5 Vliv na biosféru

Povrchová těžba působí na organické složky přírody nepřímo znehodnocováním až destrukcí životního prostředí organismů. Vliv povrchové těžby znamená hluboký zásah do celé struktury a funkce uvnitř ekosystémů v celém dobývacím prostoru, ale i v sociálně-ekonomické sféře životního prostředí, v exosféře člověka (**Štýs, 1981**).

Hornická činnost však krajinu nejen boří, ale i vytváří, pokud je cílevědomě vedena. Příklady můžeme vidět na rekultivovaných plochách.

Nelze tedy jinak než zdůraznit, že úspěšná rekultivace je a musí být jediným možným logickým zakončením hornické činnosti (**Štrundl, 2001**).

3.3 Výsypky

Při povrchové těžbě, která má mnohem větší devastační účinky než těžba hlubinná, dochází k přesunům milionů kubíků zemin a tvorba nových geomorfologických tvarů v krajině (výsypek - technosoly), které jsou předmětem rekultivací. Tyto nově vzniklé recentní tvary se skládají z různých hornin, po jejichž rozrušení vznikají tzv. zeminy, které jsou nositeli půdotvorných pochodů (zvětrávání) a výchozími substráty při tvorbě půd pro rekultivační účely (**Štýs, 1981; Dimitrovský, 2001**). Látkově představují směsi nerostných součástí. Podle původu nacházíme na výsypkách horniny (**Dimitrovský, 2001**):

- Vyvřelé – eruptivní nebo magmatické (vyvřeliny, eruptiva)
- Usazené – sedimentární (sedimenty)
- Proměněné (metamorfované)

Ve vztahu k půdám, vytvářejícím se nově, má mimořádný význam primární chemismus hornin, a to zejména obsah čtyř hlavních složek – Ca, K, P, Mg, který předurčuje tzv. minerální sílu hornin (**Dimitrovský, 2001**).

Půdotvorný proces na výsypkách je ovlivňován výsypkovým půdotvorným substrátem, rozvojem vegetace, reliéfem, charakterem klimatu a vodního režimu (**Štýs, 1981**).

Oproti přirozeným podmínkám dochází při půdotvorném procesu na výsypkách k řadě zvláštností. Zde je zdůrazněna situace, kdy překrývané substráty se mohou velmi progresivně projevit na dalším vývoji půdy a ovlivnit tak produktivitu uměle navrstveného humózního a

biologicky oživeného horizontu (**Jonáš, 1975**). Zde platí důležité pravidlo: čím více kvalitnější substrát, tím je zapotřebí menší mocnost navrstvené zeminy.

Na Sokolovsku převládají jíly Cyprisového souvrství, které patří mezi příznivé výsypkové substráty z hlediska půdotvorného vývoje (**Jonáš 1975, Štýs 1981**).

Čerstvě navezené cyprisové jíly vypadají jako šedivé balvany. Nasáváním vody sedimenty bobtnají, vysycháním se smršťují. Podobně působí také mrznutí a tání vody. Sedimenty se tak rozpadají na menší kousky. Rozpad sedimentů dále usnadňuje přístup vodě, což urychluje jak mechanický rozpad, tak chemické vlastnosti sedimentu – snižuje se kyselost a obsah solí (**Frouz 2008, Kříbek a kol.**).

Podběl, třtina a další pionýrské druhy vegetace začnou na půdu působit svými kořeny – tlakem při prorůstání mohou vytvářet póry, nebo naopak podporovat vznik shluků půdních částic. Kořeny kromě toho vylučují do půdy značné množství kořenových exudátů, látek, které jsou zdrojem energie pro půdní organismy (**Elhottová a kol., 2009**). Odumřelá těla rostlin slouží mikroorganismům a prvním přichozím půdním živočichům jako další zdroj potravy. Jejich exkrementy zakládají tenkou vrstvu organické hmoty na povrchu minerálního substrátu. S rozrůstající se vegetací se zintenzivňuje činnost kořenů a zvyšuje se přísun opadu. To vede k dalšímu rozvoji půdní mikroflóry a půdní fauny. Na starších, asi třicetiletých nerektivovaných plochách, keře jív postupně přerůstají stromy. Začínají se

objevovat žížaly. Nejprve druhy žijící v opadu, později další pronikající stále hlouběji do minerální půdy způsobují promíchávání minerálních a organických částí, což vede postupně ke vzniku humusové vrstvy (**Frouz a kol., 2007ab, 2008**). Humusová vrstva významně mění podmínky pro růst kořenů rostlin, ovlivňuje schopnost půdy zadržovat vodu a živiny a mění životní podmínky pro ostatní půdní organismy **Frouz (2008)**.

Rozlišujeme tyto základní půdotvorné procesy: elementarizace a agregace fyzikálního jílu, uvolňování různých forem Fe a jejich přeměna zejména z dvojmocných forem na formy trojmocné, okyselení, oglejení. Půdotvorný proces může být zvrácen procesy jako je samovznícení zbytků uhelné sloje, které je způsobeno chemickým zvětráváním sulfidů železa, či sesuvem částí navrstvené výsypky (**Jonáš, 1975**). Tyto procesy jsou významné především při tvorbě B horizontů výsypkových půd s uměle navezenými humózními horizonty. Při vzniku půd bez navážky těchto substrátů hrají klíčovou roli procesy vedoucí k vytváření organominerálních horizontů, tedy procesy spojené s akumulací a transformací organické hmoty v půdě. Tyto procesy jsou určovány množstvím a kvalitou organické hmoty a aktivitou půdních organismů. Většina reakcí, vedoucích k rozkladu rostlinného opadu a vzniku stabilnějších forem půdní organické hmoty, je mediována půdní mikroflórou. Je-li organická hmota vstupující do půdy těžko rozložitelná, dochází zejména na kyselých půdách k akumulaci opadu. Na rozkladu se podílí především houby a drobní půdní členovci (pancířníci, chvostoskoci). Se zvyšující se rozložitelností opadu vzrůstá aktivita větších skupin půdních bezobratlých (mnohonožky, stejnonožky, larvy dvoukřídlého hmyzu). Dochází k hromadění mocné fermentační vrstvy tvořené zejména exkrementy půdních bezobratlých a vytváří se tak nadložní humus. Fermentační vrstva je pak postupně promíchávána s minerální vrstvou a dochází k tvorbě humusového horizontu. Při vysoké aktivitě žížal může být téměř všechen opad zapracován do půdy a přeměněn na koprolyty žížal, tvořící mocný organominerální humusový horizont (**Frouz a kol, 2001**).

3.3.1 Vlastnosti výsypkových půd

Jelikož hnědouhelné sloje vznikaly především v období třetihor, jsou na ně vázána mocná souvrství sedimentů (**Kříbek a kol., 1998**). Za výrazné vlastnosti při posuzování rekultivační vhodnosti jílových sedimentů je považováno:

- **Struktura sedimentů:** charakteristickým rysem všech druhů a typů antropogenních půd je porušená, velmi proměnlivá struktura. Proměnlivost struktury způsobuje nestejnsměrné zastoupení vysokého množství nekapilární pórů, nestejnsměrný obsah půdního vzduchu a velmi rozdílná infiltrační schopnost pro příjem srážkové vody.
- **Průběh zvětrávání:** je ovlivněn strukturou sedimentů a působením půdotvorných faktorů. Je souborem fyzikálních, biologických a chemických procesů.
 - **Fyzikální proces zvětrávání:** je specifický pro jednotlivé druhy rozpojených hornin, nedochází ke změně chemického složení.
 - **Chemické zvětrávání:** je doprovázeno chemickým rozpadem, takto vznikají nejjemnější součásti půd. Intenzita chemického zvětrávání na výsypkách je odvislá od původu navrstvených hornin. Tento proces ovlivňuje přístup dešťové vody a přístup kyslíku. Dešťová voda obsahuje látky (CO_2 , SO_2 , NO_3 , O_2) které zvyšují její rozpouštěcí účinek. Dalšími faktory, které ovlivňují proces chemického zvětrávání: koncentrace vodíkových iontů, teplota, vlhkost.
 - **Biologické zvětrávání:** vlivem rostlin a živočichů **Dimitrovský (2001)**.
- **Zrnitost:** Jednou ze základních a nejvýznamnějších charakteristik půd. Je dána zastoupením jednotlivých velikostně rozdílných minerálních částic a je základem klasifikace půdy podle druhu. Pro půdu má největší význam jejich obsah tzv. jemnozemi (částice pod 2 mm. v průměru) **(Tomášek, 2007)**. Význam zrnitosti je zdůrazněn skutečností, že v praxi se většinou nedá příliš měnit a naopak je mu podřízeno využití půd **(Ledvina a Horáček, 1997)**.
- **Chemické vlastnosti:** primární chemismus skrývaných nadložních zemin ukládaných na výsypkách ovlivňuje i chemismus vznikajících půd **(Dimitrovský, 2001)**.

3.3.2 Stanoviště vzácných druhů

Biologický výzkum výsypek ukázal, že tyto novotvary jsou pro řadu vzácných organismů velmi atraktivní a pro některé z nich jsou výsypky unikátní lokalitou. Může se jednat o druhy specializované na iniciační sukcesní stadia. Poněkud překvapivě jsou některé, a to i dosud nerekulitované, části výsypek osidlovány řadou ohrožených a

vzácných druhů rostlin a živočichů. Jde například o vzácné houby. Jednou z nich je špička trojbarvá (*Marasmiellus tricolor*), v ČR je známo pouze 10 lokalit. Dalšími druhy Červeného seznamu jsou čirůvka kroužkatá (*Tricholoma cingulatum*) a čirůvka modřínová (*Tricholoma psammopus*). Novým druhem pro vědu popsáným je vláknitá sinice (*Dichothrix ledereri*). Z obojživelníků se vyskytuje řada druhů v různém stupni ohrožení, např. ropucha krátkonohá (*Bufo kalamita*), která zde vytváří největší a stabilní populaci v ČR, a ropucha zelená (*Bufo viridis*), blatnice skvrnitá (*Pelobates fuscus*), čolek velký (*Triturus cristatus*). Z řady vzácných a ohrožených ptáků je možno uvést chřástala vodního (*Rallus aquaticus*), slavíka modráčka (*Luscinia svecica*). Na ploše výsypek byly nalezeny i některé druhy hmyzu na území ČR doposud neznámé a dokonce i druhy nové pro vědu – čeleď dvoukřídlého hmyzu (*Diptera: Psychodidae* – koutule). Celkem bylo objeveno více jak 10 druhů dosud neznámých pro ČR a tři druhy zcela nové pro vědu. Podobné poznatky se týkají chrostíků, byly nalezeny čtyři druhy nové pro ČR a jeden nález po 100 letech od posledního pozorování.

Přestože jsou výsypky nesporně velkým zásahem do krajiny, mohou na druhé straně přispět ke vzniku stanovišť některých vzácných a ohrožených druhů. Tento ochranný význam výsypek je v naší legislativě bohužel nedoceněný, našel své uplatnění např. v Německu, kde je přibližně 10% ploch výsypek vyčleněno pro potřeby ochrany přírody (Frouz a kol, 2007).

3.4 Rekultivace

„ Jak je možné oblohu nebo teplo země koupit či prodat? Tato představa je nám cizí. Když nevlastníme svěžest vzduchu a třpyt vody, jak to od nás můžete koupit ? “

Seattle, indiánský náčelník kmene Duwanishů

Rekultivace je uvedení postiženého území do takového stavu, aby zde mohl fungovat soběstačný ekosystém (Lágner, 2004)

V České republice byla v období 1952-1996 v rámci uhelného hornictví dokončena rekultivace na ploše 12 196 ha. K začátku roku 1997 byla rozpracována rekultivace dalších 9 318 ha. Celkem je v České republice dokončena nebo rozpracována rekultivace 21 514 ha výsypek (Štýs, 1997) Geologické zásoby cca. 9,8 mld.tun. (z toho vytěžené zásoby 6,1 mld.tun – z toho již vytěženo cca 3 mld.tun.),

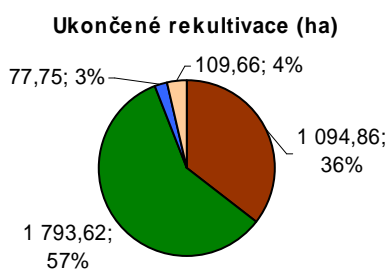
zbývají tedy ještě cca 3mld. tun uhlí, při dnešním tempu těžby cca 100 let. **(Dohnal, 2006)** K revitalizaci území po těžbě směřuje usnesení vlády ČR č. 272/2002 k čerpání finančních prostředků určených pro řešení ekologických škod vzniklých před privatizací hnědouhelných těžebních společností v Ústeckém a Karlovarském kraji.

Rozlišujeme čtyři druhy rekultivací (Rothbauer, 2004):

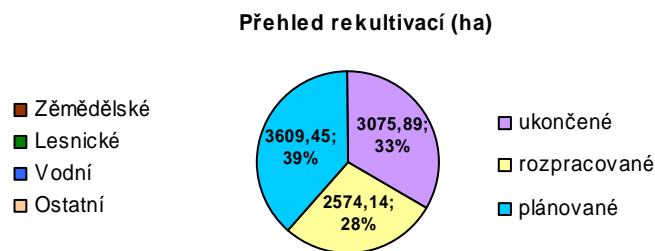
- Zemědělská
- Lesnická
- Vodohospodářská
- Ostatní (sadovnická)

Jednotlivá rekultivační opatření se dělí (Rothbauer, 2004):

- v území přímo zasaženém důlní činností
- v území navazujícím na důlní činnost.



Obrázek 2: Plocha 3 075,89 ha ukončených rekultivací podle Frouze a kol (2007).



Obrázek 3: Přehled rekultivací na Sokolovsku k 31.12.2006 podle Frouze a kol (2007).

Na Obrázku č.1 jsou patrné typy rekultivací, které byly provedeny v ČR k 31.12.2006. V tomto obrázku převažuje lesnická rekultivace, zdá se tedy, že typ této rekultivace má nejen v této oblasti budoucnost. Obrázek č.3 ukazuje přehled rekultivací na Sokolovsku od 50. let minulého století až k 31.12.2006. **(Frouz a kol, 2007)**

Rekultivace je proces dlouhodobý, mění se a vyvíjí se se změnou technologického postupu těžby nerostných surovin i s vývojem nových vědecko-výzkumných poznatků v oboru rekultivace. Úkolem rekultivace je vytvořit znovu

krajinu tak, aby plně sloužila prvoprodukcí zemědělské, lesnické a vodohospodářské, aby poskytovala dostatek prostoru k rekreaci a aby vyhověla celospolečenským zájmům, nárokům průmyslu a dopravy. Rekultivační opatření musí být motivována nejen produkčními zájmy, ale i ekologicky, z hlediska mimoprodukčních funkcí krajiny (Špiřík, 1994). Velmi příznivou a časově stabilní alternativou vzniku již poměrně homogenního a příznivého půdního prostředí, využitelnou pouze v případě provádění zemědělské rekultivace, představuje překryv povrchu výsypky orníci o minimální mocnosti 0,3 m. Jako jednoznačně nejméně rizikovou variantu úpravu povrchu výsypek představuje mulčování různými odpadními organickými hmotami (kůrou, celulózovými kaly) o minimální mocnosti mulče 10 cm. Takto upravený povrch disponuje vysokým koeficientem hydraulické vodivosti a vytváří i vhodnou ochranu před přímým destruktivním účinkem dešťových kapek (Čermák, 2003).

Principy rekultivace je vhodné členit do úseků (Kvítek, 2006):

- 1. Přípravná fáze:** vyřešit právní vztahy, střety zájmů. Dle zákona posouzení vlivu na životní prostředí.
- 2. Důlně-technická fáze:** též přípravný charakter pro rekultivaci. Vlastní využívání lokality při těžbě má být takové, aby při rekultivaci byly co nejnižší náklady.
- 3. Bio-technická fáze rekultivačního cyklu:**
 - *Technické povahy:* úprava terénu, navážky úrodných a potencionálně úrodných zemin, základní půdní meliorace, hydrotechnická opatření, technická stabilizace svahů, protierozní opatření, výstavba komunikační sítě.
 - *Biologické povahy:* při zemědělské rekultivaci jde o soubor účelových agrotechnických opatření, respektive o zakládání specializovaných kultur. Při lesnické rekultivaci jde o soubor lesnických prací spojených se zakládáním kultur na devastované zemině.
- 4. Post-rekultivační fáze:** odevzdání pozemků vlastníkovi, nástupní organizaci

Metody rekultivace (Dimitrovský, 2001) dělíme na:

- Podle druhu a tvaru devastovaného objektu
- Podle umístění v krajině
- Podle geologických a půdních vlastností
- Podle klimatických a mikroklimatických poměrů

- Podle vodního režimu
- Podle životnosti plochy
- Podle blízkosti sídlišť, průmyslových center
- Podle mechanizační přístupnosti

Znaky vhodně rekultivované půdy shrnuje Rothbauer (2004):

- Neutrální pH v H₂O a neutrální či slabě kyselou v KCl
- Dobrá zásoba přístupných forem K a P
- Příznivý poměr C : N (max. 15 : 1)
- Příznivá propustnost pro vodu
- Uspokojivé technologické vlastnosti
- Průměrný výnos hlavní zemědělské plodiny
- Příznivá konfigurace terénu, za kterou ručí báňský sektor nejméně 15 let po předání do obhospodařování.

Ekonomická náročnost zahlázení devastovaného území báňskou a ostatní průmyslovou činností formou rekultivace (technická, zemědělská, lesnická, hydrická) je značně vysoká, pohybují se v rozmezí 7,3 – 7,8 mld Kč (**Dimitrovský, 2001**).

3.5 Vodní režim krajiny

„Principem všech věcí je voda – z vody je vše a vše se do vody vrací.“

Thales z Miletu (624 – 548 před n.l.), zakladatel ionské přírodní filozofie

3.5.1 Péče o vodu

Vodní režim a kapacita vodních zdrojů na území České republiky je dána geografickou polohou státu na rozvodí tří moří (Baltického, Severního a Černého moře). Vodní toky, které u nás pramení, odvádějí vodu na území sousedních států. Proto jsou naším nejvýznamnějším zdrojem vody srážky. Tuto skutečnost je třeba brát na vědomí při jakémkoliv větším zásahu v krajině. S vodou je nutno pečlivě hospodařit a snažit se ji v krajině zadržet (**Kvítek, 2006**).

Jedním z pilířů tvorby nové krajiny je voda. Voda je hlavní složkou všech organismů a zároveň prostředím, ve kterém probíhají životní pochody. Množství a dostupnost vody je jeden z nejdůležitějších faktorů, který určuje růst rostlin i biologickou aktivitu půdy (Šantrůčková, 2001). Z ekologických aspektů tvorba nových vodních ploch zatápěním zpětně nedosypaných lomů po jejich vyuhlení jakoukoli zeminou je tak jako každé jiné technické dílo náhradou zemědělské nebo lesní půdy vodou, která pro narušené regiony báňskou činností s radikálně narušenou hydrologickou sítí bude mít nenahraditelnou krajinotvornou optimalizační funkci. Celkový výsledek nové tvorby krajiny jako obyvatelného prostředí je odvislý od rekultivační povinnosti. Současná hierarchie rekultivačních hodnot se řídí podle přírodních složek v systému *půda – voda – vegetace – ovzduší* (Dimitrovský, 2001).

Kvítek (2006) popisuje následující vlivy na vodní režim výsypek:

- Orografické
- Geologické
- Vegetační kryt
- Antropogenní

Voda v půdě zaplňuje póry různého tvaru a velikosti a obaluje částice půdy, které mají různý elektrický náboj. Proto je držena různými silami, které narůstají se snižující se velikostí póru a částic. Po silném dešti se půda zcela nasatí vodou, která zaplňuje všechny póry. Tehdy je voda snadno dostupná pro rostliny i organismy. Pokud ale zůstane půda zaplavená delší dobu, kořeny i organismy začnou trpět nedostatkem vzduchu. Pokud je zaplněna zhruba 50 – 80% kapilárních pórů vodou, nastává optimální vlhkost. V bodě vadnutí je voda v půdě vázána tak pevně, že je nedostupná pro rostliny. Bod vadnutí nastává v písčítých půdách při relativní vlhkosti 5%, v jílových půdách okolo 15%. Dostupnost vody v půdě závisí nejen na obsahu, ale také na zrnitosti půdy, obsahu organické hmoty a na velikosti a rozložení pórů v půdě (Šantrůčková, 2001).

3.5.2 Fyzikální vlastnosti, vodní režim rekultivovaných půd

Fyzikální vlastnosti půd patří k nejdůležitějším půdním charakteristikám. Mimo základní vlastnosti porézního půdního prostředí řadíme do této kategorie vztahy

mezi pevnou fází, půdní vodou a půdním vzduchem. Základní hydrostatickou charakteristikou je retenční čára půdní vody. Aproximace této závislosti umožňuje její zadání jako vstupní data do numerických modelů stavu a pohybu půdní vody. Fyzikální vlastnosti půdy jsou vlastně měřítkem kvality životního prostředí půdních organismů a intenzity půdotvorných procesů a kvality půdy. (Kuráž, 2003)

Důležitým a dosud opomíjeným problémem hospodaření s vodou na výsypkách se stává i průběžná inovace zalesňovacích prací spojených s přípravou zeminy před výsadbou, s kvalitou sadebního materiálu, výsadbou sazenic a následnou pěstební péčí, která přispívá k optimalizaci vegetačních zásob půdní vody (omezení výparu). (Čermák, 2003)

Půda je porézní materiál. V určitém jednotkovém objemu půdy je část tohoto objemu nezaplněna pevnou fází a tvoří půdní póry. Půdní póry jsou většinou spojitě, pro zjednodušení předpokládáme, že jsou válcovité. Objem, tvar a velikost půdních pórů má vliv na retenci a rychlost pohybu vody a rozpuštěných látek v půdě. Optimální velikost a rozdělení pórů je u středně těžkých půd, nízký obsah pórů může mít výrazně negativní vliv na kořenový systém, obdobně životní činnost půdních mikroorganismů je závislá na objemu a rozdělení pórů. Kvalitou půdních pórů je při daných klimatických podmínkách ovlivněna intenzita oxidačních a redukčních procesů. Nízkou pórovitost mají písčité půdy. Je to způsobeno tím, že u těchto půd není vyvinuta půdní struktura, naopak u hlinitých půd jsou optimální podmínky pro vznik struktury a pórovitost dosahuje podstatně vyšších hodnot. Hodnoty pórovitosti jsou dále proměnné s hloubkou půdního profilu. (Kuráž, 2003)

3.5.2.1 Vlhkost půdy

Mimo klimatických, hydrologických a pedologických faktorů ovlivňuje vlhkost půdy na stanovišti i typ vegetace a jeho vlastnosti (druhovému složení, věk, stav kořenového systému). Výdej vody porostem (transpirace) činí u lesního porostu až 60 % srážkového úhrnu, u lučních ekosystémů 50 % a v polních ekosystémech až 40 % (Rožnovský a Litschmann, 2008).

Metody měření vlhkosti a vlhkostního potenciálu jsou stále ve vývoji. V celosvětovém měřítku je nejpoužívanější dielektrická metoda, která umožňuje dálkový přenos naměřených dat (Kuráž, 2003).

Je-li půdní vlhkost měřena přímo profilovými sondami nebo tenziometry, množství závlahy aplikované do půdy s ohledem na kapacitu měřené plochy se obecně

odhaduje na základě modifikovaného výpočtu odparu (ET). Takovéto předběžné výpočty jsou zapotřebí spolu s dobrými místními meteorologickými údaji a zahrnutím typu vegetace a půdy, kořenovými charakteristikami a pokryvem. To vše může být využito k výpočtu deficitu půdní vláhy (SMD), vyjádřeného v mm; ten sděluje množství potřebné vody. Jak ET, tak SMD mohou být využívány v kontrolním systému závlahy, závislém na měřeních půdní vlhkosti, na vlastnostech plodiny a pokryvu, což je zdrojem chyb. Vyjádření půdní vlhkosti zahrnuje:

- g vlhkosti / g půdy
- % hmotnosti vody (gravimetrie)
- mm vlhkosti / jednotku hloubky
- cm³ vlhkosti / cm³ půdy (volumetrie)

Nicméně rostliny neregistrují množství vlhkosti v půdě, spíše reagují na tlak (v barech nebo kPa), které udržuje vlhkost v částicích půdy, což odráží množství vláhy potřebné pro rostlinu; tuto vlhkost rostlina přijímá přes souvislý půdně provzdušněný systém. Když je půda sušší, tlak roste a rostlina získává obtížněji vodu z půdy. Množství dosažitelné vlhkosti v půdě závisí na typech půdy a reprezentuje množství vody související s kapacitou pole (tlak činí 0,05 barů) a stálým bodem vadnutí (tlak činí 15 barů). Množství dosažitelné vláhy je tedy způsobeno různými tlaky v různých půdách. Např. 5 mm vlhkosti na 10 cm půdy bude využito pod tlakem 0,1 v písku, ale 3,25 v písčito hlinité půdě a 4 bary v jílu. To znamená, že rostlina může odčerpávat vláhu snadněji z písku než z jílu. Měření obsahu půdní vlhkosti:

- **Přímé gravimetrické měření** (g vláhy / g půdy): odhad z půdního vzorku váženého za čerstva a po vysušení. Tato měření jsou pracovně náročná a používána pro nefrekvenční kalibraci.
- **Neutronová sonda:** měření v půdním profilu je gravimetrické (kg vody / kg půdy) v hloubce nad 30 cm v okolí sondy, je založeno na absorpci molekul vody v půdě. Provádějí je specialisté, protože se užívá radioaktivního zdroje.
- **Kapacitní odporová sonda:** měření je volumetrické, obsah vlhkosti (cm³ vlhkosti / cm³ půdy nebo mm vlhkosti / mm půdy) a využívá elektrických přístrojů. Je jednoduché, nemá složitou instalaci, nicméně mohou vznikat chyby u pevných půd nebo při slabém kontaktu mezi půdou a senzorem. V současnosti se ukazuje kapacitní odpor ve spojení s počítačovým řídicím

systémem jako úsporný, dynamický a nejefektivnější, protože zahrnuje měření v reálném čase včetně automatického systému řízení závlahy.

- **Měření elektrického odporu:** napětí na elektrodách upevněných v porézním bloku sádry nebo keramiky vystihuje půdní vlhkost a vztah elektrického odporu půdního tlaku (bary nebo pascaly) a kalibruje údaje.
- **Tenzometr:** měří povrchové napětí přímo s citlivostí 0–0,8 baru ve spojitosti s vhodnou zavlažovací plánovanou potřebou. Chyby se vyskytují, je-li půda přesušená a tlak velmi malý.
- **Časový sférický reflektometr (TDR):** měří obsah vody ve velkém množství půdy a využívá stejných prostředků jako kapacitní sonda. Je relativně necitlivý k půdní salinitě, ale vyžaduje značné investice (**Mikula, 2002**).

Půdní vlhkost dokáže ovlivňovat i dálkový průzkum Země (DPZ) s využitím optických i radarových družicových dat. Družicová data poskytují důležité informace o prostorové variabilitě půdy bez vegetace. Spektrální příznaky odrazivosti poskytují nepřímé informace o půdních vlastnostech. Pomocí dat DPZ je možné například mapovat hranice půdních jednotek. Mezi hlavní faktory ovlivňující odrazivost půd patří: minerální složení, půdní vlhkost, organická hmota a zrnitostní složení. Velikost a tvar půdních agregátů také ovlivňuje odrazivost. Půdní vlhkost se určuje pomocí DPZ především radarovou technologií. Takto měřená půdní vlhkost většinou reprezentuje stav do hloubky několika centimetrů. Odraz radarového signálu je ovlivněn především půdní vlhkostí. Další parametry ovlivňující odrazivost jsou také reliéf, nerovnost povrchu a vegetační pokryv. V případě, že tyto druhé parametry při multitemporálním snímání zachováme konstantní, je možné využít radarového DPZ pro měření půdní vlhkosti (**Mikula, 2002**).

3.5.2.2 Hydraulická vodivost

Základní transportní charakteristikou je nasycená hydraulická vodivost. Pokud je to technicky možné, dáváme přednost terénním metodám stanovení (**Kuráž, 2003**).

Jedním z nejdůležitějších parametrů půdy pro transport vody a transport s vodou spojených látek je hydraulická vodivost (také filtrační součinitel nebo nesprávně propustnost) půdy. Je závislá na vlhkosti půdy, rozlišujeme proto nasycenou hydraulickou vodivost a nenasyčenou hydraulickou vodivost. Hydraulická vodivost K je měřítkem pro schopnost půdy transportovat určité množství vody při daném hydraulickém spádu. Největší hodnoty dosahuje hydraulická vodivost při

kompletním nasycením půdy vodou. Při klesajícím obsahu vody se zmenšuje průřez, který je k dispozici pro pohyb vody a hydraulická vodivost klesá.

Vodivost nasycené půdy je často označována jako **K_s -hodnota**. Společně s parametry, které se dají odvodit od tzv. vodní retenční nebo pF křivky (funkční závislost vlhkosti půdy a vlhkostního potenciálu), umožňuje znalost K_s -hodnoty také předpověď hydraulické vodivosti při zmenšujícím se obsahu půdní vody (**Schmidt, 2007**). Stanovení hydraulických charakteristik pórovitého prostředí tj. retenční křivky a závislosti hydraulické vodivosti na vlhkosti je nezbytným výchozím krokem při numerickém modelování proudění vody a transportu chemických látek (**Dohnal a kol, 2006**).

Fyzikální význam hydraulické vodivosti byl odvozován pomocí různých modelů a postupů, z nichž nejznámější je jednoduchý hydraulický model, kdy pórový systém je modelován jako svazek rovnoběžných válcových kapilár (**Kuráž, 2003**). Hydraulická vodivost je materiálová vlastnost půdy a je zjišťována prostřednictvím rozdělení velikostí póru a kontinuitou půdních póru. Hodnota K tímto není konstantní velikost, nýbrž proměnlivá v závislosti na změnách v půdním prostředí. Hodnoty K mohou proto na ploše a v hloubce silně kolísat. Ve vodou nasycené půdě rozhodují o rozsahu pohybu vody především hrubé póry a makropóry, zatímco při nízkém obsahu vody určuje její pohyb zastoupení pórů střední a jemné velikosti (**Schmidt, 2007**). Výsledkem je základní charakteristika pórového prostředí tzv. propustnost (**Kuráž, 2003**).

Písčité půdy s vysokým podílem velkých půdních pórů mají větší K_s hodnoty než vazné půdy. U jílovitých a hlinitých substrátů s jemnými půdními částicemi se sotva nacházejí hrubé póry. Zde jsou to především změny struktury, např. cesty dešťovek nebo staré cesty kořenů, které určují pohyb vodou nasycené půdy (**Schmidt, 2007**).

3.5.2.3 Oblast použití

Numerické modelování transportních procesů v pórovitém prostředí má široké uplatnění při analýzách úniků znečišťujících látek do povrchových vod a půdy, hodnocení rizika potenciální kontaminace zdrojů pitné vody apod. (**Dohnal a kol, 2006**) Hojně využití našla hydraulická vodivost zejména při výpočtu transformační funkce povodí při srážko-odtokovém procesu. Zde mají význam především hydrologické charakteristiky jednotlivých půdních druhů např. polní kapacita,

koeficient nasycené hydraulické vodivosti nebo retenční schopnost půdy. Pro daný půdní typ je nutné určit jeho průměrný počet vrstev a pro každou vrstvu zjistit její půdní druh, na který se potom vážou charakteristiky důležité při výpočtu půdního modelu (**Kvítek, 2006**).

4 Metodika práce

4.1 Popis území

4.1.1 Sokolovský region

Hydraulickou vodivost a vlhkost půd jsem zjišťoval na sokolovských výsypkách, na kterých probíhá dlouhodobá a cílená rekultivace a jsou předmětem výzkumných činností mnoha institucí. Tyto výsypky jsou pod patronátem Sokolovské uhelné a.s. Na těchto plochách jsem také odebíral porušené půdní vzorky pro stanovení jejich půdní zrnitosti a stanovení uhličitánů v laboratoři. Sokolovsko se vyznačuje rozlehlou sítí povrchových dolů, leží sevřen mezi dvěma lázeňskými regiony (KV a CH) v západní části republiky ve středu Karlovarského kraje. Klimaticky spadá do pásma mírně teplého, mírně vlhkého, s mírnou zimou, s velkým počtem zamračených dnů (170dnů / rok) a s velkým výskytem oblačnosti a mlh. Průměrné roční úhrny srážek jsou kolem 526 až 947 mm, ve vegetačním období málo přes 400 mm. V celoročním průměru jsou nejvyšší srážky v červenci (78 až 103 mm), nejnižší v únoru a březnu (26 až 76 mm). Roční průměrná teplota dosahuje 5,1 až 7,2 °C, ve vegetačním období 13 °C (**Rothbauer, 2004**). Je to oblast ležící pod hřebenem Krušných hor a Slavkovského lesa. Nejvýznamnější jsou sloje hnědého uhlí a ložiska kaolínu či jílu, které hrály nejdůležitější roli v historii této oblasti. Kraj je proto převážně průmyslový, s těžbou a zpracováním uhlí, s výrobou elektřiny, s chemickými závody a strojírnami (**Trasovník, 2008**).

4.1.1.1 Geologické poměry

Sokolovská pánev vznikla ve starších třetihorách saxonskými tektonickými pohyby. Porušením zarovnaného reliéfu vznikly na území dnešní Sokolovské pánve rozsáhlé vodní plochy (**Dimitrovský, 2001**). Centrální část Sokolovské pánve představuje nejhlubší část západního úseku podkrušnohorského příkopu vyplněného terciárními sedimenty a vyznačuje se nejúplnějším vývojem terciární sedimentace s vesměs největšími mocnostmi jednotlivých souvrství. Povrch celé oblasti tvoří převážně sedimenty cyprisového souvrství (**Rothbauer, 2004**). Produktivní uhlonosné vrstvy jsou v geologické stavbě pánve zastoupeny třemi slojemi: Josef, Anežka, Antonín:

- **Sloj Josef:** je nejstarší. Průměrná mocnost je 6 – 12 m. Charakteristický je vysoký obsah síry (3 – 6 %) podmíněný bohatou příměsí pyritu. Často se v nadloží sloje vytvořila další sloj o mocnosti 1 – 3 m, nazývaná „doprovodný Josef“. Je tvořena uhlím s vysokým obsahem popela a uhelnými jíly. Uhlotvorná sedimentace této sloje byla přerušena nánosy vulkanodetrické série v mocnostech 30 m, výjimečně až 50 m.
- **Sloj Anežka:** je oddělena od sloje Antonín mezislojovými vrstvami jílu nebo čedičových tufů. Místy mezislojové vrstvy chybí a sloje splývají.
- **Sloj Antonín:** stejně jako Anežka vznikla během hlavní miocénní sedimentace. Tato sloj je nejmladší a nejstálejší v Sokolovské pánvi. Její uhlí je z hlediska výhřevnosti nejméně kvalitní, avšak obsahuje nejméně škodlivin. Nadloží sloje Antonín tvoří cyprisové souvrství s průměrnou mocností kolem 100 m. Název pochází od hojného výskytu skořepce *Cypris angusta*. Je tvořeno monotónní sedimentací jílovců, popřípadě jílu. Jílovce mají horizontální odlučnost – vrstevnost a jsou také postiženy vertikálním rozpukáním. Sloj Antonín představuje převážnou část těžných skrývkových zemin z nadloží uhelných slojí.

Kvartérní sedimenty v Sokolovské pánvi nejsou příliš mocné. Vyskytují se zde většinou těžké hnědé půdy, převážně jílovité a kyselé. Ojedinele se vyskytují i sprašové půdy. Ve vrchních písčitých a jílovitých vrstvách jsou patrné i struktury vzniklé mrazem za dob ledových (**Dimitrovský, 2001**).

4.1.1.2 Historie a současnost hornické činnosti v sokolovské pánvi

První věrohodné zprávy o povrchovém sběru či rýžování cínu v oblasti Slavkovského lesa jsou staré více než tisíce let.

O uhlí v regionu, nikoliv však o jeho těžbě, se zmiňuje poprvé v 16. století Georgius Agricola, německý lékař, přírodovědec, který působil v Jáchymově. V roce 1545 vydal první encyklopedii o hornictví *De re metallica* (Dvanáct knih o hornictví a hutnictví). Nejstarším písemným dokladem o těžbě uhlí na Sokolovsku je zápis v kronice města Horního Slavkova, pocházející z roku 1642.

Postupně začínala vznikat těžářstva a později, kolem roku 1850, také těžební společnosti. První těžářstvo je připomínáno v knize města Falknova, dnešního Sokolova. V roce 1826 je uváděno pouze v loketské části revíru již 36 větších dolů. Těžba uhlí postupně stoupala. V roce 1860 se vytěžilo 102 625 tun, v roce 1872, po

otevření železnice z Chebu do Chomutova, představovalo toto množství 588 740 tun. V roce 1886 překročila těžba poprvé jeden milion tun. V červenci roku 1997 byla od počátku dobývání v regionu vytěžena již jedna miliarda tun uhlí. Vytěžené uhlí se zpracovávalo od roku 1800 v takzvaných minerálních závodech. V těchto závodech se zpracovávaly kyzky (pyrit FeS_2) a vyráběl se z nich kamenec, vitriolový kámen, zelená a modrá skalice a dýmavá kyselina sírová (oleum) (**Frouz a kol, 2007**).

Až do začátku 20. století byly způsoby dobývání v dolech dosti primitivní. Uhlí se kopalo motyčkami a nakládalo do koleček, kár, později důlních vozíků. Situace se začala měnit po roce 1910, kdy byla v revíru nasazena první parní lopatová a korečková rypadla. Kolesová rypadla se zde začala uplatňovat až v průběhu 2. světové války. V 50. letech byly zahájeny práce na rekonstrukci lomů a velkolomová koncepce (nová kolesová rypadla, zakladače, elektrická lopatková rypadla, elektrifikace dopravy – el.lokomotivy) znamenala zvýšení těžby. V druhé polovině 50.let došlo k rozvoji moderního velkolomu Jiří.

Do roku 2000 se spotřeba uhlí podstatně snížila a byla příčinou celkového poklesu ročních těžeb až na polovinu, tj. 10 miliónů tun. Předpokládaná životnost velkolomu Jiří je rok 2025 při kapacitě 7,5mil.tun ročně. Velkolom Družba – 2035: 2,3mil t **Štrundl (2001)**.

4.1.1.3 Popis sledovaných ploch

Jak jsem již zpočátku uvedl, měření, stejně jako odebírání vzorků půdy, jsem prováděl u souboru 12-ti ploch na velké podkrušnohorské výsypce se stářím 20 až 30 let.

A) Osm těchto ploch je porostlých čtyřmi typy dřevinné vegetace různého stáří:

- **A1, A2**

Smíšený porost olše lepkavé (*Alnus glutinosa*) a olše šedé (*Alnus incana*). Podrost je tvořen převážně třtinou křovištní (*Calamagrostis epigejos*). Celková pokryvnost bylinného patra je blízká 100%.

- **Q1, Q2**

Porost dubu letního (*Quercus robur*). Podrost je dominován třtinou křovištní (*C. epigejos*). Vyskytuje se zde ale i řada dalších, převážně lučních druhů, z

nichž nejvýznamnější je jahodník obecný (*Fragaria vesca*). Celková pokryvnost bylinného patra je přibližně 50%.

- **PN2, PN3**

Porost borovice pokroucená (*Pinus contorta*). Podrost je dominován třtinou křovištní (*C. epigejos*) a ostružiníkem (*Rubus fruticosus* agg.). Celková pokryvnost bylinného patra je přibližně 70%.

- **PC2, PC3**

Porost smrku omoriky (*Picea omorika*). Dominanta podrostu je opět třtina křovištní (*C. epigejos*). Vyskytují se zde ale i některé další, převážně luční druhy, z nichž nejvýznamnější je metlice trsnatá (*Deschampsia cespitosa*). Celková pokryvnost bylinného patra je přibližně 15%.

B) Nerekultivované plochy porostlé pátým druhem dřevinné vegetace:

- **S2, S3** – nasypané 1984

Plochy spontánně zarostlé vrbou jívou (*Salix caprea*) a břízou bělokorou (*Betula pendula*). Podrost je dominován lipnicí luční (*Poa pratensis*), lipnicí hajní (*Poa nemoralis*) a třtinou křovištní (*C. epigejos*). Celková pokryvnost bylinného patra je přibližně 20%.

C) Nerekultivované - Experimentální plochy nejmladší:

- **I** - nasypané: 1990

Spontánně zarostlá plocha, ve vegetaci dominuje třtina křovištní (*C. epigejos*) a podběl lékařský (*Tussilago farfara*). Celková pokryvnost bylinného patra je přibližně 20%. Stromové patro není vyvinuto.

- **E** - nasypané: 2003

Spontánně zarostlá plocha, ve vegetaci se vyskytuje převážně podběl lékařský (*Tussilago farfara*). Celková pokryvnost bylinného patra je přibližně 25%. Stromové patro není vyvinuto.

S ohledem na sypaní výsypek důlním zakladačem zde vznikly typické vlnovité tvary, tvořené hlavně jíly, které mají jemný lístkový rozpad, délka vlnovitých tvarů se pohybuje v rozmezí desítek až stovek metrů v závislosti na technice sypaní (**Kuráž, 2003**). Na všech nerekultivovaných plochách byly vybrány vždy dvě měrné plochy. Plocha umístěná ve vyvýšené části je označována (**T**) a plochy umístěné v depresní

části profilu jsou označovány (**B**), přesněji řečeno – na plochách jsem prováděl zdvojená měření (**S2T, S2B, S3T, S3B**). Na všech plochách jsem zjišťoval vlhkost a půdní Ca, díky absenci vzrostlé vegetace jsem vynechal na plochách **IB, IT, EB** a **ET** měření hydraulické vodivosti.

4.2 Použité metody

4.2.1 Terénní práce

4.2.1.1 Hydraulická vodivost

Hydraulickou vodivost je možné zjišťovat dvěma způsoby - a to laboratorně a terénně. Já jsem se zaměřil na způsob terénní, který má příznivější vypovídací hodnoty oproti způsobu laboratornímu.

A) Popis použitého přístroje:

Vzhledem k tomu, že předmětem mé práce byly výsypkové půdy, které se vyznačují tím, že hladina spodní vody je ve větší hloubce, použil jsem pro toto měření tzv. *Guephský permeametr* (Obrázek 4). Tento přístroj patří ke skupině závrtných infiltrometrů. Funguje na principu Mariotteovy láhve a pracuje dle metody „constant head well“ (konstantní výška tlaku) (**Schmidt, 2007**). Zařízením měříme ve válcové nezapažené sondě o poloměru (2-5cm). Měříme časový průběh poklesu vody v rezervoáru do dosažení ustáleného stavu, za předpokladu dosažení dostatečného podtlaku (**Kuráž, 2003**). Měření probíhá v In-situ (tzn. porušení půdy je do značné míry zabráněno).



Obrázek 4

Guephský permeametr

B) Popis experimentální práce:

Na každé výše zmíněné ploše pod určitou dřevinou jsem vyvrtal ručním vrtákem měrný vrt (cca 30 cm) o průměru 5 cm a do takto připraveného otvoru jsem opatrně vsunul performovanou výtokovou část permeamtru. Na každé ploše jsem měření pro kontrolu dvakrát opakoval, pokaždé v jiný den. První měření probíhalo 15.10.2007, druhé 23.10.2007. K měření jsem používal blok, tužku a mobilní telefon se stopkami. Stanovil jsem dobu odčítání poklesu hladiny v zásobním válci permeamtru po pěti minutách až do té doby, kdy v půdním profilu nastal rovnovážný tok, tzn. závislost poklesu hladiny ve válci na čase byla lineární.

Tato metoda je vhodná pro měření hydraulické vodivosti řádově $10^{-4} - 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Na některých plochách v sušším období, hlavně na nerekulitovaných, se ve vrcholných částech (T) vytvářela síť trhlin a při měření voda těmito trhlinami unikala, naměřené hodnoty tak jsou tímto faktem zkresleny a jejich vypovídací hodnota je zde rozdílná než u ploch rekultivovaných. Data, které tak z měření dostáváme, charakterizují jen rychlost proudění těmito trhlinami. Naopak odtékání vody z permeamtru může být zkomplikováno faktem, dojde-li při zhotovování vrtu sondou pro permeametr, hlavně na nerekulitovaných půdách, k uhlazení stěn vrtu. Toto uhlazení je způsobeno nedokonalým rozrušením nasyceného substrátu, který, jak jsem již zmínil, tvoří cyprisové jíly „knihy“. Takovéto uhlazení stěn lze řešit buď vyhloubením náhradního vrtu a nebo pokusem rozrušit stěny dřevěnou tyčkou. V mém případě jsem vyzkoušel obě varianty, při rozrušení uhlazení dřevěnou tyčkou však výsledky byly již ovlivněné a stěží se v této situaci dostaneme k přírodnímu přirozenému stavu, vhodnému pro měření. U ostatních rekultivovaných ploch se žádný větší problém nevyskytl, místy jsem měl v menší míře problém s vyhotovením vrtu sondou díky silnému rozvětvenému kořenovému systému některých dřevin. Samotné provedení vrtu nebyla ani tak otázka techniky jako spíše síly. Výsledná data hydraulické vodivosti jsem získal po přepočítání na základě změřené ustálené hodnoty průtoku:

$$Kfs = [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \frac{C * Q}{(2\pi H^2 + C\pi a^2)} = 1,0274 * 10^{-1} * v$$

4.2.1.2 Půdní vlhkost

měřil jsem metodou dielektrickou, která spadá do tzv. nepřímých metod. Základním problémem je, že žádná z měřených vlastností není závislá pouze na vlhkosti, ale také na dalších vlastnostech půdy (teplota, chemické složení půdy a půdního roztoku, objemová hmotnost atd.). Jejich změna může více nebo méně ovlivnit vlhkostní závislost odpovídajícího parametru. Z elektrických metod jsem použil metodu dielektrickou.

A) *Popis použitého přístroje:*

Dielektrický měřič vlhkosti zemin (Obrázek 5) patří k nejpoužívanějším a jeho základním principem je převodník frekvence – kapacita. Elektrody umístěné v plášti měrné sondy tvoří měrný kondenzátor, jehož kapacita je při měření proměnná s vlhkostí. Kondenzátor je součástí měrného oscilačního obvodu, jehož rezonanční frekvence bude proměnná se změnou kapacity kondenzátoru vlivem změny vlhkosti. Rezonanční frekvence měrného oscilátoru je směřována s konstantní frekvencí druhého oscilačního obvodu a rozdílová frekvence je dále vyhodnocována. Výhody jsou: měření je jednoduché, vliv změny chemického složení a teploty na výsledky měření je prakticky zanedbatelný (Kuráž, 2003).



Obrázek 5 Používaný dielektrický měřič vlhkosti zemin

B) *Popis experimentální práce:*

Před zahájením samotného měření dielektrickým měřičem vlhkosti zemin jsem nejdříve na každé z měřených ploch zabudoval do hloubky 50 cm novodurové pažnice, vyčnívající nad povrch terénu, pro umístění měrné sondy. Na nerektivovaných plochách jsem zabudoval tyto pažnice do vrcholové (T) a depresní

části (B). Měřil jsem ve čtyř hloubkách: 5, 10, 35 a 40 cm. Měření jsem zahájil 12.8.2008, pokračoval 16.11.2008 a 24.11. 2008 a ukončil 17.1.2009 (Tab.č.4). Do posledního měření jsem zahrnul i pozorování promrzání půdy. V termínech měření vlhkosti jsem zaznamenával teplotu, která hraje klíčovou roli, a stav počasí. Vždy jsem se dbal na to, aby veškerá měření probíhala ve srovnatelných podmínkách. Pro zjišťování sněhové pokrývky, teploty a srážek pro promrzání půdy jsem využil internetu (Povodí Ohře, <http://www.poh.cz>). Cílem mého půlročního měření na výsypkách nebylo zachytit dynamiku vodního režimu, ale možnost porovnat naměřené hodnoty vlhkosti v jednotlivých měsících a s nimi i spojené změny a zásoby vody s ohledem na vegetační pokryv plochy. Měření se týkalo všech ploch - rekultivovaných, nerekulitovaných i experimentálních. Pro přepočítání dat z dielektrického měřiče vlhkosti jsem použil hydrolimity, které zde byly měřeny (**Kuráž a kol, nepublikované sdělení**).

4.2.2 Laboratorní práce

4.2.2.1 Půdní uhličitany Ca

Před laboratorním zjištěním půdních uhličitánů jsem nejdříve na jednotlivých plochách 12.8.2008 odebral cca 1 kg vzorků půdy ze sledovaných ploch sokolovských výsypek. Odebrané vzorky jsem nejprve rozdrolil a nechal vysušit ve skleníku, poté jsem takto hrubě vysušenou zeminu zbavil hrubšího skeletu a rostlinných zbytků. V třetí misce jsem vzorek po částech rozmělnil tak, aby nebyly drceny částice (tedy třením, nikoliv roztloukáním). Rozmělněný vzorek jsem přesil sítem s kruhovými vrtanými otvory o průměru 2 mm. Vznikly tedy částice a agregáty o průměru menší než 2 mm.

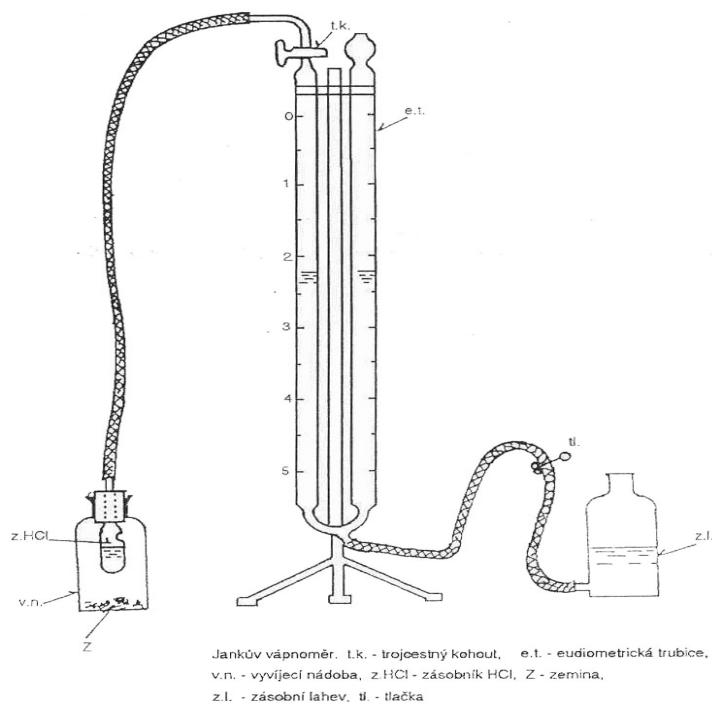
Před každým kvantitativním stanovením je třeba zjistit, zda jsou karbonáty vůbec v půdě přítomny a přibližně stanovit navážku (**Horáček a kol, 1994**).

K orientačnímu stanovení a následně i k samotnému finálnímu stanovení jsem použil 10 % HCl. Na hodinové sklíčko jsem nasypal trochu jemnozeme a pomocí stříčky postříkal zeminu tímto roztokem a sledoval intenzitu šumění.

A) *Popis použitého přístroje:*

Stanovení karbonátů Ca v odebraných vzorcích půdy jsem provedl tzv. Jankovým vápnoměrem (Obrázek 6), kde ve vyvíjecí nádobě se působí na zeminu 10

% HCl. Vzniklý CO_2 je veden do eudiometrické trubice, která je již kalibrována na základě objemu CO_2 zjištěného při barometrickém tlaku přímo v % uhličitánů (Horáček a kol, 1994).



Obrázek 6

Jankův vápnoměr

B) Popis experimentální práce:

Příprava:

Před zahájením měření jsem samotný přístroj připravil tak, že jsem nejprve nasypal do vyvíjecí nádoby navážku o hmotnosti 5 g podle výsledků orientačního stanovení. Pro kontrolu jsem provedl druhé stanovení o navážce 10 g.

Trojcestný kohout jsem nastavil do polohy, která umožnila propojit trubici z vyvíjecí nádoby s ovzduším. Do zásobníku jsem nalil 10 % HCl tak, aby její hladina sahala asi 0,5 cm pod výtokový otvor. Do zásobníku je napevno vsazena korková zátka, která tento zásobník těsně spojuje s vyvíjecí nádobou tak, aby veškerý vzduch byl vytlačen přes trojcestný kohout. Navlhčením korku jsem zkontroloval, jestli náhodou vzduch neuniká i touto cestou. Kdyby ano, znamenalo by to více utěsnit korek, jinak by bylo celé stanovení znehodnoceno. (Horáček a kol, 1994).

Provedení:

Umístil jsem tlačku na trubici k zásobní lahvi. Po vytlačení vzduchu jsem naplnil eudiometrické trubice destilovanou vodou až k nule na stupnici a otočil trojcestný kohout tak, aby propojoval trubice s ovzduším. Následně jsem trojcestný kohout nastavil tak, aby propojoval trubici z vyvíjecí nádoby a eudiometrickou trubici.

Následně jsem začal krouživými pohyby vyvíjecí nádobu naklánět a vylévat HCl na zeminu. Míchal jsem tak dlouho, dokud neskončil rozklad karbonátů (hladina v trubici neklesá, vzorek již nešumí).

Vyhodnocení:

Po kontrole jsem přečetl na stupnici procentické zastoupení karbonátů ve vzorku.

4.2.2.2 Stanovení zrnitosti složení

Na stanovení zrnitostního složení výsypkových půd jsem použil stejných vzorků jako na stanovení půdních uhličitánů s tím rozdílem, že jsem zeminu vyschlou na vzduchu, která obsahuje určité množství hygroskopické vody, což způsobuje nepřesnosti v kvantitativním určení navážky, následně upravil na sušinu. Vzorky zemin jsem umístil na 120 minut při 90 °C do sušárny a dále zpracoval na jemnozem.

A) *Popis experimentální práce:*

Pro stanovení jsem zvolil hustoměrnou metodu (dle A.Casagrande) (**Horáček a kol, 1994**).

Příprava:

Navážil jsem si 50 g jemnozemě. Toto množství jemnozemě jsem zalil 200 ml destilované vody + 40 ml dispergačního činidla, 10ml/ 10 g půdy (17,85 g dihydrogenfosforečnanu sodného + Na₂CO₃ 3,75 g) a nechal suspenzi 24 h odstát. Po 24 h jsem jednotlivé vzorky s jemnozemí promíchal a nechal povařit jednu hodinu za občasného míchání a průběžného doplňování odpařené vody. Po povaření jsem vzorky opět nechal 24 h odstát.

Provedení:

Po odstátí jsem takto upravené vzorky vpravil kvantitativně do odměrného - sedimentačního válce (1000 ml) a objem jsem doplnil destilovanou vodou do 1000 ml. Připravil jsem si hustoměr, míchačku a tabulku pro zapisování naměřených hodnot. Suspenzi ve válci jsem míchal cca 1 minutu vertikálními pohyby, ihned po ukončení míchání jsem začal měřit.

Vyhodnocení:

Připravený hustoměr jsem opatrně vložil do suspenze. Zaznamenával jsem měření v časech: 30'', 1', 2', 5', 15', 45', 120', 300', 24 hodin.

5 Výsledky

5.1 Hydraulická vodivost

Hydraulická vodivost jednotlivých ploch je shrnuta v tab.č.1. Z tabulky je patrné, že k nejnižší hodnoty vodivosti byly naměřeny na nerektivovaných půdách (S2) v depresní části (B). Tento fakt podporují tři měření, která proběhla na této ploše a vykazují shodnou rychlost nasycení. Rekultivované plochy se vyznačují nejmenší vodivostí nasycení na ploše Q. Naopak největší nasycená hydraulická vodivost byla opět na nerektivovaných plochách S2, vrcholová část (T). Ostatní zkoumané plochy vykazují shodné rychlosti nasycení. V „Příloze č.1“ bakalářské práce jsou vyhotovené grafy ke každé ploše, které vykazují postupný lineární pokles až k úplnému nasycení, konstantní hladině.

Datum	plocha	měření	Kfs [$m \cdot s^{-1}$]	Datum	plocha	měření	Kfs [$m \cdot s^{-1}$]
15.10.07	S2B	I.	$3,42 \cdot 10^{-7}$	15.10.07	S3B	I.	$5,13 \cdot 10^{-7}$
15.10.07		II.	$3,42 \cdot 10^{-7}$			II.	$4,56 \cdot 10^{-7}$
23.10.07		III.	$3,42 \cdot 10^{-7}$		PN3	I.	$5,70 \cdot 10^{-7}$
	S2T	I.	Chyba			II.	$4,56 \cdot 10^{-7}$
		II.	$7,99 \cdot 10^{-7}$		PN2	I.	$5,70 \cdot 10^{-7}$
		III.	$6,84 \cdot 10^{-7}$			II.	$5,70 \cdot 10^{-7}$
	PC3	I.	$5,13 \cdot 10^{-7}$		Q1	I.	Chyba
		II.	$5,70 \cdot 10^{-7}$			II.	$3,42 \cdot 10^{-7}$
		III.	$5,70 \cdot 10^{-7}$		Q2	I.	$3,42 \cdot 10^{-7}$
15.10.07	PC1	I.	$4,56 \cdot 10^{-7}$			II.	$5,13 \cdot 10^{-7}$
23.10.07		II.	$5,13 \cdot 10^{-7}$	15.10.07	A1	I.	$4,56 \cdot 10^{-7}$
	S3T	I.	$4,56 \cdot 10^{-7}$	15.10.07		II.	Chyba
		II.	$4,56 \cdot 10^{-7}$	23.10.07		III.	$5,13 \cdot 10^{-7}$
					A2	I.	$5,13 \cdot 10^{-7}$
						II.	$5,13 \cdot 10^{-7}$

Tab.č.1. Výsledky Kfs

5.2 Půdní vlhkost

Je k dispozici 5 měření v odlišných teplotách (21, 11 , 6 , 0 , -6 °C). Počasí, než začalo sněžit a mrznout, bylo podobné, tedy dešťové přeháňky.

Hloubka sondy (cm)				Hloubka sondy (cm)			
Vlhkost % obj.				Vlhkost % obj.			
5	10	35	40	5	10	35	40
PN3				PC3			
25	38	19	22	53	44	33	36
49	41	21	26	65	59	42	45
41	44	32	28	57	65	48	39
54	54	48	48	58	61	51	51
31	39	30	11	36	44	49	47
PN2				PC2			
34	30	11	19	28	40	25	24
51	47	14	20	44	49	28	26
41	48	26	22	34	42	24	26
55	55	45	45	52	52	42	42
22	35	17	20	32	44	40	41
A2				Q1			
53	47	20	14	39	33	16	20
64	69	48	40	57	46	25	23
66	60	57	53	55	55	47	49
69	68	56	57	63	63	55	55
19	54	52	45	19	30	35	48
A1				Q2			
65	72	38	45	43	28	29	35
71	74	44	48	43	56	39	39
72	73	47	52	44	42	39	40
76	76	60	60	56	52	52	52
45	54	43	50	14	24	34	42

Tab.č.2 Půdní vlhkost na rekultivovaných plochách

Měření vlhkosti	
I.	12.8.08 / 10:00, po dešti polojasno, 21 °C
II.	22.10.08 / 11:00, déšť zataženo, 11 °C
III.	16.11.08 / 10:30, přeháňky, polojasno, 6 °C
IV.	24.11.08 / 11:30, sněh 10 cm, polojasno 0 °C
V.	17.1.09 / 11:45, sněh 20 cm, polojasno - 6 °C

Tab.č.3. Termíny a klimatické podmínky měření vlhkosti na rekultivovaných nerekultivovaných půdách

Hloubka sondy (cm)				Hloubka sondy (cm)			
Vlhkost % obj.				Vlhkost % obj.			
5	10	35	40	5	10	35	40
S3B				S2B			
40	40	21	30	43	54	37	24
51	57	31	35	62	61	36	27
43	54	44	51	59	60	43	29
64	64	55	55	54	62	51	51
34	43	43	49	55	59	37	28
S3T				S2T			
32	37	33	37	45	45	26	23
60	51	38	39	54	43	33	30
58	47	52	55	55	55	36	32
51	53	59	59	44	44	46	46
35	60	44	54	42	39	34	25
EB				IB			
46	50	17	16	31	36	35	37
55	57	29	44	47	55	47	47
50	55	44	38	35	51	40	34
57	51	39	37	55	46	43	31
-	-	-	-	34	49	40	39
ET				IT			
23	27	14	15	25	30	13	20
42	53	32	28	45	53	50	45
36	44	32	30	38	47	41	49
53	49	42	42	53	53	46	50
-	-	-	-	30	43	37	46

Tab.č.4. Půdní vlhkost na nerektivovaných plochách

Rozdělil jsem plochy na dvě skupiny, plochy nerektivované (tab.č.4), kde jsem měřil hodnoty na tzv. vlnách, v depresi a na vrcholu (*S2,S3,I,E*), a plochy rovné, rekultivované (tab.č.3), kde jsem měřil vlhkost 1x. Na plochách (*S2,S3,I,E*) jsem zjistil, že největší vlhkost (tab.č.4) je v depresích bez ohledu na dobu měření. Nejvyšší naměřená vlhkost na těchto plochách byla zjištěna na ploše *S2B*, zde vlhkost činí v 10 cm 59,25 %, stejně tak na této ploše byla naměřena i nejnižší nasycená hydraulická vodivost. Dále jsem zjistil, že nejvyšší vlhkost na těchto nerektivovaných plochách, vzhledem k hloubce měření, je právě v 10 cm (průměrná vlhkost 50,4 % obj.), druhá nejvyšší vlhkost v 5 cm (47,1 % obj.) Porovnáme-li vlhkost ploch nerektivovaných (*S2,S3*) a nerektivovaných - experimentálních (*I, E*) ploch, které se liší stářím nasypání a vegetací, tak vyšší vlhkost je na nerektivovaných půdách (*S2,S3*) – viz „Příloha č.2“

5.3 Půdní uhličitany

Z odebraných vzorků půd byly v laboratoři testovány karbonáty na všech výše uvedených plochách. Na plochách, které byly nasypány do „vln“, byly odebrány dva vzorky, a to z vrcholné části (T) a depresní části (B). Výsledky jsou následující (Tab.č.5):

- **Nejvíce Ca obsahuje plocha:** S2B (6%) a S2T (4,2%) = *vápnitá půda*, plocha, která je charakterizována vegetací cca 25 let starou, porostlou víceméně souvislou křovinnou a stromovou vegetací.

- **Jako slabě vápnité plochy:** IT (2,2%) IB (2,7%) EB (2,5%) ET (2,3%) PC2 (1,2%) PC3 (1 %) – *Picea*, PN3 (0,5%) PN2 (0,8%) – *Pinus* A1 (2,1%) A2 (1,8%)-*alnus* Q2 (2,7%) - *Quercus*

- **Bezkarbonátové:** S3B (0,25%) S3T (0,25%)

č.	Plocha	Orientační stanovení	Navážka vzorku, výsledek (%)		Hodnocení půdy
			I. / 5g.	II. / 10g.	
1.	IB	1-5% Šum.výrazné	2,76	2,7	Slabě vápnitá
2.	IT	1-5% Šum.výrazné	2,2	2,2	Slabě vápnitá
3.	PC2	1-5% Šum.výrazné	1,04	1,2	Slabě vápnitá
4.	PC3	0,3-1% Šum.slabé/výr.	1	1	Slabě vápnitá
5.	S3B	< 0,3 % Šum.slabé	0,2	0,25	Bezkarbonátová
6.	S3T	< 0,3 % Šum.slabé	0,15	0,25	Bezkarbonátová
7.	PN3	0,3-1% Šum.slabé	0,4	0,55	Slabě vápnitá
8.	PN2	0,3-1% Šum.slabé	0,6	0,8	Slabě vápnitá
9.	EB	> 5 % Šum.bouřlivé	2,5	2,4	Slabě vápnitá
10.	ET	1-5% Šum.výrazné	2,4	2,3	Slabě vápnitá
11.	A2	1-5% Šum.výrazné	2,2	2,1	Slabě vápnitá
12.	A1	1-5% Šum.výrazné	2,2	1,8	Slabě vápnitá
13.	S2B	> 5% Šum.bouřlivé	6	6	Vápnitá
14.	S2T	> 5 % Šum.bouřlivé	4,2	3,96	Vápnitá
15.	Q2	1-5% Šum.výrazné	2,6	2,76	Slabě vápnitá
16.	Q1	< 0,3 % Šum.slabé	0,22	0,22	Bezkarbonátová
Kyselina: HCl 10%					
Přístroj: Jankův vápnoměr					

Tab.č.5. Půdní uhličitany zkoumaných půd

5.4 Stanovení zrnitosti složení

č.	plocha	Klasifikace půd	
		Novák	Kačinskij
1	PC3	Těžká <i>Jílovitá</i>	Hlína střední
2	PC2	Těžká <i>Jílovitá</i>	Hlína střední
3	Q1	Těžká <i>Jílovitá</i>	Hlína střední
4	Q2	Střední <i>Hlinitá</i>	Hlinitá střední
5	S3T	Střední <i>Hlinitá</i>	Hlinitá střední
6	S3B	Střední <i>Písčitohlinitá</i>	Hlinitá lehká
7	S2B	Těžká <i>Jílovitohlinitá</i>	Hlinitá těžká
8	S2T	Těžká <i>Jílovitohlinitá</i>	Hlína lehká
9	A1	Těžká <i>Jílovitá</i>	Hlína střední
10	A2	Těžká <i>Jíl</i>	Hlína těžká
11	PN2	Těžká <i>Jílovitohlinitá</i>	Hlína lehká
12	PN3	Těžká <i>Jílovitá</i>	Hlína střední
13	IT	Těžká <i>Jílovitá</i>	Hlína střední
14	IB	Těžká <i>Jílovitá</i>	Hlína střední
15	EB	Těžká <i>Jílovitá</i>	Hlína střední
16	ET	Těžká <i>Jílovitohlinitá</i>	Hlína lehká

Tab.č.6. Zrnitostní složení zkoumaných půd

č.	vzorek	%			
		Jíl	Prach / jemný písek	Písek	
1	PC3	70,5	18,32	10,18	100
2	PC2	72	15,24	12,76	100
3	Q1	62,5	29,2	7,3	100
4	Q2	41	26,17	31,83	100
5	S3T	42,8	24	33,2	100
6	S3B	48	27,5	23,5	100
7	S2B	62,77	29,6	6,63	100
8	S2T	57,29	18,9	23,81	100
9	A1	45,54	31,11	21,35	100
10	A2	53,34	33,87	11,79	100
11	PN2	52	26,3	20,7	100
12	PN3	63	25,6	11,4	100
13	IT	70,5	20,6	7,9	100
14	IB	65,34	14,55	20,11	100
15	EB	62,54	26,32	11,14	100
16	ET	59,84	32,45	6,71	100

Tab.č.7. Procentické zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí půdy

6 Diskuze

6.1 Hydraulická vodivost pod různými rekultivačními porosty

Všechny měřené plochy vykazují podobné vlastnosti při nasycené hydraulické vodivosti, které jsou víceméně ovlivněné rekultivačním porostem. Tyto porosty, respektive jejich kořenové systémy, mají vliv na vytváření preferenčních cest a strukturu půdy. Z tabulky č.1 je patrné, že rychlost při lineárním sestupu hydraulické vodivosti (viz. „Příloha č.1“), kdy půda dosahuje téměř svého nasycení, se pohybuje na plochách (**PC3, PC1, PN3, PN2, Q1, Q2, A1, A2**) mezi $3,42 - 5,7 * 10^{-7}$. Patrná je jediná výjimka, na ploše **Q - dub**, hydrovodivost na této ploše je stejně nízká jako u plochy **S2B** ($3,42*10^{-7}$), zde je možné, že hydraulická vodivost je ovlivněna kořenovým systémem, který bývá u tohoto druhu stromu velmi dobře vyvinutý díky výraznému kulovému kořenu. I když na této ploše je vyšší stupeň prokořenění, což by mělo za následek právě vyšší hydraulickou vodivost, záleží také na umístění přístroje. Měření probíhalo mimo hlavní kořenový systém, kde se nacházely spíše menší kořenové části. Další možností ovlivnění výsledku je při sypání výsypek samotný substrát, který v některých místech nemusí být stále rozrušen a vyvinut. Velké množství jílnatých a kamenitých částí také zamezuje vsaku vody do půdního profilu. Důležitým faktem pro hydraulickou vodivost je úroveň vlhkosti, která je na této ploše spíše menší díky kumulaci organické hmoty (opadu) na povrchu půdy a tím zpomaluje proces zvětrávání půdního substrátu.

Chyby, které se během měření vyskytly a jsou zanesené v tabulce č.1, reprezentují právě buď uhlazené stěny vrtu sondou a nebo možnost, že proudící voda z permeometru narazila na překážku, a tím zamezila proudění vody. Jak se však tlak vody neustále zvětšoval, byla tato překážka vyplavena a voda proudila dál. Avšak domnívám se, že tekla právě do některé z puklin. Takový průběh hydraulické vodivosti je patrný na grafu v „Příloze č.1“, např. s označením S2T, I.měření_CH.

Při porovnávání hydraulické vodivosti v technologii sypání výsypek jsou jednoznačně viditelné rozdíly (tab.č.1) na plochách S2 a S3. Tyto plochy byly nasypány do „vln“ (vrchol, deprese), nejpomalejší vsak nastává v depresi (B), kde se může kumulovat voda, která stéká z vrcholu (T) a má menší možnosti k jejímu odtékání a propustnosti. Tento fakt je podpořen vlivy, které zde působí - vyšší vlhkostí a objemovou hmotností, rychlejším rozpadem substrátu. Hydraulická vodivost je největší na vrcholku (T), zde chybí pevné podloží a spodní voda. V sušším období se

na vrcholu (T) tvoří praskliny, kterými voda rychleji odtéká a naměřené hodnoty mohou být zavádějící. S určitou dávkou zjednodušení můžeme říci, že rovnané plochy mají hydraulickou vodivost mezi těmito extrémy.

Při měření nasycené hydraulické vodivosti **Kuráz (2003)** v laboratoři i v terénu se dospělo k výsledkům, že hodnoty naměřené v laboratoři jsou výrazně nižší. Jedná se zde o hydraulickou vodivost substrátu bez významnějšího ovlivnění makropóry. Při terénním měření se na výsledcích výrazně uplatňovaly trhliny, které se na nezastíněném povrchu vytvářely v období přísušku (vrcholová část), nebo různé otvory a kaverny, vzniklé při ukládání balvanitého substrátu. Proto některé hodnoty bývají na pokraji měřitelnosti. Je tedy možné konstatovat, že hodnoty hydraulické vodivosti jsou v depresních polohách většinou prokazatelně nižší než hodnoty ve vrcholových částech. Hlavní příčinou je rychlejší proces zvětrávání v humidnějších depresních částech. Tato tvrzení o vlastnostech hydraulické vodivosti na Sokolovských výsypkách se shodují s výsledky, které jsem na dané lokalitě zjistil já. Porovnáme-li možnosti měření hydraulické vodivosti právě ze Sokolovských výsypek a na zemědělské, obhospodařované půdě **Schmidt (2007)** shodně se, že nasycená hydraulická vodivost je především závislá na druhu půdy a jejích vlastnostech, které ztěžují zjišťování reprezentativních K_s hodnot. **Schmidt (2007)** stejně jako **Kuráz (2003)** zjišťoval nasycenou hydraulickou vodivost i laboratorně. Zde poukazuje na velkou prostorovou variabilitu, která se projevuje v silné závislosti na objemu odebrané zeminy. K_s hodnoty, které byly zjištěny pomocí odběrného válce, jsou striktně platné jen pro objem rozměru odběrného válce a opomíjí ostatní důležité vlastnosti zkoumaných půd. Právě pro půdu s vlastnostmi struktury silně podmíněnými skladbou (suché trhliny, cesty dešťovek atd.) jsou odběrné válce většinou málo vhodné ke zjištění hydraulické vodivosti. Vedle chyb měřicí techniky, které mohou vyplývat z měřicího principu stanovení hodnoty K na odběrném válci, se často také vyskytují v případě makropórních půd metodické potíže, které vyplývají z vysoké rychlosti toku do makropóru. V takovýchto případech jsou často potřebná mnohočetná měření, aby bylo možné odvodit reprezentativní hodnotu. V tomto případě se **Schmidt (2007)** dostává ke stejným závěrům, ke kterým jsem dospěl při svém měření já i **Kuráz (2003)**.

Kuráz (2003) při měření vlhkosti na stejné lokalitě dospěl k závěrům, že pokud srovnáme průběhy vlhkosti pro jednotlivé experimentální plochy, tak v depresích jsou vždy vlhkosti vyšší bez ohledu na dobu měření. Tyto výsledky se

dobře shodují s mými výsledky. Největší rozdíly jsou v povrchových vrstvách, hloubkou se tyto difference zmenšují.

Plochy rekultivované (*PN3, PN2, A2, A1, PC3, PC2, Q1, Q2*) – viz tab.č.2 - nejvlhčí plocha je A1 (průměrně 60,9 % obj.), vlhkost je zde ovlivněna zastíněním půdního povrchu a opadem. Vlhkost na této ploše je sice větší, ale také více stabilní než u ostatních rekultivovaných ploch. Porovnáme-li výkyvy vlhkosti vzhledem k teplotě, tak opět plocha A1 má tentokrát nejmenší vlhkostní kolísání (viz „Příloha č.2“). K velkým výkyvům vlhkosti dochází zejména v hloubce mezi 10 – 35 cm skoro na všech plochách (rekultivované i nerektivované, tab.č. 4), kdy se vlhkost podstatně snižuje a mezi 35 a 40 cm opět mírně vzroste. I když půda na výsypkách nemá zpravidla dostatečně vyvinutý půdní horizont ve všech jeho složkách, je možné, že 10 cm reprezentuje A horizont, 35 cm reprezentuje horizont B až C a zde právě dochází k úbytku organické hmoty a částečně se objevuje zvětralá hornina z nasypání výsypek, a tím vlhkost v této hloubce značně kolísá. S hloubkou dochází k redistribuci a infiltraci vody. Tím, že výsypkový půdní horizont není plně vyvinutý, můžeme jen orientačně určit propustné a nepropustné podloží půdy právě podle vzrůstající či klesající vlhkosti. V sušších obdobích dochází v této hloubce k vysychání patrně díky kořenovému systému, který odebírá potřebnou vláhu pro rostliny. Trochu jiné to bude se stejným problémem na plochách s „vlnami“ ve vrcholové části, kde působí na vlhkost právě již zmiňované praskliny. V teplotě (Tab.č.3) od 0 °C do poslední měřené teploty dne 16.1.2009 (– 6 °C) zde hrála velkou roli sněhová pokrývka. Při 0 °C půda nevykazovala známky promrznání a vlhkost byla velmi vysoká. Bylo to tím, že nejdříve napadl sníh a půda neměla čas promrznout. Po oblevě a holomrazu jsem zjistil, že půda je již zmrzlá ve všech měřených hloubkách (5, 10, 35, 40 cm), i když následně na zmrzlou půdu napadl sníh, nic to neměnilo na výsledku měření. Půdní vlhkost jsem měřil pomocí Dielektrického měřiče vlhkosti zemin.

Novák (2002) pro měření použil metodu pulzní reflektometrie (TDR), která byla vyvinuta k detekci a lokalizaci poruch kabelů. Od konce sedmdesátých let dvacátého století je stále častěji používána ke stanovení půdní vlhkosti „in situ“, spadá do dielektrických metod. Dále uvedl, že vlhkost svrchní části půdního profilu se během roku značně mění. Nejvýznamnějších hodnot dosahuje vlhkost v jarních měsících (březen – květen), kdy je až dvojnásobná oproti minimálním hodnotám v létě a na podzim. V zimních a srážkami chudších měsících je odpařování i evapotranspirace samozřejmě daleko méně intenzivní a také infiltrace se omezuje

pouze na krátká období tání sněhové pokrývky. Při měření vlhkosti na extrémních lokalitách, kterým bezesporu výsypky jsou, se tento přístroj, i když vykazuje velmi přesné měření (1-2%), nedoporučuje. Přístroj má omezené použití v půdách s vysokou koncentrací solí a je potřeba jej často kalibrovat v půdách s vysokým obsahem jílu a organické hmoty, proto se může stát, že výsledky budou zavádějící a nepoužitelné.

Během studia vodního režimu na sokolovských výsypkách jsem se zaměřil také na stanovení množství karbonátů Ca právě na těchto plochách. Po provedené laboratorní práci **Frouz 2009 (ústní sdělení)** zjistil, že některé vrstvy cyprisových jílu jsou silně inkrustovány karbonáty, které vedou ke vzniku pseudoskeletu, drobných slepených „kaménků“, jejichž přítomnost může v jinak velmi těžké půdě zlepšovat fyzikální vlastnosti.

Zjistil jsem, že největší obsah karbonátů Ca (Tab.č.5) je na plochách S2, kde jsem mimo jiné změřil nejpomalejší a nejrychlejší hydraulickou vodivost a vlhkost. Vezme-li se v úvahu stáří dřevin, zjištěné pH (S2B=6,69 S2T=6,79), vlhkost půdy a hydraulická vodivost je možné, že v této kombinaci má mimořádný význam uvolňující se Ca^{2+} v půdním roztoku mateční horniny. To má za následek vznik příznivé struktury, umožňující dosažení optimálního vodního, vzdušného i tepelného režimu jako důležitého předpokladu pro příznivý průběh oxidačně redukčních procesů v půdě, nutný pro příjem živin, a tím i pro úspěšný růst a vývoj. Tato plocha spadá do kategorie středních vápnatých půd.

Do slabě vápnatých půd jsem zařadil až na plochu S3 zbývající plochy (Tab.č.5). Nerekultivovaná plocha S3 je zajímavá z hlediska množství karbonátů Ca, plocha vykazuje nejmenší množství Ca (Tab.č.5), i když plocha S2, která je jí nejvíce podobná a je od S3 vzdálená okolo 500m, vykazuje největší obsah Ca. Tento fakt je nejvíce ovlivněn kvalitou nasypaného substrátu. Hraje zde roli místo, hloubka a mateční hornina, odkud byla zemina z dolu na vysypání výsypky vzata. Plocha S2 byla vysypána substrátem smíšených svahovin ze slabě kyselého materiálu, plocha S3 zase bezkarbonovými nivními uloženinami.

Z výše uvedeného vyplývá, že vápník ve výsypkové půdě má svůj důležitý význam, který slouží jako stavební prvek a je mnohostranně využíván. Při svém množství se jeho vliv projevuje více či méně v půdotvorném procesu.

7 Závěr

Důležitým a neopomenutelným faktem na pozorovaných plochách Velké podkrušnohorské výsypky je technika sypání výsypky a jejich stáří. Právě tyto faktory ovlivňují vodní režim výsypek. Při měření hydraulické vodivosti jsem dospěl k výsledkům, kdy rekultivované půdy mají vyrovnanější hydraulickou vodivost a až na výjimky dosahují nasycení stejnoměrně. Na nerekultivovaných půdách výsledky nejsou zcela průkazné a jsou velmi ovlivněné prasklinami ve vrcholných částí, zde hraje roli nasypaný substrát a zvětrávání. Kdybychom chtěli dostat reprezentativní hodnoty měření z těchto nerekultivovaných půd, je zapotřebí opakovaných měření třeba i v kombinaci s porovnáním laboratorního zjištění.

Měřená půdní vlhkost je výrazně ovlivněná kořenovým systémem, zastíněním dřevin a absencí půdního horizontu výsypkových půd. Jsou průkazné i vlivy stáří výsypek, které ovlivňují půdní fyzikálně - chemické vlastnosti a tím následně půdotvorné procesy.

Výskyt karbonátů Ca je nejvíce ovlivněn nasypaným substrátem. V souvislosti s příznivými podmínkami, které dané stanoviště nabízí, se jedná o velmi potřebný prvek, který je schopen kladně ovlivňovat vlastnosti těchto půd, a to zejména biologickou činnost jílovitého substrátu, kterým jsou výsypky tvořeny.

8. Použitá literatura:

- [1] **BRADY, Nyle C., WEIL, Ray R.** *The Nature and Properties of Soils*. Stephen Helba; Cheryl Asherman. 3rd compl. edition. Prentice-Hall : Upper Saddle River, 2002. 960 s.
- [2] **ČERMÁK, Petr.** *Severočeská hnědouhelná pánev : Hydrolimity a rekultivace*. 1. vyd. Praha : VUMOP Praha a ČVUT Praha, 2003. 32 s.
- [3] **DIMITROVSKÝ, Konstantin.** *Tvorba nové krajiny na Sokolovsku*. Konstantin Dimitrovský. 1. vyd. Sokolov : Sokolovská uhelná a.s., 2001. 191 s.
- [4] **DOHNAL, Michal**, et al. Stanovení hydraulických vlastností pórovitého prostředí. *Technické listy*. 2006, roč. 2, č. 1 [cit. 2006-11-28], s. 1-2.
- [5] **FROUZ J.**, Popperl J., Přikryl I., Štrundl J., 2007. *Tvorba nové krajiny na Sokolovsku*. Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s., Sokolov, 26 pp.
- [6] **FROUZ, Jan.** Výsypky-pohroma nebo šance?. *National Geographic Česko*. 2008, březen 3, s. 28-34.
- [7] **FROUZ, J.**, KEPLIN B., PIŽL V., TAJOVSKÝ K., STARÝ J., LUKEŠOVÁ A., NOVÁKOVÁ A., BALÍK V., HÁNĚL L., MATERNA J., DÜKER C., CHALUPSKÝ J., RUSEK J. and HEINKELE T. 2001 Soil biota and upper soil layers development in two contrasting post-mining chronosequences, *Ecological Engineering* 17: 275-284
- [8] **FROUZ, Jan**, ELHOTTOVÁ, D, PIŽL, V, et al. The effect of litter quality and soil faunal composition on organic matter dynamics in post-mining soil : A laboratory study . *APPLIED SOIL ECOLOGY* . 2007, Volume: 37, s. 72-80.
- [9] **FROUZ, Jan**, PRACH, K, PIZL, V, et al. Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *EUROPEAN JOURNAL OF SOIL BIOLOGY* . 2008, is. 44, s. 109-121.
- [10] **FROUZ, Jan**, PIZL, V, TAJOVSKÝ, K. The effect of earthworms and other saprophagous macrofauna on soil microstructure in reclaimed and un-reclaimed post-mining sites in Central Europe. *EUROPEAN JOURNAL OF SOIL BIOLOGY : Conference Information: 8th International Symposium on Earthworm Ecology (ISEE8), Date: SEP 04-09, 2006 Cracow POLAND*. 2007, no. 43, s. 184-189.
- [11] **HORÁČEK, Jan**, LEDVINA, Rostislav, KOUBALÍKOVÁ, Jitka. *Geologie a půdoznalství : Cvičení pro I.ročník studia*. Prax Alois. 1. vyd. České Budějovice : ZF-JČU, 1994. 110 s.
- [12] **JANEČEK, M.**: Předmluva, ve sborníku Kultivace a rekultivace půd, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd Praha, 1994, s. 198.

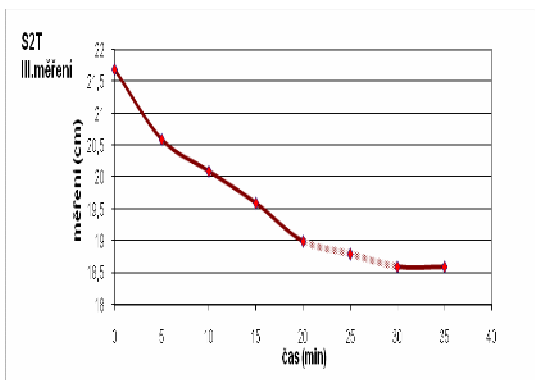
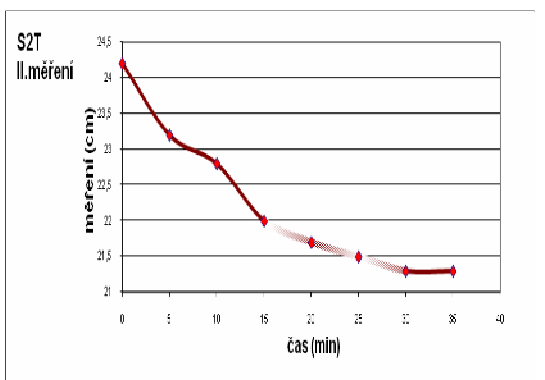
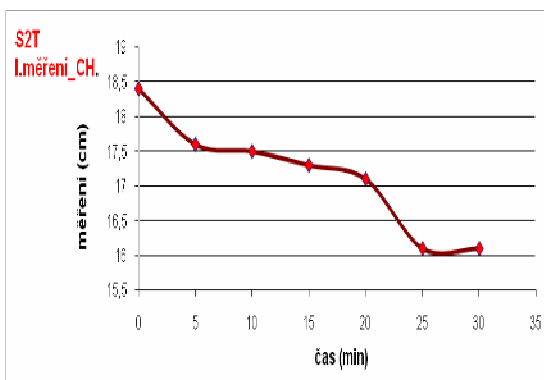
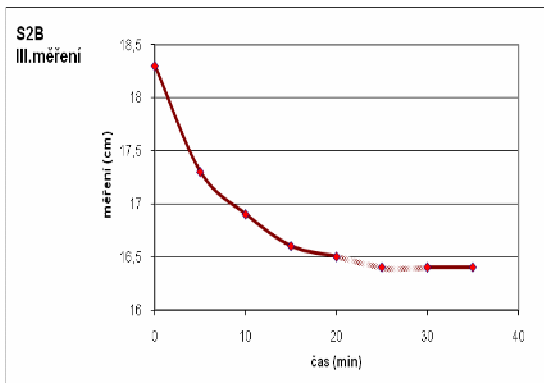
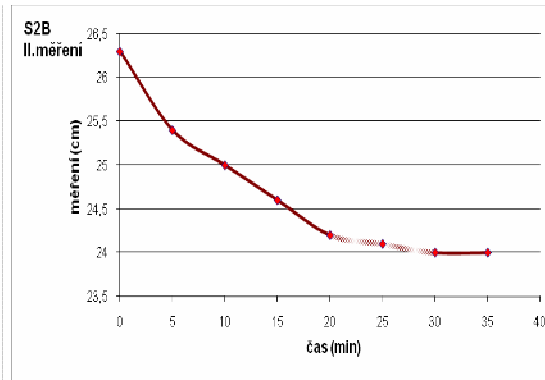
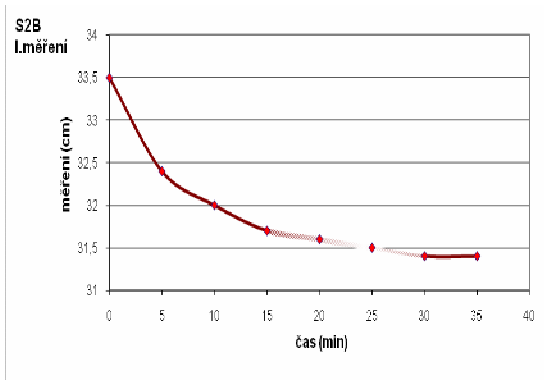
- [13] **JONÁŠ, František.** *Určení způsobů rekultivace a tvorba nových půd na výsypkách v severočeském hnědouhelném revíru.* 1. vyd. Praha : Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 1975. 247 s.
- [14] **KRÍBEK, B., STRNAD M., BOHACEK, Z., SYKOROVA, I., CEJKA, J., SOBALIK.** *Geochemistry of Miocene lacustrine sediments from the Sokolov Coal Basin (Czech republic):* International journal of coal geology 37: 207 - 233
- [15] **KURÁŽ, V.,**2003: *Předběžné výsledky stanovení fyzikálních vlastností výsypek bez rekultivačního zásahu – Sokolovská uhelná in* Trout,J.,Šourková,M.,Frouzová,J. (eds.), Fyzikální vlastnosti půdy a jejich interakce s půdními organismy a kořeny rostlin, pp 99-104. Ústav půdní biologie AV ČR, české Budějovice.
- [16] **KURÁŽ, V.,**2003: *Fyzikální vlastnosti půd – definice, metody, stanovení a interpretace výsledků.* in Trout,J.,Šourková,M.,Frouzová,J. (eds.), Fyzikální vlastnosti půdy a jejich interakce s půdními organismy a kořeny rostlin, pp 9-18. Ústav půdní biologie AV ČR, české Budějovice.
- [17] **KURÁŽ, V, FROUZ, J, KURÁŽ, M, BALINT, M, ABAKUMOV,E.** *The influence of time and the topography on the physical characteristics of the heaps under spontaneous vegetation cover.* Msc.
- [18] **KVÍTEK, Tomáš.** *Zemědělské meliorace.* 1. vyd. České Budějovice : ZF-JČU, 2006. 165 s. Skripta.
- [19] **LÁGNER, Antonín.** *Rekultivace aneb vracíme přírodě co jí dlužíme.* 2004 [cit. 2004-11-11], s. 1-1.
- [20] **LEDVINA, Rostislav, HORÁČEK, Jan.** *Půdoznalství.* České Budějovice : ZF-JČU, 1997. 144 s. Skripta
- [21] **LINHART, Josef.** *Skripta ČZU, etext : Člověk a jeho postavení v biosféře.* Praha : ČZU, 2003 [cit. 2003-05-03].
- [22] **MIKULA, Pavel.** *Zavlažování rostlin, nikoliv půdy.* *Agro navigátor.* 2002, č. 27, s. 22-23.
- [23] **NOVÁK, Petr,** et al. *Monitorování sezónních změn půdní vlhkosti metodou pulzní reflektometrie . In Zprávy o geologických výzkumech v roce 2002.* 2002. vyd. Praha : UK v Praze,PřF., 2002. s. 199-200.
- [24] **PAVEL, Lubomír,** et al. *Geologie a půdoznalství.* 1. vyd. Praha : Vysoká škola zemědělská, 1984. 280 s.
- [25] **ROTHBAUER, I. M.:** *Územní prognóza území dotčeného těžbou hnědého uhlí na Sokolovsku.* © 2003, poslední revize 16. 2. 2004 [cit. 2006-05-05].
- [26] **ROŽNOVSKÝ, J.,Litschmann, T.** (ed): „Bioklimatické aspekty hodnocení procesů v krajině“, Mikulov 9.-11.9.2008

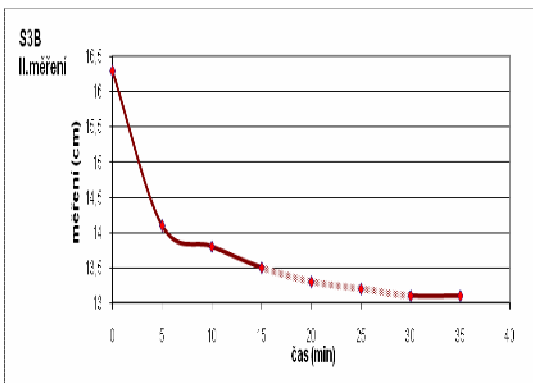
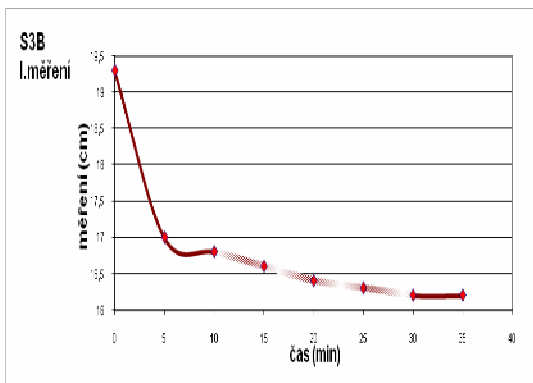
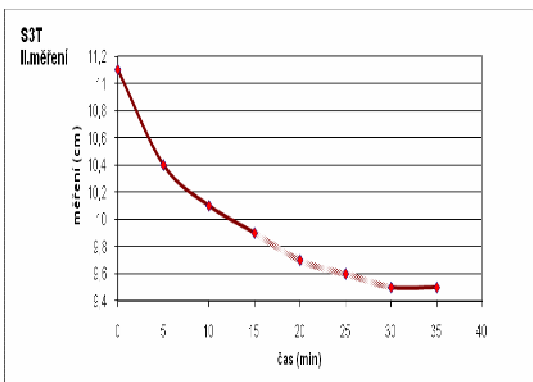
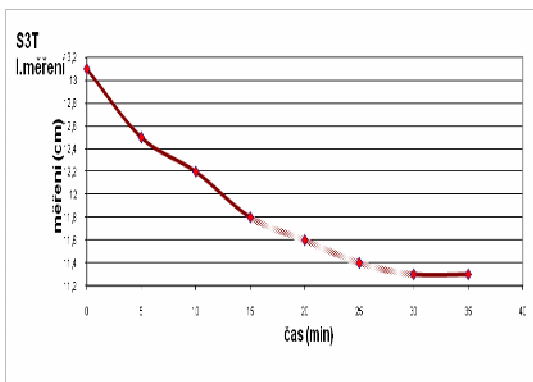
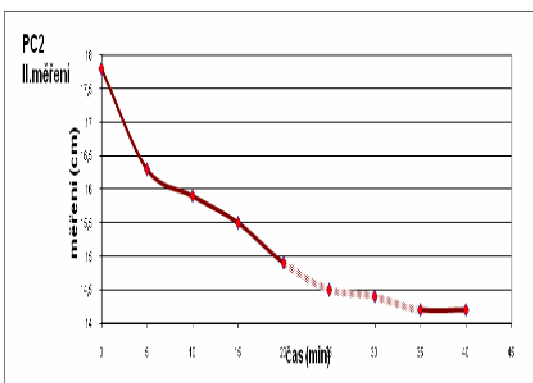
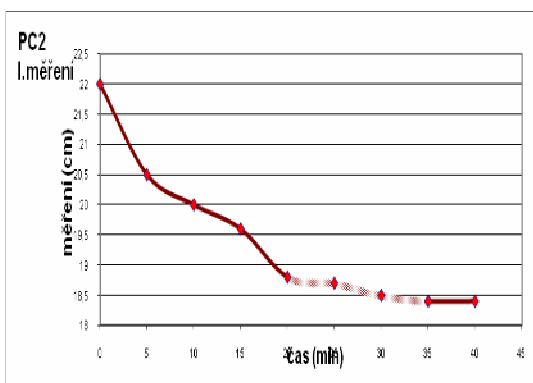
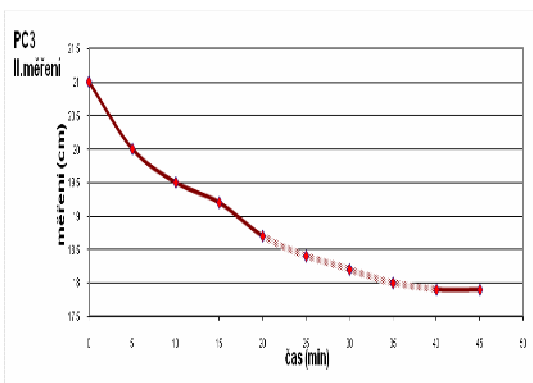
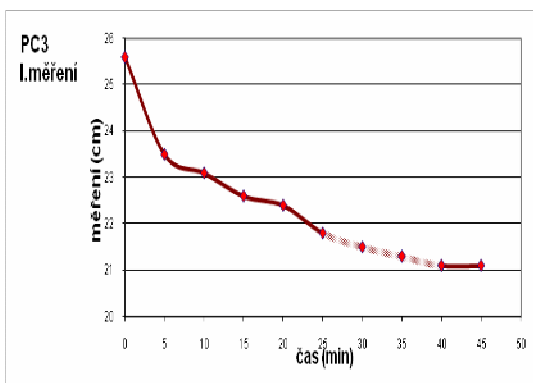
- [27] **SCHMIDT, Walter.** *Zjištění nasycené hydraulické měrné vodivosti v poli :* Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), 2007 , 1.11.2007 [cit. 2007-11-01].
- [28] **ŠANTRŮČKOVÁ , Hana.** *Ekologie půdy.* 1. vyd. České Budějovice : Biologická fakulta JČU, 2001. 29 s.
- [29] **ŠPIŘÍK F.:** Devastace půd těžbou nerostů a principy jejich rekultivace, ve sborníku Kultivace a rekultivace půd, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd Praha, 1994, s. 198.
- [30] **ŠTRUNDL, J.,** 2001: Uhlí na Sokolovsku podle historických pramenů: In: Dimitrovský K: Tvorba nové krajiny na Sokolovsku, Praha, Sokolovská uhelná, s. 18-20.
- [31] **ŠTÝS, Stanislav.** Rekultivace území postižených těžbou nerostných surovin.. *Energie.* 1997, č. 3, s. 104-108.
- [32] **ŠTÝS, Stanislav.** *Rehabilitace území postiženého povrchovou těžbou v Severočeském hnědouhelném revíru.* 1. vyd. Praha : Ústav krajinné ekologie ČSAV, 1981. 37 s.
- [33] *Trasovník : Sokolov.* 2008 [cit. 2008-01-01].
- [34] **TOMÁŠEK, Milan.** *Půdy České republiky.* Vlasta Čechová; Helena Neubertová, Vlasta Čechová. Praha : Česká geologická služba, 2007. 68 s., 41.
- [35] **VELEBA, Jan.** *Spolek pro obnovu venkova : Prohlášení SPOV k ochraně půdního fondu* 2008 [cit. 2008-05-19].

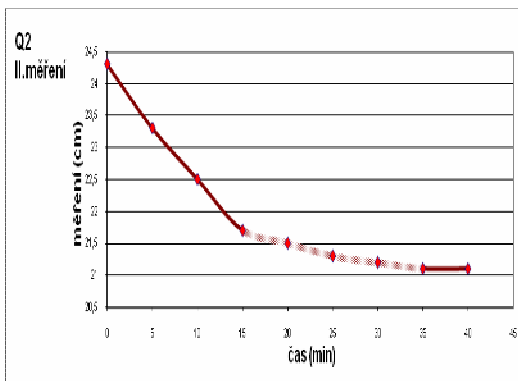
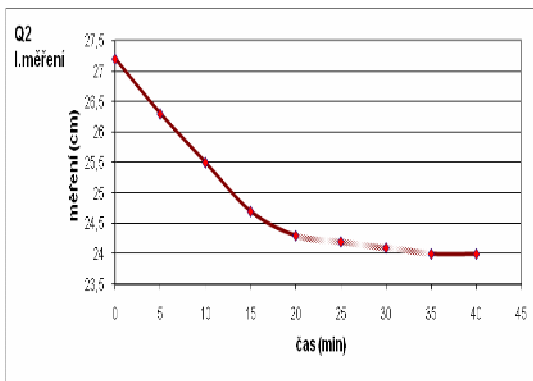
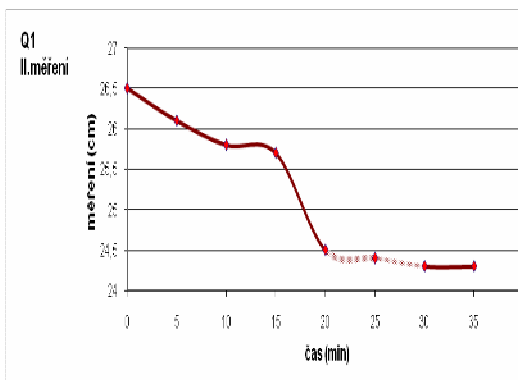
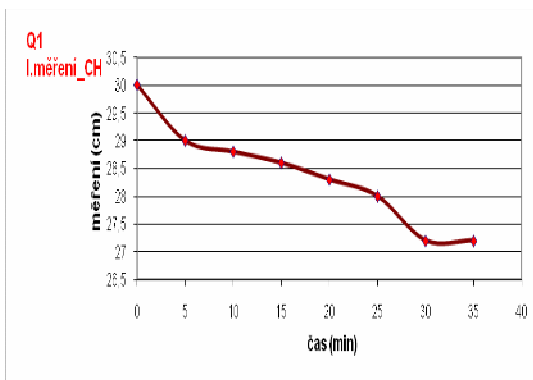
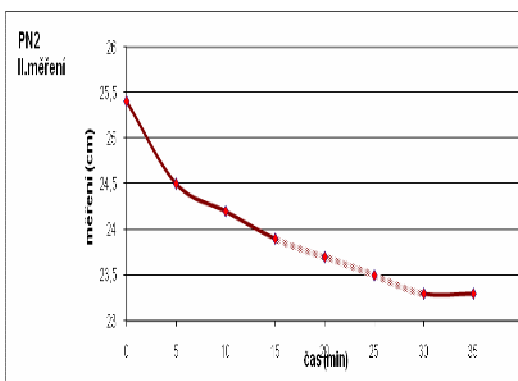
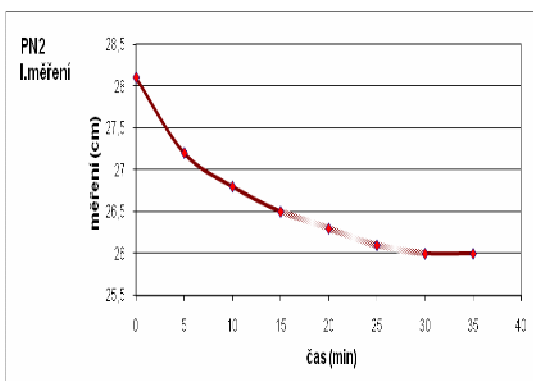
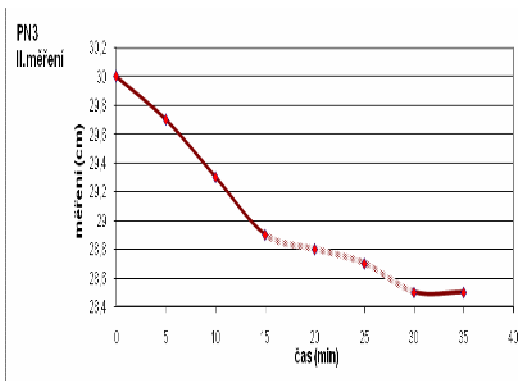
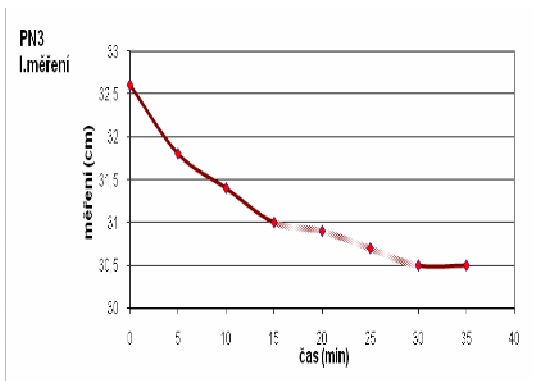
9. Přílohy

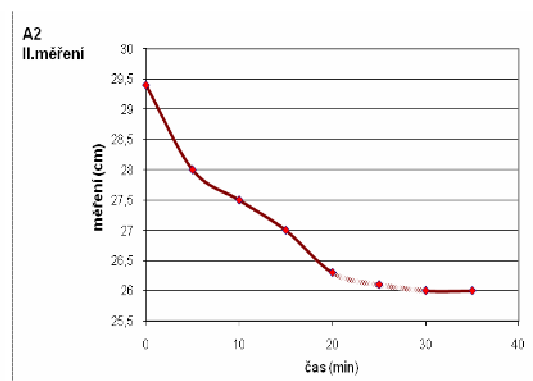
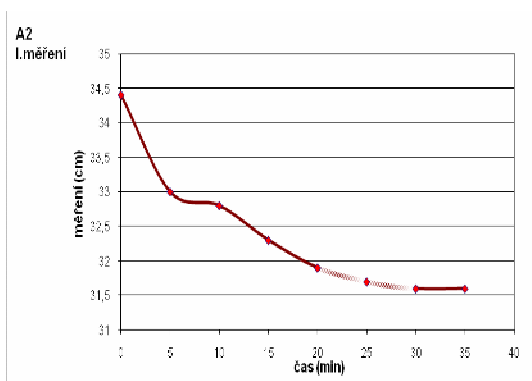
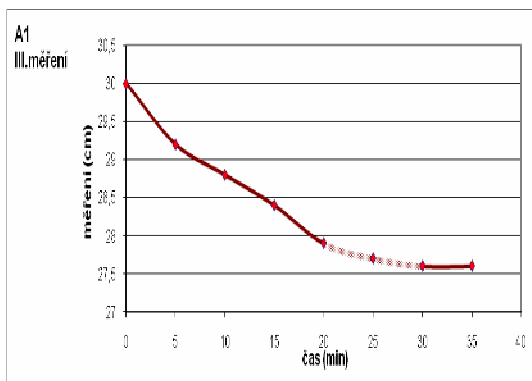
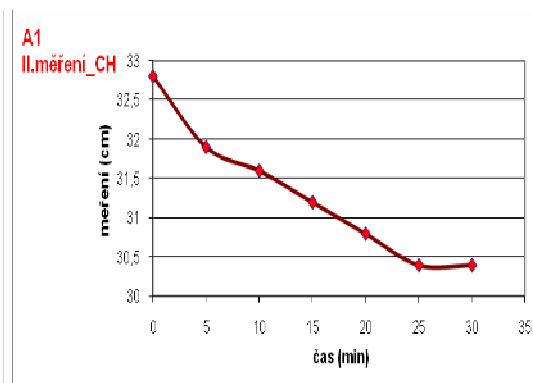
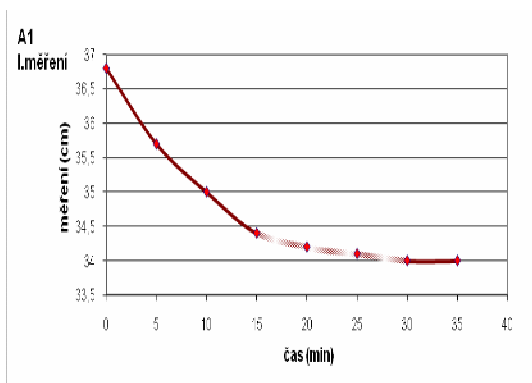
Příloha 1

Grafy nasycené hydraulické vodivosti



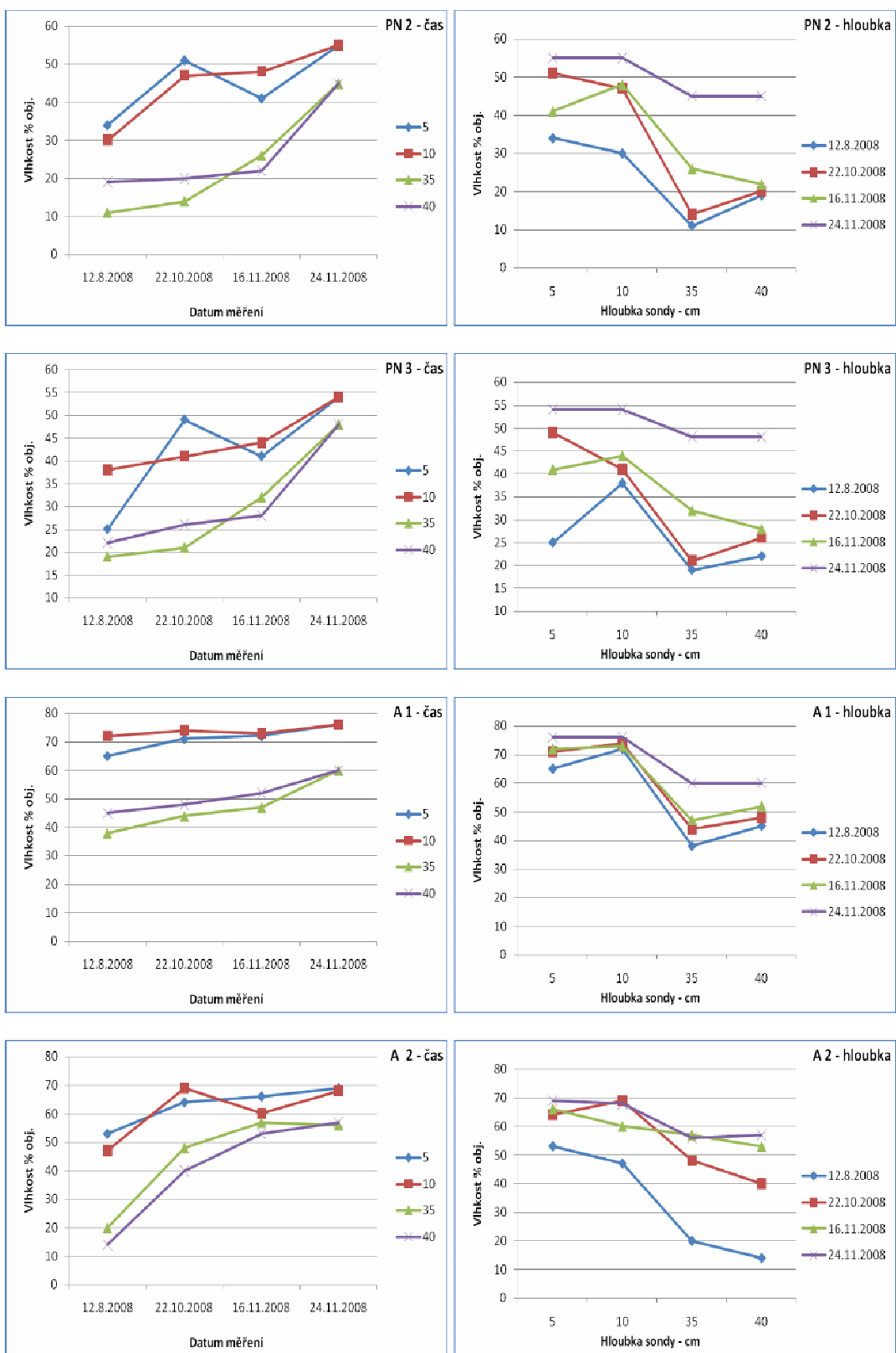


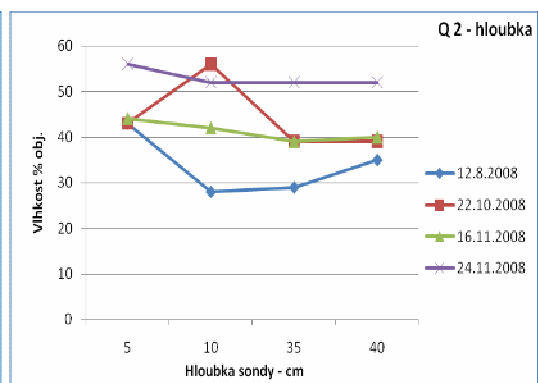
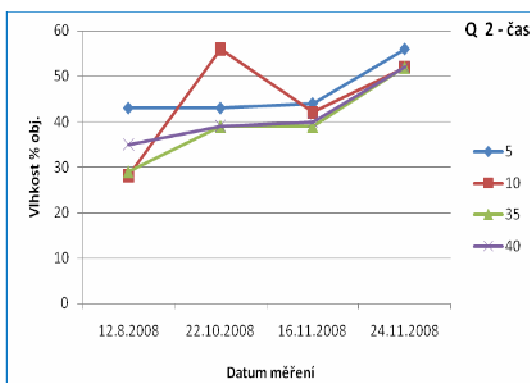
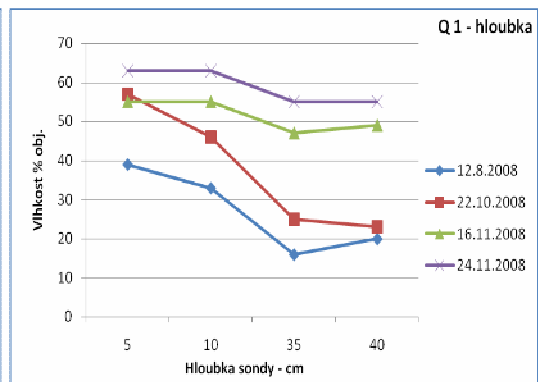
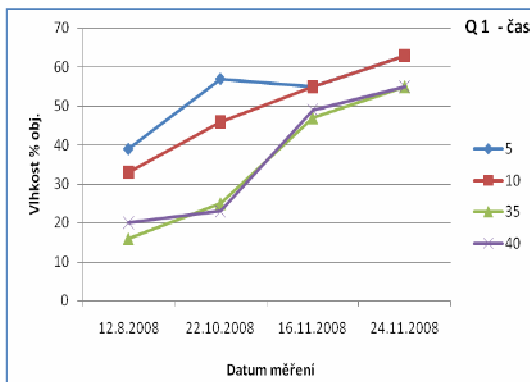
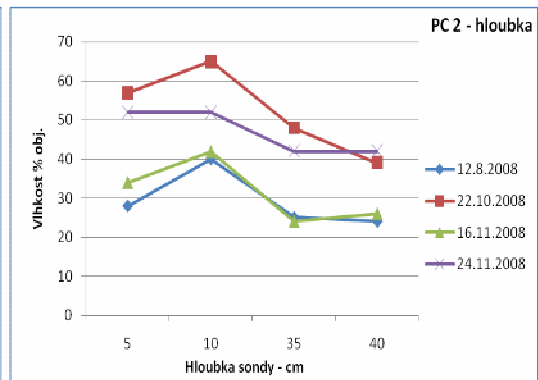
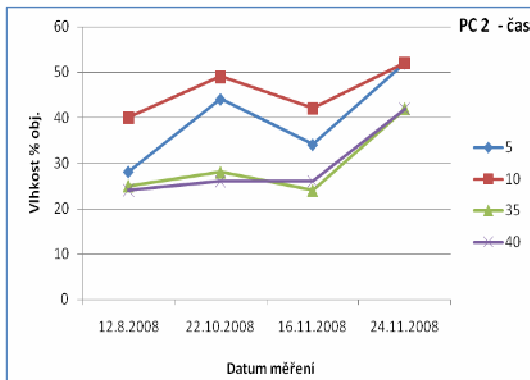
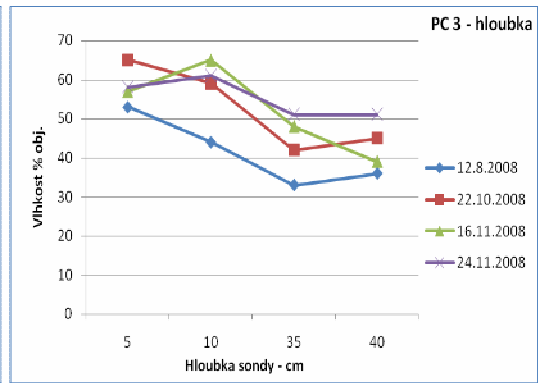
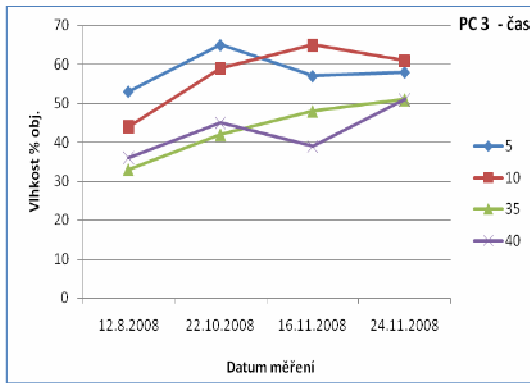


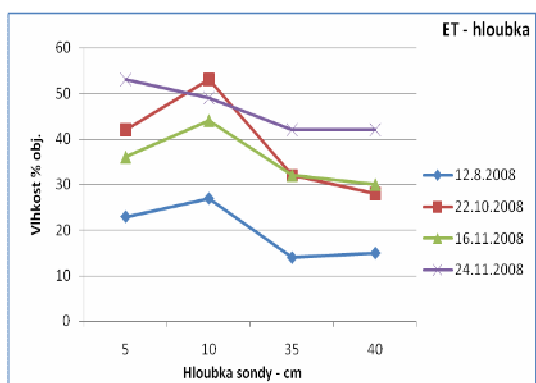
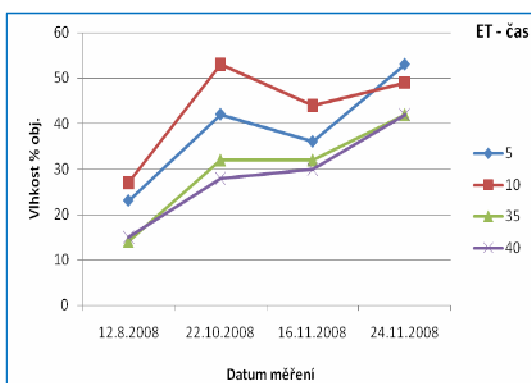
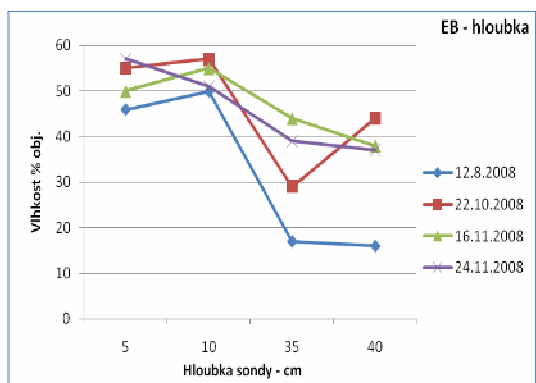
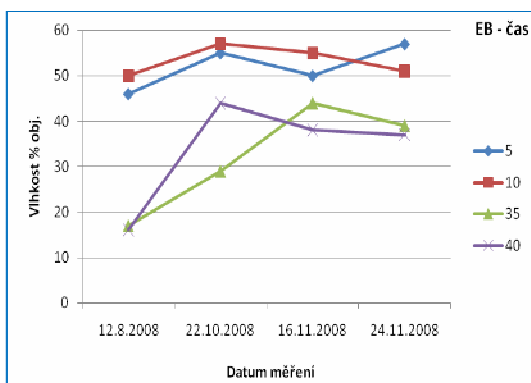
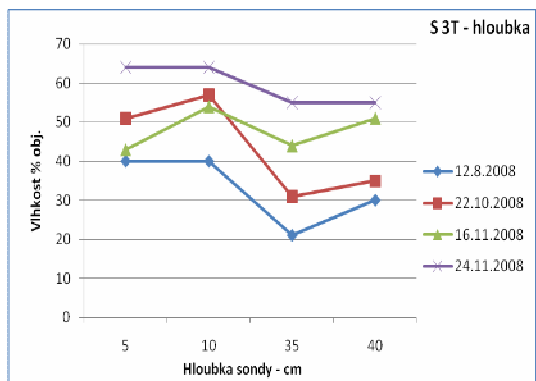
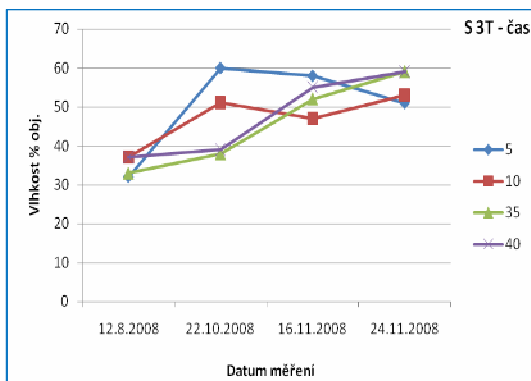
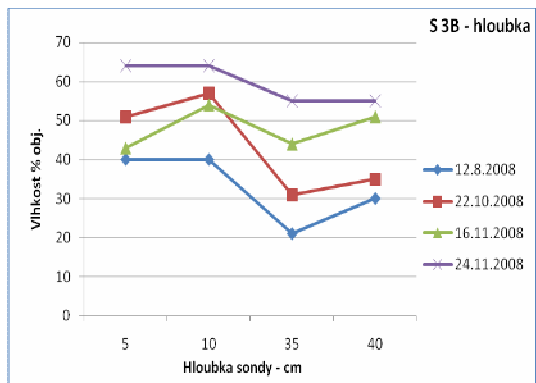
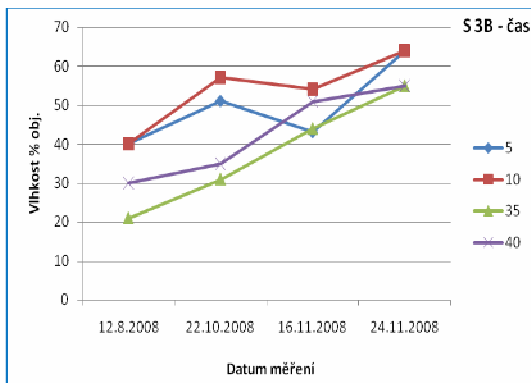


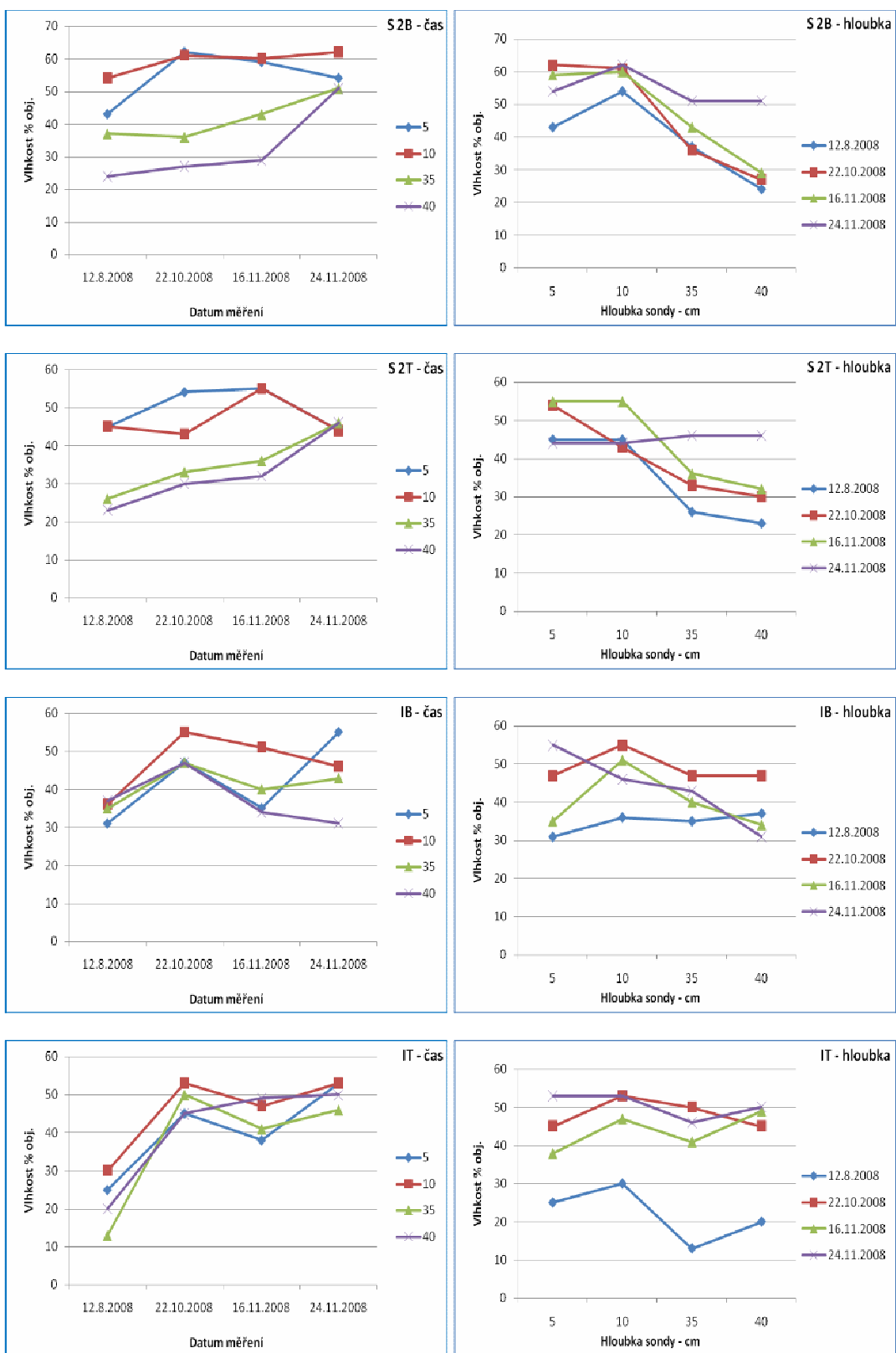
Příloha 2

Grafy průběhu vlhkosti



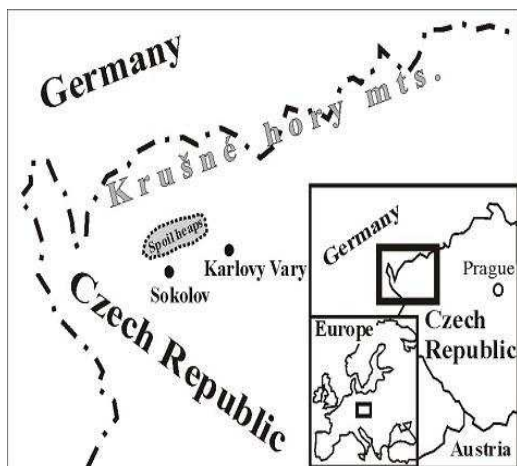




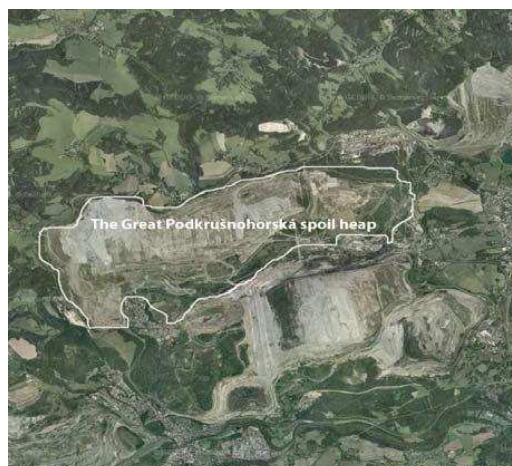


Příloha 3

Fotodokumentace



Mapa zájmové oblasti



Mapa Velké podkrušnohorské výsypky



Sledovaná území

Zdroj: mapy.cz



Cyprisový jíl „kniha“ foto: autor



Používané přístroje (foto: autor)



Jankův vápnoměr



Guelphský permeametr



Dielektrický měřič vlhkosti zemin

Orientační stanovení půdní Ca (foto: autor)



Před aplikací 10% HCl



Po aplikaci 10% HCl

